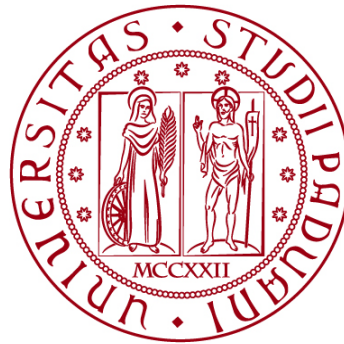


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



**TESI DI LAUREA**

**ANALISI IDRAULICA DEL BACINO DI LAMINAZIONE  
SITO A PADOVA NEL QUARTIERE BRUSEGANA**

**Relatore: Chiar.mo PROF. DANIELE PIETRO VIERO**

**Laureando: MARTA RICCI**

**ANNO ACCADEMICO 2021-2022**



*Ai nonni Renzo e Annamaria*



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. CONCETTI DI BASE</b> .....	<b>3</b>
1.1 CONSUMO DI SUOLO E INVARIANZA IDRAULICA.....	3
1.2 RETE DI DRENAGGIO URBANO .....	5
1.3 BACINO DI LAMINAZIONE .....	6
1.4 RISCHIO IDRAULICO.....	7
<b>2. AREA DI STUDIO</b> .....	<b>11</b>
<b>3. MODELLAZIONE A SUPPORTO DEL PROGETTO</b> .....	<b>15</b>
3.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA .....	15
3.2 MODELLAZIONE DEI SOTTOBACINI E DELLA RETE DI DRENAGGIO .....	17
<b>4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</b> .....	<b>21</b>
4.1 VIA MERLIN E VIA SANTI FABIANO E SEBASTIANO .....	21
4.2 FOSSO DUCA DEGLI ABRUZZI .....	24
4.3 BACINI DI LAMINAZIONE.....	28
4.4 COLLEGAMENTO TRA FOSSO DUCA DEGLI ABRUZZI E BACINO OVEST .....	29
<b>5. CONCLUSIONI</b> .....	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA</b> .....	<b>37</b>
<b>SOMMARIO DELLE FIGURE</b> .....	<b>39</b>



# INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo elaborato di tesi è analizzare dal punto di vista idraulico l'intervento di potenziamento della rete di drenaggio del quartiere Brusegana a Padova, che ha portato alla costruzione di un nuovo bacino di laminazione. Tale elaborato si basa sull'analisi del progetto esecutivo (realizzato dall'Ing. Carlo Fortini e approvato dal settore Lavori Pubblici del Comune di Padova) e delle successive modifiche che sono state realizzate in corso d'opera.

In sintesi, l'intervento è stato sviluppato nelle seguenti fasi:

- posa di una nuova condotta per acque meteoriche, collegata alla rete preesistente;
- approfondimento ed allargamento di uno scolo di bonifica;
- scavo di un nuovo bacino di invaso.

Il progetto è stato in parte modificato poiché durante i lavori sono emerse due criticità:

- presenza di sottoservizi non dichiarati;
- ritrovamento di amianto.

L'opera in oggetto rappresenta un investimento importante per la collettività ed è stata finanziata con le risorse del PNRR<sup>1</sup>, rientrando tra gli interventi per la tutela del territorio e della risorsa idrica.

L'intervento di potenziamento si rende necessario poiché il quartiere Brusegana, in tempi recenti, è stato spesso oggetto di fenomeni di allagamento dovuti all'insufficienza della rete di drenaggio delle acque meteoriche. In numerose occasioni gli allagamenti hanno interessato il piano stradale, rendendo assai difficoltosa la circolazione dei veicoli, e causando ingenti danni alle abitazioni e ai negozi limitrofi (Figura 1).

---

<sup>1</sup> **PNRR**: Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza;



*Figura 1 Allagamenti in via dei Colli, giugno 2018*



# 1. CONCETTI DI BASE

## 1.1 CONSUMO DI SUOLO E INVARIANZA IDRAULICA

L'ISPRA<sup>2</sup> definisce il consumo di suolo come *la variazione da una copertura non artificiale (suolo non consumato) a una copertura artificiale del suolo (suolo consumato)*. È un processo collegato alla costruzione di nuovi fabbricati e infrastrutture e alla crescita delle città. A livello normativo, risulta di particolare interesse il concetto di consumo di suolo netto. Esso rappresenta il bilancio tra le nuove aree impermeabilizzate e l'aumento di superfici agricole, naturali e seminaturali, recuperate grazie a interventi di riconversione. Tuttavia, i processi di rigenerazione dei suoli sono complessi, costosi e richiedono tempi assai lunghi. Dal punto di vista idraulico, tale fenomeno causa un incremento del coefficiente di deflusso<sup>3</sup>.

L'UE e l'ONU hanno fissato degli obiettivi per preservare il territorio. I principali sono:

- l'allineamento del consumo di suolo con la crescita demografica entro il 2030;
- il recupero del territorio in modo da mantenere invariato il suo degrado entro il 2030;
- l'azzeramento del consumo di suolo netto entro il 2050.

L'SNPA<sup>4</sup> monitora annualmente la variazione del consumo di suolo sul territorio italiano, al fine di rispettare la pianificazione. Il PTE<sup>5</sup> prevede l'azzeramento del consumo di suolo entro il 2030, anticipando così di vent'anni l'obiettivo stabilito dell'UE; anche il PNRR considera questa tematica di fondamentale importanza, al fine di realizzare uno sviluppo sostenibile dal punto di vista ambientale.

Nel Comune di Padova il suolo consumato è pari al 49,60% di tutto il territorio amministrativo (Figura 2). Gli effetti di un valore così elevato dovrebbero essere mitigati con l'inserimento nel contesto urbano dei bacini di laminazione.

---

<sup>2</sup> **ISPRA**: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale;

<sup>3</sup> **Coefficiente di deflusso**: rapporto tra il volume drenato dalla rete e quello piovuto

$\varphi = \frac{V_{drenato}}{V_{piovuto}}$  (adimensionale);

<sup>4</sup> **SNPA**: Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente;

<sup>5</sup> **PTE**: Piano per la Transizione Ecologica.

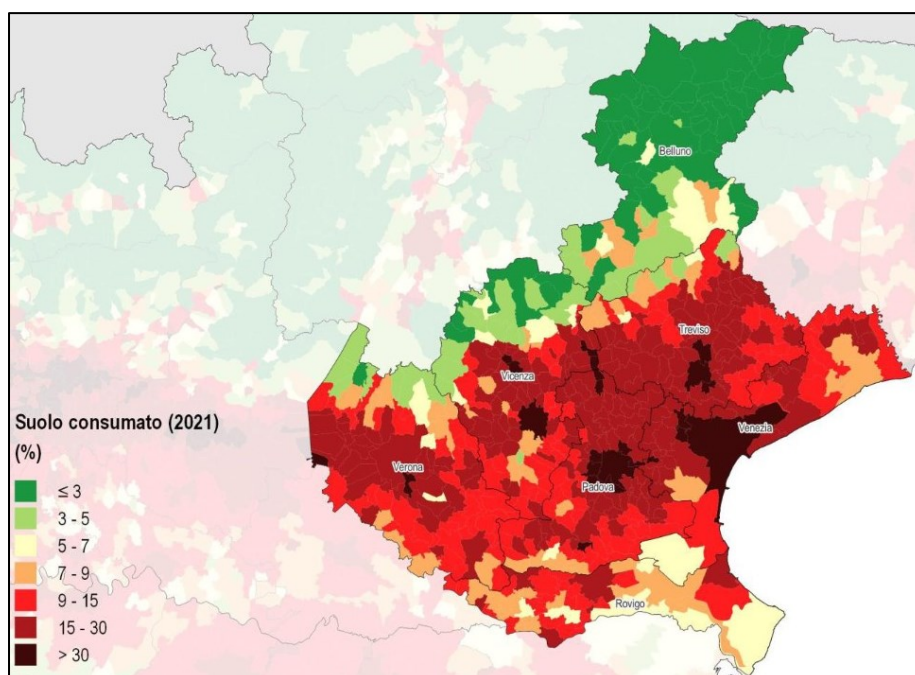


Figura 2 Suolo consumato 2021, percentuale sul territorio amministrativo

Quando la pioggia cade su un terreno naturale, le acque meteoriche possono essere assorbite e andare in falda, possono essere accumulate in invasi superficiali oppure possono evaporare. Solo una parte di queste acque defluisce verso i corsi d'acqua o verso le reti di drenaggio. La portata verso i ricettori finali risulta quindi limitata. Nel caso in cui il terreno subisca processi di urbanizzazione, i coefficienti di deflusso aumentano e le superfici tendono a diventare impermeabili. La quantità di acqua che si infiltra nel terreno diminuisce sensibilmente, si riducono gli invasi naturali e il tempo di corrivazione<sup>6</sup> diventa più breve. Il picco della portata raggiunge in tempi minori i ricettori ed ha un valore nettamente superiore rispetto alla situazione naturale (Figura 3). Questo fenomeno può provocare l'insufficienza dei corpi idrici finali, i quali non risultano più in grado di far defluire correttamente l'acqua in arrivo da monte. Un'ulteriore problematica è quella dell'impoverimento della falda, con conseguenze anche sull'approvvigionamento dei sistemi acquedottistici.

Per limitare alcuni effetti dell'urbanizzazione sulla rete idrica, è stato introdotto il concetto di invarianza idraulica. Secondo tale principio, le portate generate da un'area di nuova urbanizzazione non devono essere superiori a quelle che erano generate dal terreno prima degli interventi di impermeabilizzazione. L'invarianza non implica alcun tipo di trattamento delle acque, punta esclusivamente a ridurre l'onda di piena nei ricettori finali.

---

<sup>6</sup> **Tempo di corrivazione:** tempo che impiega la particella di acqua più lontana per raggiungere la sezione di chiusura.

Per rispettare questo concetto, alcuni interventi possibili possono essere la realizzazione di:

- opere di stoccaggio delle acque meteoriche;
- aree di infiltrazione (trincee o bacini) che vadano a compensare l'impermeabilizzazione causata dagli interventi urbanistici;
- invasi naturali o artificiali che vadano a laminare la portata;
- pavimentazioni permeabili.

A livello normativo il tema dell'invarianza idraulica viene trattato nella Direttiva CE 2007/60 "Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni" e nel DGR 2948 Veneto del 6/10/2009.

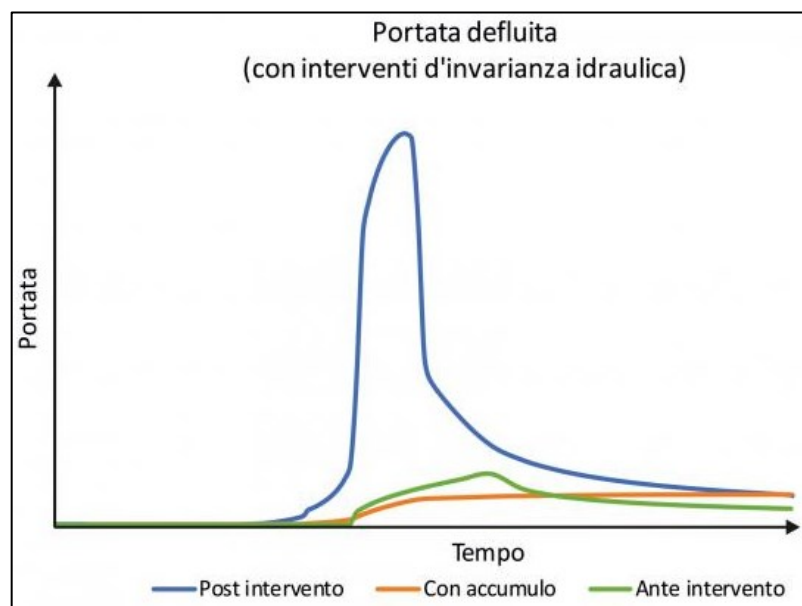


Figura 3 Diagramma della portata defluita

## 1.2 RETE DI DRENAGGIO URBANO

La rete fognaria è costituita da un complesso di canalizzazioni, generalmente sotterranee, che hanno la funzione di raccogliere e allontanare dagli insediamenti civili e/o produttivi le acque superficiali e quelle reflue, prodotte dalle attività umane. Il funzionamento dei collettori è generalmente a pelo libero; il moto avviene in pressione solo in alcuni tratti particolari come, ad esempio, gli attraversamenti. La rete ha inoltre l'obiettivo di convogliare verso gli impianti di depurazione le acque reflue, al fine di rispettare gli obiettivi di qualità dei ricettori, definiti nei Piani di Tutela delle Acque redatti ai sensi del D.lgs. 152/06 e successive modifiche ed integrazioni. La rete può essere a sistema separato (se le acque reflue e quelle meteoriche vengono raccolte in collettori distinti), oppure a sistema misto (se le acque vengono convogliate tutte assieme).

La struttura di una rete di fognatura è costituita da:

- un sistema di collettori che solitamente segue la planimetria della rete stradale;
- manufatti ricorrenti come, ad esempio, caditoie stradali e pozzetti;
- manufatti particolari quali stazioni di sollevamento, attraversamenti, sfioratori, vasche di prima pioggia e impianti di trattamento.

