

COMUNE DI ROVOLON

PROVINCIA DI PADOVA

P  
R  
O  
G  
E  
T  
T  
O

Oggetto: **LAVORI PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DEL TERRITORIO NELLA ZONA DEL CENTRO DI BASTIA E PER LA MESSA IN SICUREZZA DAL TRAFFICO VEICOLARE DELLA ZONA ANTISTANTE LA SCUOLA MATERNA PARROCCHIALE "SANT' ANTONIO"**

**PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO**

(art. 23 D. Lgs. 18 aprile 2016, n. 50)

Committente: **COMUNE DI ROVOLON**

(c.f. 80009910284)  
piazza G. Marconi, 1 - 35030 Rovolon (PD)

\_\_\_\_\_ *x il Comune di Rovolon*

Allegato:

**A.2**

RELAZIONE IDROLOGICA  
E IDRAULICA

Progettista: **MENALDO geom. CRISTIANO**

(c.f. MNL CST 70C10 G224K)  
Collegio dei Geometri della Provincia di Padova n. 3382

\_\_\_\_\_ *Il Tecnico*

Data: 10 gennaio 2022

Aggiornamenti:

Rif. inoltro pratica: prot. n. del



STUDIO INCARICATO:



Ing. Federico Valerio

IDEVA INGEGNERIA

SO. Via Veneto 13 - 31057 Silea (Tv)  
SL. Viale Udine 42 - 30026 Portogruaro (Ve)  
T. 0422.300683 | F. 041.8840113  
info@idevaingegneria.it

**STUDIO**

**35** C. F. 01800030288

STUDIO TECNICO ASSOCIATO Geometri Menaldo Cristiano e Levorin Stefano

Via Fabrizio De André, 4/1 - 35030 ROVOLON (PD) - telefono/fax 0499.910.260 (e-mail: cristiano.studio.3@gmail.com studio.3@gigapec.it)

**Comune di Rovolon**  
**PROVINCIA DI PADOVA**



**LAVORI PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DEL  
TERRITORIO NELLA ZONA DEL CENTRO DI BASTIA E PER LA  
MESSA IN SICUREZZA DAL TRAFFICO VEICOLARE DELLA ZONA  
ANTISTANTE LA SCUOLA MATERNA PARROCCHIALE  
"SANT'ANTONIO" IN COMUNE DI ROVOLON (PD)**  
**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**

**ALLEGATO A.2**

**RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA**

TECNICO INCARICATO (ASPETTI IDRAULICI):



*Ing. Federico Valerio*

*SL: viale Udine, 42 - 30026 Portogruaro (VE)*

*SO: via Veneto, 13 - 31057 Silea (TV)*

*T. 0422.300683 - F. 041.8840113*

DATA: 10 gennaio 202  
COMMESSA: 2127  
CODICE FILE: 2127-ROVOL-REL IDRAULICA E IDROLOGICA 220120  
ELABORATO: Relazione idrologica e idraulica N° 53 pagine + n.2 allegati



**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSE</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO</b>	<b>7</b>
3.1	<i>L'ambito di intervento e l'attuale sistemazione delle aree</i>	7
3.2	<i>Caratteri geopedologici</i>	7
3.3	<i>L'attuale assetto idraulico</i>	8
3.4	<i>Rilievo scolo Fossona nel tratto aperto e ispezione del tratto tombinato</i>	11
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>PARAMETRI IDRAULICI DI PROGETTO</b>	<b>19</b>
5.1	<i>Dati di pioggia e parametri di progetto</i>	19
<b>6</b>	<b>COMPATIBILITA' IDRAULICA DEGLI INTERVENTI</b>	<b>21</b>
6.1	<i>Analisi della trasformazione</i>	21
6.2	<i>Soluzione per lo smaltimento delle acque</i>	23
<b>7</b>	<b>DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA</b>	<b>25</b>
7.1	<i>Ietogramma netto</i>	25
7.2	<i>Separazione degli afflussi</i>	26
7.3	<i>Caratteristiche del sottobacino</i>	26
<b>8</b>	<b>IL MODELLO IDROLOGICO E IDRAULICO</b>	<b>29</b>
8.1	<i>Generalità sul software di calcolo EPA-SWMM</i>	29
8.2	<i>Descrizione della modellazione idraulica</i>	29
8.2.1	<i>Modellazione dello scolo</i>	29
8.2.2	<i>Modellazione dei sottobacini</i>	30
8.3	<i>Stima del tempo di corrivazione del bacino</i>	32
<b>9</b>	<b>RISULTATI DELLA SIMULAZIONE</b>	<b>34</b>
9.1	<i>Stato di fatto</i>	34
9.2	<i>Stato di progetto</i>	37
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>40</b>
<b>11</b>	<b>PRESCRIZIONI E INDICAZIONI OPERATIVE</b>	<b>43</b>

<b>12 APPENDICE - IL MODELLO SWMM</b>	<b>44</b>
12.1 Generalità	44
12.2 Descrizione matematica del modello di calcolo	45
12.3 Descrizione del processo fisico di formazione dei deflussi	49
<b>13 ALLEGATI</b>	<b>53</b>

## 1 PREMESSE

La presente *relazione idrologica e idraulica* costituisce allegato specialistico al Progetto Definitivo denominato *Lavori per la messa in sicurezza idraulica del territorio nella zona del centro di Bastia e per la messa in sicurezza dal traffico veicolare della zona antistante la Scuola Materna Parrocchiale "Sant'Antonio" in Comune di Rovolon (PD)*, redatto in data gennaio 2022 dallo Studio tecnico associato dei geometri Menaldo Cristiano e Levorin Stefano di Rovolon.

Tra gli interventi di progetto, come in seguito descritto al punto 4., si prevede il prolungamento dell'attuale tombinamento dello scolo consortile Fossona, per una estesa di 60 m, con la finalità della messa in sicurezza stradale del tratto di S.P. n.38 (via Albettoniera) antistante la Scuola materna Sant'Antonio, in località Bastia del Comune di Rovolon (Provincia di Padova).

Nella presente relazione specialistica si sviluppano allora i seguenti aspetti:

- A. la modellazione idrologica ed idraulica dello scolo Fossona, con l'obiettivo di stabilire un confronto tra la situazione allo stato di fatto e quella di progetto, in modo tale da valutare gli effetti indotti dal nuovo tombinamento del corso d'acqua e fornire le necessarie prescrizioni realizzative;
- B. la valutazione della compatibilità idraulica degli interventi ai fini dell'invarianza idraulica della trasformazione urbana connessa all'intervento.

Per quanto sopra premesso, con Determinazione N.R.G. 282 del 24/11/2021 lo scrivente Studio tecnico IDEVA Ingegneria di Ing. Valerio & associati ha ricevuto incarico dalla Amministrazione comunale di Rovolon per sviluppare le attività di:

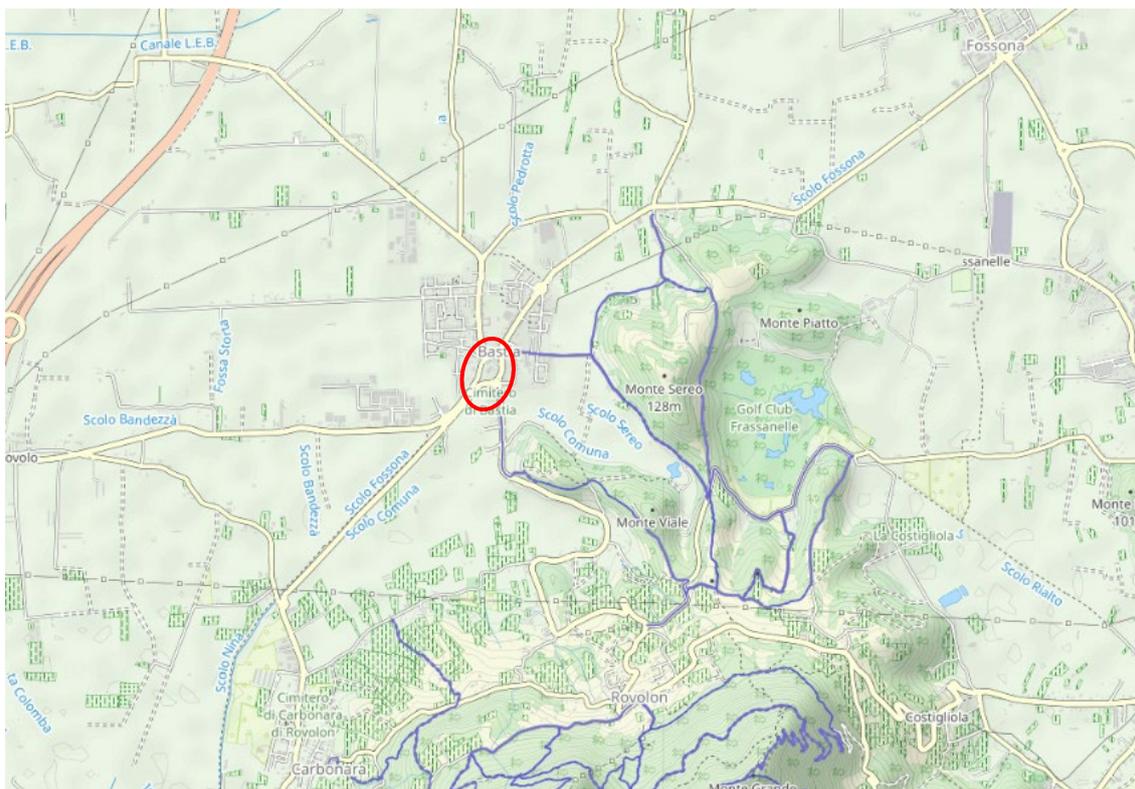
- rilievo strumentale dell'opera esistente (videoispezione e rilievo del tratto tombinato, rilievo topografico delle sezioni a monte ed a valle dello stesso)
- relazione di modellazione idraulica ai fini dell'acquisizione del parere di compatibilità idraulica inerente alla progettazione (modellazione idrologica e idraulica, valutazione di compatibilità idraulica dell'intervento, indicazioni operative inerenti al tratto tombato)

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'ambito di intervento è situato lungo Via Albettoniera, attraversante con direzione nord-est sud-ovest la frazione di Bastia di Rovolon, in Provincia di Padova. Nello specifico, l'area oggetto di intervento si estende a partire dallo sbocco del tombinamento scatolare dello Scolo Fossona, nei pressi della Parrocchia di Santa Maria della Neve. Di fronte è situata la Scuola materna Sant' Antonio.

Dal punto di vista idraulico la gestione delle acque superficiali nel Comune di Rovolon è affidata a 3 Consorzi di Bonifica: al Consorzio Brenta Bacchiglione compete la porzione orientale comunale, al Consorzio Adige Euganeo quella centro meridionale, infine al Consorzio Alta Pianura Veneta quella centro settentrionale. A quest'ultimo è affidata la gestione delle acque dello scolo demaniale Nina-Fossona, che corrisponde al confine consortile.

Di seguito si riporta l'inquadramento territoriale dell'area.



*Fig. 2.1: Inquadramento dell'area di intervento*

---

### **3 DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO**

---

#### ***3.1 L'ambito di intervento e l'attuale sistemazione delle aree***

L'ambito di intervento si estende per circa 150 m lungo lo scolo demaniale Fossona, a partire dallo sbocco dal tombotto esistente in corrispondenza del parcheggio parrocchiale e procedendo verso sud. In particolare l'area in cui verrà realizzato il nuovo tombinamento è situata di fronte alla Scuola materna Sant'Antonio, lungo il lato ovest di Via Albettoniera.

#### ***3.2 Caratteri geopedologici***

Osservando la "Carta dei Suoli" della Regione Veneto, il bacino scolante nel Fossona ricade, prevalentemente, nei seguenti tipi di suolo:

*CMS1/TRE1: suoli franco-sabbiosi a tessitura moderatamente grossolana, grossolana nel substrato, scarsamente calcarei, da subalcalini ad alcalini, drenaggio buono, falda da molto profonda a profonda; suoli franchi a tessitura media, grossolana nel substrato, non calcarei, scarsamente calcarei nel substrato, subalcalini in superficie, alcalini in profondità, drenaggio buono, falda da molto profonda a profonda.*

*MOG1: suoli franco-limosi a tessitura media, scarsamente calcarei, fortemente calcarei in profondità, alcalini, con accumulo di carbonati in profondità, drenaggio mediocre, falda profonda.*

*BCL1: suoli franco-limoso argillosi a tessitura moderatamente fine, da moderatamente calcarei in superficie a fortemente calcarei in profondità, alcalini, con accumulo di carbonati in profondità, drenaggio mediocre, falda da molto profonda a profonda.*

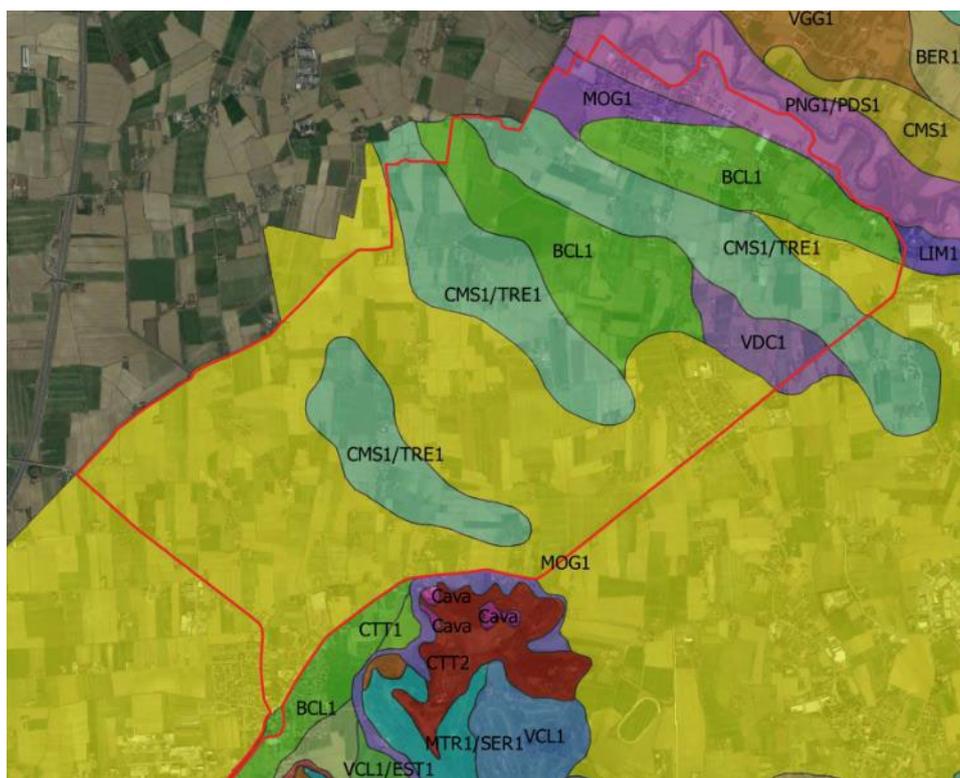


Fig. 3.1: Estratto della Carta dei Suoli della Regione Veneto – versione 2015: in rosso il bacino scolante nel Fosso

### 3.3 L'attuale assetto idraulico

Il sottobacino afferente allo Scolo Fossona appartiene al bacino dei Fiumi Leogra, Timonchio e Bacchiglione. Per quanto riguarda l'assetto idraulico del sottobacino, il tracciato planimetrico dei principali corsi d'acqua che lo attraversano e le loro direzioni di deflusso derivano da una dettagliata campagna di rilievo, ancora oggi in corso, che sarà riportata anche nelle carte del redigendo "Piano delle Acque".

In gran parte del territorio comunale la rete principale acque meteoriche è costituita da fossati a cielo aperto, che drenano i territori agricoli a nord dello scolo Fossona.

Il corso d'acqua scorre con direzione nord-est sud-ovest nella pianura compresa tra il Fiume Bacchiglione e i Colli Berici, mantenendosi sempre lungo il lato nord della S.P.38. Lungo il suo sviluppo di circa 7,5 km vien alimentato dalle acque di scoli minori, tra cui si ricordano i principali Scolo Cervarese-Fossona, il Fosso Stella, lo Scolo Colombina, lo Scolo Pedrotta e lo Scolo Campanella, che defluiscono da nord a sud attraversando territori agricoli. Alla confluenza con lo Scolo Bandezzà, il Fossona cambia denominazione in Scolo Nina che afferisce nel Bisatto all'altezza di Vò Euganeo.

Si riporta un estratto della rete idrografica principale afferente allo Scolo Fossona.

