

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
ALBERTO BITOSSÌ
IL DIRETTORE ESECUTORE DEL CONTRATTO
ANTONIO ROSSA

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER
IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE
CONNESSE)**

PROGETTAZIONE

MANDANTARIA



MANDANTE

MANDANTE

MANDANTE



Società **TECENTRAL**

STUDIO IDRAULICO

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO DEL RIO PRELI

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. Luca Bernardini

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

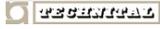
E 2 1 D 0 0 D Z 1 R I I D 0 0 0 3 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. C	01/2022	S. Venturini	02/2022	W. Marinelli	02/2022	A. Peresso 02/2022

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>2 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	2 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	2 di 88								

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO DEL RIO PRELI.....	5
1.1 NORMATIVA IDRAULICA DI RIFERIMENTO	13
1.2 PARAMETRI IDROLOGICI PER LO STUDIO DEL RIO PRELI.....	21
1.3 DESCRIZIONE DEI BACINI IDROLOGICI OGGETTO DI STUDIO.....	23
1.4 PARAMETRI IDROLOGICI.....	26
1.5 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL RIO PRELI.....	28
1.6 MODELLAZIONE 2D DELL'ESONDAZIONE DEL RIO PRELI	48
3. CONCLUSIONI.....	58
ALLEGATO 1 – IL CODICE DI CALCOLO SWMM.....	59
ALLEGATO 2 – MAPPE DEI TIRANTI IDRICI E DELLE VELOCITA'	87
ALLEGATO 3 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	
TAVOLE DI RIFERIMENTO	
E21D00DZ1PLID0002003A - RILIEVO TOPOGRAFICO RIO PRELI	
E21D00DZ1PLID0002004A – PROFILO LONGITUDINALE RIO PRELI	
E21D00DZ1PLID0002005A – SEZIONI TRASVERSALI RIO PRELI	
E21D00DZ1PLID0002006A – PROFILO LONGITUDINALE CON INDICAZIONE DEI TIRANTI IDRICI	
E21D00DZ1PLID0002007A – SEZIONI TRASVERSALI CON INDICAZIONE DEI TIRANTI IDRICI	



**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA
PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E
STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	3 di 88

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>4 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	4 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	4 di 88								

1. INTRODUZIONE

Il presente documento intende rispondere ai quesiti integrativi formulati dai Tecnici della Regione Liguria, ed in particolare relativamente alla necessità di sviluppare uno studio idraulico del rio Preli, incluso il suo affluente rio Figallo, con criteri coerenti con quelli del piano di bacino, con determinazione della fasce di inondabilità, come previsto dall'art. 8 c.3 del Piano di Bacino.

In relazione a tale richiesta è stato condotto lo studio idrologico del Rio e successivamente modellato con idonei strumenti di calcolo. In dettaglio è stato usato il codice di calcolo SWMM per la parte di Rio tombato e il codice di calcolo HEC-RAS per valutare le aree potenzialmente interessate da esondazione. Si sono quindi prodotti sia i profili di piena che le relative mappe di esondazione con Tempi di Ritorno pari a 50, 200 e 500 anni. In particolare, confrontando i risultati delle simulazioni con le esondazioni storiche si è visto che la causa delle esondazioni è legata all'imbocco del Rio Figallo e del manufatto che raccorda la parte di alveo naturale con il tratto tombato.

Tale analisi ha mostrato che di fatto l'esondazione del Rio Figallo non interessa in modo significativo l'area di intervento in corrispondenza del Deposito di Gavette, se non una piccola parte ribassata in comunicazione attraverso un cancello con via Lodi e che l'esondazione di interesse ai fini della messa in sicurezza dell'area rimane quella del Bisagno.

Nel seguito della relazione si riportano i vari calcoli e i risultati ottenuti nello studio sviluppato.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>5 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	5 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	5 di 88								

2. STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO DEL RIO PRELI

Nel seguito del documento si vuole valutare il comportamento idraulico del Rio Preli, allo stato attuale, affluente in destra idraulica del Torrente Bisagno nei pressi della stazione di Gavette.

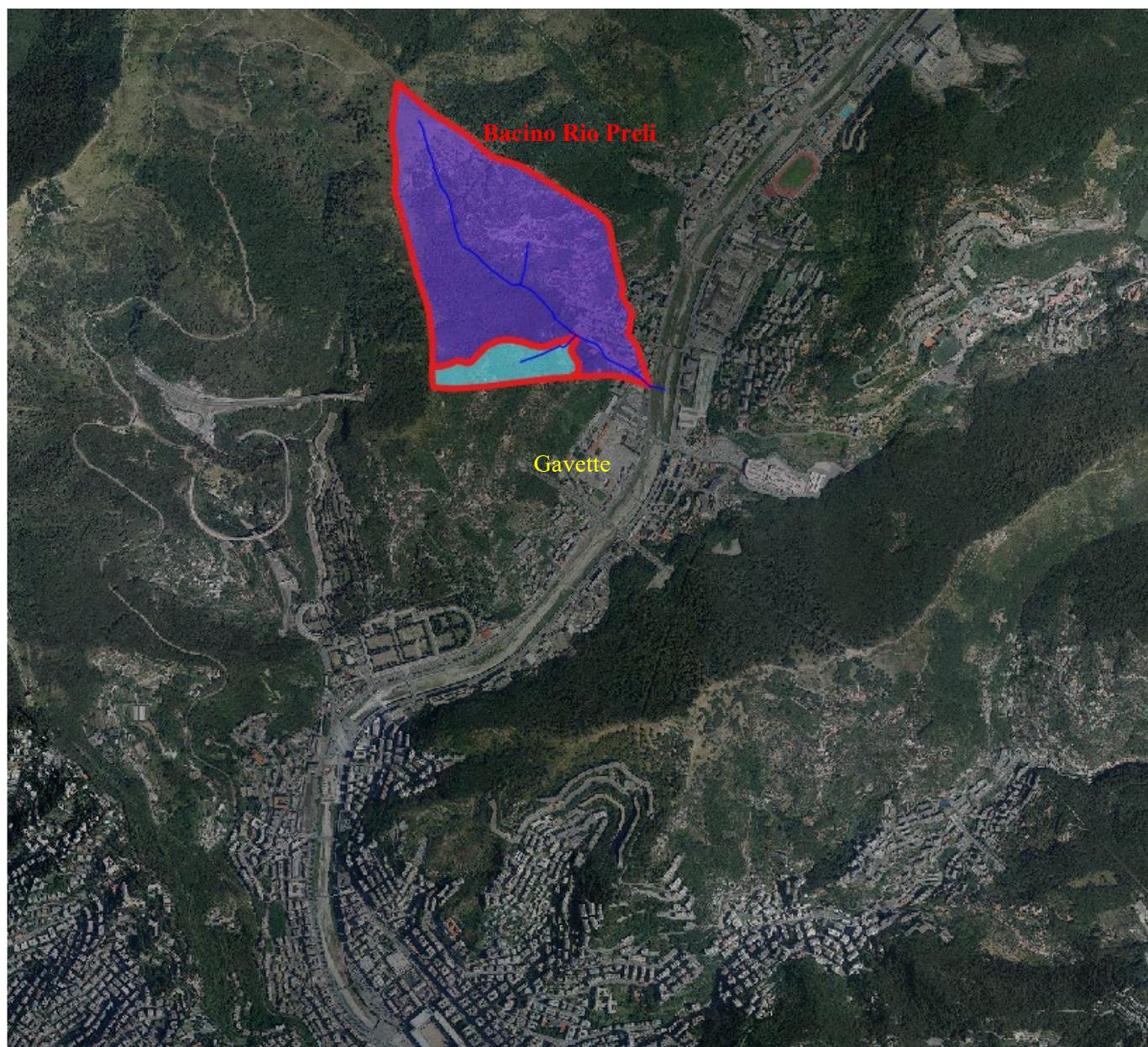


Fig. 1: Immagine area con evidenziato il bacino del Rio Preli e la stazione di Gavette lungo il Torrente Bisagno (la parte di bacino di colore azzurro si riferisce all'affluente Rio Figallo).