I sistemi misti sono dotati di scaricatori di piena, i quali separano le acque più inquinate da mandare a trattamento da quelle che possono essere inviate direttamente al ricettore finale. La portata massima inviata a trattamento è pari a  $3-5Q_n^7$ . Gli scaricatori di piena possono essere completati con vasche di prima pioggia, in linea o fuori linea. Queste vasche hanno il compito di immagazzinare le acque meteoriche più inquinate (circa 3 – 5 mm di pioggia), per inviarle al depuratore in tempo asciutto. L'inserimento di nuove vasche non richiede la modifica del sistema già esistente.

I sistemi misti presentano alcuni vantaggi, in particolare:

- rispetto ai sistemi separati risultano più economici e più compatti;
- nelle condotte difficilmente si accumulano sedimenti;
- non possono avere allacci errati;
- le portate nere sono ben aerate.

Tuttavia, presentano anche una serie di svantaggi:

- possono causare un peggioramento della qualità dell'acqua dei ricettori finali;
- rispetto ai sistemi separati, gli impianti di depurazione sono più grandi e più costosi;
- un'insufficienza della rete con conseguente rigurgito del piano stradale causa la fuoriuscita anche di acque nere.

### 1.3 BACINO DI LAMINAZIONE

I bacini di laminazione (Figura 4) rappresentano una delle possibili soluzioni al problema dell'invarianza idraulica; essi sono costituiti da:

- un'opera di presa;
- un vaso artificiale;
- un'opera di scarico.

---

<sup>7</sup> **Q<sub>n</sub>**: portata nera media in tempo asciutto del giorno di maggior consumo.

Al raggiungimento di un determinato livello idrometrico nel fosso di bonifica, l'acqua scolma grazie all'opera di presa e viene accumulata nel bacino. Esso è dotato di uno scarico di fondo, che permette il lento e graduale vuotamento dell'invaso stesso. Lo scarico è dimensionato in base alla portata che si vuole andare a immettere nuovamente nella rete. L'opera deve essere dotata anche di uno scarico di emergenza, per evitare che l'acqua derivata nel bacino superi un determinato livello di guardia.

Questa soluzione offre ottimi risultati sulla riduzione del picco dell'onda di piena (laminazione delle portate), andando quindi a ridurre il rischio idraulico dei territori circostanti. Tuttavia, tali bacini non comportano particolari variazioni del volume scaricato nei ricettori, poiché solo una piccola percentuale d'acqua si infiltra nel terreno o evapora. Infine, non si nota una significativa variazione degli inquinanti disciolti.

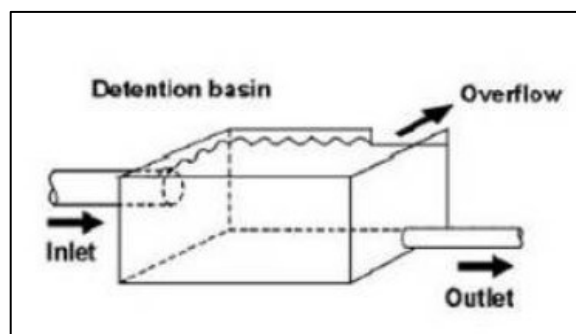


Figura 4 Schema di un bacino di laminazione

## 1.4 RISCHIO IDRAULICO

Per analizzare il rischio idraulico dell'area in esame, bisogna considerare separatamente due aspetti:

- rischio idraulico riferito alla rete principale dei fiumi Brenta e Bacchiglione;
- rischio idraulico riferito alla rete secondaria interna che attraversa la città.

In questo elaborato viene tralasciato il primo aspetto e viene studiato solo il secondo, poiché l'intervento in esame coinvolge esclusivamente la rete di drenaggio interna.

Secondo il PAI<sup>8</sup>, all'interno e in prossimità del quartiere Brusegana sono presenti due zone a rischio per la pericolosità idraulica (Figura 5):

- aree ad uso agricolo in zona Armistizio (sottobacino Colli);

---

<sup>8</sup> PAI: Piano di Assetto Idrogeologico.

- terreni circostanti lo scolo Pelosa e area orientale del bacino Brusegana, al confine con il centro di Padova.

Oltre alle aree già individuate, bisogna prendere in considerazione anche la pericolosità che riguarda la zona attorno a via dei Colli e che scarica le proprie acque meteoriche nello scolo Bolzanello, in zona Brentelle di Sotto.

Il sistema di collettori per il drenaggio urbano risulta generalmente prossimo a fine vita utile, trovandosi quindi in una condizione di elevato grado di invecchiamento. I fossi e i canali di bonifica, che svolgono la doppia funzione di drenaggio e di irrigazione, hanno franco di bonifica insufficiente non solo durante le piogge, bensì anche in tempo asciutto. La rete risulta sottodimensionata a causa dello sviluppo urbanistico del secolo scorso. Il tema dell'invarianza idraulica non è stato rispettato e la cementazione del quartiere ha causato un incremento della portata destinata ai ricettori finali. Infine, la qualità dell'acqua della falda freatica e dei fiumi è in peggioramento a causa della presenza di fognatura mista. Questo problema risulta difficilmente eliminabile, poiché realizzare un nuovo sistema di drenaggio separato comporterebbe dei costi di costruzione e dei disagi alla viabilità eccessivi. Bisogna quindi trovare il giusto compromesso, al fine di massimizzare i benefici degli interventi, tenendo i costi entro un limite ragionevole.

Il nuovo bacino di laminazione cerca di ridurre il rischio idraulico della zona e risulta un'opera di facile inserimento nella rete già esistente. Non sono state necessarie sospensioni del servizio idrico poiché la rete fognaria ha continuato a funzionare regolarmente. I disagi connessi alla viabilità sono stati assai ridotti; solo via Merlin e via Santi Fabiano e Sebastiano hanno subito delle limitazioni al traffico.

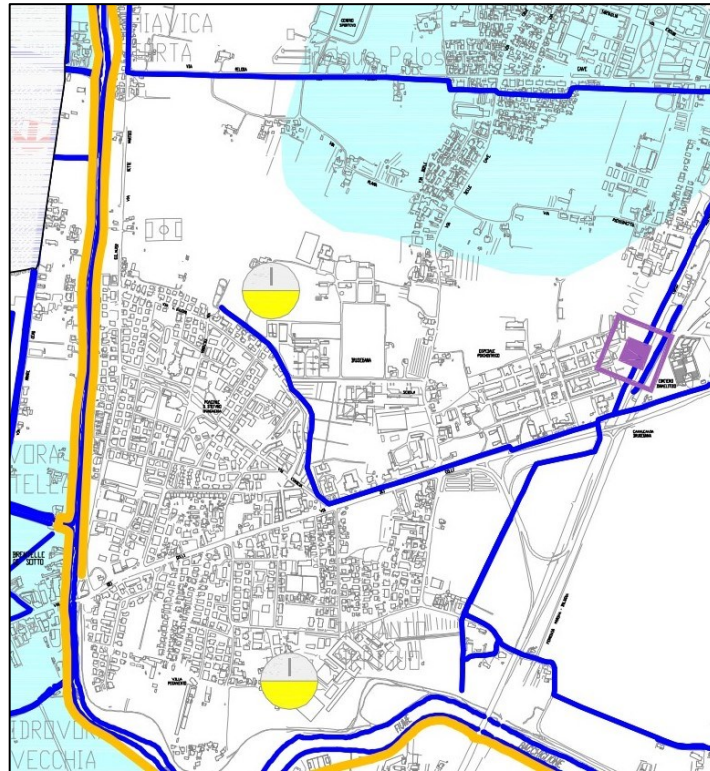


Figura 5 Zone a rischio idraulico

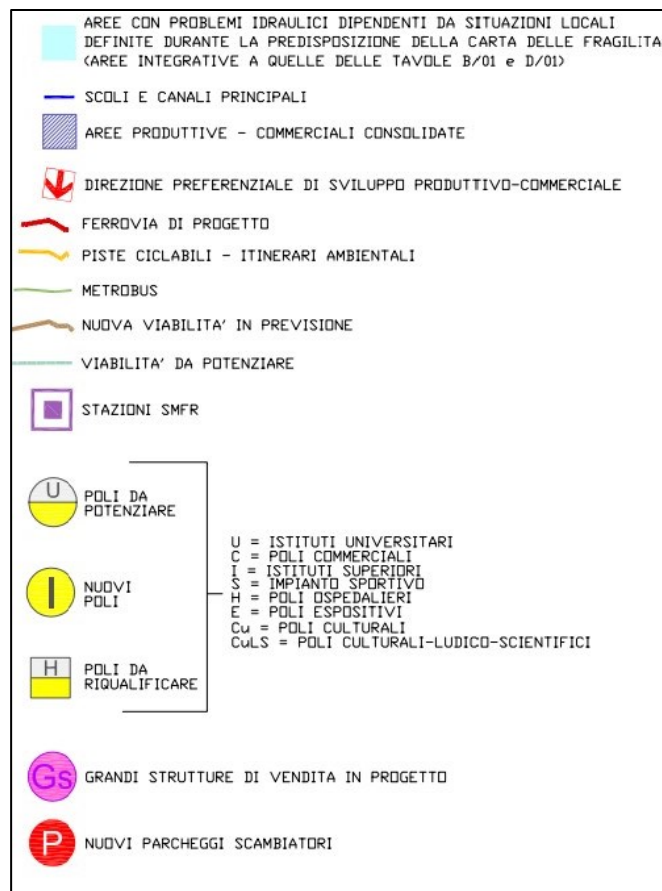


Figura 6 Legenda





## 2. AREA DI STUDIO

Il quartiere Brusegana si trova nella prima periferia della città e si è sviluppato a partire da un primo nucleo abitativo formatosi attorno all'ex ospedale psichiatrico di via dei Colli (Figura 7). Osservando la documentazione storica (voli della Royal Air Force 1943-1945 e il volo dell'Istituto Geografico Militare 1965) e le più moderne cartografie (Carta Tecnica Regionale), si può notare come l'espansione del quartiere sia avvenuta lungo la direttrice tra Padova e Selvazzano, grazie a un rapido processo di urbanizzazione iniziato nel Secondo dopoguerra e terminato circa negli anni '80. La crescita superiore alle stime ha portato all'attuale sottodimensionamento delle infrastrutture e dei sottoservizi. L'inadeguatezza della rete di drenaggio e le intense precipitazioni, sempre più frequenti negli ultimi anni, hanno causato numerosi allagamenti. La criticità idraulica della zona è stata esaminata dagli enti competenti (Genio Civile, Consorzio di Bonifica Bacchiglione, AcegasApsAmga, settore Lavori Pubblici del Comune di Padova), i quali hanno elaborato diversi documenti al fine di analizzare lo stato di fatto e pianificare gli interventi futuri. Tra questi si citano:

- lo studio di fattibilità "Riassetto coordinato della rete idraulica di bonifica e della rete fognaria Montà-Brusegana";
- la modellazione del bacino Montà-Brusegana da parte di AcegasApsAmga.



*Figura 7 Ospedale dei Colli*

## 2. AREA DI STUDIO

Nel territorio del Comune di Padova è presente una fitta rete di fossi e canali di scolo in cui l'acqua defluisce principalmente da nord-ovest verso sud-est. Fossi e canali possono avere sia funzione di bonifica che irrigua. La progressiva urbanizzazione ed espansione della città ha trasformato questi scoli in collettori fognari. Il territorio comunale è stato suddiviso in sottobacini idrografici (Figura 8), tra questi troviamo il bacino Brusegana, area di studio in questa tesi e coincidente con l'omonimo quartiere. Tale bacino si trova nella parte occidentale della città ed ha un'estensione di 1400 ettari. È delimitato ad ovest dal canale Brentella, a sud dal fiume Bacchiglione, ad est dal Tronco Maestro e dalla Fossa Bastioni e a nord dal bacino Fossetta. Le acque meteoriche confluiscono nel collettore tombato scolo Manicomio-Cimitero (scatolare 1300 x 1100 mm), passano poi al collettore Fossa Bastioni e successivamente vengono sollevate tramite l'idrovora Saracinesca (portata massima 3 m<sup>3</sup>/s) oppure tramite l'idrovora Vetri (portata massima 5 m<sup>3</sup>/s). Dopo il sollevamento l'acqua passa nel Tronco Maestro ed infine nel canale Piovego. La fognatura in quest'area è mista e l'acqua reflua è inviata al depuratore Cà Nordio tramite il collettore Fossetta.