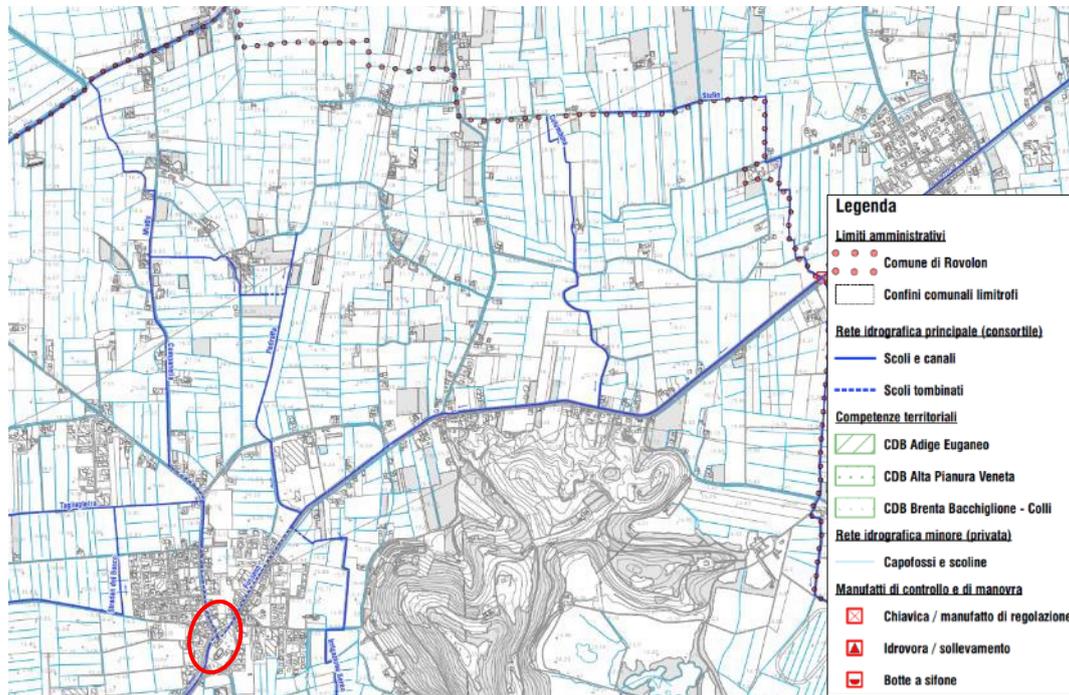


Fig. 3.2: Estratto della rete idraulica nel Comune di Rovolon: in rosso l'area di intervento

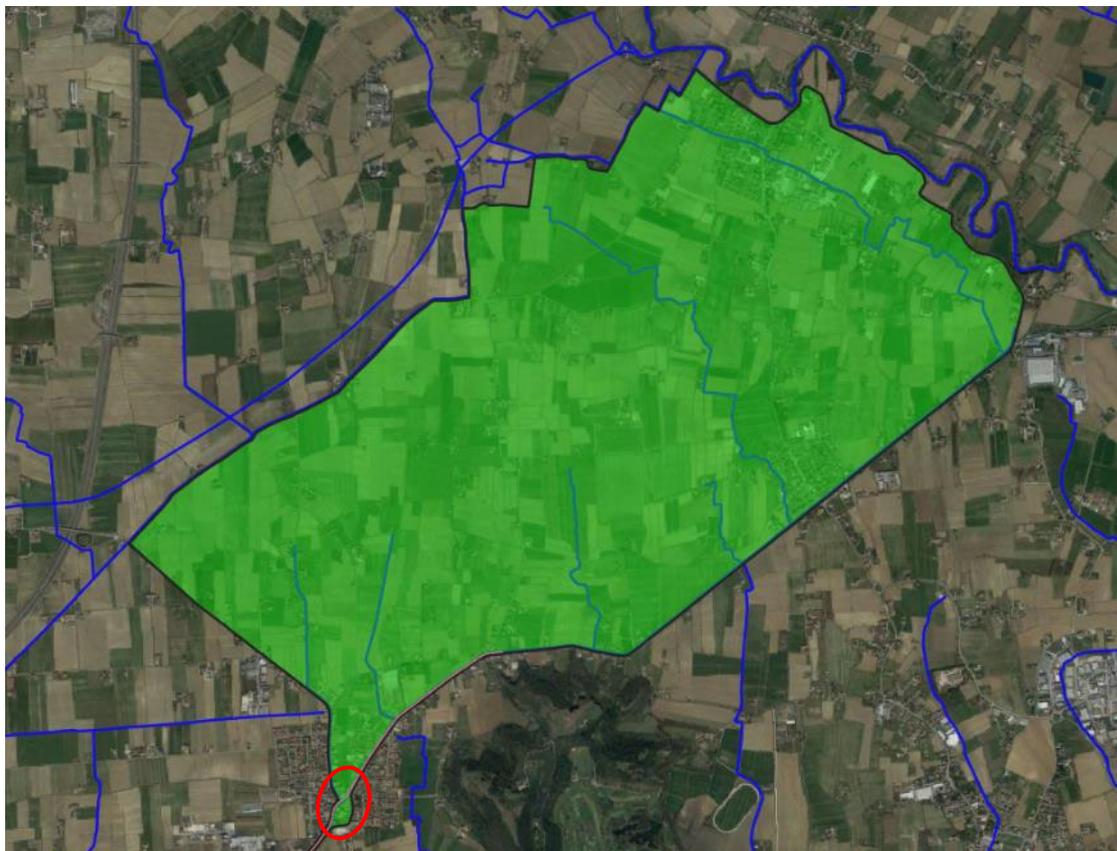


Fig. 3.3: Sottobacino idraulico afferente allo Scolo Fossona: in rosso l'area di intervento

Si riporta, infine, un estratto delle aree esondabili da Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) e a rischio idraulico da Piano Generale di Bonifica e Tutela del Territorio (P.G.B.T.T.) fornite dai Consorzi di Bonifica in occasione della stesura del "Piano delle Acque".

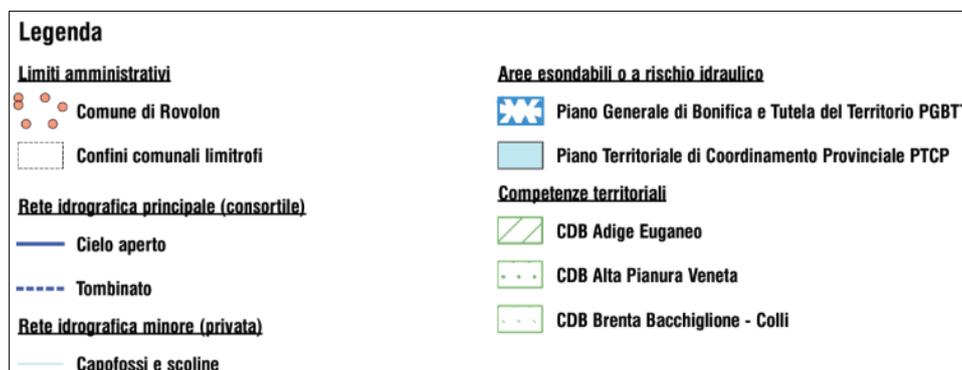
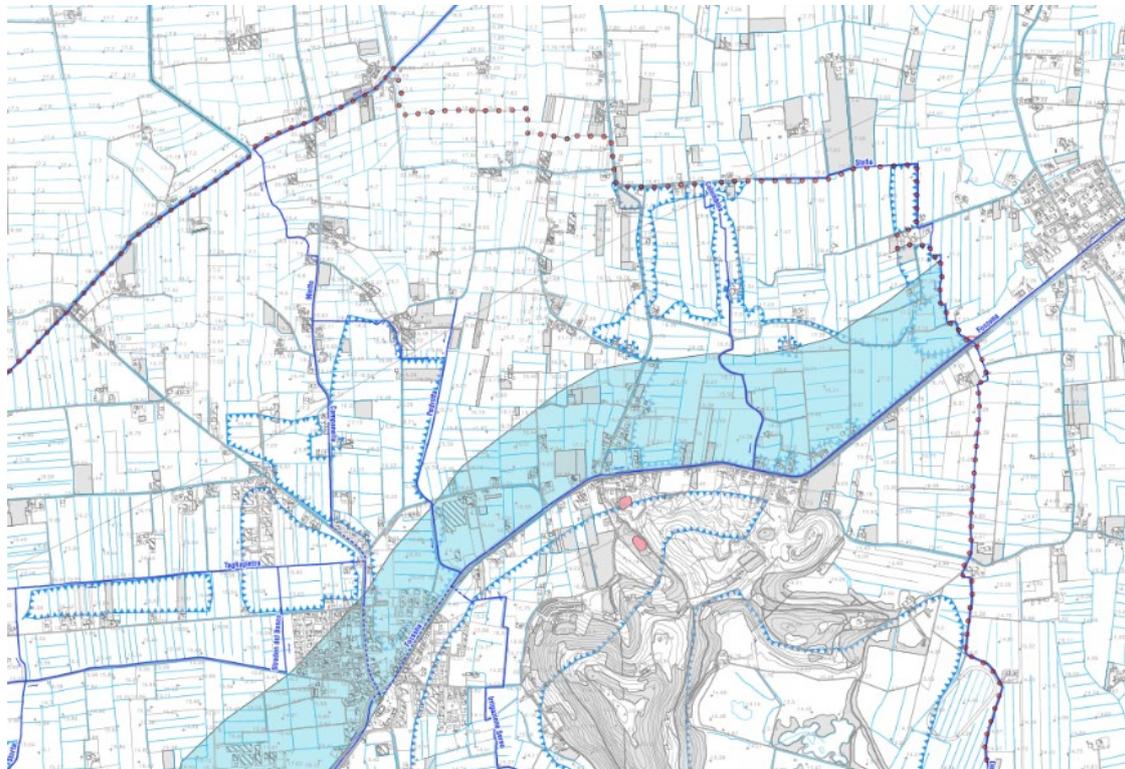


Fig. 3.4: Estratto della carta del rischio idraulico e degli allagamenti

Dall'estratto si evince che l'area in destra idraulica dello Scolo Fossona è classificata come esondabile o a ristagno idraulico. Gli scoli che attraversano questo territorio, infatti, e che afferiscono al Fossona, sono caratterizzati da difficoltà di deflusso a gravità, dovuto principalmente a quote altimetriche basse rispetto a quelle del corpo idrico ricettore. Non appena in quest'ultimo i tiranti idrici si alzano, gli scoli minori non riescono a far defluire le acque meteoriche, producendo allagamenti diffusi.

### ***3.4 Rilievo scolo Fossona nel tratto aperto e ispezione del tratto tombinato***

Al fine di poter schematizzare la rete di drenaggio nel software di modellazione idrologica e idraulica è risultato necessario eseguire un rilievo topografico dell'asta dello scolo Fossona, con ricognizione e videoispezione interna del tombinamento che attraversa la frazione di Bastia.

In dettaglio per il tratto di scolo a cielo aperto è stato eseguito un rilievo topografico e sono state rilevate le sezioni significative e i tombinamenti brevi in corrispondenza degli accessi privati alle abitazioni. Il tratto rilevato è stato esteso per circa 910 m a monte della rotatoria con Via Giovanni Paolo II e Via Veneto, a nord della frazione di Bastia, e per circa 1.550 m a sud dello sbocco in corrispondenza della Chiesa S. Maria della Neve fino alla confluenza con lo Scolo Bandezzà. La pendenza dei due tratti è rispettivamente pari a circa 0,75‰ e 0,25‰. In totale sono state rilevate n.22 sezioni, di cui n.11 nel tratto di monte e n.11 nel tratto di valle.

Per il tratto chiuso di circa 650 m in ingresso alla frazione di Bastia, caratterizzato da una successione di tombinamenti differenti per forma, dimensione, scabrezza e stato di conservazione, è stata eseguita una accurata videoispezione dalla ditta specializzata R3 Rampazzo S.r.l. (Mestrino), su commissione dello scrivente Studio. Quest'ultima attività è risulta indispensabile per conoscere le geometrie del tratto tombinato, considerata sia l'indisponibilità di dati ed informazioni in merito sia la completa assenza di punti di ispezione lungo il tratto in questione.

Si è quindi riscontrato, nel tratto a cielo aperto, che il Fossona presenta sezione trasversale trapezia e regolare con fondo di larghezza compresa tra 2,0 e 3,0 m e sponde di scarpa 3/2. La sommità arginale destra è a quota inferiore rispetto a quella sinistra: l'altezza massima di tirante idrico, con annullamento del franco di sicurezza, è compresa tra 2,5 e 3,0 m. L'argine sinistro è costituito dal rilevato stradale della S.P.38, mentre in destra idraulica, oltre l'argine, si estendono territori prevalentemente agricoli.

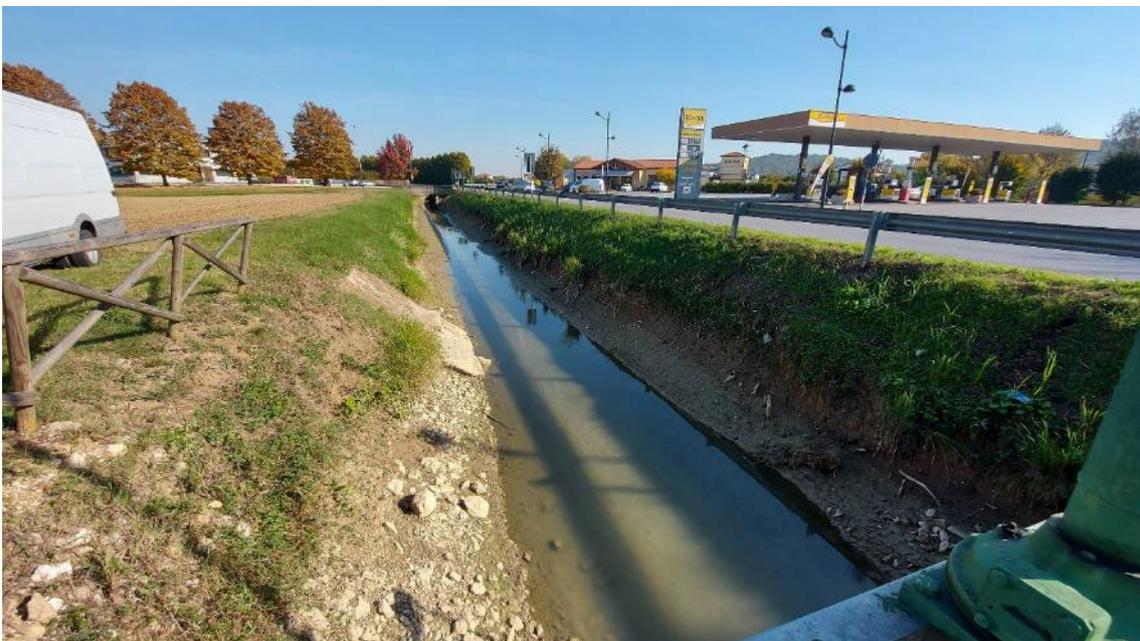
Il tratto tombato che si mantiene a ovest della S.P.38 è invece caratterizzato da una successione di manufatti scatolari di sezione trasversale (Bxh) compresa tra 3,7x2,0 m<sup>2</sup> e 5,0x2,4 m<sup>2</sup>, anche circolari di diametro pari a circa 3,5 m, posati in epoche diverse. Dalle videoispezioni è emerso che molti tratti del tombinamento sono in realtà privi di fondo, e sono dotati solo di pareti in mattoni o cls su cui sono posate le solette di copertura del soprastante marciapiede e/o percorso ciclabile.

Si sono inoltre rilevate alcune criticità legate allo stato di manutenzione e di conservazione del tombinamento, con particolare evidenza di una grave lesione

strutturale al manufatto scatolare alla progr. m 185 dall'inizio del tombinamento (v.si punti 10 e 11 nella allegata documentazione fotografica di rilievo). La pendenza media del tratto tombinato risulta pari allo 0,11‰.



*Foto 3.5 - Vista verso valle del tratto iniziale del tombinamento Fossona (paratoia di regolazione).*



*Foto 3.6 - Vista del tratto di Fossona a monte dell'imbocco del tombinamento.*



*Foto 3.7 - Vista del tratto di Fosso Fossone immediatamente a valle del tombinamento.*



*Foto 3.8 - Vista del tratto terminale del tombinamento scolo Fosso Fossone.*

---

#### **4 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO**

---

L'intervento di progetto si sviluppa per circa 150 m lungo il sedime stradale di via Albettoniera (S.P. n.38 Scapacchiò), dal parcheggio del piazzale della parrocchia verso sud in direzione della Scuola materna Sant'Antonio.

L'obiettivo primario dell'intervento, come previsto nel titolo dell'opera, è la messa in sicurezza del tratto antistante la Scuola per collegare la stessa al parcheggio che si trova sul lato opposto della strada. A tale scopo si prevede allora di realizzare:

- il prolungamento del piazzale parrocchiale mediante tombinamento dello scolo Fossona, per una estesa di 60 metri circa, con formazione di n.22 nuovi parcheggi di cui uno per disabili e finitura in cubetti di porfido;
- n. 3 attraversamenti pedonali della strada di via Albettoniera;
- il completamento del percorso ciclopedonale "Ciclovía E2 anello dei Colli Euganei" (larghezza 250 cm) tra la Scuola e la strada di via Albettoniera, con finitura in asfalto stampato e colorato di rosso;
- un percorso pedonale (150 cm) tra la strada e lo scolo Fossona, con finitura in lastrolare di porfido;
- l'installazione di n. 2 semafori con attivazione a chiamata con istituzione nel tratto di zona urbana a velocità limitata;
- la sistemazione del tratto di scolo Fossona a valle del nuovo tombinamento, per un'estesa di 80 m in sponda sinistra e 50 m in sponda destra, mediante la formazione di protezione spondale con palificata lignea al piede e sasso naturale di rivestimento.
- formazione di protezione spondale con palificata lignea al piede e sasso naturale di rivestimento.

Per il tombinamento dello scolo Fossona, come da indicazioni e risultanze dello studio idraulico condotto, si prevede la realizzazione in opera di una sezione rettangolare di dimensioni nette interne 600x260 cm.

Sono inoltre previste le nuove opere per la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche interessanti la nuova area a parcheggio, costituite da una linea di tubazioni Ø500 mm per una estesa di 60 m ca.

Si rimanda all'elaborato grafico allegato (B.4-Planimetria di progetto) per la rappresentazione completa delle opere, riportandone di seguito un estratto unitamente alle sezioni trasversali di progetto (B.6).