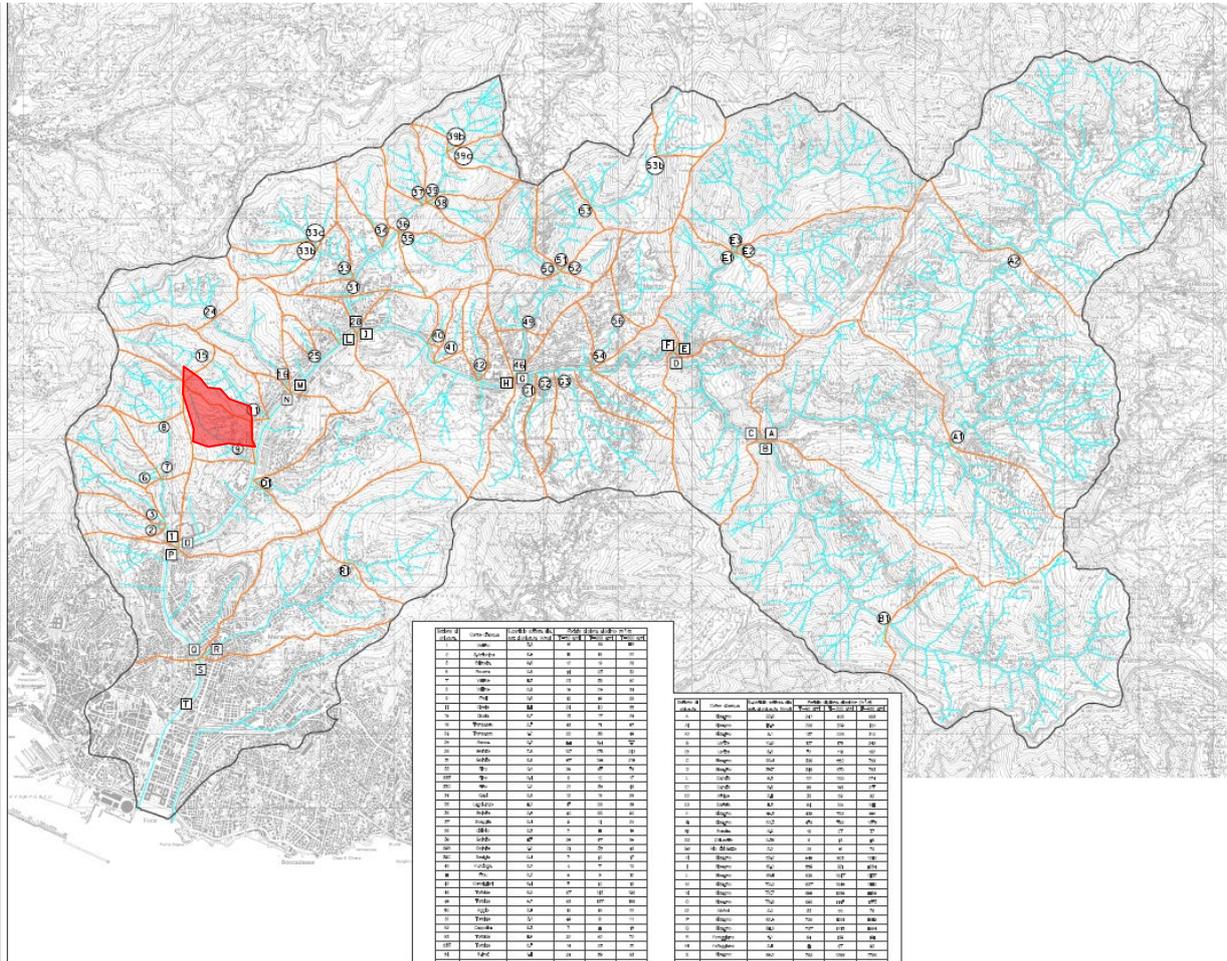


Fig. 2: Carta dei sottobacini e di ubicazione delle sezioni di chiusura, Piano di Bacino del Torrente Bisagno 2017.

Osservando la “Carta dei sottobacini e di ubicazione delle sezioni di chiusura” è possibile identificare il sottobacino e la sezione di chiusura del Rio Preli, identificata con il poligono rosso in Fig. 2.

Il sottobacino del Rio Preli è identificato dal numero 9, l’area di circa 0.6 km² è principalmente boschiva ad esclusione del tratto terminale di sbocco nel Torrente Bisagno che risulta urbanizzato. In questo ultimo tratto il Rio si presenta tombato lungo via Lodi, in questo punto si trova un affluente in destra idraulica, il Rio Figallo, che si immette nel corso principale.

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE			COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0003 001	REV. A	FOGLIO 7 di 88

Sezione di chiusura	Corso d'acqua	Superficie sottesa alla sez. di chiusura [Kmq]	Portate di piena al colmo (m ³ /s)		
			T=50 anni	T=200 anni	T=500 anni
1	Vellino	3.3	51	85	116
2	S.Antonino	0.5	10	16	22
3	Briscata	0.6	12	19	26
6	Rovena	0.8	14	23	32
7	Vellino	1.3	23	38	52
8	Vellino	0.8	15	25	34
9	Preli	0.6	12	19	26
11	Cicala	1.4	24	40	55
15	Cicala	0.7	13	17	29
16	Trensasco	2.7	43	71	97
24	Trensasco	1.2	22	36	49
25	Rocca	0.2	4.4	6.4	7.7
28	Geirato	7.6	107	176	241
31	Geirato	6.8	97	159	219
33	Pino	2.1	35	57	78
33B	Pino	0.4	8	12	17
33C	Pino	1.2	21	35	48
34	Gaxl	0.6	12	19	26
35	Lagolungo	1.0	17	28	39
36	Geirato	2.5	40	66	90
37	Scaggia	0.4	9	14	20
38	del Rio	0.3	7	11	15
39	Geirato	1.7	29	47	65
39B	Geirato	1.2	21	35	48
39C	Scaggia	0.4	7	12	17
40	Fundega	0.2	4	7	10
41	Prou	0.2	5	9	12
42	Consigneri	0.4	7	12	16
46	Torbido	6.0	87	143	196
49	Torbido	5.7	83	137	188
50	Aggio	0.5	10	16	22
51	Torbido	3.1	49	81	111
52	Coppallo	0.3	7	11	15
53	Torbido	1.9	32	52	72
53B	Torbido	0.7	14	23	31
54	Ruina'	1.4	24	39	53
56	Ruina'	0.7	12	20	28

Fig. 3: Legenda tratta dalla "Carta dei sottobacini e di ubicazione delle sezioni di chiusura", Piano di Bacino del Torrente Bisagno 2017.

Osservando quanto riportato in tabella nella Fig. 3, la portata di piena al colmo per un tempo di ritorno TR di 200 anni è pari a circa 19 m³/s. Secondo quanto riportato dal documento del Piano di Bacino stralcio per la tutela del

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>8 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	8 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	8 di 88								

rischio idrogeologico – Verifiche idrauliche Verifiche locali, del Torrente Bisagno, la portata duecentennale del Rio Preli si attesta su un valore pari a 24 m³/s, differente rispetto a quello riportato nella carta dei sottobacini.

SCHEDA VERIFICA IDRAULICA DI TIPO PUNTUALE

Codice **PRPR020TB01**
 Bacino principale: Bisagno
 Sottobacino: Preli
 Corso d'acqua: **rio Preli**
 Descrizione: Tombinatura (imbocco)
 Sezione idraulica di riferimento: **PRE P2**

Tempo di ritorno della portata	T =	50	200	500
Larghezza di calcolo [m]	B=	3.00	3.00	3.00
Restringimento	np=	-	-	-
Dimensioni restringimento [m]	sp=	-	-	-
Luce libera media[m]	H=	3.40	3.40	3.40
Portata [mc/s]	Q=	17	24	29
Rapporto di restringimento	r =	1.00	1.00	1.00
Numero di Froude limite	FL=	1.00	1.00	1.00
Coefficiente di forma delle pile	K=	1.00	1.00	1.00
Altezza pelo libero [m]	Y=	1.48	1.87	2.12
Velocità media [m/s]	V=	3.82	4.28	4.56
Carico specifico [m]	E=	2.23	2.80	3.18
Numero di Froude	Fr=	1.00	1.00	1.00
Area [mq]	A=	4.45	5.61	6.36
Perimetro bagnato [m]	P=	5.97	6.74	7.24
Raggio idraulico [m]	R=	0.75	0.83	0.88
Franco [m]	f=	1.92	1.53	1.28
Verificata		SI	SI	SI

SCHEDA VERIFICA IDRAULICA DI TIPO PUNTUALE

Codice **PRPR019TB01**
 Bacino principale: Bisagno
 Sottobacino: Preli
 Corso d'acqua: **rio Preli**
 Descrizione: Tombinatura (sbocco)
 Sezione idraulica di riferimento: **PRE P1**

Tempo di ritorno della portata	T =	50	200	500
Larghezza di calcolo [m]	B=	4.00	4.00	4.00
Restringimento	np=	-	-	-
Dimensioni restringimento [m]	sp=	-	-	-
Luce libera media[m]	H=	2.90	2.90	2.90
Portata [mc/s]	Q=	17	24	29
Rapporto di restringimento	r =	1.00	1.00	1.00
Numero di Froude limite	FL=	1.00	1.00	1.00
Coefficiente di forma delle pile	K=	1.00	1.00	1.00
Altezza pelo libero [m]	Y=	1.23	1.54	1.75
Velocità media [m/s]	V=	3.47	3.89	4.14
Carico specifico [m]	E=	1.84	2.31	2.62
Numero di Froude	Fr=	1.00	1.00	1.00
Area [mq]	A=	4.90	6.17	7.00
Perimetro bagnato [m]	P=	6.45	7.08	7.50
Raggio idraulico [m]	R=	0.76	0.87	0.93
Franco [m]	f=	1.67	1.36	1.15
Verificata		SI	SI	SI

NOTA : la sezione di sbocco è ridotta dalla presenza di un collettore fognario

Fig. 4: Scheda di verifica idraulica relativa al Rio Preli ("Verifiche Idrauliche – Verifiche Locali – Piano di Bacino del Torrente Bisagno).

Di fatto le successive valutazioni idrauliche saranno realizzate riferendosi al valore più elevato di 24 m³/s, per quanto riguarda il TR di 200 anni.

Per far fronte allo studio idraulico del Rio Preli si è fatto riferimento ad un rilievo topografico esistente realizzato nel 2014, integrato con un rilievo del 2021. In tal modo si è ottenuto un rilievo sufficientemente dettagliato per produrre il modello numerico utile allo studio del comportamento idraulico del Rio. Di seguito si riportano alcune immagini del Rio e delle quote rilevate. Negli elaborati grafici si è riportato il rilievo completo, anche della parte tombata, realizzato nel 2014 completo di profili e sezioni del Rio.