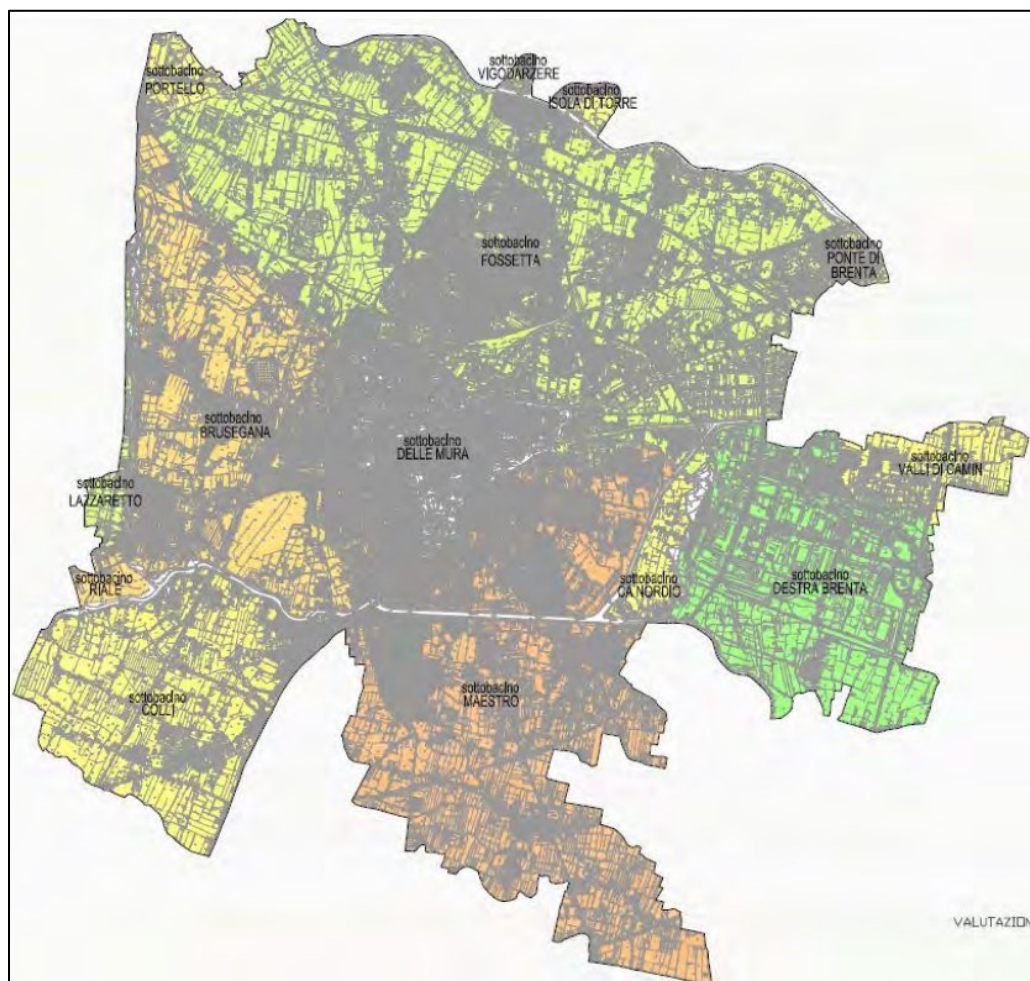
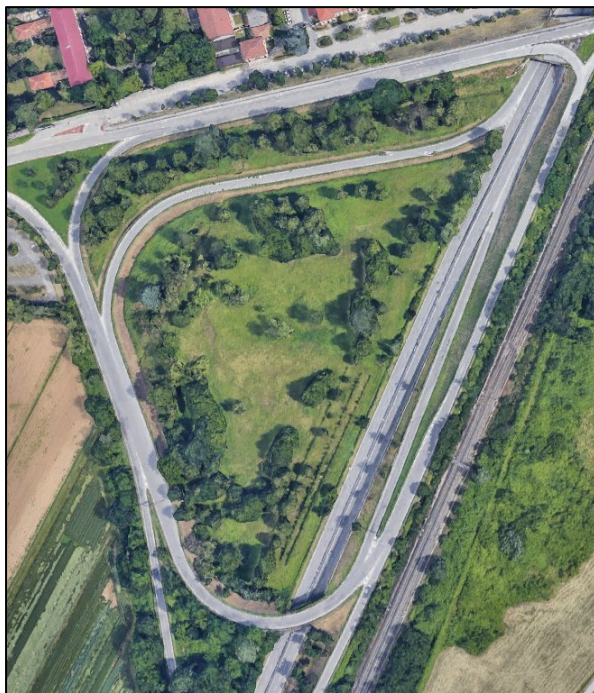


Figura 8 Sottobacini idrografici del Comune di Padova

Il bacino oggetto di tesi è un'opera idraulica in linea e non in derivazione, poiché immagazzina l'acqua meteorica proveniente dal fosso Duca degli Abruzzi per mezzo di uno scolmatore laterale. Si trova al margine orientale del quartiere, tra corso Australia e il cavalcavia Brusegana, all'interno di una zona verde (Figura 9, Figura 10). L'area è delimitata dagli svincoli stradali della tangenziale e non è accessibile ai cittadini; prima dell'intervento era presente un piccolo boschetto. I piani urbanistici classificano quest'area tra le zone F (zone per impianti e attrezzature collettive), dividendola in due parti: area verde a sud (area destinata alla viabilità e fasce di rispetto F6/d) e parcheggio a nord (F4). Lo studio di AcegasApsAmga prevedeva l'utilizzo di tutto il terreno in esame per realizzare il bacino (circa 20.000 m<sup>2</sup>), senza tenere conto della pianificazione urbanistica. Tuttavia, la progettazione dell'intervento, realizzata dall'Ing. Carlo Fortini, ha dovuto prendere in considerazione tali vincoli; di conseguenza sia nel caso del primo progetto, che nella successiva variante, l'area destinata alla laminazione è stata circa dimezzata.



Figura 9 Area d'intervento



*Figura 10 Area bacino di laminazione*

# 3. MODELLAZIONE A SUPPORTO DEL PROGETTO

## 3.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

La verifica e il dimensionamento degli elementi che compongono una rete di drenaggio urbano necessitano la conoscenza delle portate massime di picco. Per determinare questi valori, correlati a un determinato tempo di ritorno<sup>9</sup>, bisogna ricostruire le precipitazioni di riferimento. Vengono quindi utilizzate le curve di possibilità pluviometrica elaborate da ARPAV<sup>10</sup>. Questi diagrammi sono ottenuti applicando il metodo di Gumbel, il quale si basa su tecniche statistiche e probabilistiche, che permettono di estendere la validità delle previsioni oltre il periodo d'osservazione.

Si riportano i diagrammi in scala bi-logaritmica ricavati dalle osservazioni delle precipitazioni sulla città di Padova tra l'anno 2000 e il 2022 (Figura 11, Figura 12). Per un fissato tempo di ritorno, l'altezza di precipitazione e la durata dell'evento sono legate dalla seguente relazione:

$$h = a\tau^n$$

con  $a > 0$ ,  $a = [mm/ora]$ ,  $a = a[Tr, area di studio]$

e  $0 < n < 1$ ,  $n = [-]$ ,  $n = n[area di studio]$ .

Per eventi meteorici di durata inferiore all'ora, il parametro  $n$  viene sostituito da  $n' = \frac{4}{n^3}$ .

---

<sup>9</sup> **Tempo di ritorno:** assegnata un'altezza di precipitazione (o un'intensità), è il tempo medio espresso in anni che intercorre tra due superamenti di tale altezza;

<sup>10</sup> **ARPAV:** Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto.

Tabella 1 Dati stazione di misura

Stazione	<b>Padova</b>	
Quota	<b>12</b>	m s.l.m.
Coordinata X	<b>1727642</b>	Gauss-Boaga fuso Ovest (EPSG:3003)
Coordinata Y	<b>5032075</b>	
Comune	<b>PADOVA (PD)</b>	
Inizio attività sensore di pioggia <b>01/05/2000</b>		
Fine attività sensore di pioggia <b>ancora attivo</b>		

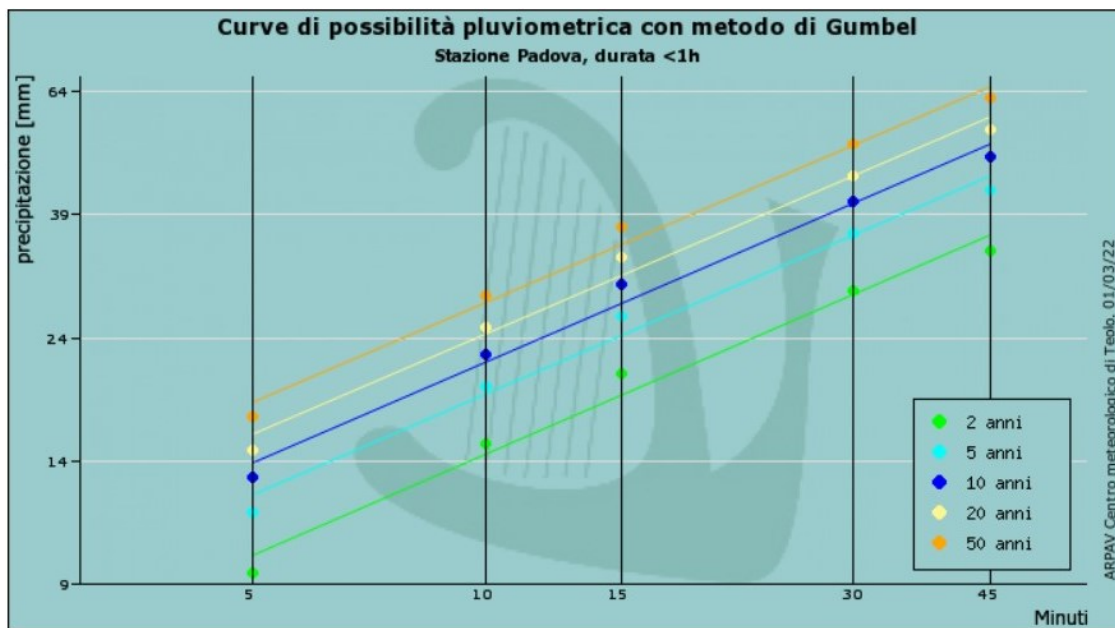


Figura 11 Curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora, ARPAV

Tabella 2 Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per eventi inferiori all'ora, ARPAV

Parametri delle curve di possibilità pluviometriche con durata <1h (espressa in ore)		
Tempo di ritorno	a	n
2 anni	42.679	0.593
5 anni	53.935	0.589
10 anni	61.388	0.588
20 anni	68.536	0.587
50 anni	77.790	0.586

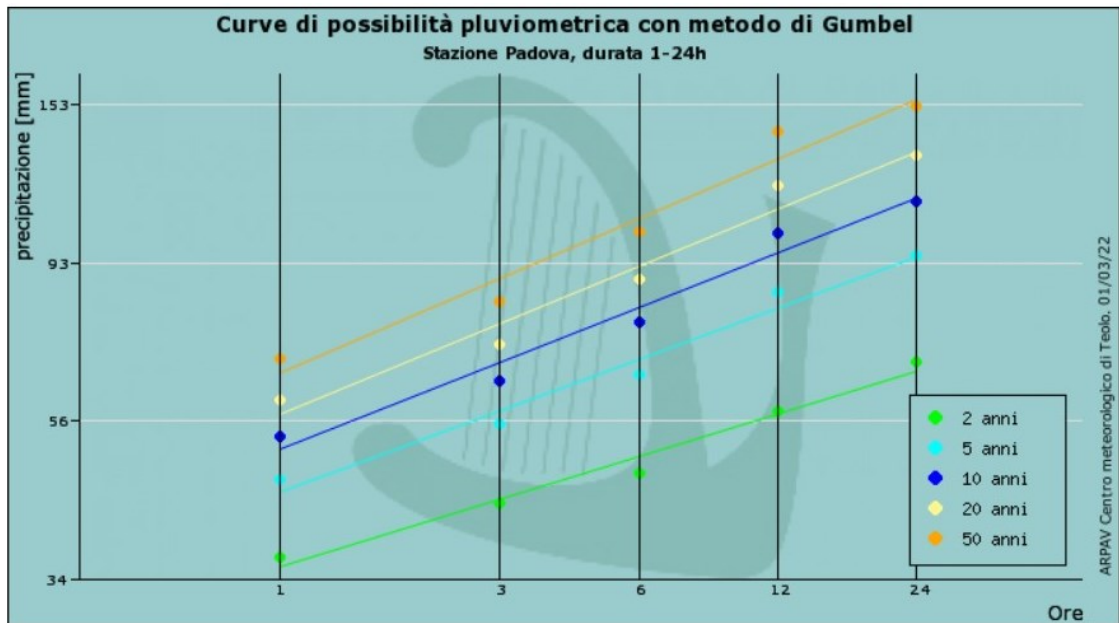


Figura 12 Curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata superiore all'ora, ARPAV

Tabella 3 Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora, ARPAV

Parametri delle curve di possibilità pluviometriche con durata 1-24h (espressa in ore)		
Tempo di ritorno	a	n
2 anni	35.516	0.194
5 anni	45.062	0.233
10 anni	51.402	0.249
20 anni	57.491	0.261
50 anni	65.381	0.273

### 3.2 MODELLAZIONE DEI SOTTOBACINI E DELLA RETE DI DRENAGGIO

Tramite il software EPA SWMM 5.1 (Storm Water Management Model), prodotto e sviluppato dal Water Supply and Water Resources Division dell'Environmental Protection Agency (US-EPA), il progettista ha suddiviso il territorio in sottobacini (Figura 13) e ha replicato lo schema delle condotte principali che si sviluppano lungo via dei Colli e che sono di competenza di AcegasApsAmga. Dalle informazioni contenute nel DTM<sup>11</sup> a celle di 5 m della Regione Veneto

<sup>11</sup> DTM: Modello Digitale del Terreno.

sono stati estrapolati i dati fisici, come ad esempio la pendenza del terreno e l'area di ciascun sottobacino. Infine, grazie alla tecnologia GIS<sup>12</sup> sono stati dedotti i parametri relativi al grado di urbanizzazione e ad ogni sottobacino è stato associato un coefficiente di deflusso.