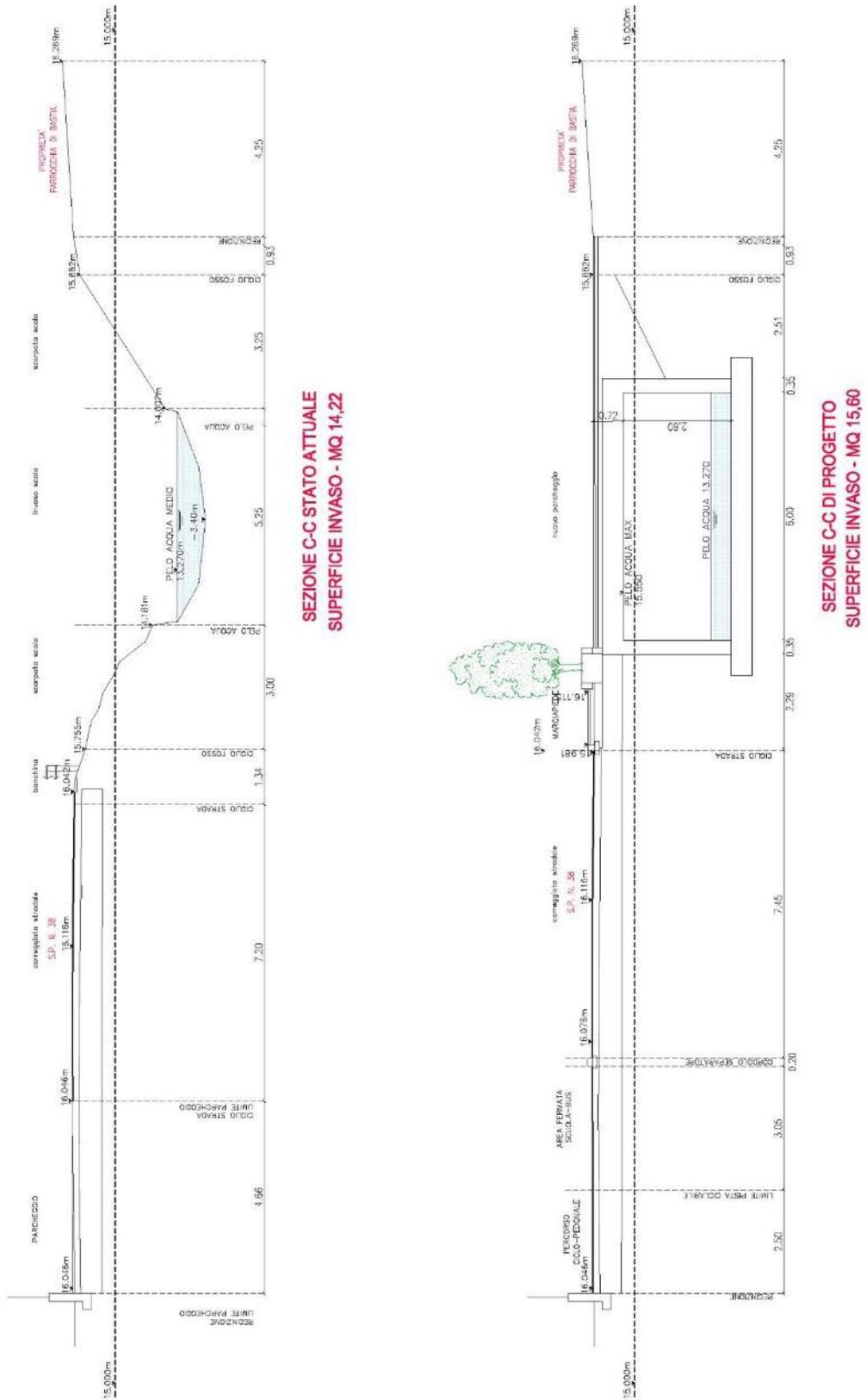
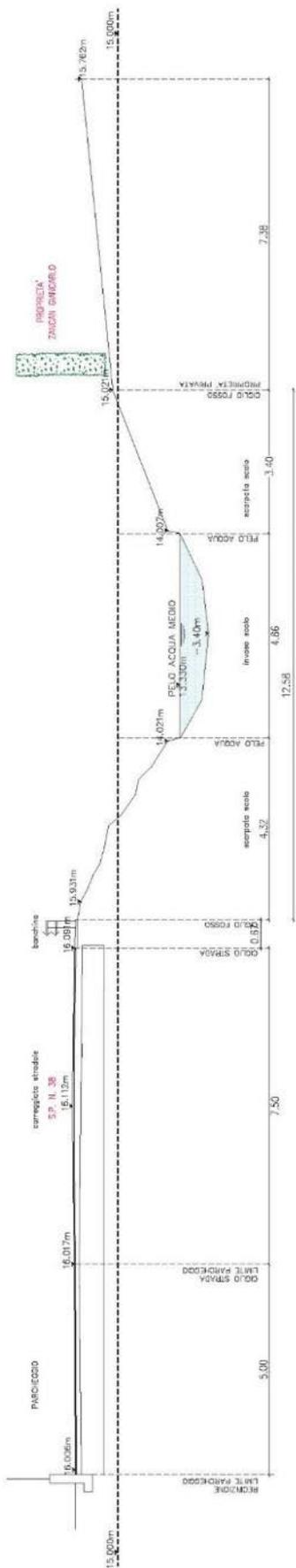
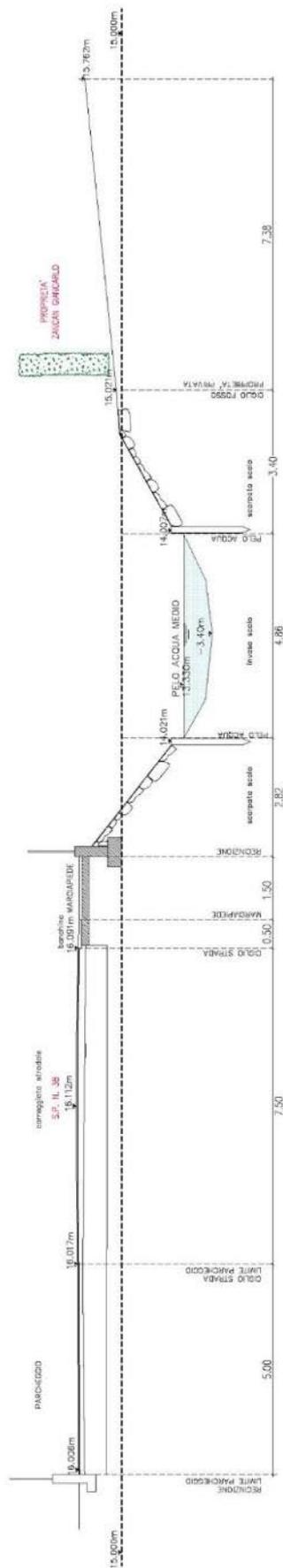


Fig. 4.3: Sezioni trasversali comparative (tratto con tominamento).



SEZIONE D-D STATO ATTUALE



SEZIONE D-D DI PROGETTO

## 5 PARAMETRI IDRAULICI DI PROGETTO

### 5.1 Dati di pioggia e parametri di progetto

Per individuare gli eventi meteorici che risultano critici ai fini della realizzazione degli interventi in progetto, si è utilizzato il recente studio predisposto dal *Commissario Delegato per l'Emergenza concernente gli eventi meteorologici che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto nel Settembre 2007* (OPCM n.3621 del 18.01.2007).

Lo studio suddivide in quattro zone omogenee l'area centrale veneta colpita dagli eventi. Il territorio del comune di Rovolon ricade nella zona omogenea sud occidentale (SW). Lo studio inoltre, fornisce, per ogni zona, una curva di possibilità pluviometrica a 2 o 3 parametri, del tipo seguente:

$$h = at^n$$

$$h = \frac{a}{(t + b)^c} t$$

Le equazioni sopra proposte forniscono l'altezza di precipitazione che può essere uguagliata o superata per precipitazioni di durata "t" mediamente una volta ogni Tr (tempo di ritorno) anni. Per la presente relazione si fa riferimento alla curva a tre parametri: per ogni tempo di ritorno, sono quindi assegnati i valori dei parametri a, b e c per il calcolo dell'altezza di precipitazione:

Tab. 5.1: Parametri della CPP a 3 parametri per la zona sud occidentale (SW)

Tr [anni]	a [mm/min <sup>c</sup> ]	b [min]	c [-]
2	20,6	10,8	0,842
5	27,4	12,1	0,839
10	31,6	12,9	0,834
20	35,2	13,6	0,827
30	37,1	14,0	0,823
<b>50</b>	<b>39,7</b>	<b>14,5</b>	<b>0,817</b>
100	42,4	15,2	0,808
200	45,0	15,9	0,799

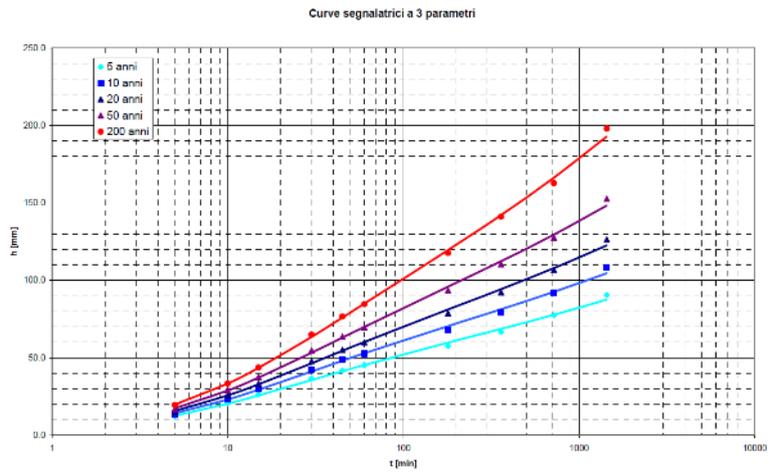


Fig. 5.1: Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica per la zona sud occidentale (SW)

Il calcolo della portata massima generata dal bacino è effettuato considerando eventi di pioggia con tempo di ritorno (Tr) pari a 50 anni.

## 6 COMPATIBILITA' IDRAULICA DEGLI INTERVENTI

### 6.1 Analisi della trasformazione

Ai fini di valutare la trasformazione relativa agli interventi di progetto si sono considerate le effettive aree che subiranno cambiamenti in base alla tipologia di finitura e pavimentazione, per potenziale incremento di impermeabilizzazione, mediante sovrapposizione dei previsti interventi in progetto allo stato di fatto.

In relazione alla tipologia (riqualifica e sistemazione urbana di un ambito stradale già esistente) ed alla ubicazione di parte delle opere in progetto (tombinamento di scolo demaniale sul suo sedime), si ritiene ragionevole valutare la compatibilità idraulica in riferimento alla sola superficie interessata dal tombinamento del corso d'acqua per il prolungamento del parcheggio, valutando quindi trascurabile e INVARIANTE la restante porzione.

Pertanto l'ambito totale che viene considerato è pari a 828 m<sup>2</sup>, con un grado medio di impermeabilizzazione pari a  $\phi=0,87$ , così come rappresentato nella riportata suddivisione in superfici tipologiche di deflusso.

In tal caso, con riferimento alle soglie dimensioni della DGR n2948 del 06.10.2009, la trasformazione in oggetto si classifica come:

<i>Trascurabile impermeabilizzazione potenziale</i>	<i>Intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha</i>
---	---

Per questa classe la citata norma consente di:

*".. produrre una asseverazione nella quale viene dichiarata l'ininfluenza degli effetti ai fini idraulici ed idrologici nel territorio interessato (adottando buoni criteri costruttivi per ridurre le superfici impermeabili, quali le superfici dei parcheggi)".*



Fig. 6.1 Suddivisione dell'ambito di intervento in superfici tipologiche.

## **6.2 Soluzione per lo smaltimento delle acque**

Pur essendo previsti dei nuovi parcheggi nell'ambito oggetto di valutazione, non è pensabile l'adozione per gli stessi di pavimentazioni di tipo permeabile (es. masselli e/o betonelle su sottofondo in ghiaio), a causa della presenza del sottostante tombinamento dello scolo (con soletta e pareti in cls armato) che non garantirebbe l'infiltrazione nel terreno delle acque. Inoltre la progettazione prevede una continuità tipologica della pavimentazione con il parcheggio già esistente (in cubetti di porfido).

Pertanto, al fine di evitare che le acque meteoriche interessanti l'ambito scarichino direttamente e senza laminazione in scolo Fossona, si prevede la seguente soluzione per lo smaltimento delle acque:

- nuova linea di raccolta delle caditoie mediante tubazione in cls DN 500 mm per uno sviluppo di 60 m, in affiancamento alla struttura di tombinamento dello scolo;
- n.3 pozzetti in cls 80x80 cm di ispezione passo d'uomo Ø600 mm;
- n.1 pozzetto terminale in cls 80x80 cm dotato di tubazione di recapito in Fossona in Pvc Ø200 mm.

In occasione di eventi climatici intensi lo scarico in Fossona sarà limitato dalla tubazione Ø200 mm ed il sistema potrà quindi beneficiare del volume di invaso offerto dalla condotta e dai pozzetti della nuova linea (circa 15 m<sup>3</sup>).



---

## **7 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA**

---

Al fine della verifica idraulica dello scolo Fossona, si rende necessario ricavare la massima portata che il sottobacino afferente produce, partendo dai valori di precipitazione definiti nel precedente paragrafo.

### **7.1 Ietogramma netto**

Lo ietogramma netto costituisce la pioggia realmente efficace in termini di deflusso superficiale: rappresenta cioè il volume idrico complessivo che, in funzione delle caratteristiche dei terreni e dei fenomeni di trasporto nella rete, transita alla sezione di chiusura.

A partire quindi dalle CPP per eventi con tempo di ritorno  $T_r$  di 50 anni, sono definiti gli ietogrammi di progetto. Esistono in letteratura diversi metodi per la costruzione degli ietogrammi; tra questi si ricorda lo ietogramma Chicago, costituito da una distribuzione temporale delle altezze di pioggia coincidente con la relazione altezza-durata della curva di possibilità pluviometrica. Lo ietogramma non è costante e presenta un picco di intensità che può essere posizionato in modo arbitrario all'inizio dell'evento considerato, alla fine o in posizione intermedia. La massima altezza di precipitazione cumulata su qualsiasi durata  $\tau$  è sempre pari all'altezza di precipitazione dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica per la medesima durata  $\tau$ . Per ciascun intervallo considerato, l'altezza di precipitazione dello ietogramma è pari a quella prevista dalla curva relativa al tempo di ritorno scelto. Il volume di precipitazione così calcolato è pari a quello di un evento sintetico della stessa durata con intensità costante, ma genera una portata al colmo che risulta critica per tutti gli intervalli di tempo considerati. L'uso di tale ietogramma porta a sovrastimare le portate al colmo, risultando quindi cautelativa ai fini della verifica idraulica.

Il passo temporale considerato è pari a 10 minuti.

Per il sottobacino afferente allo Scolo Fossona si fissa la durata critica del sistema per lo smaltimento delle acque, che corrisponde con il tempo di corrivazione del bacino. Esso è definito il tempo che impiega l'acqua per arrivare al recapito partendo dal punto idraulicamente più lontano. Per il calcolo del tempo di corrivazione di ciascuno si generano eventi precipitativi di durata oraria crescente, da 1h a 10 h, caratterizzati da ietogrammi costanti rettangolari. Il tempo di corrivazione è pari alla durata della precipitazione che produce la massima portata in uscita dai bacini.

## 7.2 Separazione degli afflussi

Noto lo ietogramma di progetto, si procede con la trasformazione dei volumi di pioggia in afflussi prodotti dal bacino. Il modello di generazione degli afflussi utilizzato nella presente modellazione è quello di Horton, che dipende strettamente dal grado di impermeabilizzazione del suolo.

Per le aree permeabili il modello di Horton prevede che la precipitazione in parte si accumuli nelle depressioni superficiali e in parte si infiltri nel terreno fino a saturarlo completamente. Raggiunta la massima saturazione sola una piccola frazione di precipitazione continua ad infiltrarsi, la restante scorre in superficie contribuendo alla formazione del deflusso superficiale.

La relazione che descrive tale processo è la seguente:

$$f_p = f_\infty + (f_0 - f_\infty)e^{-k_a t}$$

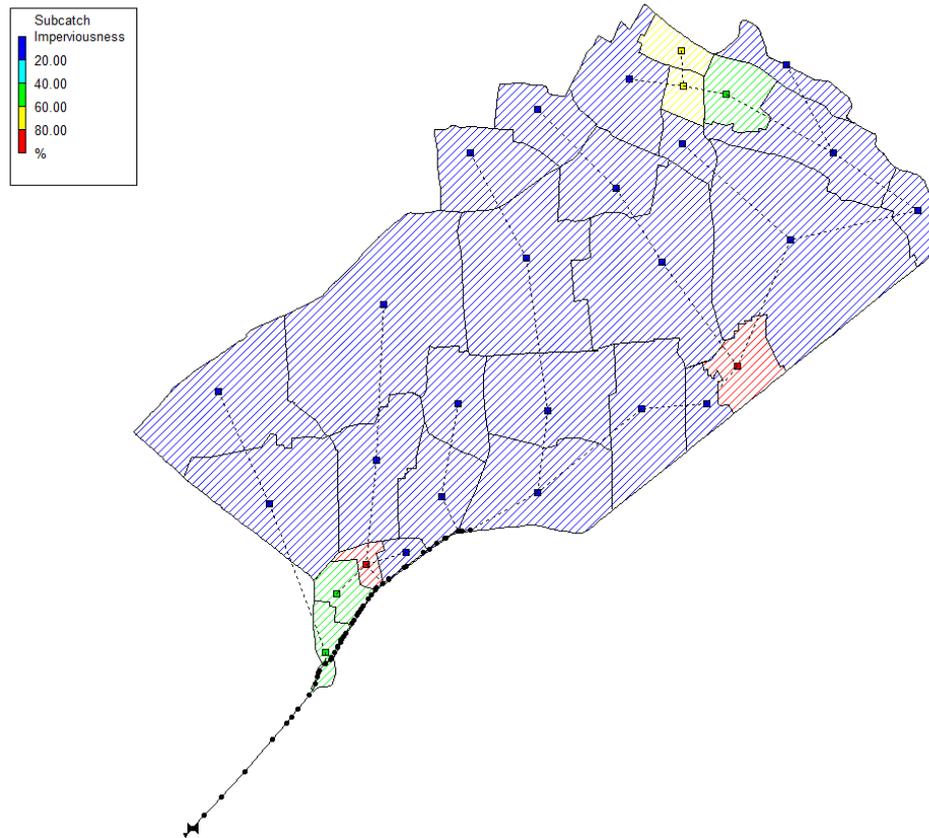
Dove:

- $f_p$  = capacità di infiltrazione nel suolo [m/s];
- $f_\infty$  = valore di infiltrazione minimo raggiunto asintoticamente al tempo infinito [m/s];
- $f_0$  = valore di infiltrazione iniziale o massimo [m/s];
- $t$  = tempo dall'inizio della precipitazione [s];
- $k_a$  = coefficiente di decadimento, costante che definisce la velocità per passare dal valore  $f_0$  al valore  $f_\infty$ . [1/s].