Occorre premettere che il rilievo del 2014 aveva come zero un valore più elevato di 12.11 m rispetto al livello del mare e questa differenza la si è osservata dal confronto tra i due rilievi. Nel modello numerico sviluppato del Rio si è comunque fatto riferimento alle quote sul livello del mare.

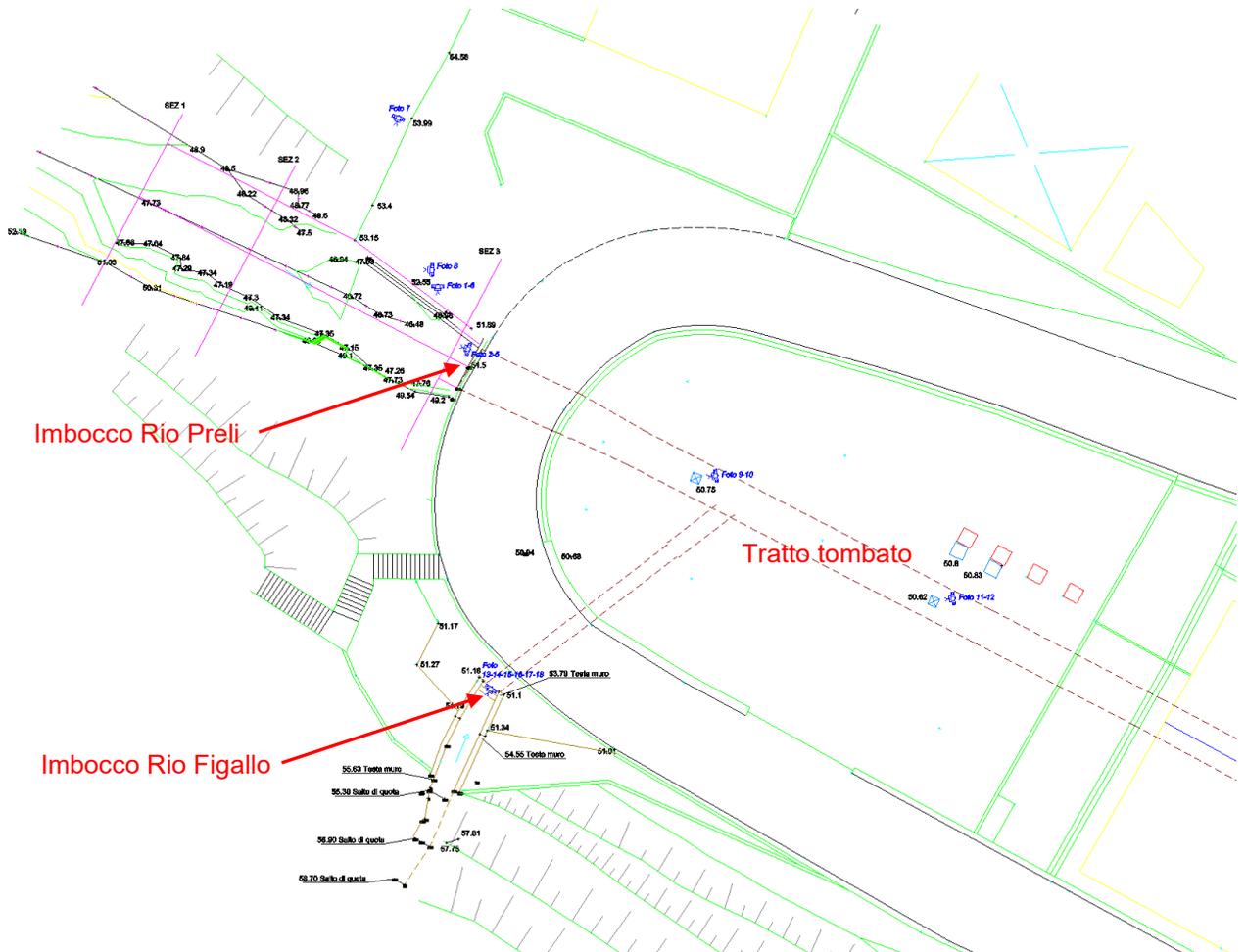


Fig. 5: Planimetria con i dettagli delle quote rilevate nei tratti di imbocco del Rio Preli e del Rio Figallo.

In particolare nelle immagini seguenti si può osservare l'imbocco del Rio Preli e quello del Rio Figallo che, anche recentemente, ha creato diversi problemi di sormonto. Problematiche probabilmente dovute all'ostruzione della griglia presente e dall'insufficienza dell'apertura di troppo pieno che dovrebbe intervenire proprio in caso di ostruzioni.

Si riporta anche l'immagine del sormonto avvenuta a seguito di un evento pluviometrico il 13 Novembre 2021 e riportata sulla stampa locale.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	10 di 88



Fig. 6: Immagine dell'imbocco del Rio Preli



Fig. 7: Immagini dell'imbocco del Rio Figallo

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>11 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	11 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	11 di 88								



Fig. 8: Immagini dell'esondazione avvenuta il 13/11/2021 che evidenziano l'imbocco del Rio Figallo (immagini tratte dal sito genova24.it).

Di seguito si riportano anche alcune immagini dell'interno del Rio Preli fornite dal Comune di Genova ed eseguite durante la realizzazione di alcuni lavori eseguiti nella parte terminale del Rio.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>12 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	12 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	12 di 88								

Dal punto di vista strutturale non si hanno a disposizione indagini sui materiali ma in allegato 3 è riportata la documentazione fotografica da cui si può evincere la struttura della tombinatura.

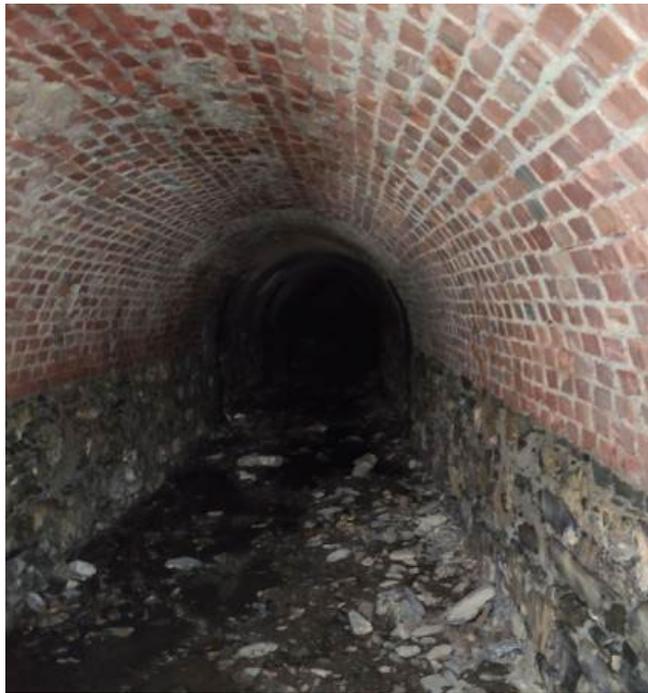


Fig. 9: Immagini dell'interno del Rio Preli fornite dal Comune di Genova.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>13 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	13 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	13 di 88								

1.1 NORMATIVA IDRAULICA DI RIFERIMENTO

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) è lo strumento di pianificazione previsto, nella legislazione comunitaria, dalla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il D.Lgs. n. 49/2010.

L'elaborazione dei PGRA è temporalmente organizzata secondo **cicli di attuazione della durata di 6 anni**: il primo ciclo di attuazione si è concluso nel 2016 quando sono stati approvati i PGRA relativi al periodo 2015-2021. Attualmente sono in corso le attività che porteranno, nel dicembre 2021, all'approvazione dei PGRA relativi al secondo ciclo di attuazione.

La regione Liguria rientra nel distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale.



Fig. 10: Distretti, unità di gestione e limiti regionali/provinciali derivanti dal secondo ciclo del PGRA

Allo stato attuale, sia a livello nazionale che all'interno del distretto dell'Appennino Settentrionale, non sussiste completa uniformità relativamente alla valenza dei PGRA quali strumenti tecnico-normativi di riferimento per l'indirizzo e la regolazione delle trasformazioni del territorio e la gestione del rischio idraulico nei confronti

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>14 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	14 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	14 di 88								

dell'attività edilizia e dell'urbanistica. In particolare, vario è il rapporto tra PGRA e Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) a suo tempo approvati – e in parte ancora vigenti – alla scala dei bacini idrografici della legge 183/1989, oggi abrogata. Per gli ex bacini regionali liguri, il PAI si applica sia per la parte relativa alla pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica che per la parte di pericolosità idraulica, sia come norme che come perimetrazioni.



Fig. 11: Strumenti normativi in vigore nelle differenti aree del Distretto dell'Appennino Settentrionale.

Nel caso specifico la normativa idraulica di riferimento è quindi costituita dal:

- Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Torrente Bisagno: ultima variante approvata D.D.G. 6056/2019 e variante approvata con efficacia sospesa D.D.G. 2204/2020, Il Piano di Bacino è sovraordinato a tutti gli altri strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica vigenti e costituisce la norma a cui attenersi per l'esecuzione di opere e infrastrutture che interferiscano con il reticolo idrografico;
- DGR 723/2013: Autorità di Bacino regionale, L.R. 58/2009 - Indirizzi interpretativi in merito alle definizioni di interventi urbanistico-edilizi richiamate nella normativa dei piani di bacino per la tutela dal rischio idrogeologico;
- DGR 712/2016: L.R. 15/2015 art. 26 c. 5 - Approvazione variante al PdB stralcio del torr. Bisagno per aggiornamento fasce inondabilità e perimetrazione ambiti normativi torr. Bisagno e Fereggiano nonché del quadro dissesto idrogeologico successivo evento 2014.