Dallo studio dell'area in esame, il tempo di corrivazione risulta essere pari a un'ora circa. Secondo le considerazioni teoriche sulle quali si basa il metodo razionale per il calcolo delle portate, la durata dell'evento meteorico che genera il massimo picco della portata è uguale al tempo di corrivazione stesso.

Alle condotte preesistenti è stata associata una scabrezza di Manning<sup>13</sup> pari a 0.016 s/m<sup>3</sup> (valore tipico per tubazioni invecchiate), mentre per quella nuova è stata scelta pari a 0.013 s/m<sup>3</sup>. Infine, per i fossati la scabrezza vale 0.033 s/m<sup>3</sup>. La condizione iniziale alla sezione di chiusura (scolo Manicomio-Cimitero) è stata posta cautelativamente assumendo la condotta di valle piena, a quota 11 m s.m.m.

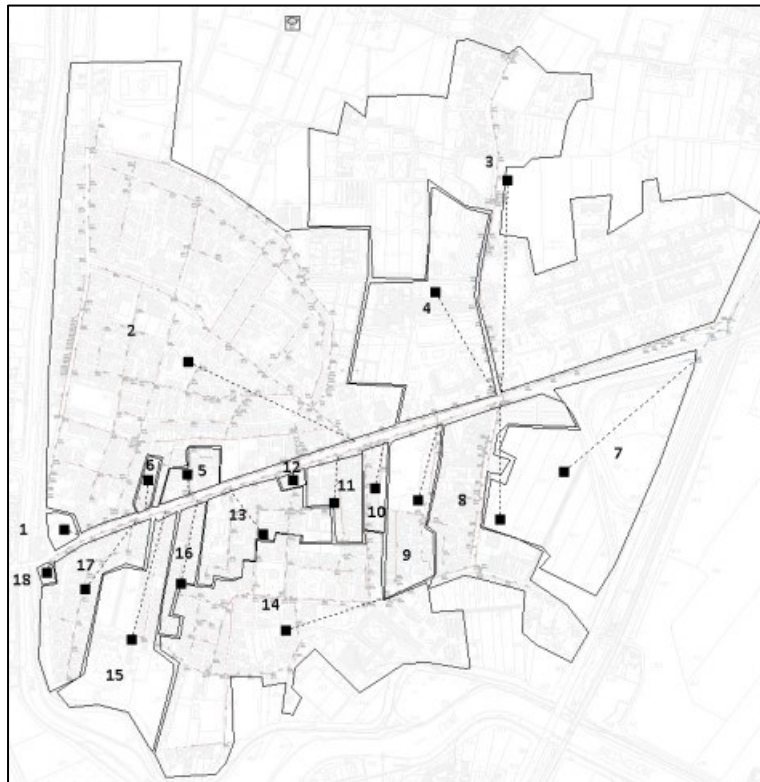


Figura 13 Suddivisione in sottobacini

---

<sup>12</sup> **GIS:** Geographic Information System.

<sup>13</sup> **Scabrezza di Manning:** coefficiente  $n$  nella formula per il calcolo della portata:

$Q = A \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{i}$ , dove  $A$  indica l'area della sezione liquida,  $R_h$  il raggio idraulico e  $i$  la pendenza della linea piezometrica e, per estensione, della linea dell'energia.



Tabella 4 Aree dei sottobacini

Sottobacino	Area Ha
1	0,628
2	47,498
3	39,000
4	8,000
5	1,230
6	0,956
7	14,000
8	7,600
9	3,290
10	1,190
11	1,200
12	0,100
13	4,070
14	18,942
15	6,400
16	1,290
17	3,698
18	0,217
<b>Totale</b>	<b>159,309</b>



## 4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

### 4.1 VIA MERLIN E VIA SANTI FABIANO E SEBASTIANO

L'intervento ha inizio in via Merlin dal pozzetto P0, dove alla condotta preesistente DN 800 mm ne verrà collegata una nuova avente le medesime dimensioni e che arriverà fino al pozzetto P5, in via Santi Fabiano e Sebastiano (Figura 14). In questo tratto l'opera risulta ancora in costruzione, poiché sono necessarie delle modifiche progettuali per la presenza di sottoservizi non dichiarati. Le quote definite in fase di progetto verranno probabilmente incrementate di circa 40-50 cm.

Nel pozzetto P1.1 è previsto uno stramazzo che genera un salto idraulico di 30 cm (Figura 15). La condotta posizionata alle quote progettuali avrebbe causato delle interferenze con l'acquedotto (tra P0 e P1 e in prossimità di P5) e con la fognatura preesistente in P5.1 (Figura 16, Figura 17); queste problematiche saranno comunque presenti anche con uno scavo meno profondo. Infine, a ovest del ponte in muratura, il DN 800 verrà collegato al fosso Duca degli Abruzzi con una porta a vento, per evitare il ritorno delle acque fognarie o l'intrusione di animali (Figura 18, Figura 19).