Per le aree impermeabilizzate, la pioggia netta è ottenuta sottraendo la detenzione superficiale stimata, pari a 1,57 mm.

## 7.3 Caratteristiche del sottobacino

Il bacino afferente allo Scolo Fossona è a sua volta suddiviso in sottobacini più piccoli, caratterizzato ognuno dalla propria percentuale di impermeabilità del suolo (Fig. 7.1). Per ricavare tale valore si è fatto riferimento alla Carta delle destinazioni d'uso dei suoli del comune di Rovolon (Geoportale della Regione Veneto) e alle ortofoto dell'area di indagine.



Per l'assegnazione dei parametri idrologici, invece, si è fatto riferimento alla Carta Litologica e alla Carta dei Suoli anch'essa messa a disposizione nel Geoportale online della Regione Veneto.

Dalla Carta Litologica si evince che il bacino del Fossona ricade, per la porzione centro meridionale, in depositi alluvionali a granulometria fine, poco permeabili ( $k = 10^{-6} \div 10^{-8}$  m/s) costituiti prevalentemente da limi e argille, e, per la porzione settentrionale, in depositi alluvionali a granulometria media, mediamente permeabili ( $k = 1^{-2} \div 10^{-6}$  m/s) costituiti prevalentemente da sabbie e limi.

Dalla Carta dei Suoli si evince che la tipologia litologica prevalente è quella dei suoli franco limoni argillosi e franco sabbiosi.

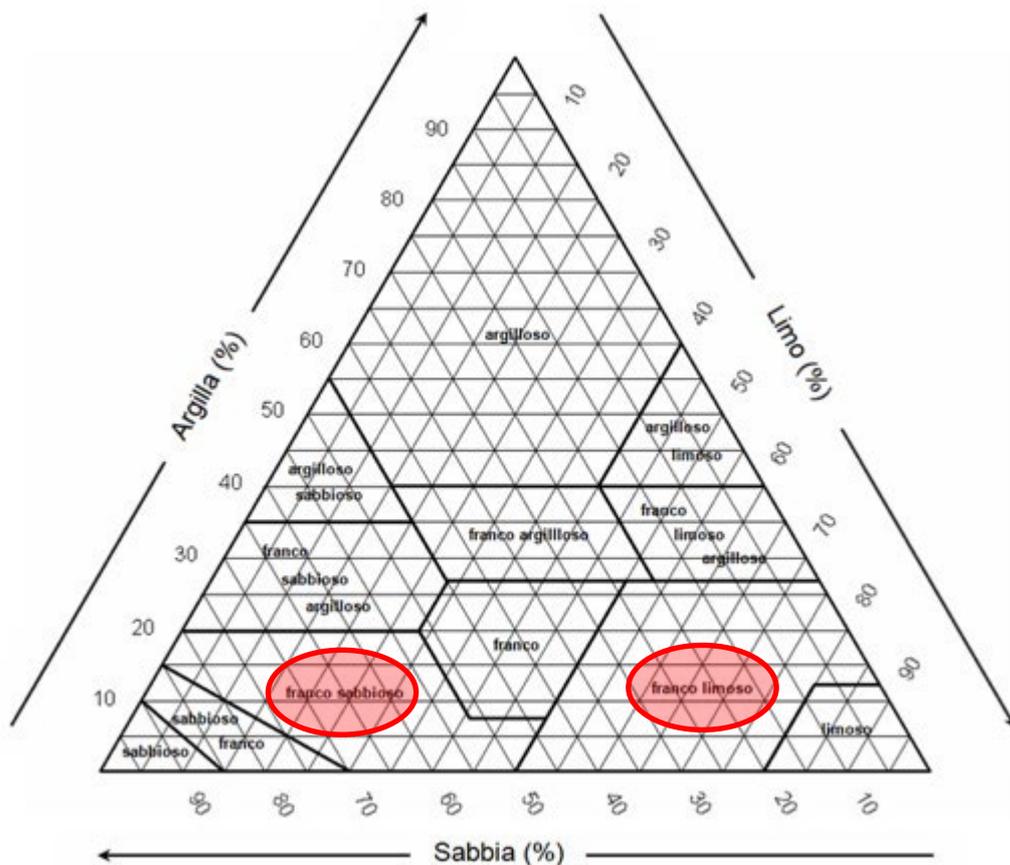


Fig. 7.2: Triangolo per la determinazione della Classe Tessiturale USDA: in rosso le tipologie di suolo prevalente del bacino dello Scolo Fossona

La sovrapposizione delle due carte permette di definire i seguenti parametri idrologici da assegnare a ciascun sottobacino.

---

## **8 IL MODELLO IDROLOGICO E IDRAULICO**

---

### ***8.1 Generalità sul software di calcolo EPA-SWMM***

Ai fini della modellazione idrologica e idraulica del collettore Fossona e del suo bacino afferente, è stato implementato un modello matematico con il software EPA-SWMM versione 5.1.015 (Storm Water Management Model), sviluppato all'U.S. Environmental Protection Agency. Si tratta di un modello di trasformazione afflussi deflussi dinamico concepito espressamente per essere utilizzato in contesti urbanizzati sia per simulare un singolo evento di pioggia, sia per una modellazione continua. Nella modellazione dei deflussi, SWMM permette anche di tenere in considerazione problematiche relative la qualità delle acque.

All'interno di SWMM sono presenti una componente di deflusso ed una di trasporto. La componente di deflusso opera su un insieme di aree sottobacino che ricevono precipitazione e generano il deflusso e i relativi carichi inquinanti. La componente di trasporto simula la propagazione del deflusso nella rete di drenaggio che è costituita da un sistema di tubi, canali, dispositivi di stoccaggio / trattamento, pompe e regolatori. SWMM è quindi in grado di valutare la qualità e la quantità del deflusso generato all'interno di ciascun sottobacino e la portata, il tirante idrico e la qualità delle acque in ciascun punto della rete di drenaggio durante una simulazione.

### ***8.2 Descrizione della modellazione idraulica***

Per la simulazione idraulica il modello impiegato risolve le equazioni di De Saint Venant a moto vario, consentendo di verificare il comportamento dei canali e delle condotte a seguito di un evento meteorologico di progetto.

#### **8.2.1 MODELLAZIONE DELLO SCOLO**

A tale scopo lo Scolo Fossona è stato schematizzato come una sequenza di nodi e tronchi. Ciascun tronco rappresenta un tratto del corso d'acqua avente specifiche caratteristiche geometriche ed idrauliche. A ciascun tronco sono state assegnate le seguenti caratteristiche idrauliche:

- Scabrezza:  $0,025 \div 0,035 \text{ s/m}^{1/3}$  (rispettivamente per i canali in terra e le sponde inerbite);  $0,015 \text{ s/m}^{1/3}$  (tombotti con fondo in cls);
- Geometria delle sezioni (sezione irregolare, scatolare, circolare chiusa, ellittica);
- Coefficienti di perdita di carico imbocco/sbocco delle tubazioni: 0,3 / 1,0;

- Tirante idrico massimo di sovrappressione consentito ai nodi: 0 m (tratti a cielo aperto), 10 m (tratti tombati in centro di Bastia).

Nella modellazione non sono stati considerati efficaci nella formazione della piena i volumi in uscita dai nodi dei tratti a cielo aperto. I nodi di questi tratti schematizzano i cambi di sezione geometrica, o, più spesso, gli imbocchi e gli sbocchi di brevi tombinamenti (per esempi in corrispondenza degli accessi privati). I volumi in uscita da questi nodi sono quindi persi dal sistema e non rientrano più nella rete.

Il nodo di valle dello Scolo Fossona è stato imposto libero.

Poco a monte, al nodo di confluenza con lo Scolo Bandezzà è stata assegnata una portata in ingresso pari a  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tale valore di portata è stato assunto ipotizzando una portata di  $10 \text{ l/s}$ , ha attribuita al bacino che afferisce allo Scolo Bandezzà (superficie totale  $17,7 \text{ km}^2$  corrispondenti a  $1.768 \text{ ha}$ ).

Poco a monte della confluenza con lo Scolo Bandezzà, è presente anche una paratoia di regolazione e controllo, schematizzata come semplice condotta a sezione trasversale rettangolare  $B \times h = 3,0 \times 2,4 \text{ m}$ . Allo stesso modo è stato modellato il manufatto di attraversamento presente in corrispondenza della rotatoria tra Via Albettoniera e Via Ponte Tezze, con manufatto rettangolare di dimensioni interne  $B \times h = 6,0 \times 2,7 \text{ m}$  e fondo in terra.

All'ingresso del tratto tombato, in corrispondenza della rotatoria tra la S.P. n.38 e Via Giovanni Paolo II, è presente una paratoia piana di regolazione del deflusso. Questa permette di derivare portate a scopo irriguo per i territori in gestione al Consorzio Adige Euganeo, in sinistra idraulica dello Scolo Fossona.

## 8.2.2 MODELLAZIONE DEI SOTTOBACINI

I bacini imbriferi afferenti ai diversi tronchi e nodi della rete sono stati schematizzati, caratterizzandoli in base alla forma, alle dimensioni, alla percentuale di territorio urbanizzato ed alla tipologia del suolo.

Il bacino idrografico, o bacino tributario apparente, è l'entità geografica costituita dalla superficie scolante sottesa ad una sezione trasversale di un corso d'acqua. Nel linguaggio tecnico dell'idraulica fluviale la corrispondenza biunivoca che esiste tra sezione trasversale e bacino idrografico si esprime affermando che la sezione "sottende" il bacino, mentre il bacino idrografico "è sotteso" alla sezione. L'aggettivo "apparente" si riferisce alla circostanza che il bacino viene determinato individuando, sulla superficie terrestre, lo spartiacque superficiale senza tenere

conto che particolari formazioni geologiche potrebbero provocare in profondità il passaggio di volumi idrici da un bacino all'altro.

Il bacino idrografico può esser definito [Puglisi] "*come il luogo dei punti da cui le acque superficiali di provenienza meteorica ruscellano verso il medesimo collettore*". In altri termini il bacino idrografico è l'unità fisiografica che raccoglie i deflussi superficiali, originati dalle precipitazioni che si abbattono sul bacino stesso, che trovano recapito nel corso d'acqua naturale e nei suoi diversi affluenti.

Nel caso dell'area in esame, il bacino imbrifero considerato ai fini della modellazione ha estensione pari a circa 13,2 km<sup>2</sup> (1.317 ha); questo è stato poi suddiviso in 29 sottobacini, ad ognuno dei quali sono stati assegnati i seguenti parametri idrologici:

- Pendenza = 0,2 %;
- Scabrezza sup. impermeabili: 0,015 s/m<sup>1/3</sup>;
- Scabrezza sup. permeabili: 0,2 s/m<sup>1/3</sup>;
- Altezza depressioni sup imp.: 2 mm;
- Altezza depressioni sup perm.: 5 mm.
- Infiltrazione iniziale o massima: 25 - 76,2 mm/h;
- Infiltrazione minima: 6,6 - 10,9 mm/h;
- Costante di decadimento di Horton: 4.

Cautelativamente, per i parametri di infiltrazione iniziale e minima sono stati assunti rispettivamente i valori di 25 mm/h e 6.6 mm/h.



Fig. 8.1: Schematizzazione dei sottobacini e dello Scolo Fossona nel software EPA-SWMM

### **8.3 Stima del tempo di corrivazione del bacino**

Un altro parametro fondamentale per la quantificazione dei deflussi conseguenti al verificarsi di un determinato evento meteorico è la durata dello stesso. Infatti maggiore è il tempo di pioggia, maggiore è il volume d'acqua defluito con minore intensità della precipitazione. In linea generale il tempo di precipitazione che risulta critico per il sistema di smaltimento delle acque, corrisponde con il tempo di corrivazione del sistema stesso, ovvero il periodo di tempo che occorre dall'inizio della precipitazione, affinché tutto il bacino imbrifero contribuisca alla formazione della piena. Tale periodo coincide con la durata che impiega una goccia d'acqua che precipita nel punto idraulicamente più lontano del bacino a raggiungere la sezione di chiusura del bacino considerato attraverso la rete idrografica.

Per il bacino in esame, il tempo di corrivazione è stato ricavato attraverso il modello di calcolo SWMM. Noti i parametri della Curva di Possibilità Pluviometrica con tempo di ritorno 50 anni, sono stati applicati ietogrammi di pioggia rettangolari costanti per durate comprese tra 1 e 4 ore e sono stati ricavati gli idrogrammi di piena riportati nella Fig. 8.2.

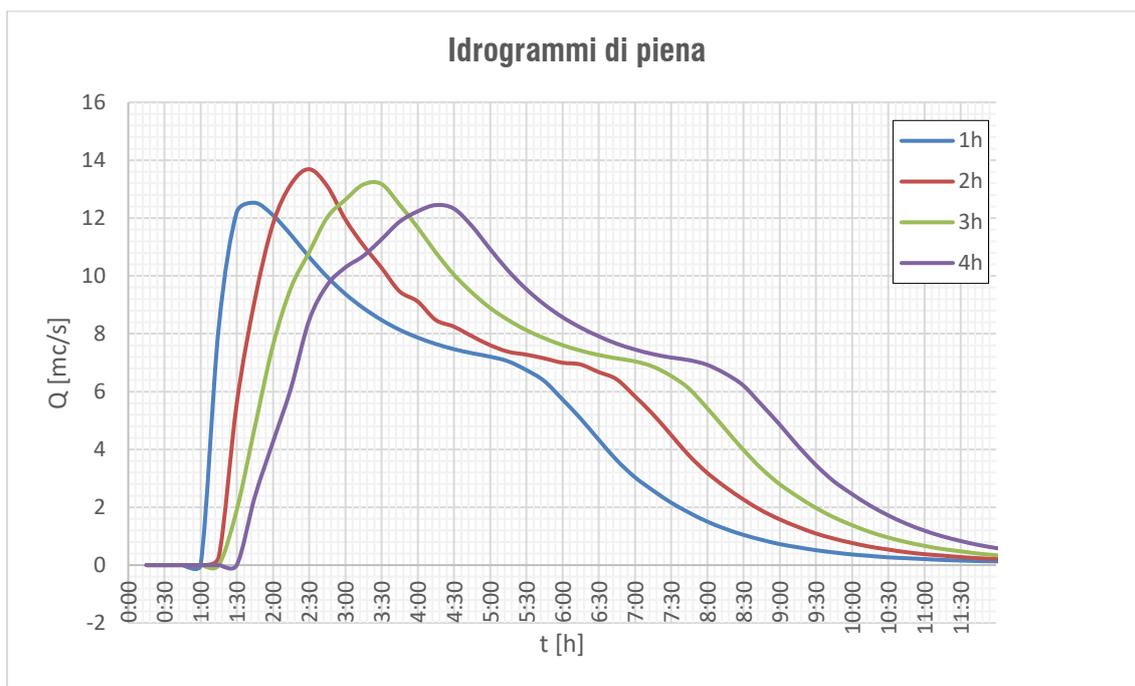


Fig. 8.2: Idrogrammi di piena per eventi con tempo di ritorno  $Tr$  50 anni e durate crescenti da 1 a 4 ore

Dagli idrogrammi sopra riportati si evince che il tempo di corrivazione del bacino è pari a circa 2 ore. Per un evento meteorico di tale durata, quindi, tutto il bacino contribuisce alla generazione della portata di deflusso. A favore di sicurezza si è scelto un evento con durata  $t$  pari a 4 ore.

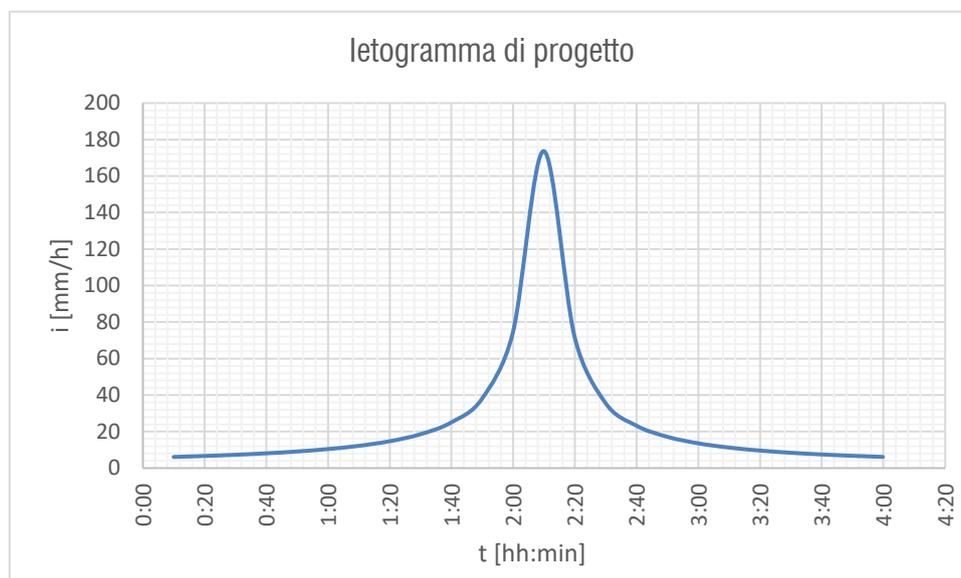


Fig. 8.3: Ietogramma Chicago di progetto: evento con  $Tr$  50 anni e durata  $t$  4 ore

## 9 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

Si riportano di seguito le analisi delle simulazioni idrologiche e idrauliche per evento con tempo di ritorno 50 anni e durata  $t$  pari a 4 ore. L'obiettivo è quello di confrontare il profilo idraulico che si instaura lungo lo Scolo Fossona ed il tombinamento che attraversa il centro di Bastia, tra lo stato di fatto attuale e lo stato di progetto, con estensione per circa 60 m del tombinamento di fronte alla Scuola materna S. Antonio.