Si riporta a seguire la carta delle fasce di inondabilità per le aree oggetto del presente studio.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	15 di 88

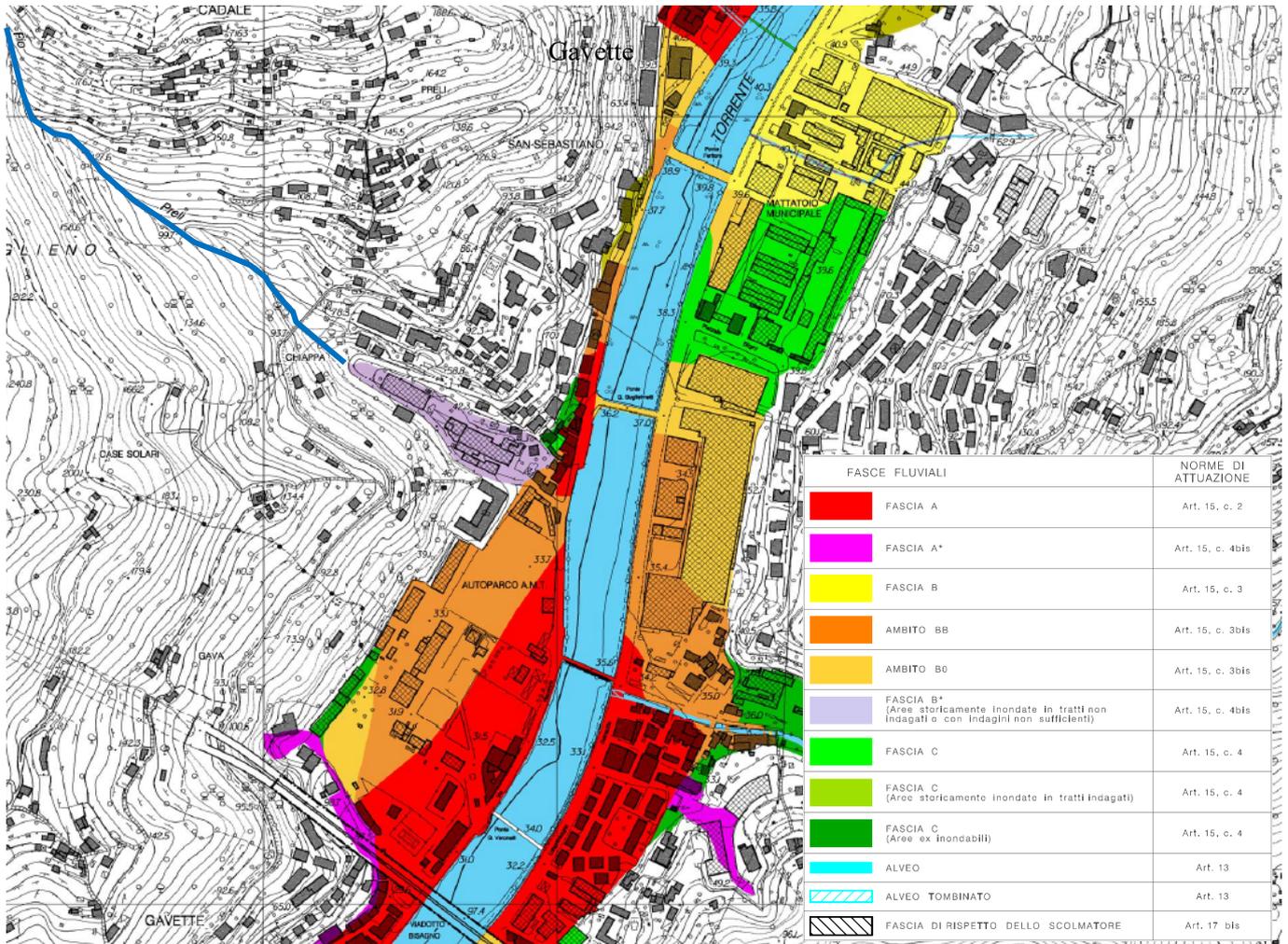


Fig. 12: Carta delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi, tavola 3, relativo al Torrente Bisagno, Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico.

Nell'art. 12 delle norme di attuazione, vengono riportate le fasce di inondabilità relative alla pericolosità idrogeologica, nello specifico:

- **Fascia A - pericolosità idraulica molto elevata (P_{13}):** aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=50$ anni;
- **Fascia B - pericolosità idraulica media (P_{12}):** aree perifluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=200$ anni;
- **Fascia C - pericolosità idraulica bassa (P_{11}):** aree perifluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=500$ anni; o aree storicamente inondate ove più ampie, laddove non si siano verificate modifiche definitive del territorio tali da escludere il ripetersi dell'evento;

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>16 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	16 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	16 di 88								

- **Fascia B* (ovvero A*):** aree storicamente inondate, per le quali non siano avvenute modifiche definitive del territorio tali da escludere il ripetersi dell'evento, ovvero aree individuate come a rischio di inondazione sulla base di considerazioni geomorfologiche o di altra evidenze di criticità, in corrispondenza delle quali non siano state effettuate nell'ambito del Piano le adeguate verifiche idrauliche finalizzate all'individuazione delle fasce di inondabilità.

Sulla base di studi di maggior dettaglio, sono state individuate le aree corrispondenti agli ambiti normativi relativi alle fasce di inondabilità appena esposti:

- **Ambito BB:** aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena a tempo di ritorno T=200 anni a "maggiore pericolosità relativa" rispetto ai massimi tiranti idrici e velocità di scorrimento corrispondenti alla piena duecentennale;
- **Ambito B0:** aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena a tempo di ritorno T=200 anni a "minor pericolosità relativa" rispetto ai massimi tiranti idrici e velocità di scorrimento corrispondenti alla piena due centennale.

L'area urbana nel tratto tombato del Rio Preli ricade all'interno della Fascia B* (aree storicamente inondate in corrispondenza delle quali non sono state effettuate nell'ambito di Piano le adeguate verifiche idrauliche).

Si riportano a seguire le carte dei tiranti idrici massi per TR 50 anni e TR 200 anni tratte dal Piano di Bacino.

Nella parte terminale del tratto tombato del Rio Preli, in corrispondenza dello sbocco nel T. Bisagno, in caso di evento 50-ennale i tiranti massimi sono dell'ordine dei 30 cm, mentre in caso di evento 200-ennale i tiranti idraulici all'interno dell'area ricadono nella fascia arancione ossia compresi tra 1 e 2 metri.

Data la mancanza di verifiche idrauliche specifiche sul Rio Preli, questi tiranti sono ovviamente da imputarsi al Torrente Bisagno.