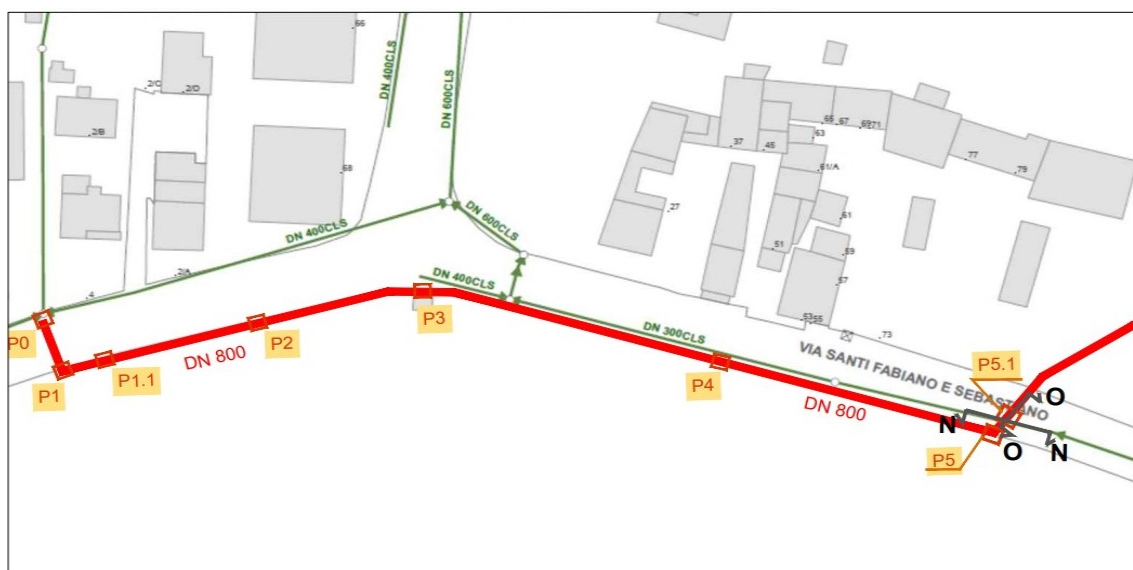


Figura 14 Intervento in via Merlin e in via Santi Fabiano e Sebastiano

4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

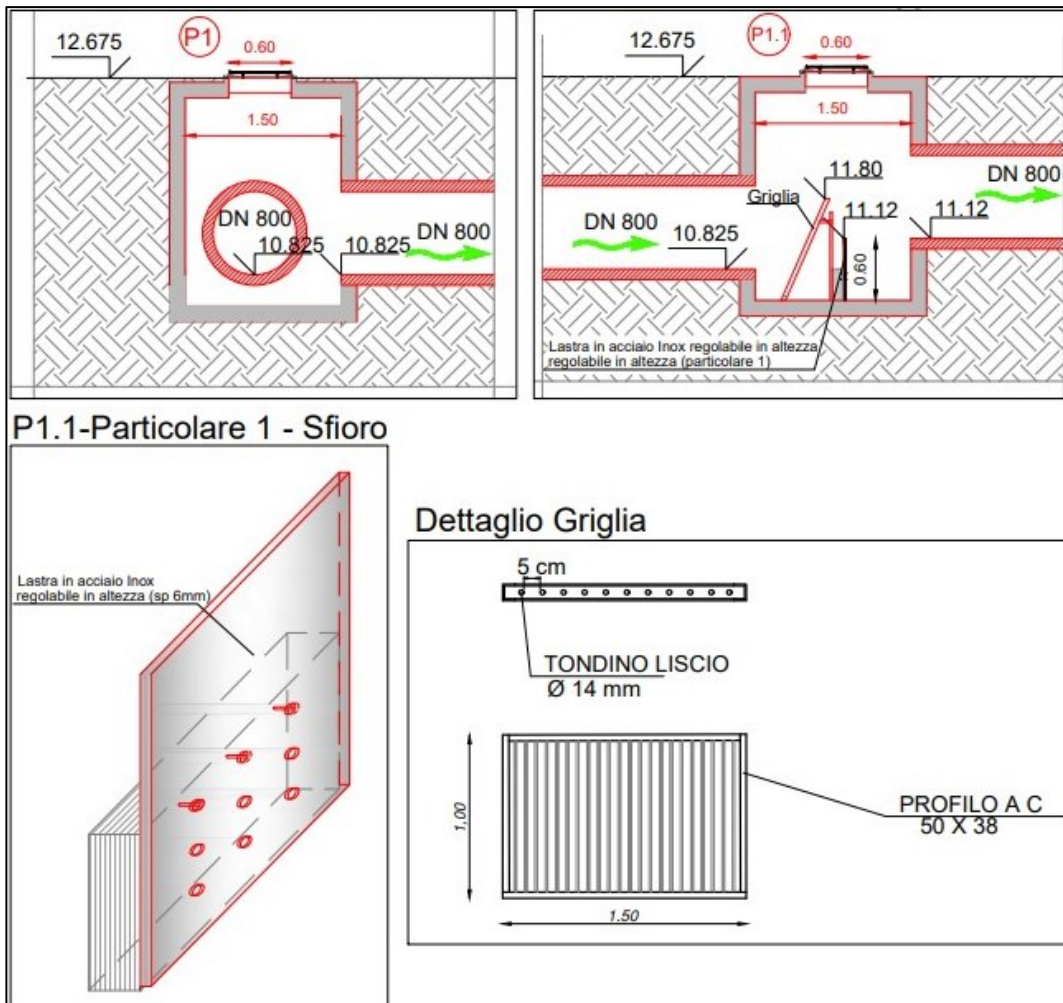


Figura 15 Sezioni di P1 e P1.1; particolare di P1.1

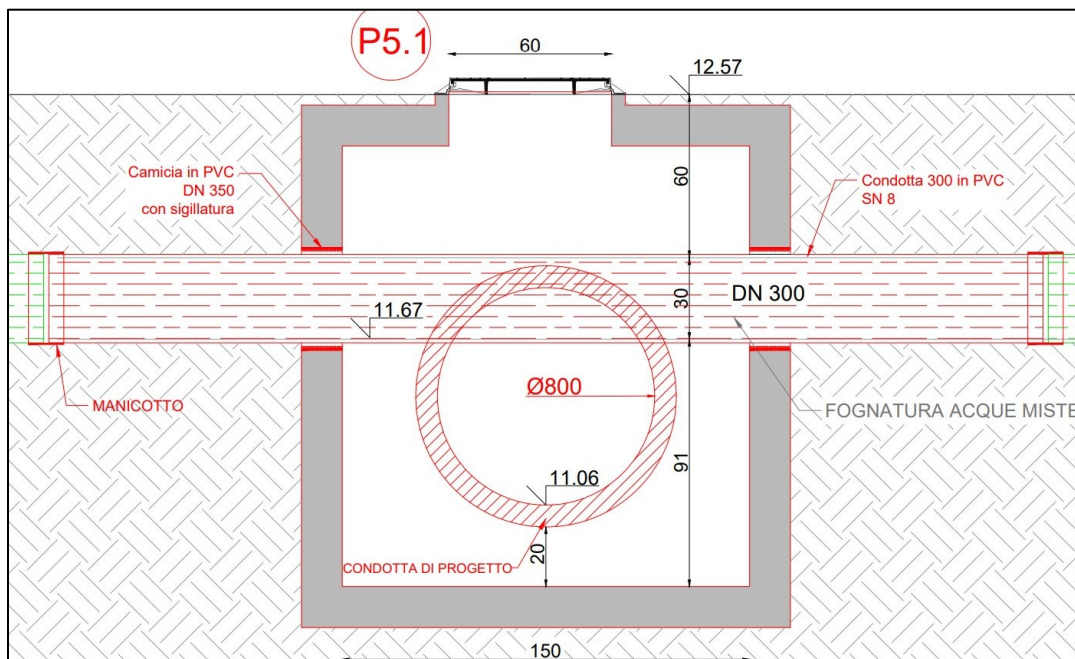


Figura 16 Sezione 1 di P5.1

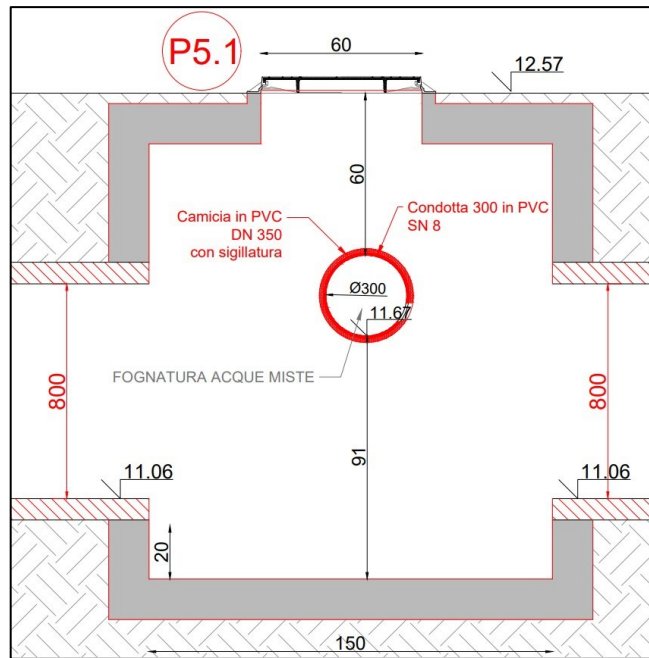


Figura 17 Sezione 2 di P5.1

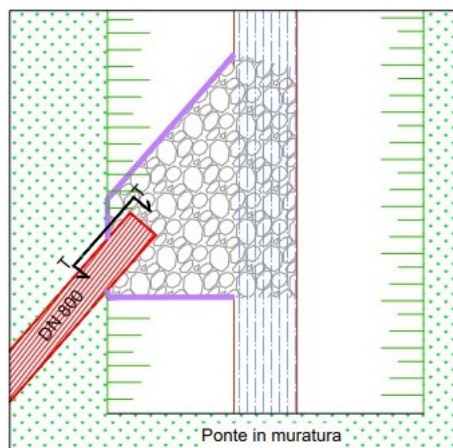


Figura 18 Planimetria del collegamento con il fosso Duca degli Abruzzi

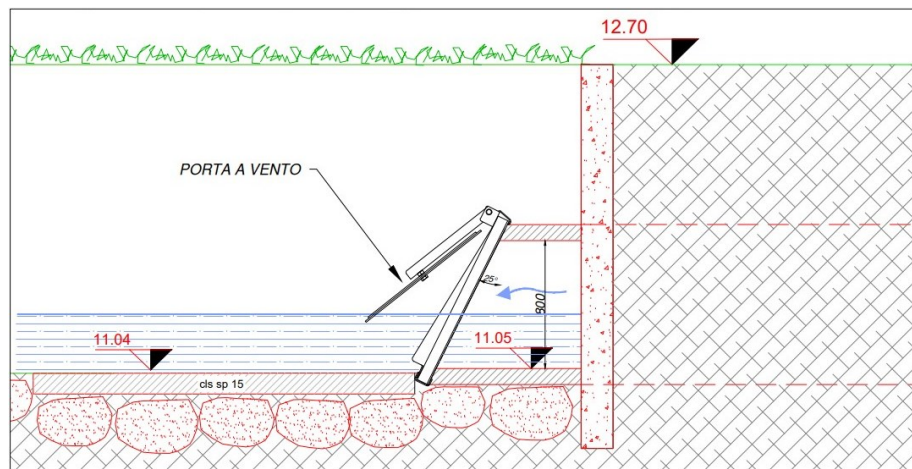


Figura 19 Sezione del collegamento con il fosso Duca degli Abruzzi

## 4.2 FOSSO DUCA DEGLI ABRUZZI

Per un corretto deflusso delle acque meteoriche, il fosso Duca degli Abruzzi è stato approfondito. La parte iniziale (a sud) è collegata sia con la rete fognaria, che con un impianto di derivazione irrigua proveniente dal fiume Bacchiglione (Figura 20). Il fosso attraversa gli svincoli stradali della tangenziale e l'operazione di scavo ha reso necessaria la demolizione di tutte le condotte dei passaggi carrai (Figura 21), poiché si trovavano a una quota notevolmente superiore rispetto al nuovo fondo del fosso. I nuovi attraversamenti carrai hanno condotte DN 1000 mm. La posa delle condotte tra i punti 5-6 e 9-10 è avvenuta mediante tecnica microtunnelling<sup>14</sup>.

Il Consorzio di Bonifica ha fatto posare un cavidotto che collega la derivazione irrigua proveniente dal fiume Bacchiglione con il bacino di laminazione, seguendo lo sviluppo del fosso Duca degli Abruzzi. Il cavidotto servirà in futuro per l'automazione dell'opera e per un suo utilizzo anche in situazioni di siccità.

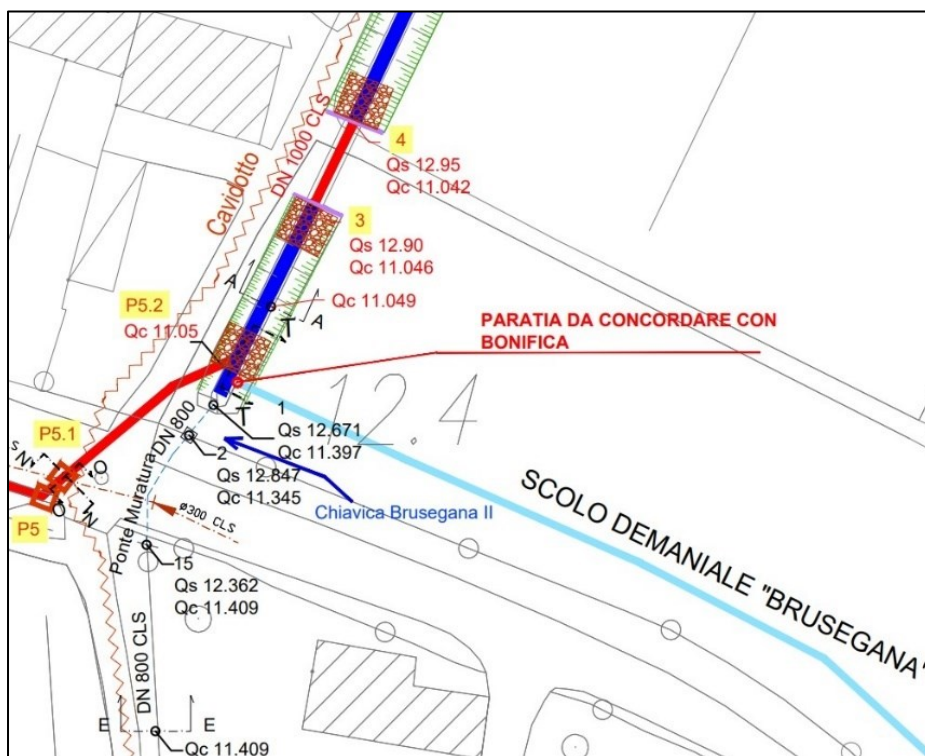


Figura 20 Planimetria 1 del fosso Duca degli Abruzzi

<sup>14</sup> **Microtunnelling:** tecnica di perforazione e spinta utilizzata per la posa di condotte, che non richiede la realizzazione di scavi a cielo aperto.