### 9.1 Stato di fatto

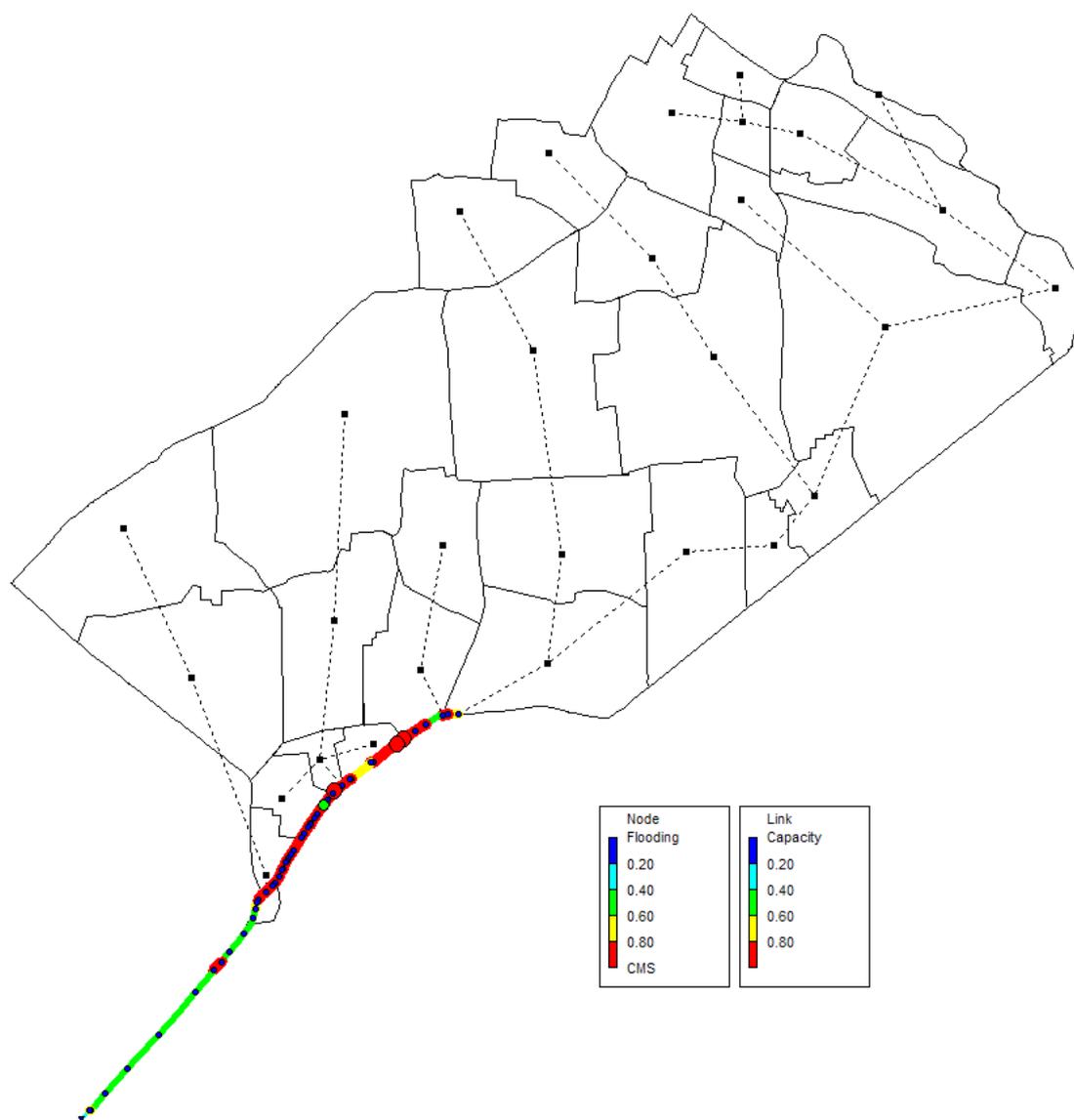


Fig. 9.1: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min

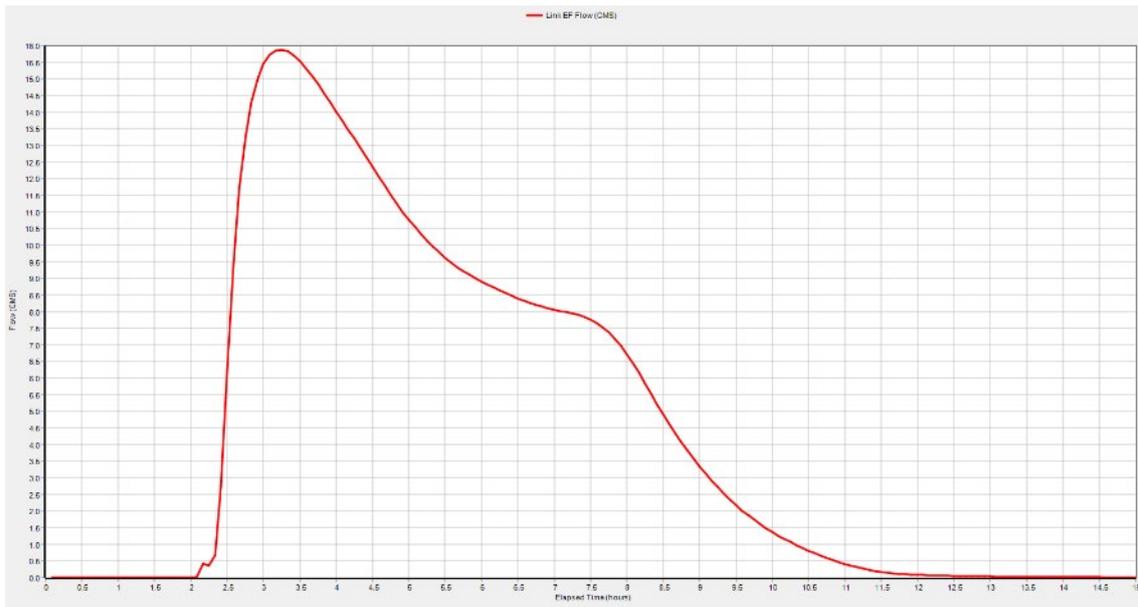


Fig. 9.2: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore: idrogramma di piena

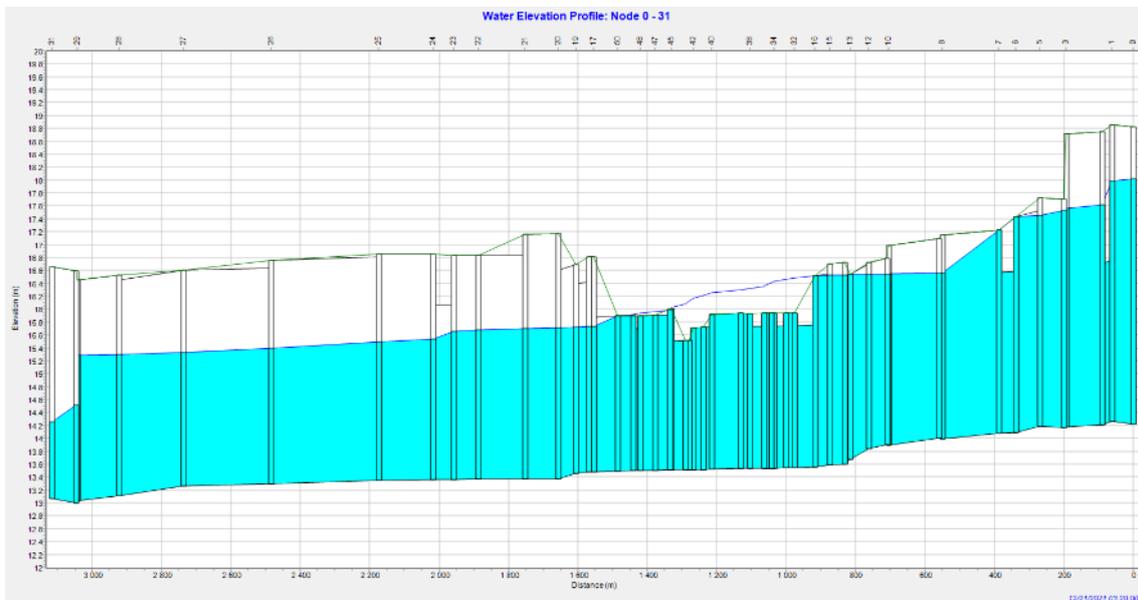


Fig. 9.3: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min: profilo idraulico generale dello Scolo Fossone

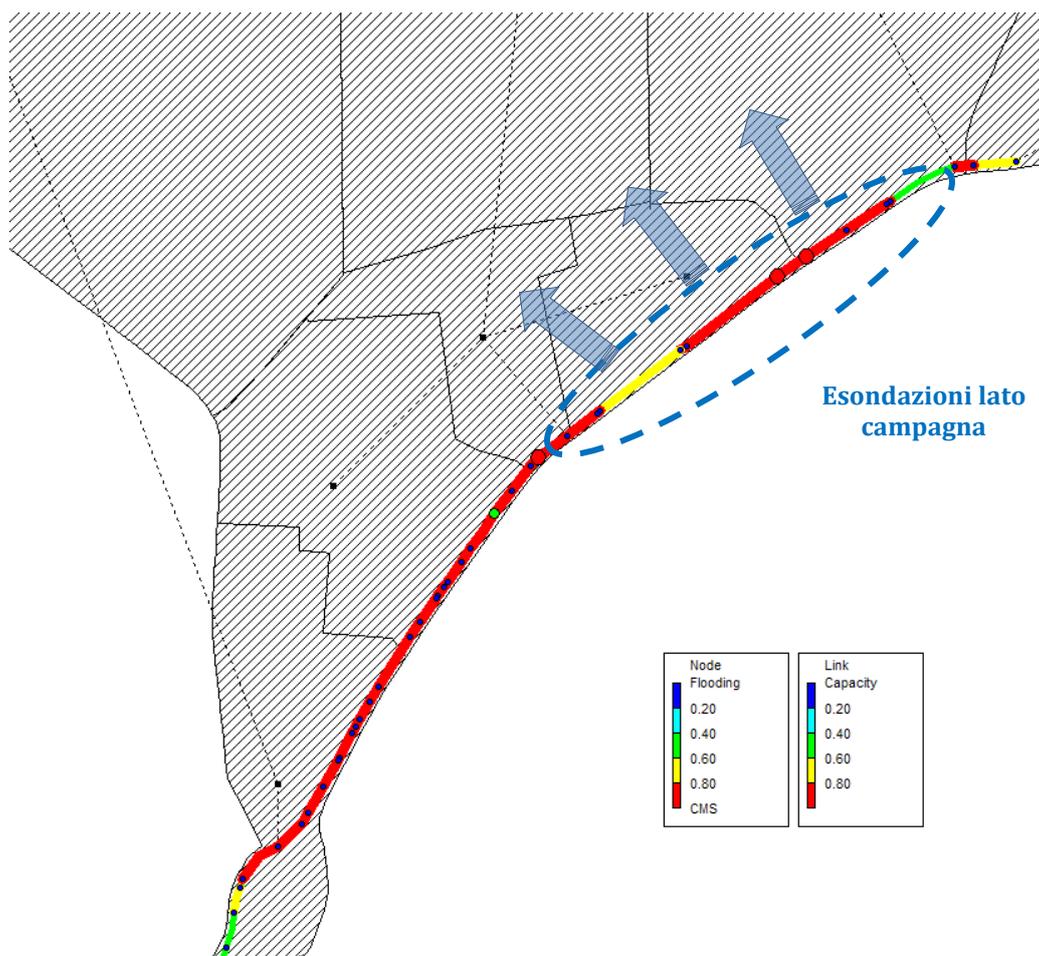


Fig. 9.4: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min. Capacità dei link e esondazione dei nodi: tratto da nodo 0 (incrocio Via S. mauro - S.P.38) a nodo 17 (sbocco tombinamento Chiesa S. Maria della Neve)

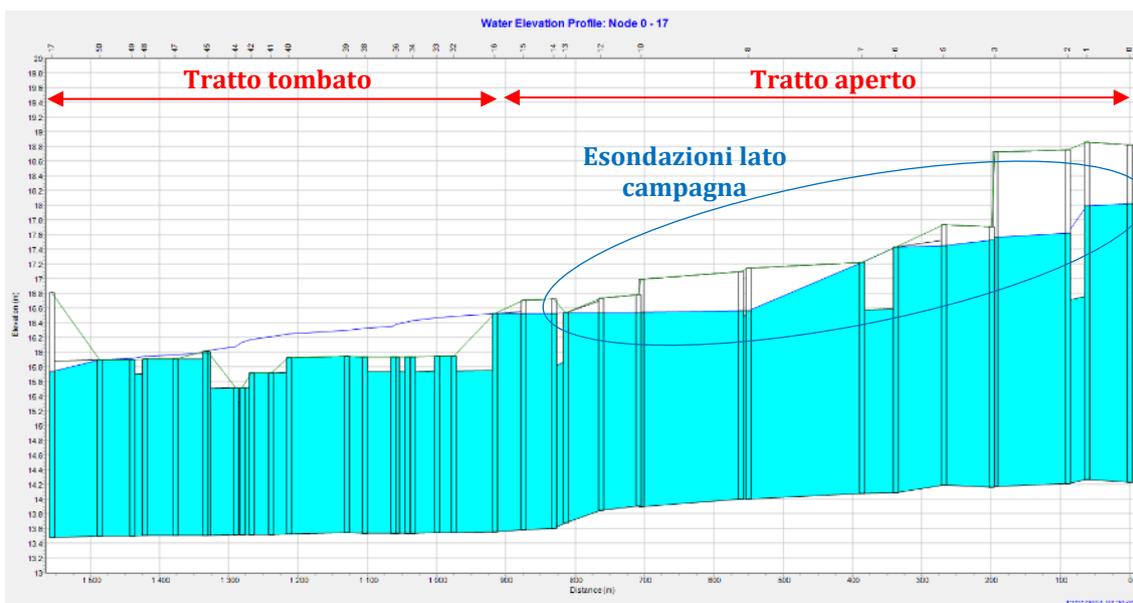


Fig. 9.5: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min. Profilo idraulico dello Scolo Fossona: tratto da nodo 0 (incrocio Via S. mauro - S.P.38) a nodo 17 (sbocco tombinamento Chiesa S. Maria della Neve)