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	17 di 88

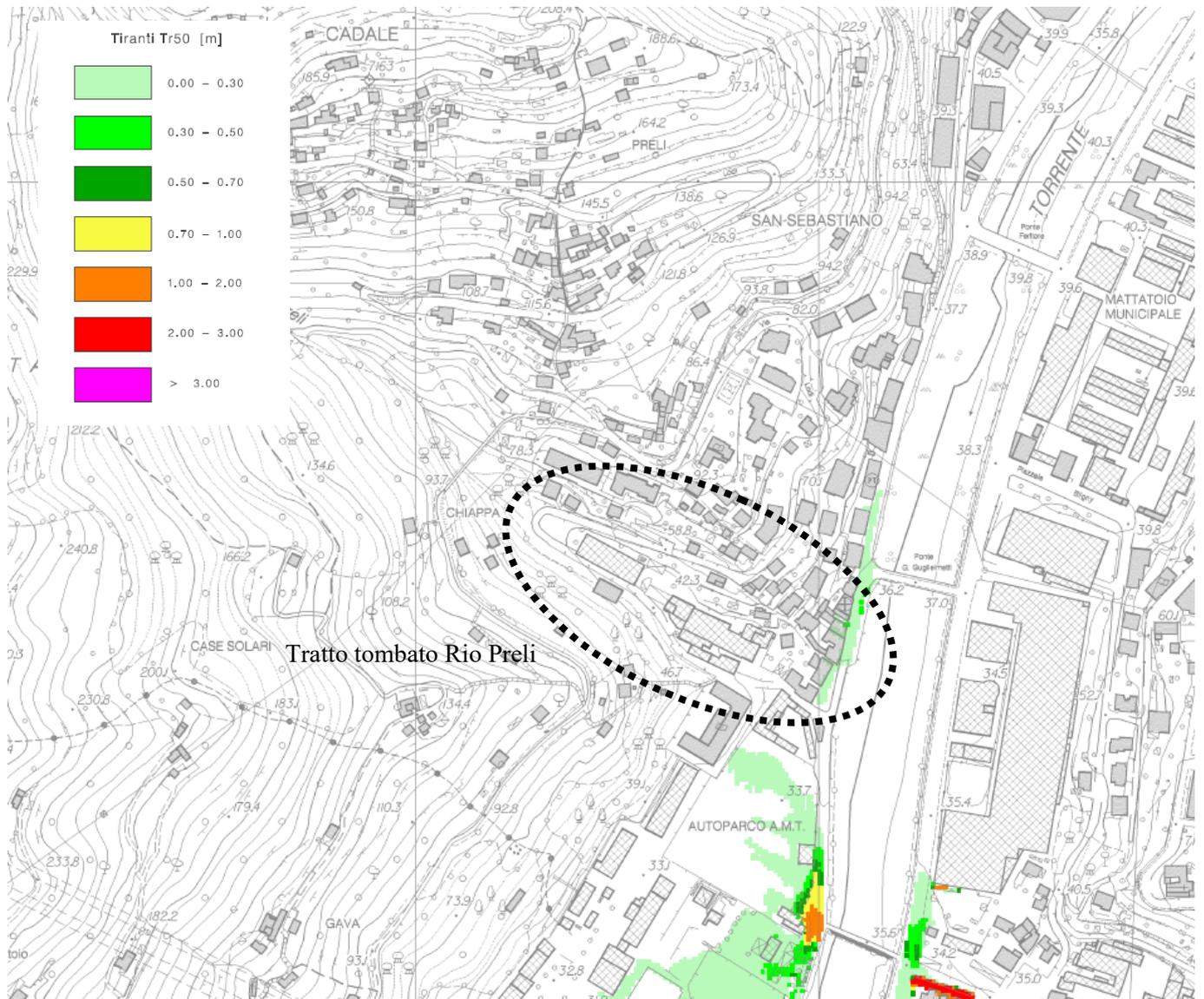


Fig. 13: Carta dei tiranti idrici massimi per $Tr=50$ anni, relativo al Torrente Bisagno, Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	18 di 88

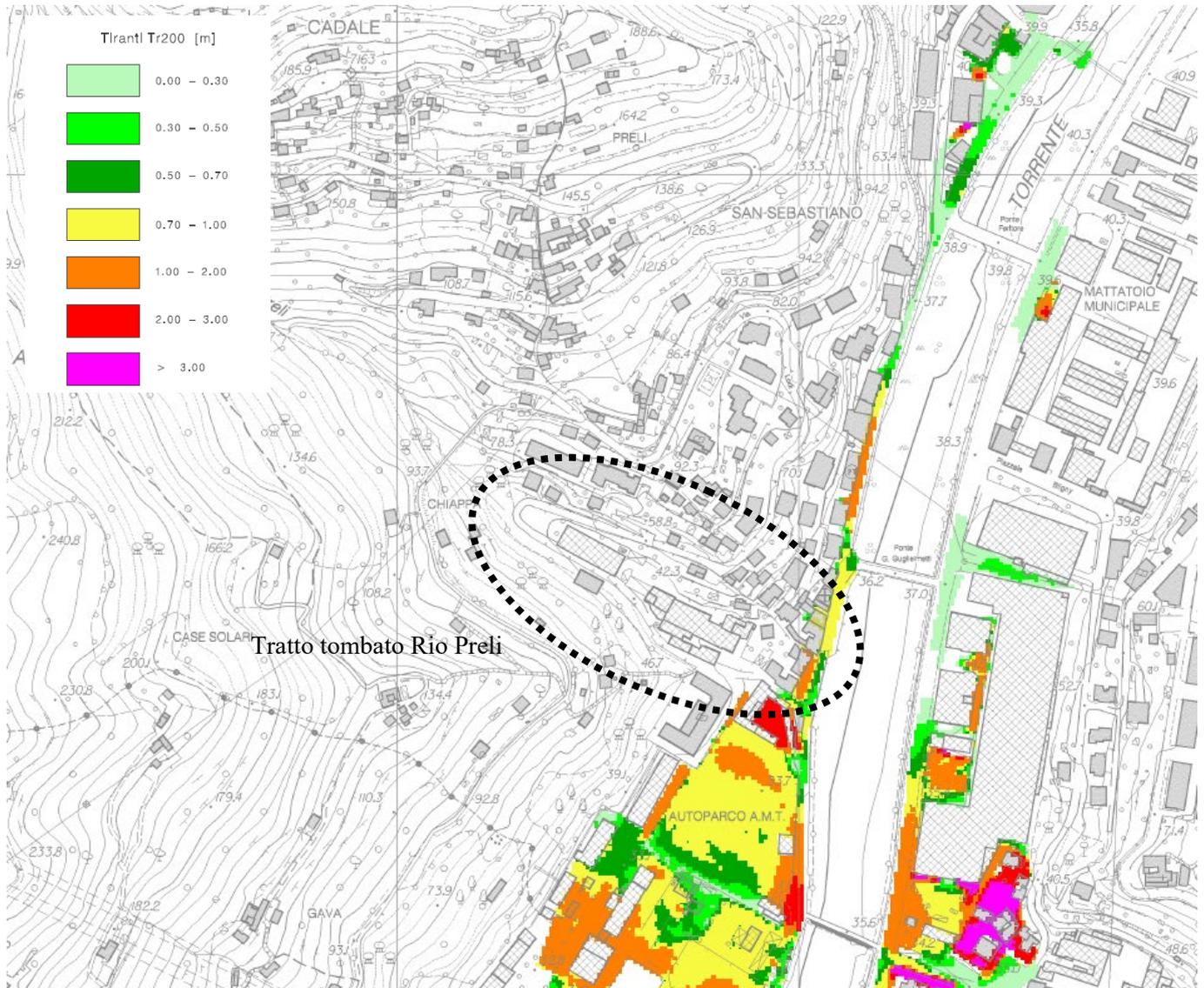


Fig. 14: Carta dei tiranti idrici massimi per Tr=200 anni, relativo al Torrente Bisagno, Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico.

Si riporta a seguire la carta del rischio idraulico tratta dal Piano di Bacino per il Torrente Bisagno.

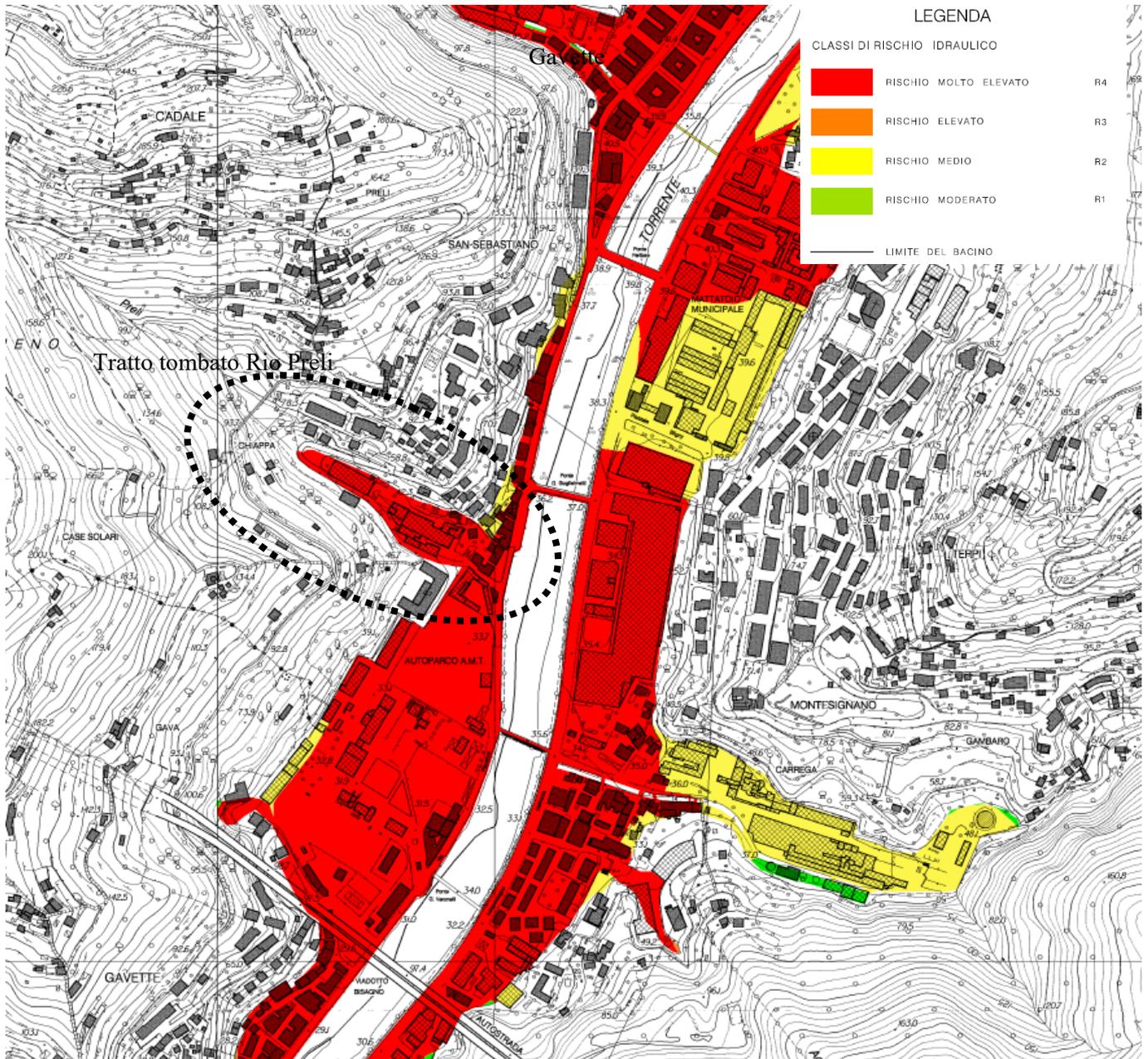


Fig. 15: Carta del rischio idraulico, tavola 3, relativo al Torrente Bisagno, Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico.