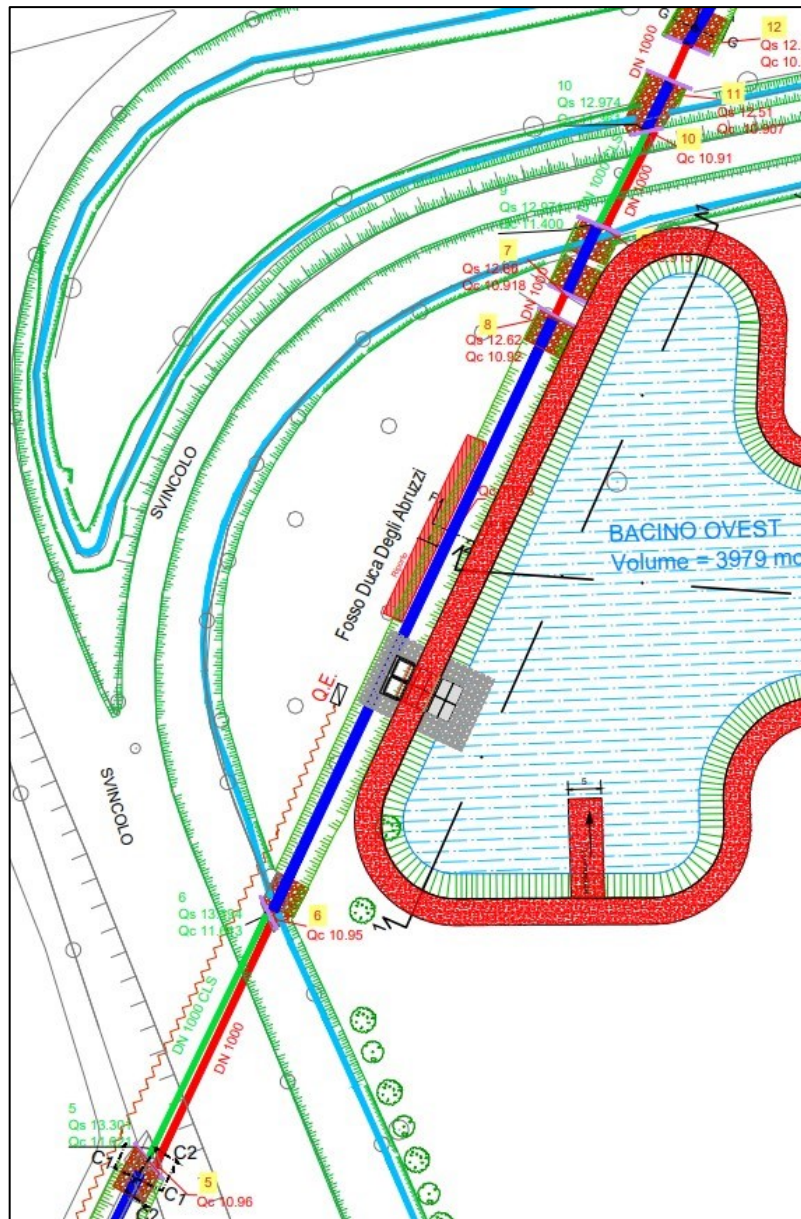


Figura 21 Planimetria 2 del fosso Duca degli Abruzzi

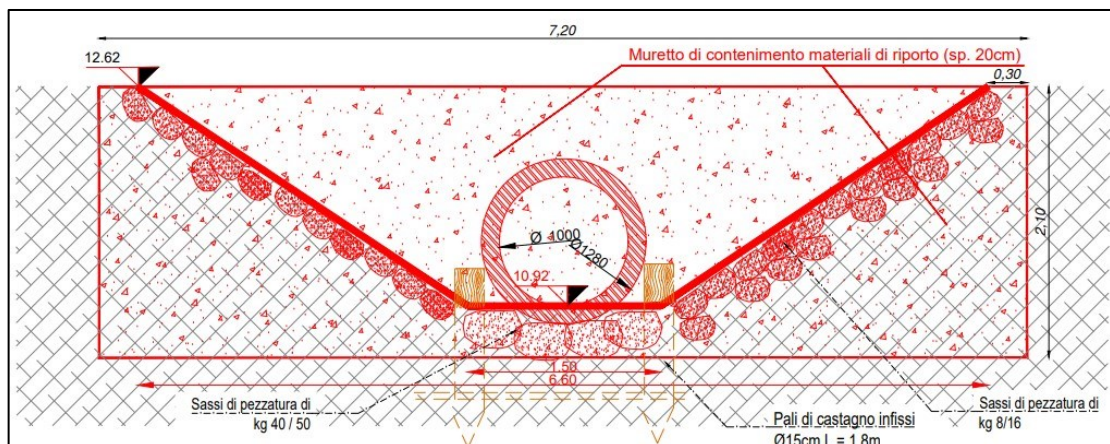


Figura 22 Prospetto dell'attraversamento carraio nel punto 8

#### 4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

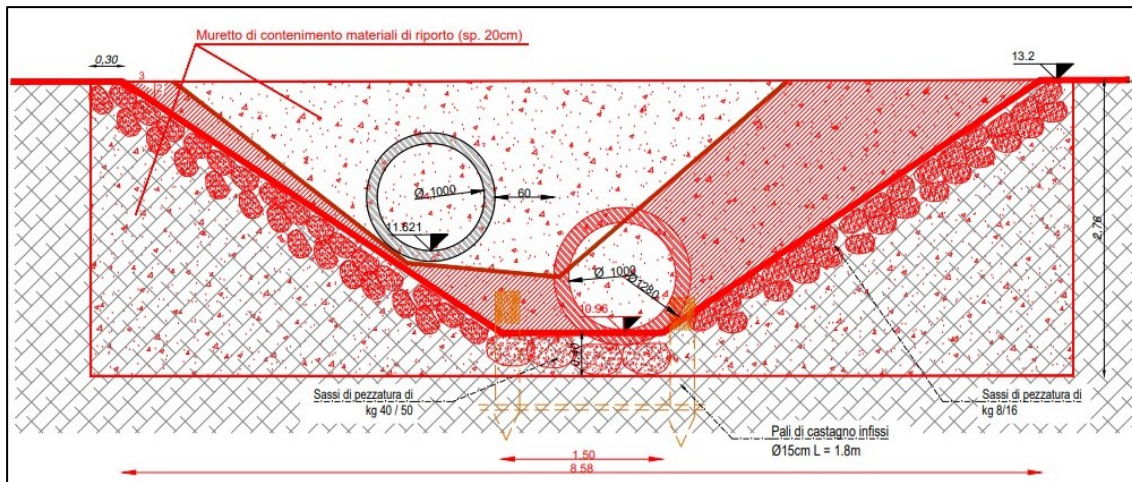


Figura 23 Sezione C1-C1

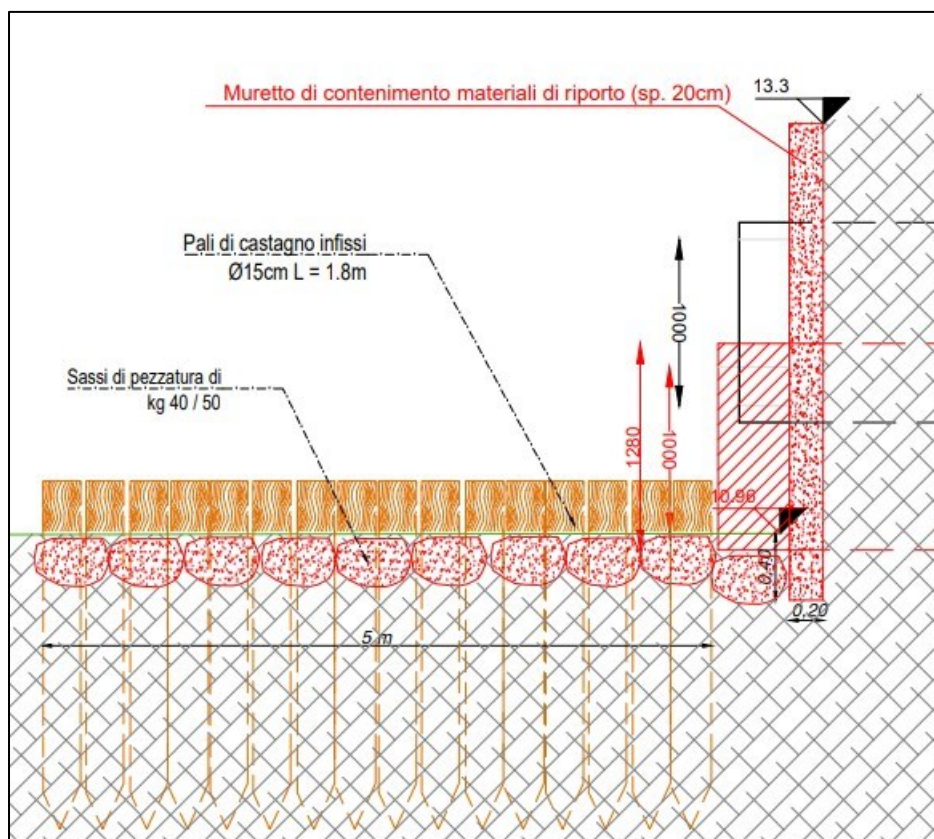


Figura 24 Sezione C2-C2

A nord il fosso si collega alla condotta preesistente in via dei Colli (Figura 25, Figura 26). In base all'intensità dell'evento meteorico, il tratto terminale del fosso che va dal bacino di laminazione a via dei Colli può far defluire l'acqua in un senso o nell'altro. Per fenomeni di intensità ridotta, l'acqua defluisce da sud verso nord (verso via dei Colli). Quando invece si verificano precipitazioni eccezionali, l'acqua defluisce da nord verso sud (verso il bacino);



questo comportamento implica che anche la condotta di via dei Colli generi portata da laminare. In questo punto è stato necessario collocare un manufatto particolare, composto da:

- quattro fori DN 150 mm con porta a vento;
- uno stramazzo a quota 11.10 m s.m.m.

I fori fanno defluire l'acqua da sud verso nord (funzionamento in condizioni normali), permettendo anche il vuotamento del bacino. Lo stramazzo assume un ruolo fondamentale quando si verificano fenomeni eccezionali e l'acqua scorre da nord verso sud (le porte a vento dei fori si chiudono). Esso genera un salto idraulico che serve a garantire una diluizione delle acque miste provenienti da via dei Colli di almeno  $5Q_n$ .

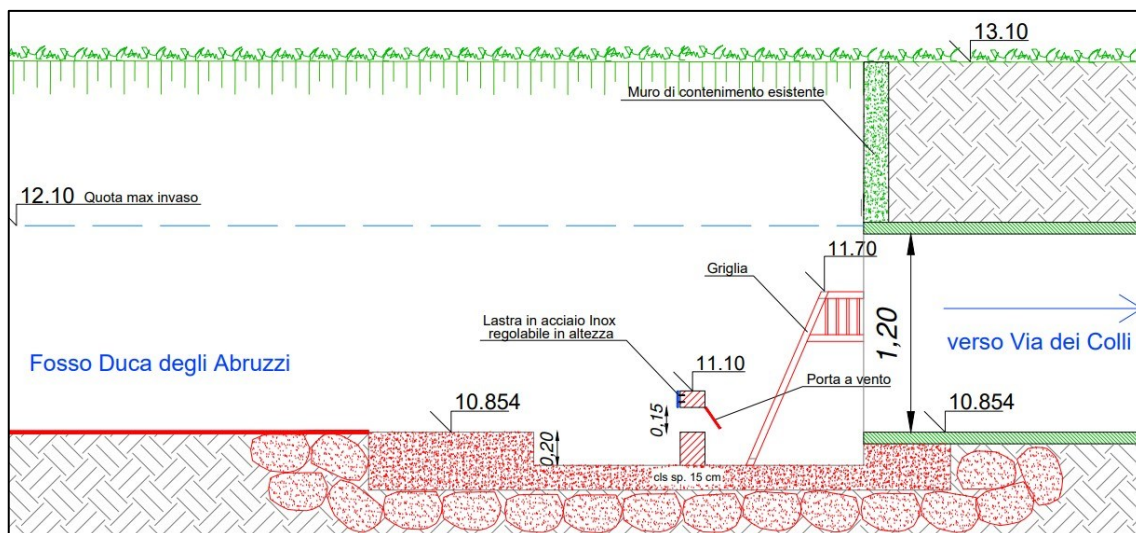


Figura 25 Sezione 1 del collegamento con via dei Colli

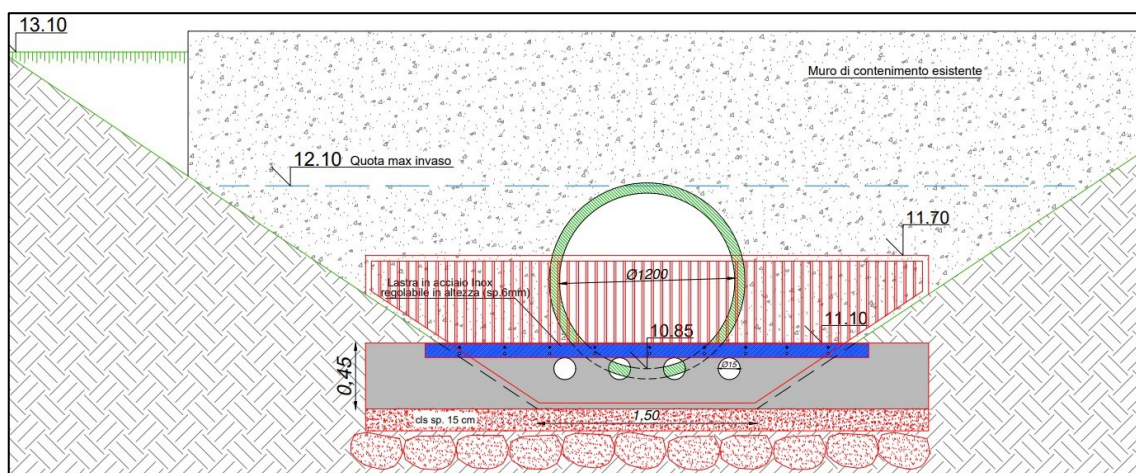


Figura 26 Sezione 2 del collegamento con via dei Colli

## 4.3 BACINI DI LAMINAZIONE

Durante le fasi di scavo, sono stati ritrovati residui di tubazioni in cemento amianto. A causa dell'inquinamento del sito, l'area destinata alla laminazione è stata spostata verso nord, dove non è presente amianto. La modifica progettuale ha previsto la realizzazione di due bacini di dimensioni minori, collegati tramite tre condotte DN 1200 mm. È stato necessario scavare due invasi al posto di uno unico, poiché al centro del sito è stata costruita una strada, che consente l'accesso alla parte sud per la manutenzione dell'area verde. Anche se sono stati realizzati due bacini, il funzionamento idraulico è equivalente a quello del primo progetto. La quota massima di invaso è rimasta invariata, mentre il fondo dei bacini è stato alzato di 0,20 m per consentire il corretto vuotamento nel fosso Duca degli Abruzzi; per questo motivo il volume invasato risulta ridotto di 1550 m<sup>3</sup>.

Tabella 5 Dati degli invasi

	primo progetto	modifica
quota minima (m s.m.m.)	10,94	11,14
quota media (m s.m.m.)	11,06	11,26
quota pelo libero max invaso (m s.m.m.)	12,10	12,10
altezza media invaso (m)	1,04	0,84
volume invaso idrico (m <sup>3</sup> )	8300	6750 (3979 ovest + 2771 est)
volume fosso (m <sup>3</sup> )	1200	1200
volume totale (m <sup>3</sup> )	9500	7950
pendenza (%)	0,2	0,2

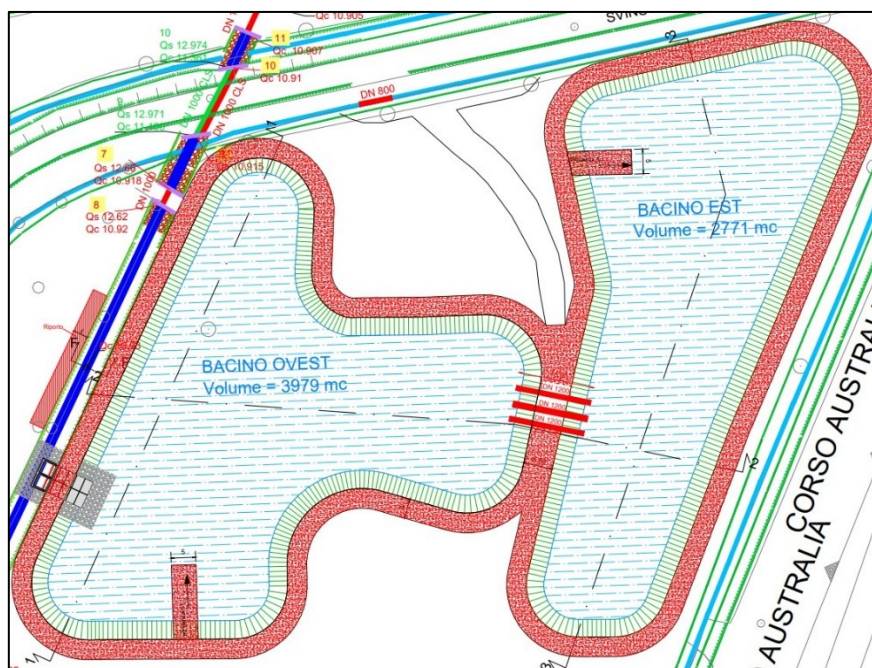


Figura 27 Planimetria dei bacini di laminazione

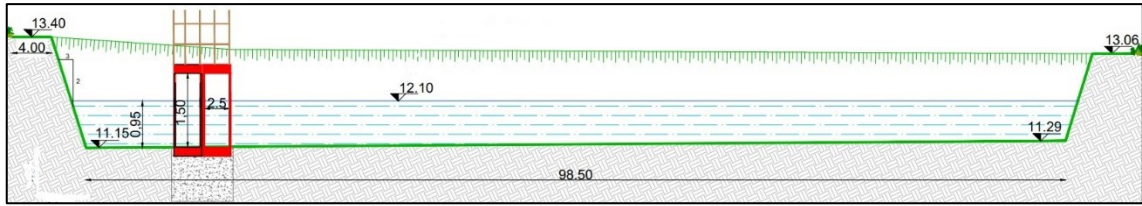


Figura 28 Sezione 1-1 dei bacini

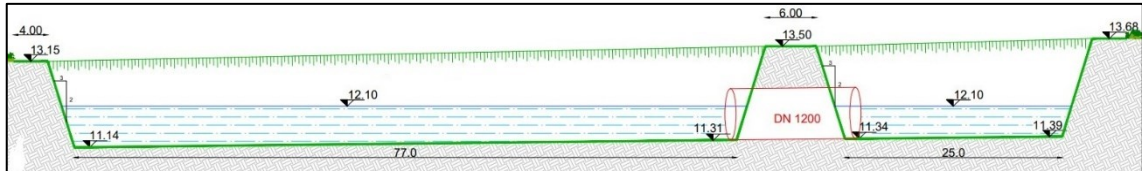


Figura 29 Sezione 2-2 dei bacini

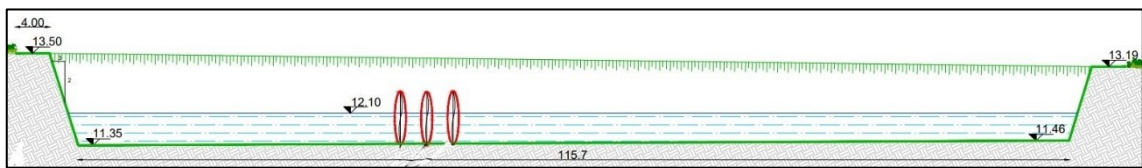


Figura 30 Sezione 3-3 dei bacini

#### 4.4 COLLEGAMENTO TRA FOSSO DUCA DEGLI ABRUZZI E BACINO OVEST

Il fosso Duca degli Abruzzi e il bacino ovest sono stati collegati attraverso un'opera d'arte particolare, la quale rappresenta il nodo centrale dell'intervento in esame, poiché deve consentire sia il riempimento dell'invaso, che il vuotamento. Dopo il ritrovamento dell'amianto, il manufatto è stato completamente ridisegnato. Inizialmente era stato progettato come una struttura di calcestruzzo realizzata in opera e composta da:

- uno sfioratore di larghezza 3 m a quota 11,24 m s.m.m. (opera di presa);
- un foro DN 200 mm con porta a vento a quota 10,94 m s.m.m. (scarico);
- una paratia con apertura manuale, di larghezza 1,5 m (bypass).