## 9.2 Stato di progetto

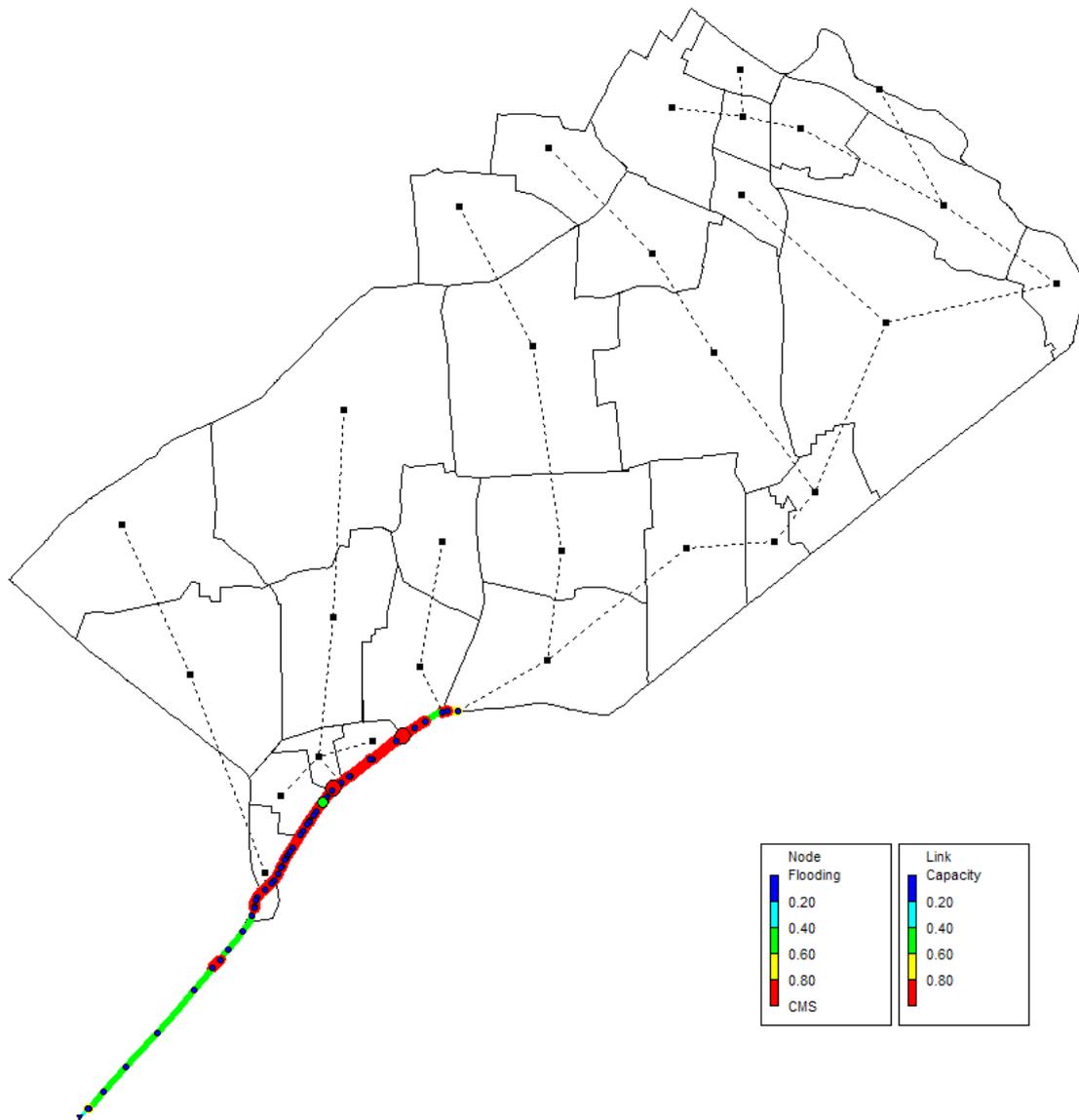


Fig. 9.6: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min

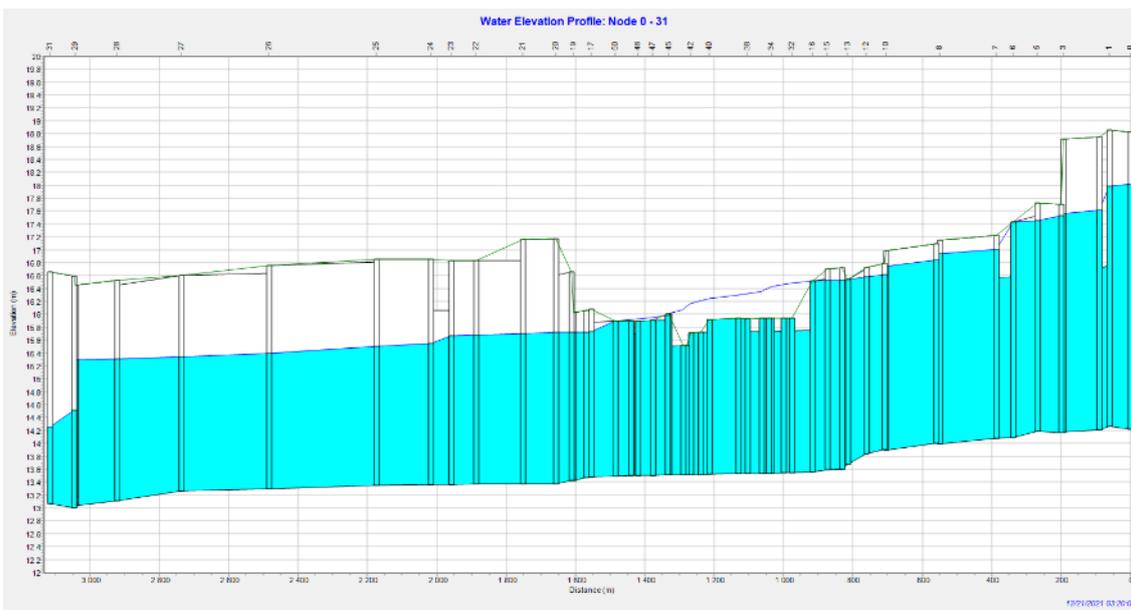


Fig. 9.7: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min. Profilo idraulico generale dello Scolo Fossona

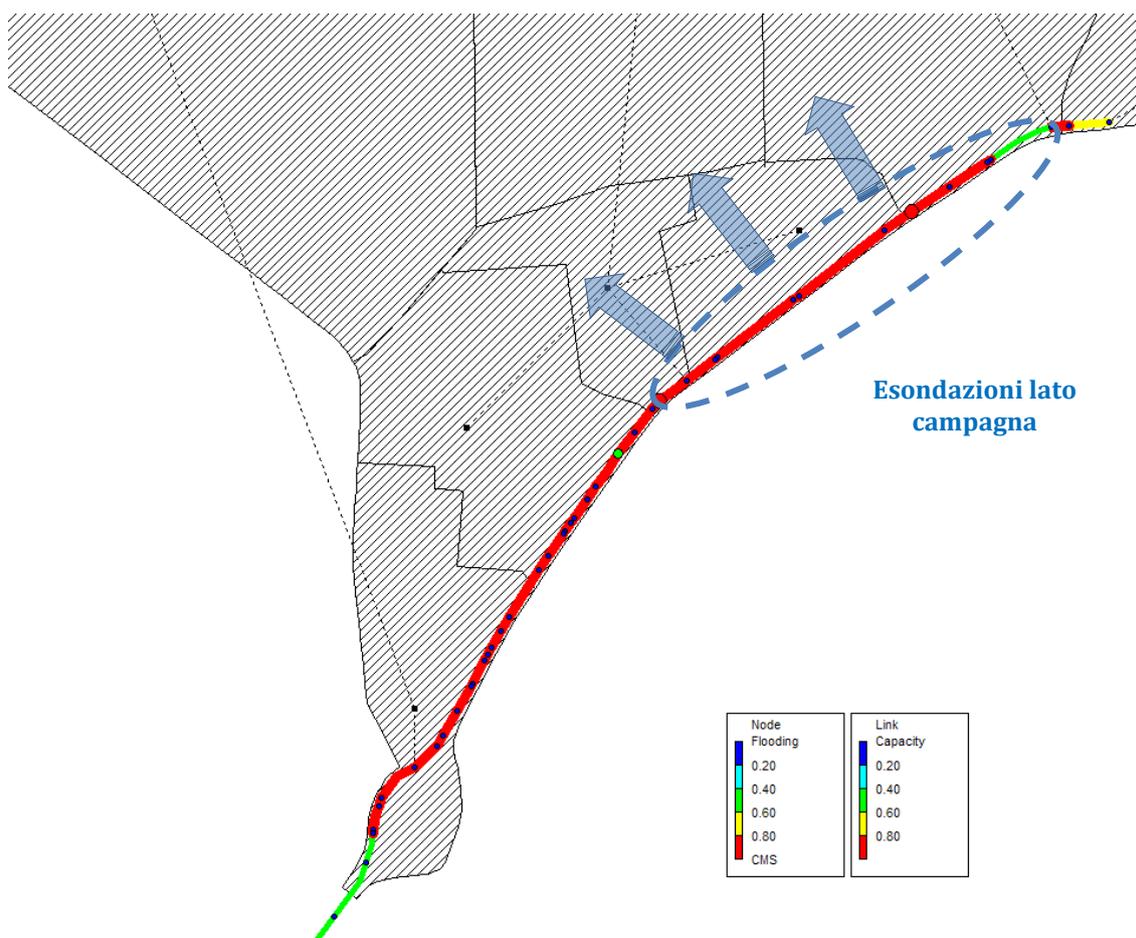


Fig. 9.8: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min. Capacità dei link e esondazione dei nodi: ratto da nodo 0 (incrocio Via S. mauro - S.P.38) a nodo 19 (sbocco da tomlinamento di progetto)

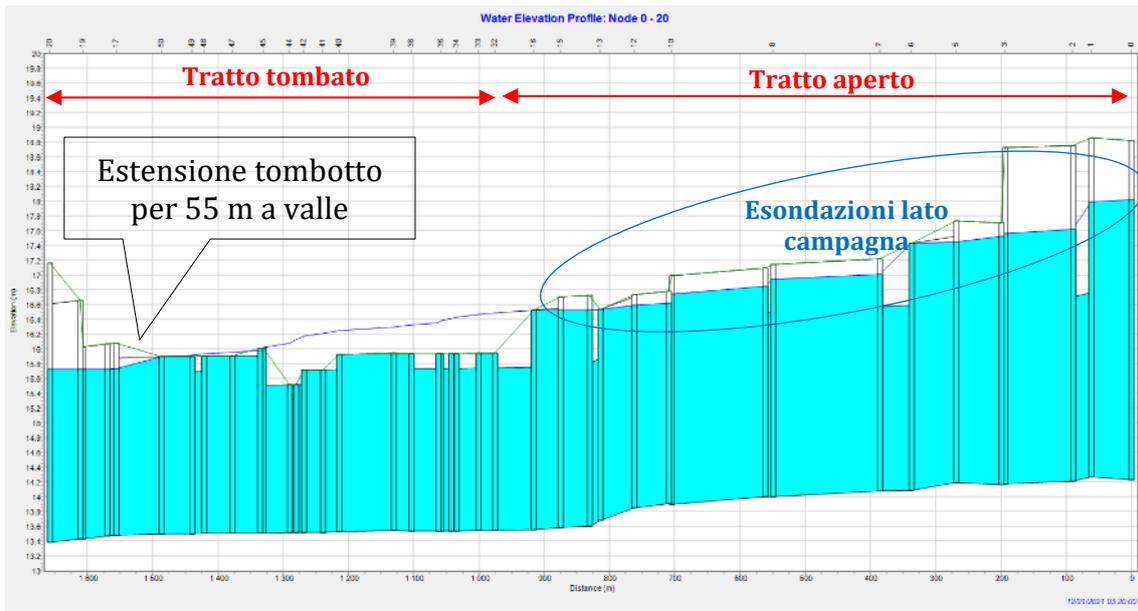


Fig. 9.9: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min. Profilo idraulico dello Scolo Fossona: tratto da nodo 0 (incrocio Via S. Mauro - S.P.38) a nodo 20 (a valle dello sbocco dal tombinamento di progetto)

---

## 10 CONCLUSIONI

---

La modellazione idrologica e idraulica dello scolo Fossona allo stato di fatto, per un evento con tempo di ritorno di a 50 anni e durata di 4 ore, evidenzia i seguenti aspetti:

- un picco massimo dell'idrogramma di piena pari a circa 16 m<sup>3</sup>/s, a circa 3,15 h dall'inizio della precipitazione;
- l'insufficienza della capacità di deflusso nel tratto a cielo aperto a monte di Bastia: i tiranti idrici che si producono nello scolo sono in genere sempre superiori rispetto alla quota arginale in destra idraulica, comportando allagamenti e ristagni idrici nella zona agricola a nord dello Scolo;
- funzionamento in pressione di tutto il tratto tombinato in attraversamento al centro di Bastia, dal nodo 16 al nodo 17;
- un tirante idrico in corrispondenza dello sbocco pari a circa 2,40 m, uguale all'altezza interna del manufatto: la maggiore sezione trasversale dello Scolo a valle dello sbocco permette il deflusso in sicurezza delle portate.

In condizioni di progetto, l'estensione del tratto tombato per 60 m a valle dell'attuale sbocco, modellato con un tratto a sezione trasversale rettangolare chiusa di dimensioni interne (Bxh) 600x260 cm e fondo rivestito in cls, non produce variazioni apprezzabili al profilo di moto che si instaura lungo lo scolo Fossona.

La sezione del tratto tombinato in progetto, presentando infatti delle dimensioni maggiori a quella di monte, risulta libera in quanto il tirante idrico che s'instaura ha altezze comprese tra 2,53 m e 2,38 m (rispettivamente all'imbocco ed allo sbocco). Pertanto il nuovo manufatto con altezza interna di 2,60 m non presenta funzionamento in pressione ed il profilo idraulico non viene rigurgitato.

Si conclude che l'inserimento di un nuovo tratto tombinato in prolungamento all'attuale, così come definito al punto 11., non determina né riduzione della sezione di deflusso rispetto all'attuale né alterazioni al profilo di moto che si instaura in condizioni di piena eccezionale (Tr 50 anni).

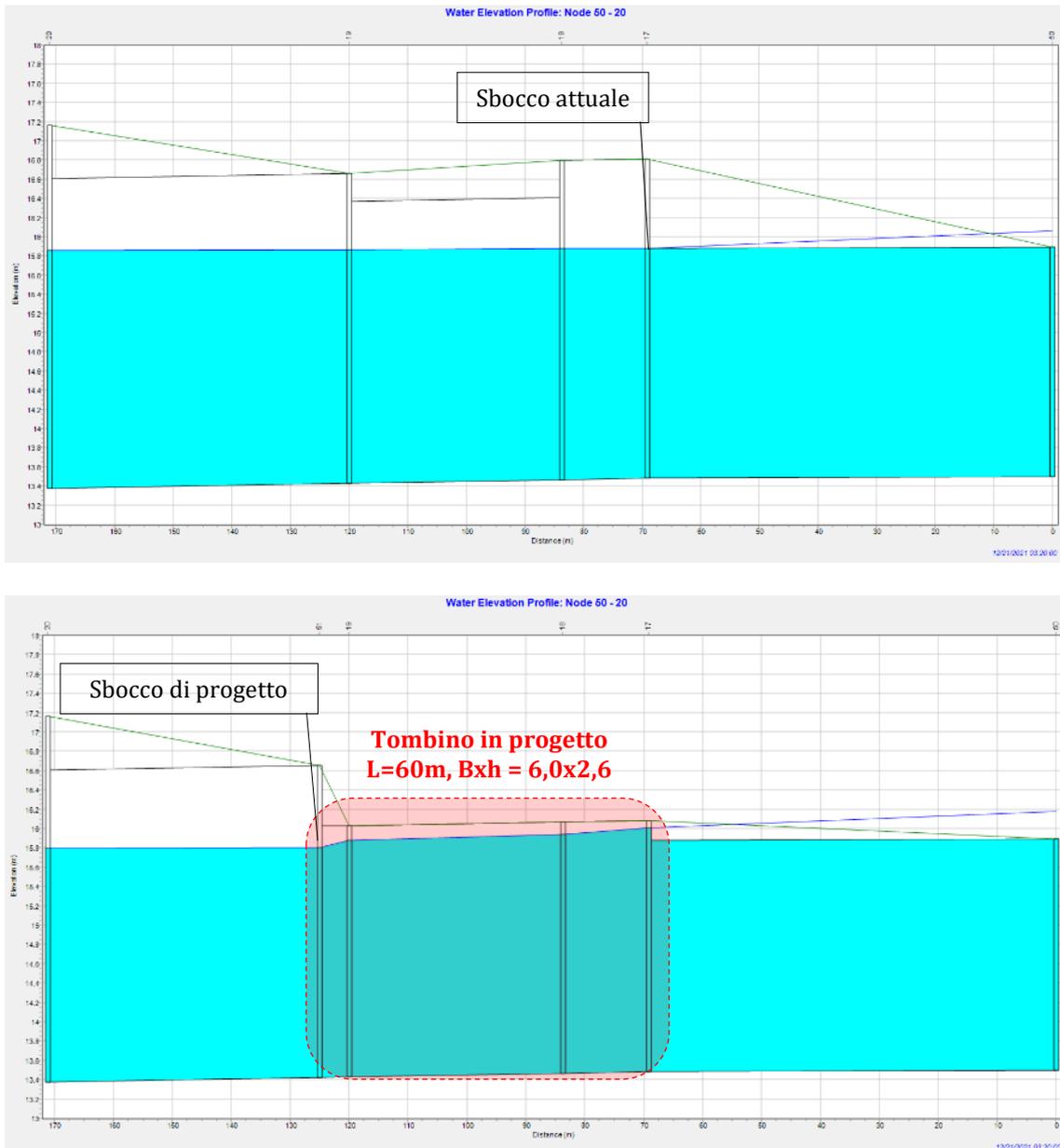


Fig. 10.1: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min. Confronto tra i profili idraulici dello Scolo Fossona allo stato di fatto (sopra) e di progetto (sotto) in corrispondenza del tratto oggetto di tombinamento

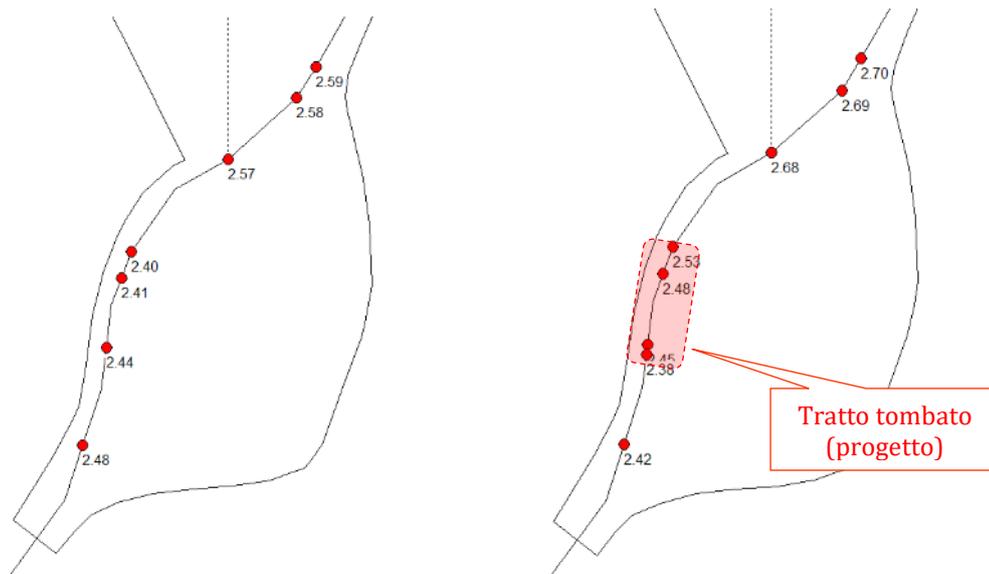


Fig. 10.2: Evento con tempo di ritorno 50 anni, durata 4 ore, istante  $t=140$  min. Confronto tra i tiranti idraulici dello Scolo Fossona allo stato di fatto (a sinistra) e di progetto (a destra) in corrispondenza del tratto oggetto di tombinamento

---

## 11 PRESCRIZIONI E INDICAZIONI OPERATIVE

---

Per quanto in precedenza esposto e verificato, l'intervento in progetto di prolungamento del tombinamento dovrà necessariamente osservare le seguenti caratteristiche dimensionali:

- sezione rettangolare di tombinamento (Bxh) = 600 x 260 cm
- estensione massima del tratto di nuovo tombinamento L= 60 m
- dislivello tra sezione di monte e sezione di valle pari a 0,10 m (pendenza 0,16/100);
- si dovrà inoltre realizzare un graduale raccordo planimetrico tra la sezione attuale (larghezza 500 cm) e quella di progetto, per uno sviluppo di almeno 5 m.