L'art. 12 comma 3 delle norme di attuazione, individua le aree a rischio idraulico ai fini di valutare la priorità di intervento di mitigazione del rischio e delle attività di protezione civile, in relazione agli elementi nelle stesse presenti e determinato sulla base di quanto indicato nella Relazione Generale del Piano e articolato nelle seguenti classi a gravosità decrescente:

- R4: rischio molto alto

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	20 di 88

- R3: rischio elevato
- R2: rischio medio
- R1: rischio moderato

Gli elementi a rischio sono rappresentati dalla popolazione, dalle abitazioni, dalle attività economiche e dai beni culturali che possono subire danni in conseguenza del verificarsi del fenomeno franoso o idraulico.

Il tratto terminale tombato del Rio Preli rientra in area R4 ossia rischio molto elevato.

Inoltre si riportano quelle che sono le esondazioni storiche in corrispondenza proprio dell'area del Rio Preli.

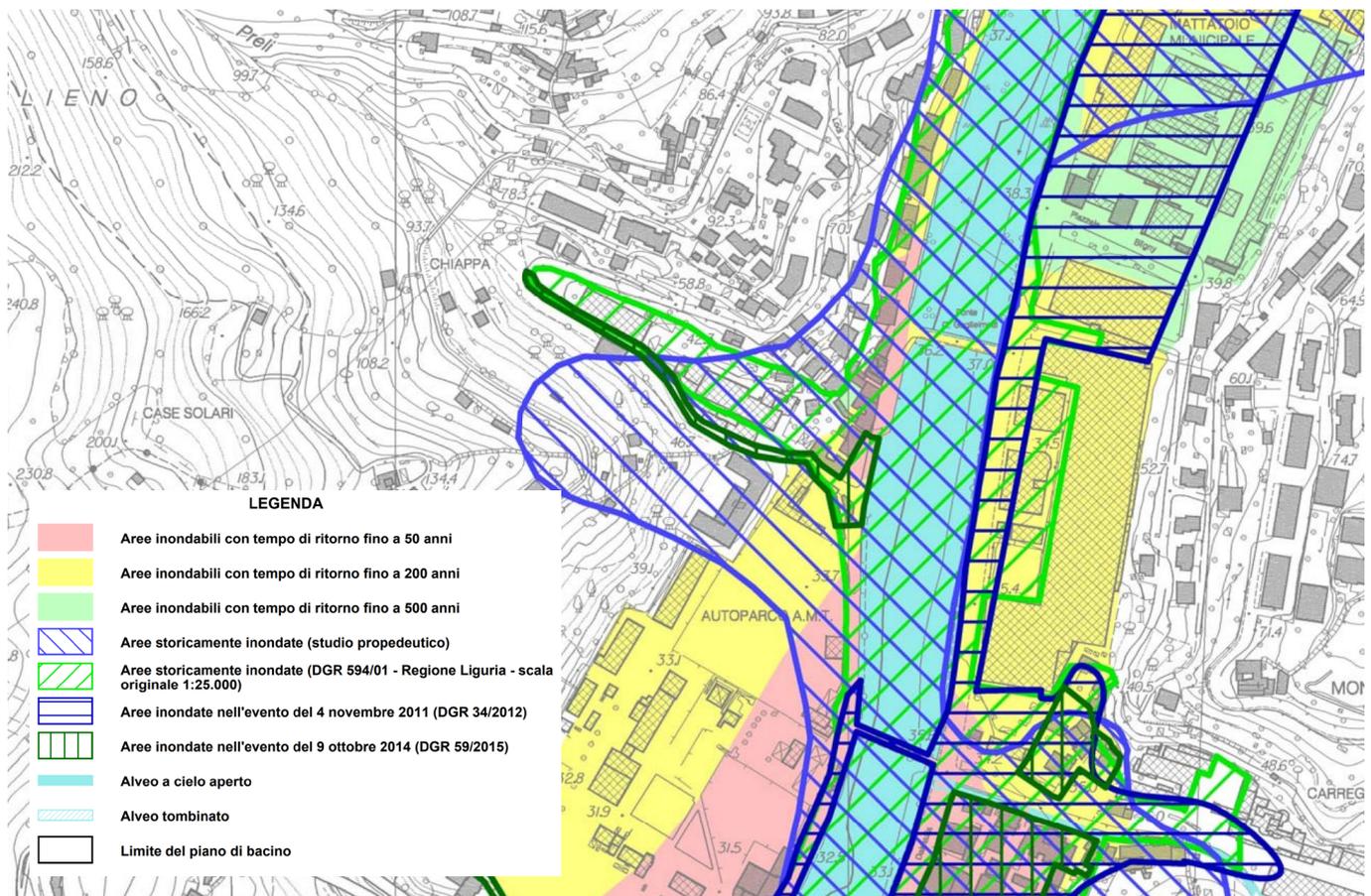


Fig. 16: Immagine tratta dalla Carta delle aree inondabili e delle aree storicamente inondate.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">21 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	21 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	21 di 88								

1.2 PARAMETRI IDROLOGICI PER LO STUDIO DEL RIO PRELI

Secondo quanto riportato nelle Norme di Attuazione del Piano di Bacino nell'allegato 3 relativo agli indirizzi tecnici per la redazione di studi idraulici, per la modellazione idraulica i parametri di scabrezza da utilizzare devono tenere conto delle reali condizioni di manutenzione del corso d'acqua, tali valori vengono riportati nella tabella a seguire, tenendo conto che essi risultano i valori massimi non superabili. Secondo la normativa, gli scostamenti rispetto tali valori, per entità modeste non superiori al 10%, devono essere adeguatamente motivati sulla base di specifiche considerazioni ed approfondimenti tecnici, in relazione alle specifiche situazioni di disponibilità di dati di dettaglio e di caratteristiche geometriche dell'alveo e del bacino sotteso.

Tabella 1: Coefficienti di scabrezza di Gauckler-Strickler tratte dalle Norme di Attuazione del Piano di Bacino del Torrente Bisagno

Descrizione corso d'acqua	Coef. di scabrezza Gauckler-Strickler K_s ($m^{1/3}/s$)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Per il tratto tombato del Rio Preli è stata assunta una scabrezza pari a $35 m^{1/3}/s$ che corrisponde ad un valore di $0.0286 s/m^{1/3}$ secondo Manning.

Per la definizione delle portate di piena e dei principali parametri significativi del sottobacino interessato, si riporta la tabella tratta dal documento "Sottobacini e parametri caratteristici" tenendo conto della localizzazione dell'area in funzione della "Carta dei sottobacini e di ubicazione delle sezioni di chiusura" (sezione 9).

Tabella 2: Parametri caratteristici sottobacino 9 tratto dalla "Sottobacini e parametri caratteristici" relativo al Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico

Parametri caratteristici Sottobacino "9"		
Parametro	Unità di misura	Valore
Area totale del bacino	km ²	0.60
Quota media del bacino	m s.l.m.	177.60
Quota massima del bacino	m s.l.m.	370.00
Quota minima del bacino	m s.l.m.	36.10
Lunghezza asta principale	km	1.3
Tempo di corrivazione (Giandotti)	minuti	28

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>22 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	22 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	22 di 88								

CN medio	-	93.81
Portata di piena T=50 anni	m ³ /s	12
Portata di piena T=100 anni	m ³ /s	15
Portata di piena T=200 anni	m³/s	19
Portata di piena T=500 anni	m ³ /s	26

I valori di portata risultano inferiori rispetto a quelli riportati nelle schede di verifica idraulica nel documento “verifiche idrauliche Verifiche locali” del Piano di Bacino, dove la portata duecentennale risulta essere pari a 24 m³/s.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>23 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	23 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	23 di 88								

1.3 DESCRIZIONE DEI BACINI IDROLOGICI OGGETTO DI STUDIO

Per l'analisi finalizzata alla modellazione idraulica, vengono analizzati i bacini afferenti all'asta principale del Rio Preli e all'affluente in destra idraulica del Rio stesso. Nella figura seguente si evidenzia l'estensione del bacino idrografico per ciascun tratto analizzato: l'asta principale evidenziata in viola e l'affluente in destra idraulica in azzurro.