Lo sfioratore avrebbe permesso il riempimento del bacino sia per la laminazione del picco di piena, che per l'utilizzo irriguo (acqua proveniente dal fiume Bacchiglione). Il foro era stato inserito nella parte inferiore dell'opera per vuotare gradualmente il bacino; durante la fase di riempimento, la porta a vento si sarebbe chiusa. La paratoia era stata pensata come un sistema di bypass ad attivazione manuale; avrebbe potuto svolgere sia la funzione assegnata allo sfioratore che quella assegnata al foro.

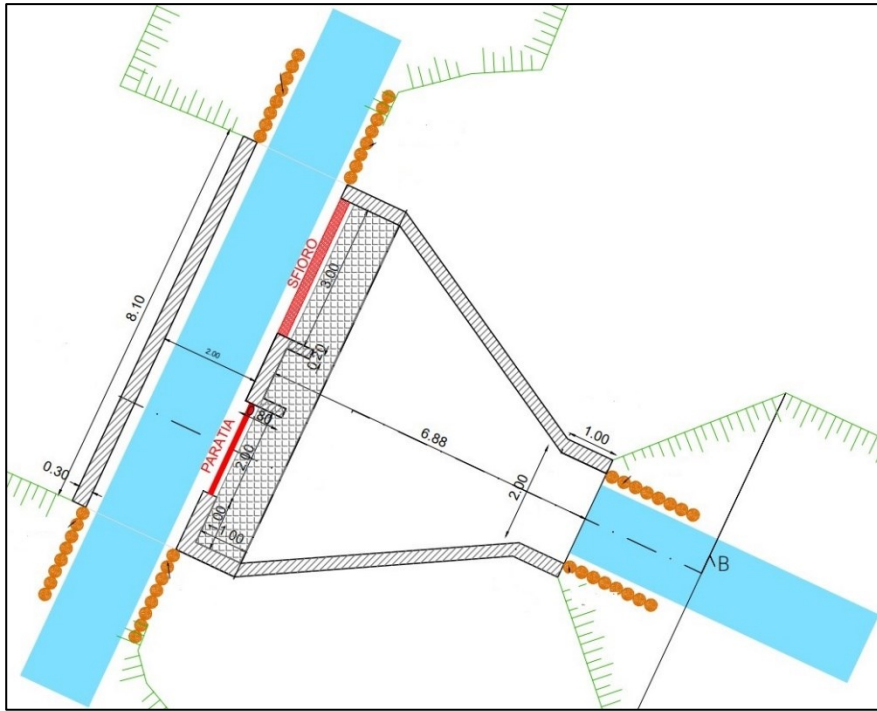


Figura 31 Planimetria del collegamento, primo progetto

La modifica progettuale (Figura 33, Figura 34, Figura 35) ha semplificato tale collegamento, il quale è ora composto da due file parallele di scatolari prefabbricati, ciascuno di larghezza pari a 2,5 m (Figura 32). Di conseguenza, l'imbocco ha mantenuto la sua dimensione iniziale di 5 m. A causa della riduzione del volume d'acqua invasato, la quota di sfioro è stata alzata di 0,20 m, a 11,44 m s.m.m. Tale quota è modificabile manualmente dagli operatori del Consorzio, grazie allo spostamento manuale di panconi, che sostituiscono la paratia.



Figura 32 Scatolare utilizzato

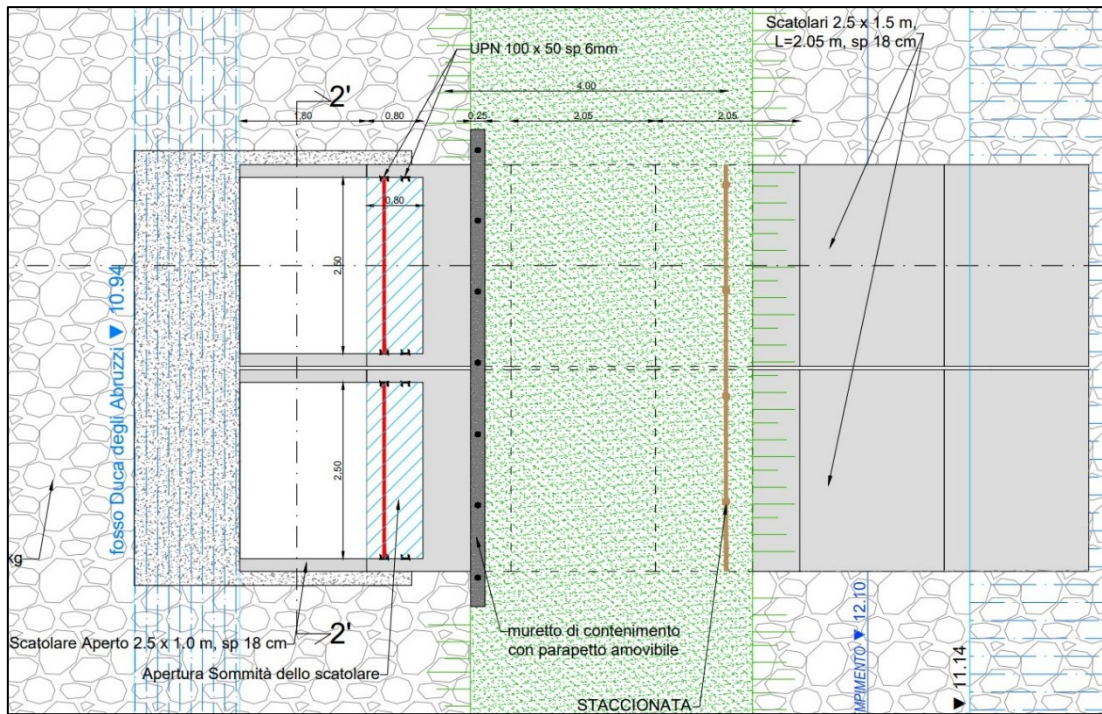


Figura 33 Planimetria del nuovo collegamento

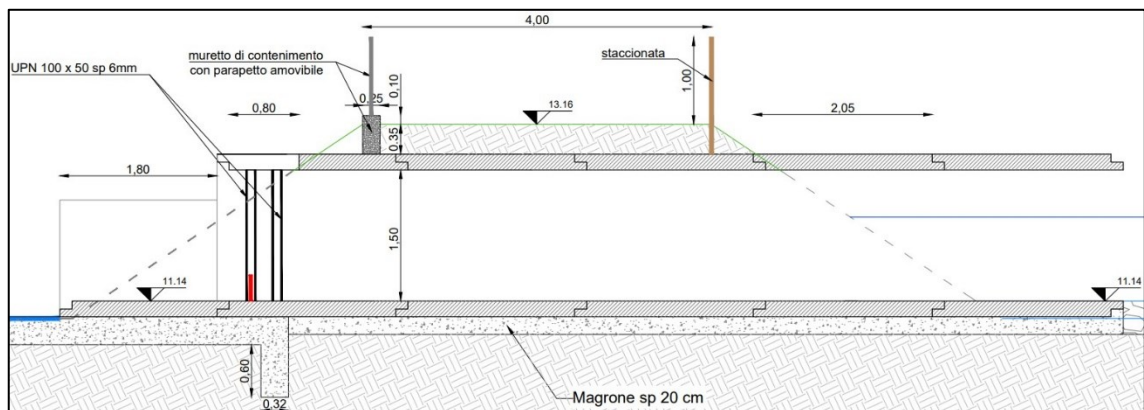


Figura 34 Sezione 1'-1' del manufatto di collegamento

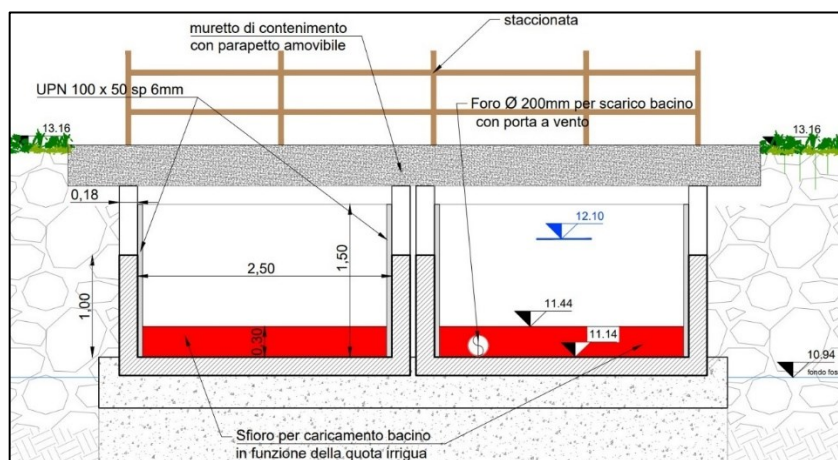


Figura 35 Sezione 2'-2' del manufatto di collegamento



## 5. CONCLUSIONI

L'oggetto di questo lavoro di tesi è il nuovo bacino di laminazione a servizio della rete di drenaggio delle acque meteoriche nel quartiere Brusegana, in Comune di Padova. Ad oggi, l'opera si trova nelle fasi finali della sua realizzazione, e per questo motivo non è ancora possibile riportare osservazioni sul suo reale funzionamento. L'elaborato di tesi, perciò, dopo un breve inquadramento delle tematiche generali relative all'intervento, ha riportato i principali aspetti del progetto del bacino di laminazione.

Per quanto riguarda l'attività di modellazione a supporto del progetto, grazie all'utilizzo del software SWMM è stato riprodotto il funzionamento della rete preesistente (Figura 36, Figura 37), e di quella di progetto, con il nuovo bacino (Figura 38, Figura 39), in risposta ad eventi meteorici di durata pari a un'ora. Dalle simulazioni si può notare che la nuova opera risulta efficace soprattutto per la laminazione di precipitazioni uniformi. Tuttavia, già per tempi di ritorno dell'ordine di 5-10 anni, la rete di drenaggio va in pressione; il tratto maggiormente in sofferenza si trova lungo via dei Colli. In presenza di una rete fognaria così sottodimensionata, ci si aspetta che il bacino possa portare miglioramenti solo parziali alla situazione attuale. La sua utilità è invece chiaramente apprezzabile a valle, a partire dallo scolo Manicomio-Cimitero.

Un aspetto certamente positivo dell'opera esaminata è che essa potrà subire successive modifiche, al fine di ottimizzare ulteriormente il funzionamento della rete attuale. Inoltre, il bacino è stato costruito in una zona isolata rispetto agli edifici residenziali ed eventuali nuovi lavori non causeranno disagi alla collettività. I primi due interventi potrebbero focalizzarsi sul completamento del cavidotto già predisposto, per rendere automatizzato il funzionamento del bacino, e sul potenziamento della rete di drenaggio in via dei Colli. Per migliorare il deflusso delle acque meteoriche, il tratto più in sofferenza potrebbe essere collegato direttamente al bacino tramite una nuova condotta, replicando quanto già eseguito in via Merlin.

Infine, il bacino potrebbe risultare utile per mitigare gli effetti della siccità, utilizzando l'acqua invasata per irrigare le aree agricole limitrofe. In corrispondenza del manufatto tra il fosso Duca degli Abruzzi e il bacino ovest, bisognerebbe chiudere lo scarico di fondo (DN 200 mm) con una saracinesca. Per evitare che l'acqua prosegua verso via dei Colli e superi il bacino senza

venire invasata, si potrebbe inserire un'opera d'arte particolare come, ad esempio, una paratia subito a valle del manufatto. Il riempimento dell'invaso potrebbe avvenire grazie a fenomeni meteorologici antecedenti il periodo di siccità, oppure grazie all'acqua proveniente dal fiume Bacchiglione, tramite l'impianto di derivazione già esistente (Figura 9). Attualmente, tale impianto preleva l'acqua per scopi irrigui e per la regolazione del livello e della qualità delle acque nei canali di bonifica: in tempo asciutto, tramite il fosso Duca degli Abruzzi, l'acqua viene indirizzata verso lo scolo Manicomio-Cimitero e il collettore Fossa Bastioni. Lo scolo proveniente dall'impianto si collega al fosso Duca degli Abruzzi in prossimità della nuova condotta DN 800 mm di via Santi Fabiano e Sebastiano (Figura 20); affinché il nodo funzioni correttamente, verrà inserita una porta a vento sulla condotta (Figura 19) e una paratia all'inizio del fosso.