Infine, con riferimento ai risultati della ricognizione condotta sul tratto tombinato dello scolo Fossona (v. punto 3.4), si ritiene indispensabile inserire nell'ambito della progettazione in oggetto i seguenti interventi:

- apertura/realizzazione di n.5 passi d'uomo per consentire l'ispezione del tombinamento esistente; le aperture dovranno avere dimensioni minime di apertura 80x80 cm e si dovranno realizzare nelle posizioni individuate in Allegato 1 (Planimetria di rilievo tombinamento);
- sistemazione strutturale del tratto di tombinamento che presente una lesione alla canna dello scatolare, con evidenza di voragine stradale superficiale, al punto 10 del rilievo allegato (progr. m 185,00 da inizio tratto tombinato dello scolo Fossona).

---

## 12 APPENDICE - IL MODELLO SWMM

---

### 12.1 Generalità

L'EPA Storm Water Management Model (SWMM) è un modello dinamico di simulazione idraulica di afflussi in deflussi usato per lo studio di un singolo evento o la simulazione (continua) di lunga durata della quantità e della qualità del deflusso. La componente di deflusso SWMM funziona sull'identificativo di alcune zone denominate *subcatchment* (sottobacini) che ricevono la precipitazione e generano i carichi della sostanza inquinante e di precipitazione. Il modello trasporta i carichi attraverso un sistema di condotte, canali, dispositivi di trattamento e di invaso, impianti di sollevamento, luci di fondo e stramazzi. SWMM rintraccia la quantità e la qualità di deflusso generate all'interno di ogni *subcatchment*, la portata, la profondità di flusso e la qualità di acqua in ogni condotta e canale durante il periodo di simulazione formato da passi temporali definiti.

SWMM inizialmente è stato sviluppato nel 1971 e da allora ha subito parecchi aggiornamenti importanti. Continua ad essere ampiamente usato per la progettazione e analisi di eventi di precipitazione eccezionale, fognature miste, fognature sanitarie ed altre reti di fognatura nelle aree urbane, con molte applicazioni nelle zone non-urbane per reti di canali.

SWMM 5 fornisce un ambiente integrato per la pubblicazione dei dati di input di zona di studio, le simulazioni di qualità idrologica, idraulica e dell'acqua e dell'esame dei risultati in una varietà di disposizioni. Questi includono i programmi *color-coded* del sistema di zona e del trasporto di drenaggio, grafici e tabelle di serie cronologiche, diagrammi di profilo ed analisi di frequenza statistiche.

SWMM rappresenta i vari processi idrologici che producono il deflusso dalle aree urbane. Questi includono:

- precipitazioni;
- evaporazione d'acqua;
- accumulo e scioglimento della neve;
- infiltrazione di pioggia negli strati insaturi del terreno;
- percolazione di acqua infiltrata negli strati dell'acqua freatica;
- interflow fra acqua freatica e la rete di fognatura;

La variabilità spaziale di questi processi è realizzata dividendo la zona di studio in sottobacini, *subcatchment*, ognuna delle quali sarà divisa sulla base dell'area

permeabile ed impermeabile. Il flusso terrestre può essere diretto fra i *subcatchments*, o nei punti di entrata di una rete di fognatura.

SWMM inoltre contiene un insieme flessibile di possibilità per la modellazione idraulica usate per dirigere le portate e le affluenze esterne attraverso la rete di fognatura delle condotte, dei canali, delle unità di trattamento e di invaso e delle strutture di diversione. Questi includono:

- rete di drenaggio con numero di maglie illimitato;
- impiego di un'ampia varietà di figure chiuse standard ed aperte delle condotte come pure per canali naturali;
- elementi speciali di modello quali le unità trattamento/di invaso, i divisori di flusso, le pompe, gli stramazzi e luci di fondo;
- applicare i flussi e gli input esterni di qualità dell'acqua alle acque di superficie, dal interflow dell'acqua freatica, dall'infiltrazione pioggia-dipendente/dall'affluenza, dal flusso sanitario del tempo asciutto e dalle affluenze prestabilite dall'utente;
- utilizzare l'onda cinematica o i metodi di percorso dinamici completi di flusso dell'onda;
- modellare i vari regimi di flusso, come lo stagno, il sovraccarico, il flusso d'inversione ed accumulazione di superficie;
- applicare le regole dinamiche prestabilite dall'utente di controllo per simulare il funzionamento delle pompe, delle aperture dell'orifizio e dei livelli della sommità degli sbarramenti;
- Oltre che alla modellazione, generazione e trasporto dei flussi, SWMM può anche valutare la produzione dei carichi inquinanti connessi al deflusso. SWMM è stato impiegato in numerosi studi relativi a precipitazioni intense. Le applicazioni tipiche includono:
- disegno dei componenti della rete di fognatura e di canali per controllo dell'inondazione;
- tracciato normale dell'inondazione dei sistemi naturali della scanalatura (SWMM 5 è un modello FEMA-approvato per gli studi di NFPI);
- progettazione delle strategie di controllo per la minimizzazione dei trabocchi della rete fognaria.

## **12.2 Descrizione matematica del modello di calcolo**

Il metodo dell'onda dinamica risolve le equazioni monodimensionali di De Saint Venant. Queste equazioni consistono nell'equazione di continuità e dei momenti, espresse nel seguente modo:

$$\frac{\partial A}{\partial T} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0; \quad \text{equazione di continuità;}$$

(1)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f + gAh_L = 0; \quad \text{equazione dei momenti;}$$

(2)

dove, x è la distanza lungo la condotta, t è la variabile temporale, A l'area liquida trasversale nella condotta, Q la portata defluita, H è il livello idraulico dell'acqua nella condotta (termine potenziale più eventuale termine di pressione), Sf la pendenza d'attrito, hL è la locale perdita di energia per unità di lunghezza della condotta, e g l'accelerazione di gravità.

Data la geometria della condotta, l'area A risulta funzione del tirante idrico y il quale può essere ottenuto dall'altezza H. Pertanto le variabili dipendenti in queste equazioni sono la portata Q e l'altezza H, a sua volta funzioni della distanza x e del tempo t.

Il termine Sf viene espresso in termini dell'equazione di Manning come:

$$S_f = \frac{n^2 \cdot V \cdot |V|}{k^2 \cdot R^{4/3}};$$

Dove n è il coefficiente di scabrezza secondo Manning, V la velocità di flusso (pari al rapporto tra la portata Q e la sezione di area liquida trasversale A, R è il raggio idraulico della sezione di flusso, e k=1,49 nell'unità US e 1,0 nel sistema metrico. Il termine che tiene conto della normale perdita di energia hL può essere espresso

come  $\frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot L}$  dove K è il coefficiente di perdita in corrispondenza della posizione x

e L la lunghezza della condotta.

Per risolvere le equazioni (1) e (2), su una singola condotta, sono richieste una serie di condizioni iniziali per H e Q al tempo 0 come condizioni al contorno per x=0 e x=L per la durata della simulazione.

Quando si analizza una rete di condotte, è necessario inserire una relazione aggiuntiva di continuità per i nodi che connettono due o più condotte. In SWMM la continuità del pelo libero si presume che esista tra il tirante al nodo e quello corrispondente alla condotta in ingresso e uscita (ad eccezione dei nodi a caduta

libera). Il cambiamento nel pelo libero H al nodo al variare del tempo può essere espresso come segue:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q}{A_{store} + \sum A_s}; \quad (3)$$

Dove  $A_{store}$  è l'area liquida al nodo,  $\sum A_s$  è la somma delle superficie liquide delle condotte connesse al nodo, e  $\sum Q$  è la portata netta all'interno del nodo (portate in arrivo - portate rilasciate), contributo di tutte le condotte connesse al nodo ed eventuali contributi esterni imposti. Il tirante idrico alla fine di una condotta connessa ad un nodo può essere computato come differenza tra la grandezza H al nodo e la quota della condotta.

Le equazioni (1), (2) e (3) sono risolte in SWMM convertendole in una serie esplicita alle differenze finite che computano il flusso in ogni condotta ed il livello al nodo al tempo come funzioni del valore noto al tempo t. Le equazioni risolte per il flusso in ogni tratto (condotta) sono:

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{Q_t + \Delta Q_{gravity} + \Delta Q_{inertial}}{1 + \Delta Q_{friction} + \Delta Q_{losses}}; \quad (4)$$

I termini individuali  $\Delta Q$  sono stati così nominati per il tipo di forze che rappresentano e sono dati dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{gravity} &= g \bar{A} \cdot (H_1 - H_2) \cdot \Delta t / L; \\ \Delta Q_{inertial} &= 2\bar{V} \cdot (\bar{A} - A_t) + V^2 \cdot (A_2 - A_1) \cdot \Delta t / L; \\ \Delta Q_{friction} &= \frac{g \cdot n^2 \cdot |\bar{V}| \cdot \Delta t}{k^2 \cdot \bar{R}^{4/3}}; \\ \Delta Q_{losses} &= \frac{\sum_i K_i \cdot |V_i| \cdot \Delta t}{2L}; \end{aligned}$$

dove:

$\bar{A}$  area liquida media nella condotta;

$\bar{R}$  Raggio idraulico medio nella condotta;

$\bar{V}$  Velocità di flusso medio all'interno della condotta;

$V_i$  Velocità di flusso locale alla posizione  $i$  lungo la condotta;

$K_i$  coefficiente di perdita locale alla posizione  $i$  lungo la condotta;

$H_1$  livello al nodo di monte della condotta;

$H_2$  livello al nodo di valle nella condotta;

$A_1$  area trasversale all'estremità di monte della condotta;

$A_2$  area trasversale all'estremità di valle della condotta.

L'equazione risolta per il livello in ogni nodo è la seguente:

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\Delta Vol}{(A_{store} + \sum A_s)_{t+\Delta t}}; \quad (5)$$

Dove  $\Delta Vol$  rappresenta il volume netto defluito attraverso il nodo terminato il passo temporale e dato dalla seguente relazione:

$$\Delta Vol = 0,5 \left[ \left( \sum Q \right)_t + \left( \sum Q \right)_{t+\Delta t} \right] \cdot \Delta t;$$

Il modello SWMM risolve l'equazioni (4) e (5) usando un metodo di approssimazioni successive di seguito discusse.

- Una prima stima del flusso in ogni condotta al tempo  $t + \Delta t$  è svolta dalla soluzione dell'equazione (4) usando i livelli, le aree e le velocità trovate al tempo corrente  $t$ .
- Successivamente lo stesso viene fatto per livelli mediante la valutazione dell'espressione (5) usando le portate appena computate. Queste soluzioni sono denominate come  $Q^{last}$  e  $H^{last}$ .
- L'espressione (4) viene risolta nuovamente, inserendo livelli, aree e velocità che appartengono ai valori  $Q^{last}$  e  $H^{last}$  appena computati. Un fattore  $\Omega$  è impiegato per combinare il nuovo flusso stimato  $Q^{new}$ , con la stima precedente  $Q^{last}$  secondo l'equazione  $Q^{new} = (1 - \Omega) \cdot Q^{last} + \Omega \cdot Q^{new}$  per la produzione del valore aggiornato di  $Q^{new}$ ;
- L'espressione (5) è risolta nuovamente per livelli impiegati per la stima di  $Q^{new}$ . Come per le portate, questa nuova soluzione per il livello,  $H^{new}$  è pesato con  $H^{last}$  per produrre una stima aggiornata per i livelli  $H^{new} = (1 - \Omega) \cdot H^{last} + \Omega \cdot H^{new}$  ;
- Se  $H^{new}$  è abbastanza vicino a  $H^{last}$  il processo si arresta con  $Q^{new}$  e  $H^{new}$  come soluzioni al tempo  $t + \Delta t$ . Diversamente,  $H^{last}$  e  $Q^{last}$  sono sostituiti rispettivamente con  $Q^{new}$  e  $H^{new}$ , ed il procedimento ritorna al punto 2.

Nell'implementare questa procedura, il programma impiega un fattore di relazione costante  $\Omega$  di 0,5, una tolleranza di convergenza di 0,005 ai nodi, e limite il numero di iterazioni a quattro.

La valutazione della portata, aggiornata mediante l'eq. (4), richiede valori per l'area media  $(\bar{A})$ , raggio idraulico  $(\bar{R})$ , e velocità  $(\bar{V})$  dall'inizio alla fine di ogni tratto (condotta) in questione. Il programma calcola questi valori usando i livelli H1 e H2, dai quali possono essere derivati i corrispondenti valori dei tiranti idrici  $y_1$  e  $y_2$ .

La profondità media  $\bar{y}$  è dunque calcolata sulla base di questi valori ed è impiegato nella sezione trasversale della condotta per il calcolo del valore medio di  $(\bar{A})$  e raggio idraulico  $(\bar{R})$ . Il valore medio di velocità  $(\bar{V})$  è determinato da rapporto tra il flusso corrente e l'area media.

Il programma limita questa velocità a valori non superiori a 50 ft/sec in valore assoluto, tale da non permettere alla frazione di flusso contenuta nell'eq. (4) di diventare illimitata.

Quando la condotta è a caduta libera all'interno di uno dei nodi (significa che il livello dell'acqua nel nodo è sotto la quota di fondo della condotta), la profondità alla fine della condotta è equivalente al più piccolo tra la profondità critica e la profondità in condizioni di moto uniforme per la corrente attraverso la condotta.

### ***12.3 Descrizione del processo fisico di formazione dei deflussi***

Per stimare l'idrogramma di piena, ovvero la successione cronologica dei valori di portata che si verificano alla sezione di chiusura di un bacino con il relativo valore di colmo a partire dalla conoscenza della precipitazione di progetto, è necessario utilizzare un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

La simulazione mediante modelli matematici del processo di trasformazione delle precipitazioni in deflussi, che si verifica in un bacino idrografico, per la complessità dei fenomeni fisici coinvolti, rende necessaria l'introduzione di semplificazioni che riguardano sia le leggi che governano le varie fasi del processo che la rappresentazione geomorfologica ed idrografica del bacino stesso.

Il modello, di tipo concettuale, utilizzato nel presente lavoro verrà descritto nei seguenti paragrafi

Per meglio comprendere il modello afflussi-deflussi, occorre descrivere sinteticamente i processi che avvengono all'interno del bacino quando si verifica su di esso un evento di precipitazione di una certa entità.

Quando l'acqua meteorica raggiunge il terreno (dopo un eventuale processo di intercettazione da parte della vegetazione) parte di essa evapora e ritorna nell'atmosfera; tale processo risulta però trascurabile nel caso di precipitazioni intense di breve durata.

L'acqua sul terreno in parte si infiltra nel suolo, inizialmente in quantità elevata e con velocità sempre più ridotta al procedere della precipitazione fino a quando l'intensità della pioggia supera la capacità di infiltrazione del terreno; a questo punto l'acqua che cade non riesce più tutta ad infiltrarsi per cui il surplus rimane sulla superficie del terreno ristagnando o dando luogo ad uno scorrimento sui versanti del bacino.

Si formano quindi dei rigagnoli ad andamento irregolare che si raccolgono in una rete di rigagnoli di maggiori dimensioni al procedere dello scorrimento fino ad immettersi nella rete drenante vera e propria, qui si forma un'onda di piena che trasferisce la propria forma nella rete collettiva con un processo di propagazione.

Nel modello utilizzato i meccanismi di generazione dei deflussi superficiali risultano diversi a seconda che il suolo su cui cade l'acqua meteorica sia impermeabilizzato (nel caso cioè di zone urbanizzate) o meno.

Qui di seguito vengono descritti i modelli di filtrazione e detenzione superficiali assunti alla base delle simulazioni effettuate.

### Aree permeabili

Per quanto concerne le aree non impermeabilizzate dall'intervento antropico, si è utilizzato il modello hortoniano di generazione dei deflussi superficiali.

Si è quindi ipotizzato che l'acqua di precipitazione in parte si accumuli nelle depressioni superficiali del terreno ed in parte si infiltri nel terreno fino a saturarlo, a questo punto l'acqua meteorica si infila solamente in minima parte e praticamente tutta scorre in superficie fino a raggiungere la rete drenante.

La formulazione matematica del processo di infiltrazione sopra descritto è riassumibile nella curva di Horton:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

dove:

- $f(t)$  è la capacità di infiltrazione nel tempo espressa in mm/h;  
 $f_0$  è l'infiltrazione massima che si verifica al tempo  $t = 0$ ;  
 $f_c$  è il valore di infiltrazione raggiunto asintoticamente ad un  $t$  infinito;  
 $k$  è una costante che qualifica la velocità dell'esaurimento, cioè del passaggio dal valore  $f_0$  al valore  $f_c$ .

Ogni suolo è quindi caratterizzato da quattro parametri  $f_0$ ,  $f_c$  e  $k$  e la detenzione superficiale  $d_s$ .

Dai dati disponibili in letteratura e dai test di validità del modello effettuati con misure sperimentali e tramite confronto con altri modelli matematici, si può ritenere che il coefficiente  $k$  può assumersi pari  $4.14 \text{ h}^{-1}$ .

### Aree impermeabili

Per le aree impermeabilizzate dagli insediamenti antropici, la pioggia netta efficace è stata ottenuta mediante la sola sottrazione della detenzione superficiale stimata, secondo valori di letteratura, pari a 1.57 mm. Il modello utilizzato è un modello concettuale che si basa sulla schematizzazione separata delle aree permeabili e di quelle impermeabili come due serbatoi lineari in parallelo. Dato uno ietogramma efficace qualsiasi è possibile per ogni parte del bacino (permeabile ed impermeabile) determinare per convoluzione l'idrogramma dei deflussi superficiali corrispondenti per poi sommarli ed ottenere quindi l'idrogramma di piena della totalità del bacino.

La precipitazione elementare avente un volume:

$$dV = I(\tau) dt$$

genera un idrogramma che si ottiene da quello dell'idrogramma unitario (generato da una precipitazione netta di volume unitario) moltiplicando le ordinate per  $dV$ .