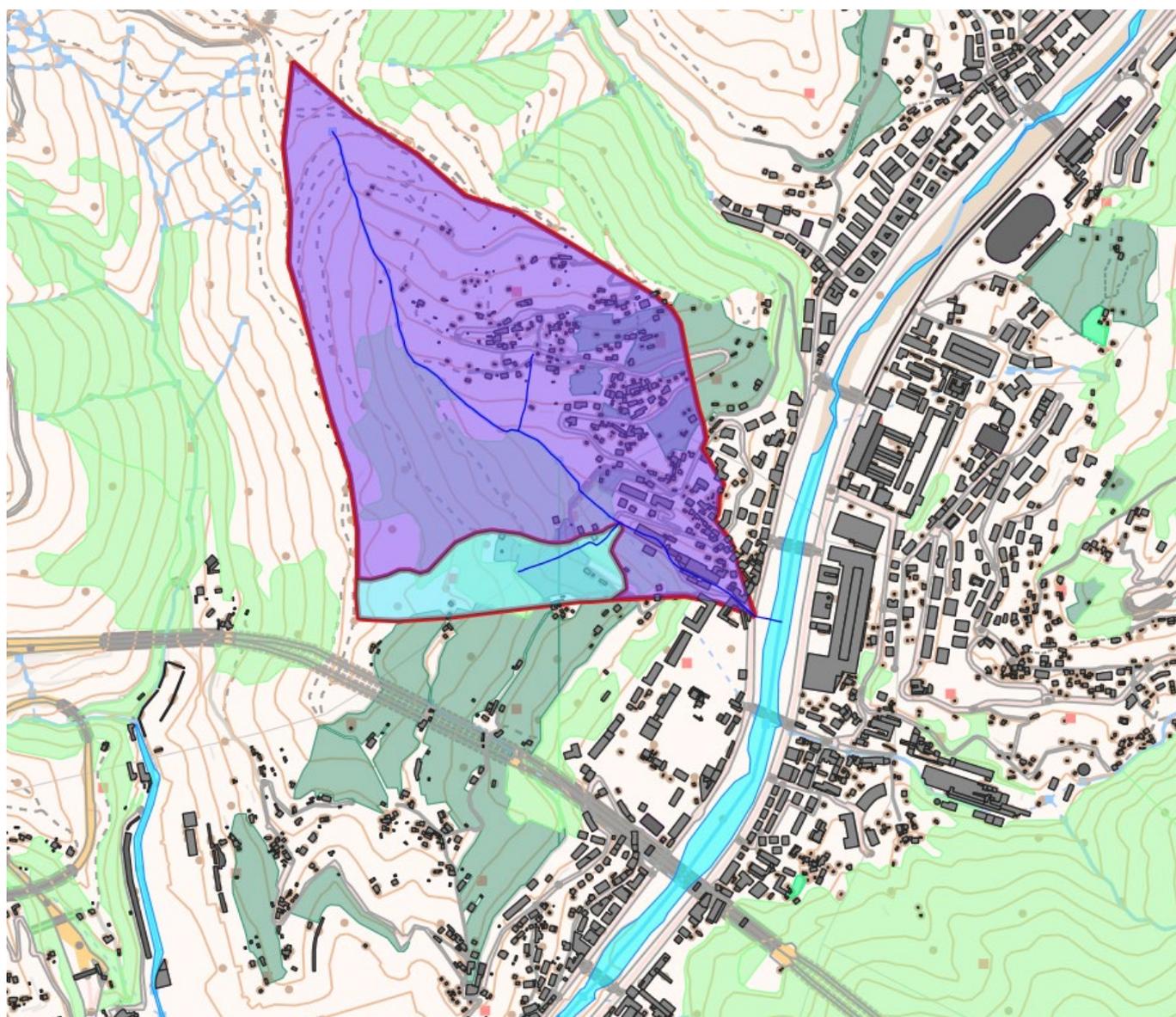


Fig. 17: Bacino idrografico afferente al Rio Preli suddiviso per l'asta principale e per l'affluente in destra idraulica

Il bacino complessivo ha un'estensione di circa 0.6 km², suddiviso in 0.537 km² facendo riferimento all'asta principale e 0.063 km² relativo all'affluente in destra idraulica, Rio Figallo.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>24 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	24 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	24 di 88								

Il bacino afferente al Rio Preli ha un'estensione di circa 0.6 km², l'asta principale del corso d'acqua risulta essere pari a circa 1.3 km; il bacino complessivo è suddiviso in 0.537 km² facendo riferimento all'asta principale e 0.063 km² relativo all'affluente in destra idraulica di lunghezza pari a circa 230 m.

Per il territorio in oggetto sono disponibili i rilievi DTM dai quali sono state ricavate le informazioni relative alle altimetrie del terreno e, attraverso l'implementazione con curve di livello, alle pendenze del bacino e delle aste principali dei corsi d'acqua in oggetto.

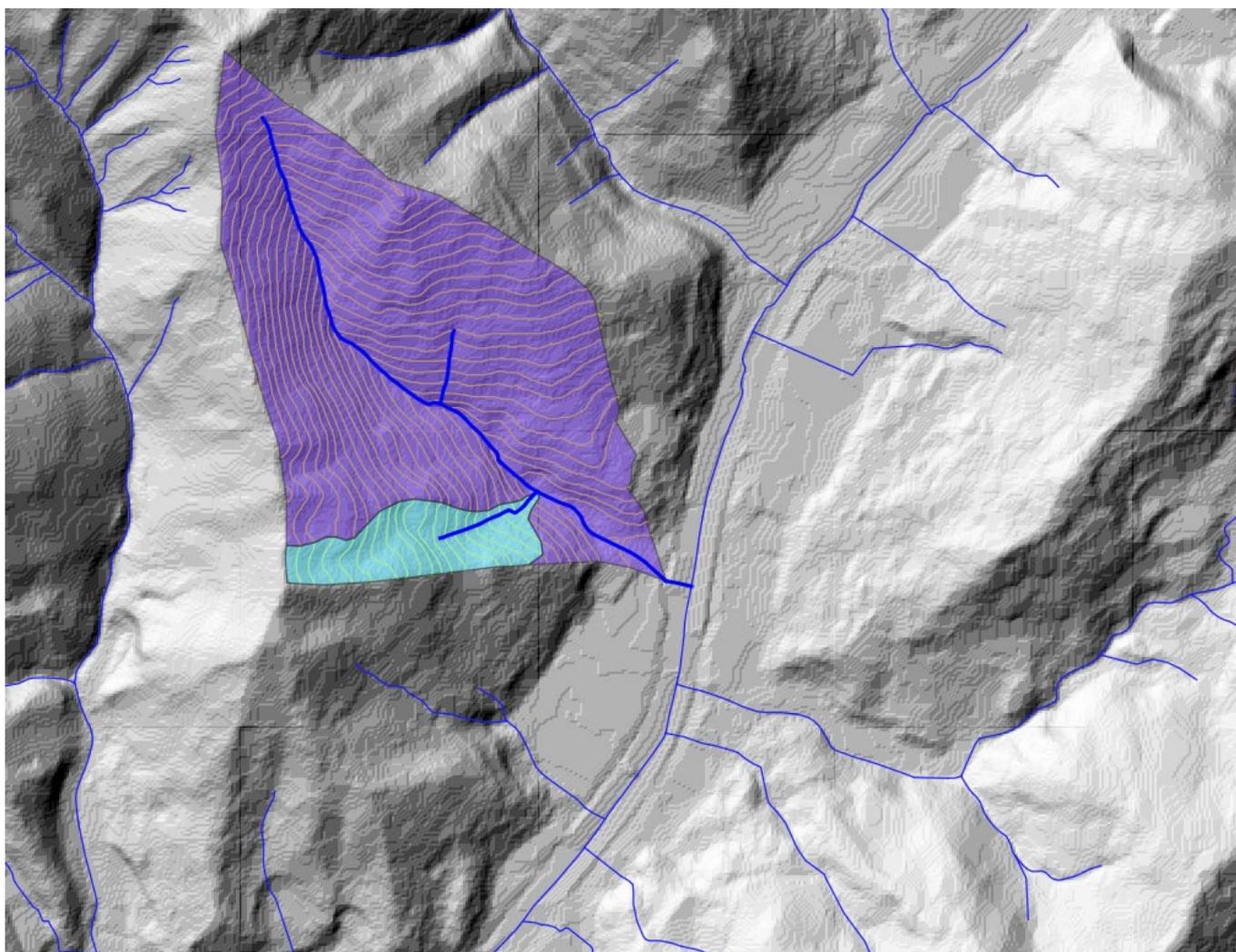


Fig. 18: Rilievo DTM con evidenziati i bacini oggetto di studio e le relative curve di livello

Dall'analisi delle curve isometriche è stato possibile calcolare l'altezza media dei singoli bacini, nello specifico:

$$H_m = \frac{\sum A_i \cdot H_i}{A_{tot}}$$

Dove H_m è l'altezza media del bacino di area complessiva A_{tot} , A_i e H_i rappresentano rispettivamente l'area e l'altezza della fascia altimetrica i -esima.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">25 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	25 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	25 di 88								

Analizzando le curve di livello dei singoli bacini è stata individuata la pendenza media del bacino con il metodo Alvard-Horton, questa risulta dalla media pesata delle pendenze locali. Data la pendenza di una fascia altimetrica i_i :

$$i_i = \frac{\Delta z}{d_i} = \frac{l_i \cdot \Delta z}{l_i \cdot d_i} = \frac{l_i \cdot \Delta z}{A_i}$$

dove Δz è la differenza di quota tra le isoipse (costante) e l_i la lunghezza delle isoipse e A_i la superficie della fascia altimetrica i -esima.

La pendenza media i_m è data dalla seguente equazione:

$$i_m = \sum i_i \cdot \frac{A_i}{A_{tot}} = \frac{\Delta z}{A_{tot}} \cdot \sum l_i$$

Per ogni bacino è stata analizzata la carta dei suoli al fine di determinare il valore del *Curve Number* definito *CN*. Questo valore caratterizza il tipo di terreno indicandone la permeabilità, ossia, rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso, maggiore è il CN maggiore sarà il deflusso superficiale e viceversa. La stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati in letteratura; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee. Questa indagine è stata fatta nonostante il valore del CN sia definito nel documento "Sottobacini e parametri caratteristici" del Piano di Bacino del Torrente Bisagno, per le modellazioni a seguire sarà utilizzato il valore definito dal Piano di Bacino ossia 93.81.

Allo stesso tempo è stata valutata la percentuale di area impermeabile per ogni bacino.

Si riportano nella tabella sottostante, tutte le variabili precedentemente esposte, per ogni bacino analizzato.