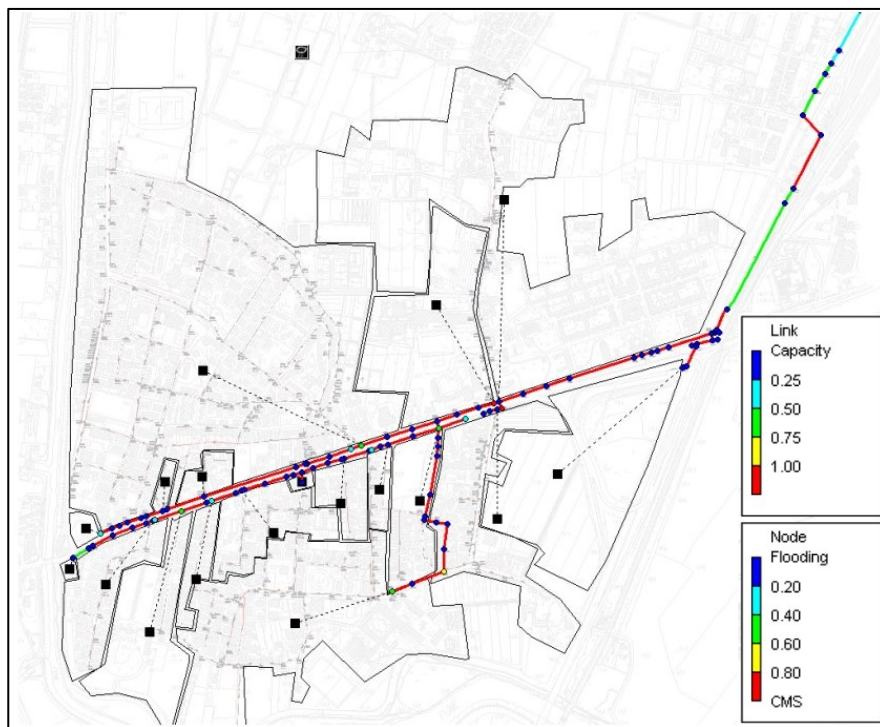


Figura 36 Risposta della rete preesistente,  $Tr=5$  anni



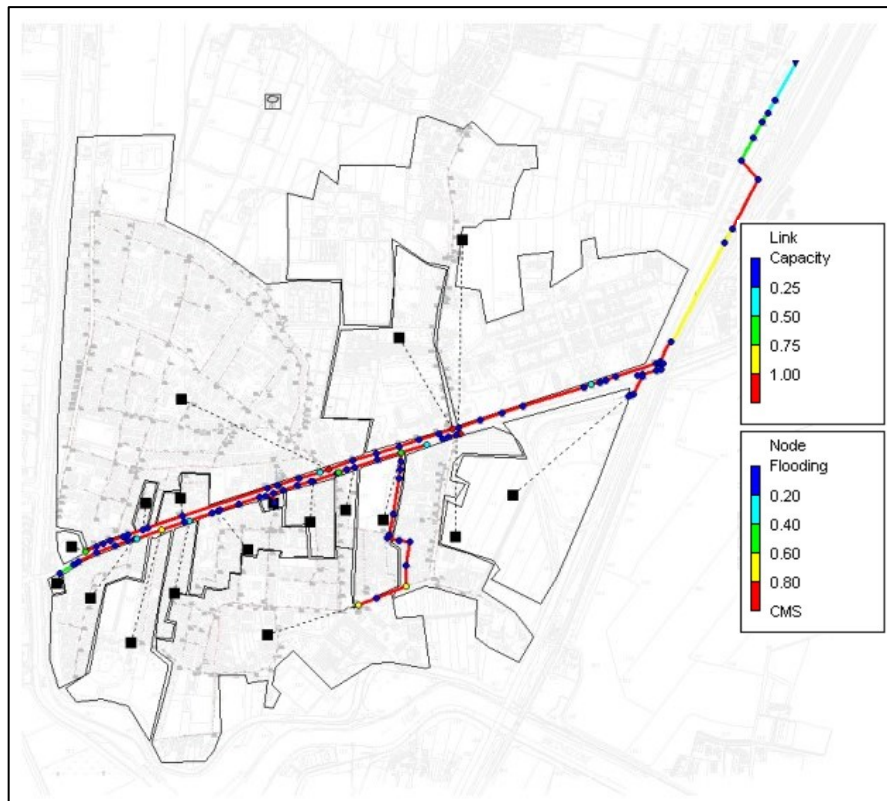


Figura 37 Risposta della rete preesistente,  $Tr=50$  anni e pioggia uniforme

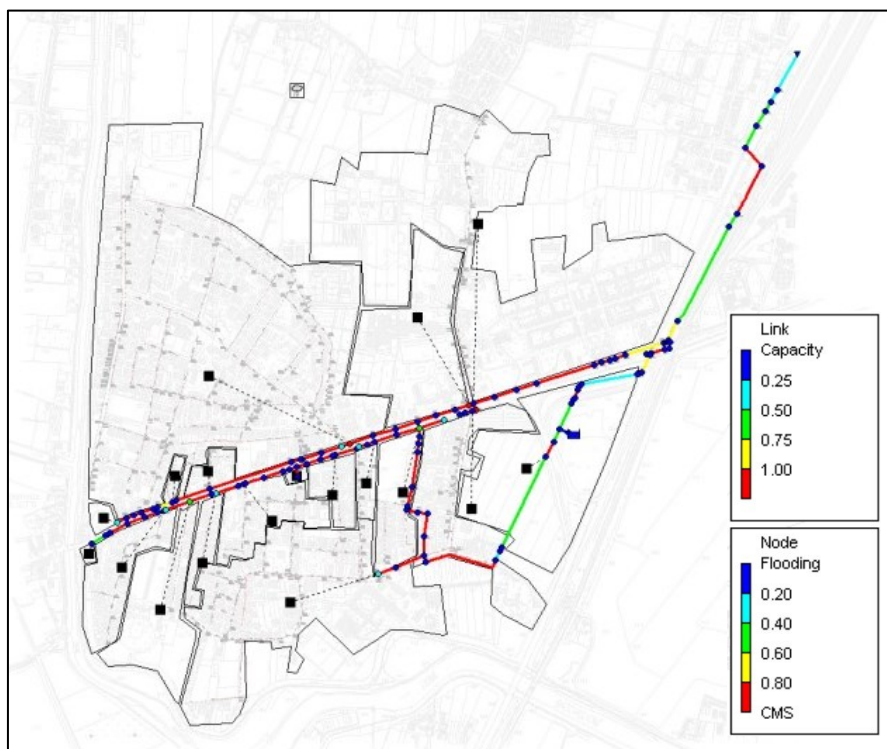


Figura 38 Risposta della rete con il nuovo bacino,  $Tr=5$  anni

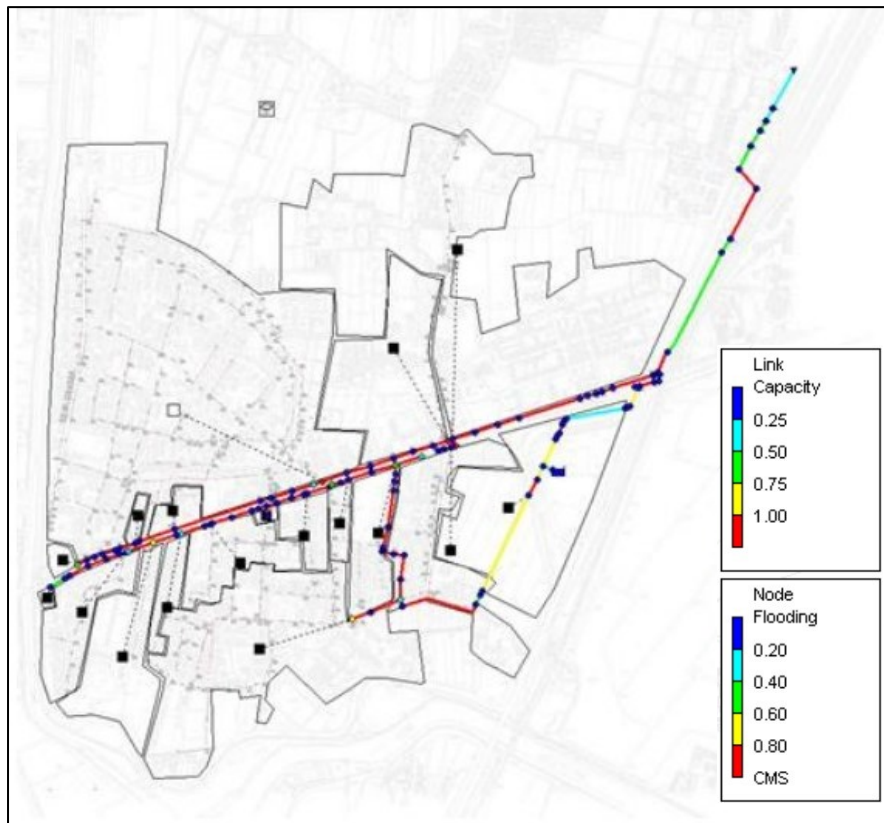


Figura 39 Risposta della rete con il nuovo bacino,  $Tr=50$  anni e pioggia uniforme

# BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Michele Mossa, Antonio Felice Petrillo, *Idraulica*, Casa Editrice Ambrosiana, 2018;
- Luigi Da Deppo, Claudio Datei, *Fognature*, Edizioni Progetto, Padova, 2020;
- Appunti e dispense dalle lezioni del corso di Idraulica, Prof. Andrea Defina, Prof. Daniele Pietro Viero, A.A. 2020/21;
- Appunti e dispense dalle lezioni del corso di Misure e Controlli Idraulici, Prof. Daniele Pietro Viero, Prof. Paolo Peruzzo, A.A. 2021/22;
- Appunti e slides dalle lezioni del corso di Costruzioni Idrauliche, Prof. Pietro Teatini, Prof. Paolo Salandin, A.A. 2021/22;
- Progetto esecutivo *Realizzazione degli invasi di laminazione del bacino Brusegana*, settore Lavori Pubblici del Comune di Padova, Ing. Carlo Fortini, 2021;
- Perizia di variante, richiesta integrativa di parere idraulico *Realizzazione degli invasi di laminazione del bacino Brusegana*, settore Lavori Pubblici del Comune di Padova, Ing. Carlo Fortini, 2022;
- <https://www.isprambiente.gov.it/it>;
- <https://www.padovanet.it>;
- <https://www.padovaoggi.it>;
- [https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/precmax/0234\\_M.htm](https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/precmax/0234_M.htm);
- <http://daad.wb.tu-harburg.de>.



## SOMMARIO DELLE FIGURE

Figura 1 Allagamenti in via dei Colli, giugno 2018.....	2
Figura 2 Suolo consumato 2021, percentuale sul territorio amministrativo .....	4
Figura 3 Diagramma della portata defluita .....	5
Figura 4 Schema di un bacino di laminazione .....	7
Figura 5 Zone a rischio idraulico .....	9
Figura 6 Legenda .....	9
Figura 7 Ospedale dei Colli.....	11
Figura 8 Sottobacini idrografici del Comune di Padova .....	12
Figura 9 Area d'intervento .....	13
Figura 10 Area bacino di laminazione .....	14
Figura 11 Curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora, ARPAV .....	16
Figura 12 Curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata superiore all'ora, ARPAV .....	17
Figura 13 Suddivisione in sottobacini.....	18
Figura 14 Intervento in via Merlin e in via Santi Fabiano e Sebastiano .....	21
Figura 15 Sezioni di P1 e P1.1; particolare di P1.1.....	22
Figura 16 Sezione 1 di P5.1 .....	22
Figura 17 Sezione 2 di P5.1 .....	23
Figura 18 Planimetria del collegamento con il fosso Duca degli Abruzzi.....	23
Figura 19 Sezione del collegamento con il fosso Duca degli Abruzzi.....	23
Figura 20 Planimetria 1 del fosso Duca degli Abruzzi .....	24
Figura 21 Planimetria 2 del fosso Duca degli Abruzzi .....	25
Figura 22 Prospetto dell'attraversamento carraio nel punto 8 .....	25
Figura 23 Sezione C1-C1 .....	26
Figura 24 Sezione C2-C2.....	26
Figura 25 Sezione 1 del collegamento con via dei Colli.....	27
Figura 26 Sezione 2 del collegamento con via dei Colli.....	27
Figura 27 Planimetria dei bacini di laminazione.....	28

Figura 28 Sezione 1-1 dei bacini.....	29
Figura 29 Sezione 2-2 dei bacini.....	29
Figura 30 Sezione 3-3 dei bacini.....	29
Figura 31 Planimetria del collegamento, primo progetto.....	30
Figura 32 Scatolare utilizzato.....	30
Figura 33 Planimetria del nuovo collegamento.....	31
Figura 34 Sezione 1'-1' del manufatto di collegamento.....	31
Figura 35 Sezione 2'-2' del manufatto di collegamento.....	31
Figura 36 Risposta della rete preesistente, $Tr=5$ anni.....	34
Figura 37 Risposta della rete preesistente, $Tr=50$ anni e pioggia uniforme.....	35
Figura 38 Risposta della rete con il nuovo bacino, $Tr=5$ anni.....	35
Figura 39 Risposta della rete con il nuovo bacino, $Tr=50$ anni e pioggia uniforme.....	36