L'ordinata dell'idrogramma al tempo  $t$  sarà data dalla somma dei contributi delle precipitazioni elementari di durata  $d\tau$  compresa tra 0 e  $t$ , ovvero dal seguente integrale denominato integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t u(t - \tau) \cdot I(\tau) \cdot d\tau.$$

Per la determinazione dell'idrogramma unitario, si ricorre alla schematizzazione separata degli apporti provenienti dalle aree permeabili ed impermeabili del bacino

che vengono schematizzate mediante due serbatoi lineari aventi cioè la seguente relazione tra portata uscente e volume invasato:

$$V = K \cdot Q.$$

Si consideri l'equazione di continuità dei serbatoi:

$$I(t) - Q(t) = \frac{dV}{dt} = K \cdot \frac{dQ}{dt},$$

moltiplicando entrambi i membri per  $e^{\frac{t}{k}}$  si ottiene:

$$e^{\frac{t}{k}} \cdot I(t) = e^{\frac{t}{k}} \cdot Q(t) + e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} \left[ e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot Q(t) \right]$$

e quindi integrando tra 0 e t si ottiene:

$$\int_0^t e^{\frac{\tau}{k}} \cdot I(\tau) \cdot d\tau = \int_0^t \frac{d}{dt} \left[ e^{\frac{\tau}{k}} \cdot K \cdot Q(\tau) \right] \cdot dt = e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot Q(t).$$

Si ottiene perciò:

$$Q(t) = \int_0^t \frac{e^{-\frac{t-\tau}{k}}}{K} \cdot I(\tau) \cdot d\tau$$

che confrontata con l'integrale di convoluzione fornisce:

$$u(t) = \frac{e^{-\frac{t}{k}}}{K}.$$

Il valore del coefficiente di invaso K per entrambi i serbatoi (che simulano l'area impermeabile e quella permeabile rispettivamente) si ottiene dalla seguente relazione basata sulla teoria dell'onda cinematica:

$$K = \frac{a \cdot L^{0.6} \cdot n^{0.6}}{I_{MAX}^{0.4} \cdot S^{0.3}} \quad \text{dove:}$$

K	è il coefficiente di invaso;
L	è la lunghezza del bacino;
I <sub>max</sub>	è l'intensità massima della pioggia netta;
n	è il coefficiente di scabrezza superficiale di Manning;
S	è la pendenza del bacino.

---

## **13 ALLEGATI**

---

ALLEGATO 1 - PLANIMETRIA DI RILIEVO TOMBINAMENTO (pag.1 - A3)

ALLEGATO 2 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ISPEZIONE 07.12.2021 (pagg.23 - A4)

SEZIONI		MATERIALI	
Diametro	D	Non rilevato	NC
Rettilineo	RE	Cemento	CS
Rettilineo aperto	RA	Fibrificato	CA
Trapezoidale	TR	PVC	PVC
Ellittico orizzontale	EO	Polietilene	PE
Parabolico	PA	Gres	GRS
Rettilineo tondo	RT	MAR	MAR
Arco (basket)	BA	GHS	GHS
Ovale	OVI	ACC	ACC
Semisferico	SE	Vetroresina	VR
Semisferico	SO	Polietilene corrug.	PCC
Trapezoidale aperto	TA	Inox	ACCINOX
Vignola	VI	Pietrame	PT
Rettilineo triangolare	RR		
Senza fondo	(S.F.)		

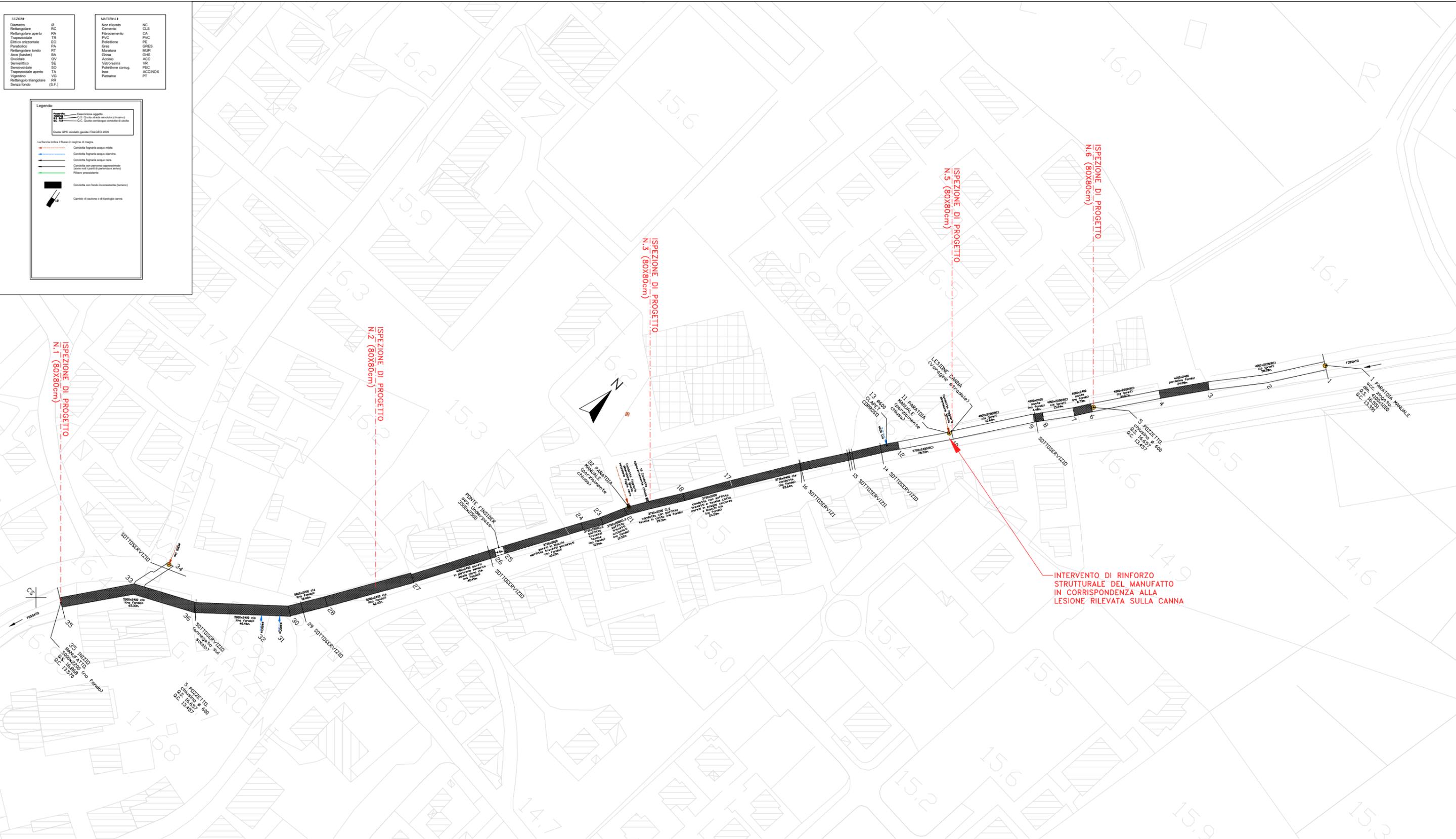
**Legenda:**

- Disposizione progetto
- D.C. Quota elevazione assoluta (chiusura)
- D.C. Quota elevazione assoluta di canale

Quota GPS, modello geoidale ITALGEO 2011

La freccia indica il basso in regime di magra.

- Condotta fognaria acque rosse
- Condotta fognaria acque bianche
- Condotta fognaria acque nere
- Condotta con sistema sifonizzato (con o senza pozzo di paracadute e anello)
- Rilievo preesistente
- Condotta con fondo incoerente (denario)
- Canale di scolo o di spargimento



ALLEGATO 1 – PLANIMETRIA DI RILIEVO TOMBINAMENTO (CON INDICAZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI)

## **Relazione fotografica ispezione scolo Fossona Comune di Rovolon 07/12/2021**



**Punto 1 di partenza ispezione (da monte verso valle).**

**Paratoia manuale su canna di elementi scatolari prefabbricati 4000x2200**



**Foto inquadramento punto 3.**



**Punto 3 cambio sezione (ponte) 4000x2400, senza fondo.**



**Foto inquadramento punti 5(chiusino) e 6 (cambio sezione).**



**Punto 5 e punto 6 : Chiusino e cambio sezione a ponte (senza fondo)**

**Inquadrati da monte verso valle.**



**Foto inquadramento punto 8.**



**Punto 9 (cambio sez.) e sottoservizio inquadrati da punto 8  
(ponte senza fondo).**



Foto inquadramento punti 10 e 11. Segno di voragine in superficie.



Paratoia punto 11.

Sulla Dx dell'immagine sotto si intravede il cambio (Punto 10)



**Particolare del verme di manovra paratoia 11**



**Evidenziato danno strutturale fondamenta, in prossimità del punto 10 in Dx idraulica.**



**Foto di inquadramento punto 13.**



**Condotta D600 in Dx idraulica (punto 13), inquadrata da valle verso monte.  
Si notano il clapet corroso (non più funzionale) e in fondo il cambio sezione (Punto 12).**



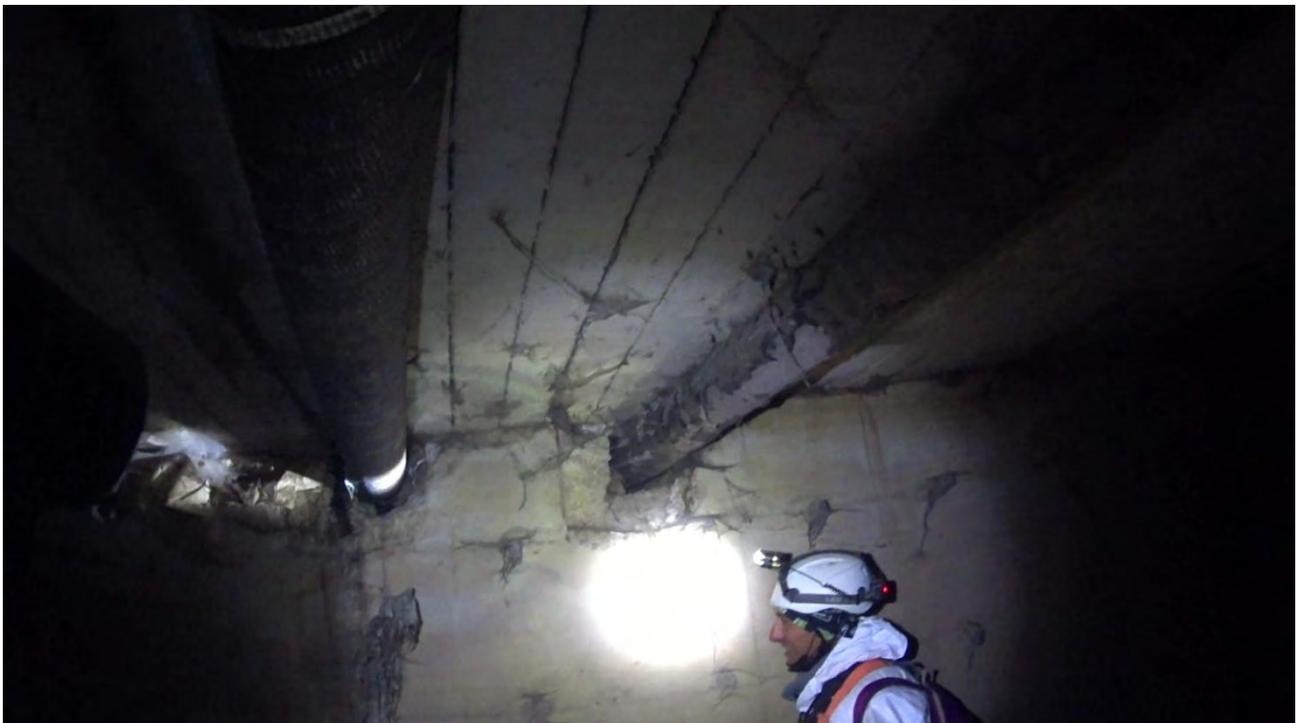
**Foto di inquadramento punto 14.**



**Sottoservizio (punto 14) inquadrato da valle.**



**Foto di inquadramento punto 15.**



**Sottoservizi punto 15**



Foto di inquadramento punto 16.



Sottoservizi intrecciati in prossimità del solaio (punto 16).



**Foto di inquadramento cambio sezione punto 17.**



**Particolare cambio sezione punto 17 in Sx idraulica (no fondo).**

**La parete appare erosa.**



**Particolare di lesione non passante su parete Sx idraulica, pochi metri a valle del punto 17.**

**Il solaio è in travetti e tavelle (poco prima del punto 18 diventa in Cls per breve tratto).**



**Particolare della costruzione di parete superiore in scaglia calcare in Dx idraulica.**

**Pochi metri a monte del punto 18.**



**Foto inquadramento posizione Punto 19.**



**Punto 19 immissione interrata e probabilmente non funzionante in Dx idraulica.**



**Punto di inquadramento inserimento di una condotta(punto 20), rilevate acque nera.  
Parzialmente chiusa da paratoia (P22), il pozzetto del verme è interrato vicino rotaia cancello.**



**Paratoia (punto 22) in Dx idraulica, si noti la presenza di fogna nere.**

**(La foto si presenta inclinata a sinistra).**



**Particolari del solaio nel cambio sezione punto 21 in prossimità della paratoia 22.**

**Da tavelle in cotto e cls a travetti accostati, Inquadrata da monte verso valle.**



**Cambio sezione punto 23, da travetti accostati a travetti con tavelle.**

**Punto di altezza minima della canna (no fondo).**



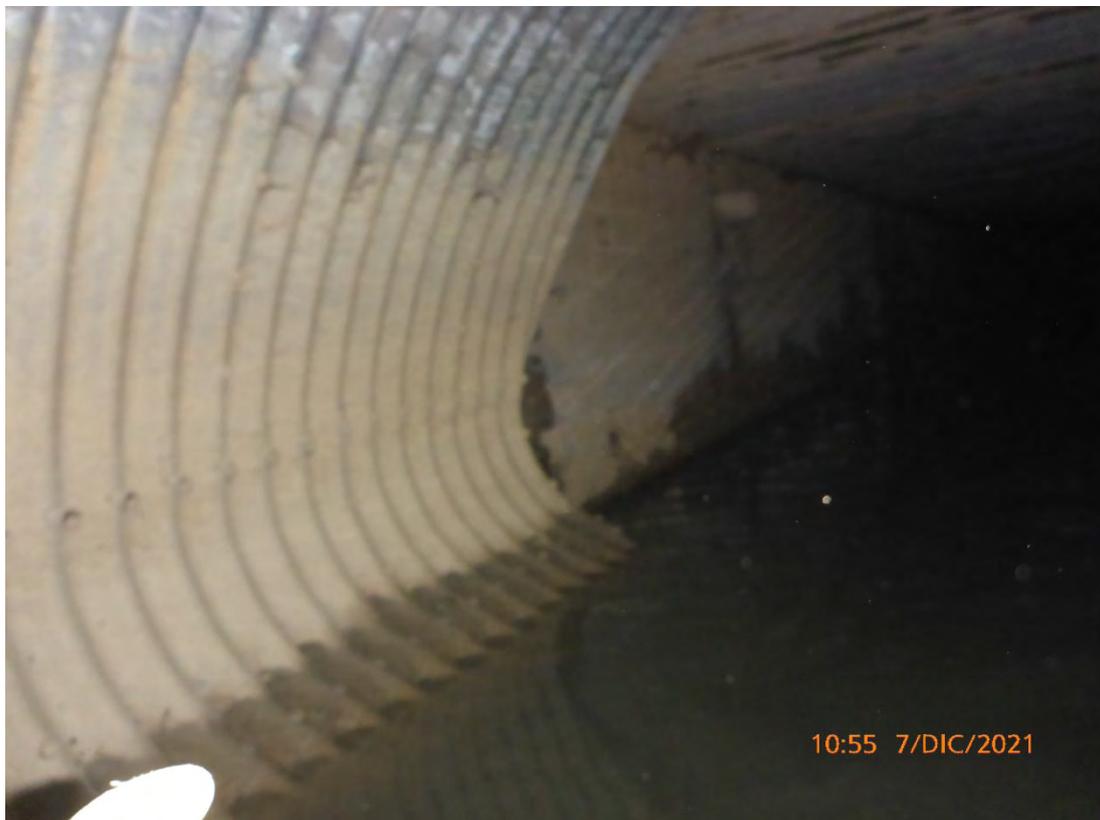
**Punto di inquadramento Ponte in lamiera ondulata Finsider (punti 25 e 26)**



**Inquadratura ponte finsider da monte verso valle.**



**Particolare soffitto ponte Finsider inquadrato da valle verso monte (si vede punto 25)**



**Particolare fianco ponte Finsider inquadrato da valle verso monte (si vede punto 25)**



**Foto di inquadramento punto 26. Da ponte Finsider a canna in conci e Cls.**



**Punto 26 si nota le parete curvata a semiarco (Sx idr.) interrotta dal solaio in Cls e un sottoservizio. Entrambe le pareti della canna presentano la medesima curvatura (no fondo).**



**Punto 27 inizio tratto canna finale larghezza 5 m**



**Foto 1 tratto finale (larghezza 5 metri no fondo)**



**Foto 2 tratto finale (no fondo)**



**Foto 3 tratto finale si nota sottoservizio (punto 29)**



**Foto 5 tratto finale. Particolare di sottoservizio annegato nel solaio (Punto 36)**



**Foto da punto 36 verso valle. Si intravedono in lontananza l'ultima curva a Sx., e l'immissione della canna rettangolare (Dx) che si collega al punto 34 (D1500 cls).**



**Punto 34. Posizione punto di immissione di tubo D1500 in cls su braccio secondario.**



**Punto 34: Immissione tubo D1500 cls inquadrato da canna braccio secondario  
(da valle verso monte).**

**Si nota la presenza di sottoservizio stradale vicino al solaio.**



**Punto di uscita ispezione (punto 35)**