Tabella 3: sintesi dei parametri relativi ad i singoli bacini

Bacino	Area totale [km ²]	Lunghezza asta principale [km]	Altezza media H _m [m]	Pendenza media i _m	CN medio	CN Piano di Bacino	Area imp [%]	Tempo di corrivazione [min]
Asta Principale	0.537	1.3	180.94	45%	83	93.81	15	28
Affluente in destra idraulica	0.063	0.23	164.45	41%	80	93.81	0.2	8

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">26 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	26 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	26 di 88								

1.4 PARAMETRI IDROLOGICI

Secondo quanto riportato nel documento “Idrologia” del Piano di Bacino del Torrente Bisagno, il calcolo delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica è stato condotto tramite modello dissipativo che garantisce stime dell’altezza di pioggia più attendibili il bacino nel suo complesso. La stazione di riferimento per il bacino del Rio Preli è quella di Ponte Carrega secondo quanto esposto nella tabella 1/2B.1- “Idrologia”, Piano di Bacino del Torrente Bisagno.

Denominazione	Posizione	Staz. pluviometrica
- Rio Veilino	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio S. Antonino	<i>affluente dx Rio Veilino</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Briscata	<i>affluente dx Rio Veilino</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Rovena	<i>affluente dx Rio Veilino</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Preli	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Fossato Cicala	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Trensasco	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio della Rocca	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Torrente Geirato	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio di Pino	<i>affluente dx Torrente Geirato</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Senza nome	<i>affluente dx Rio di Pino</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Gaxi	<i>affluente dx Torrente Geirato</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Scaggia	<i>affluente dx Torrente Geirato</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Lagolungo	<i>affluente sin Torrente Geirato</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Fosso del rio	<i>affluente sin Torrente Geirato</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Scaigia	<i>affluente sin Torrente Geirato</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Fundega	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio Prou	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Ponte Carrega</i>
- Rio dei Consiglieri	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Prato</i>
- Rio Torbido	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Prato</i>
- Rio Aggio	<i>affluente dx Rio Torbido</i>	<i>Prato</i>
- Rio Coppallo	<i>affluente sin Rio Torbido</i>	<i>Prato</i>
- Rio Ruina	<i>affluente dx Torrente Bisagno</i>	<i>Prato</i>

Fig. 19: Tabella 1/2B.1 tratta dal documento “Idrologia” del Piano di Bacino del Torrente Bisagno, relativa alla stazione pluviometrica di riferimento per ogni torrente o rio di cui sono state calcolate le portate massime temibili.

Per la stazione di Ponte Carrega i valori di altezza di pioggia, per durate superiori ad un’ora, fanno riferimento a 30 anni di dati compresi tra il 1954 e il 1991.

Le serie storiche sono state regolarizzate con una metodologia statistica (curva di Gumbel) e quindi utilizzate per la determinazione delle curve di possibilità climatica per assegnati tempi di ritorno. La curva di possibilità pluviometrica o climatica fornisce una relazione tra altezza di pioggia, durata della precipitazione e tempo di ritorno.

L’altezza di pioggia assume quindi la forma:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>27 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	27 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	27 di 88								

$$h(T,d) = a(T) d^n$$

Si riportano i risultati ottenuti per Ponte Carrega per i tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni:

- TR 50 anni: $h = 105.016 \cdot t^{0.361}$
- TR 100 anni: $h = 117.350 \cdot t^{0.361}$
- TR 200 anni: $h = 129.639 \cdot t^{0.361}$
- TR 500 anni: $h = 145.852 \cdot t^{0.361}$

dove h rappresenta l'altezza di pioggia espressa in mm e t fa riferimento alla durata espressa in ore.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>28 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	28 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	28 di 88								

1.5 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL RIO PRELI

Per modellare il Rio Preli, avendo una struttura a sezioni chiuse, è stato utilizzato il software open source SWMM 5.1. Il modello SWMM (Storm Water Management Model) è un modello completo di simulazione idraulica delle reti idriche con funzionamento sia a pelo libero che in pressione e viene distribuito dall'U.S. EPA. Il modello SWMM è stato creato inizialmente da Metcalf e Eddy nel 1971 ed è stato migliorato più volte nel corso degli anni e tutt'oggi viene costantemente aggiornato ed arricchito in nuove versioni. Nelle simulazioni è stata utilizzata la versione SWMM 5.1 prodotto da Water Supply and Water Resources Division of the U.S. Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory.

Il codice di calcolo SWMM è in grado di simulare la propagazione della portata sia con il metodo dell'onda cinematica (Kinematic Wave) sia con le equazioni di De Saint Venant complete (Dynamic Wave). Il moto in pressione è ammesso grazie alla semplificazione del problema con lo slot di Preissman. SWMM fornisce, tramite interfaccia grafica, numerosi elementi da utilizzare per la definizione della rete idraulica.

Gli oggetti disponibili in SWMM per la costruzione dei sistemi idraulici sono:

1. Nodo (*Junction*);
2. Condotto (*Conduit*);
3. Scarico (*Outfall*);
4. Pluviometro (*Raingage*);
5. Sottobacino (*Subcatchment*);
6. Pompa (*Pump*);
7. Invasi (*Storage Unit*);
8. Orifizio (*Orifice*);
9. Soglia/Scolmatore (*Weir*);
10. Scarico di uscita (*Outlet*);

Per la costruzione del modello idraulico del Rio Preli e del suo affluente in destra idraulica, sono stati utilizzati gli elementi *Subcatchment*, *Raingage*, *Junction*, *Conduit*, *Orifice* e *Outfall*.

L'onda di piena dei rami viene generata, a seguito di un evento di pioggia, tramite una trasformazione afflussi-deflussi che ha luogo nel sottobacino (*Subcatchment*) afferente; quest'ultimo è schematizzato come una lama piana rettangolare inclinata, caratterizzata da una scabrezza e da una pendenza. La definizione del sottobacino richiede l'inserimento di numerosi parametri, principalmente idrologici, e la scelta del modello di infiltrazione.

I *Raingage*, ossia i pluviometri, definiscono attraverso una serie pluviometrica la pioggia che cade sul bacino.

Il nodo (*Junction*) è l'elemento di connessione tra due o più condotti e viene inserito quando c'è una confluenza tra rami, un cambiamento di sezione, un salto, una variazione di pendenza oppure una variazione di scabrezza (ovvero di materiale). I nodi sono i punti nei quali la pioggia caduta nei sottobacini ad essi correlati diventa portata e dove viene introdotta la portata nera o altre portate in ingresso. Per ogni nodo occorre inserire la quota di fondo (*Invert Elevation*), la massima altezza (*Max Depth*) che è ricavata come differenza tra la quota del terreno e la quota di

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>29 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	29 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	29 di 88								

fondo tubo ed eventualmente la portata di tempo secco. Ad ogni nodo viene assegnato automaticamente un numero progressivo con le sue relative coordinate cartesiane. Una volta disegnata la rete si possono facilmente inserire nuovi nodi e spostare gli stessi.

Il condotto (*Conduit*) è l'elemento del sistema idraulico che consente il trasferimento dell'acqua tra due nodi. Ad ogni condotto si può assegnare una forma semplicemente selezionandola da un elenco fornito dal programma. Inoltre è possibile disegnare una sezione per punti qualora si presentasse una sezione irregolare e non contemplata nella casistica predefinita. Graficamente il condotto è rappresentato da un segmento che collega due nodi e ad ogni condotto è assegnato un numero che lo contraddistingue. Tra i principali parametri da assegnare ai condotti, oltre alla forma e alle dimensioni della sezione, ci sono le quote delle sezioni di estremità del condotto (per evidenziare gli eventuali salti presenti) e la scabrezza che dipende dal materiale e che incide sulle perdite energetiche. Per quanto riguarda la lunghezza dei condotti si può assegnare automaticamente mentre si disegna col comando Auto-length-on oppure si inserisce il valore nella finestra del relativo condotto.

L'orifizio (*Orifice*) è un dispositivo di controllo della portata. Esso ha la funzione di far uscire da un condotto o da un serbatoio una certa portata calcolata con la formula degli scarichi sotto battente:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

dove: Q è portata uscente; C è il coefficiente d'efflusso o coefficiente di perdita localizzata; A è l'area della bocca d'efflusso; g è l'accelerazione di gravità; h è la differenza di carico tra il nodo di valle e quello di monte.

Il coefficiente d'efflusso C dipende dalla contrazione che la vena effluente subisce nell'attraversamento della bocca; esso è quindi legato alla geometria della bocca stessa. Gli orifizi possono essere posizionati lungo la parete oppure sul fondo del manufatto considerato e possono assumere forma circolare o quadrata.

Gli scarichi (*Outfall*) sono nodi che vengono inseriti come punti di uscita dell'acqua dalla rete. Essi consentono, al contrario dei nodi, di avere un solo condotto collegato. Gli scarichi mantengono le stesse informazioni dei nodi, a meno di altezza di scavo e quota terreno, ma in più è possibile assegnare le caratteristiche su come fare avvenire la fuoriuscita dell'acqua dalla rete scegliendo tra cinque soluzioni diverse: *Free* è lo scarico libero; *Normal* è uno scarico libero con un tirante idrico pari alle condizioni di moto uniforme dell'ultimo condotto; *Fixed* rappresenta uno scarico in cui livello di valle è fissato; *Tidal* e *Time series* rappresentano uno scarico in cui il livello segue un andamento inserito dall'utente.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>30 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	30 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	30 di 88								

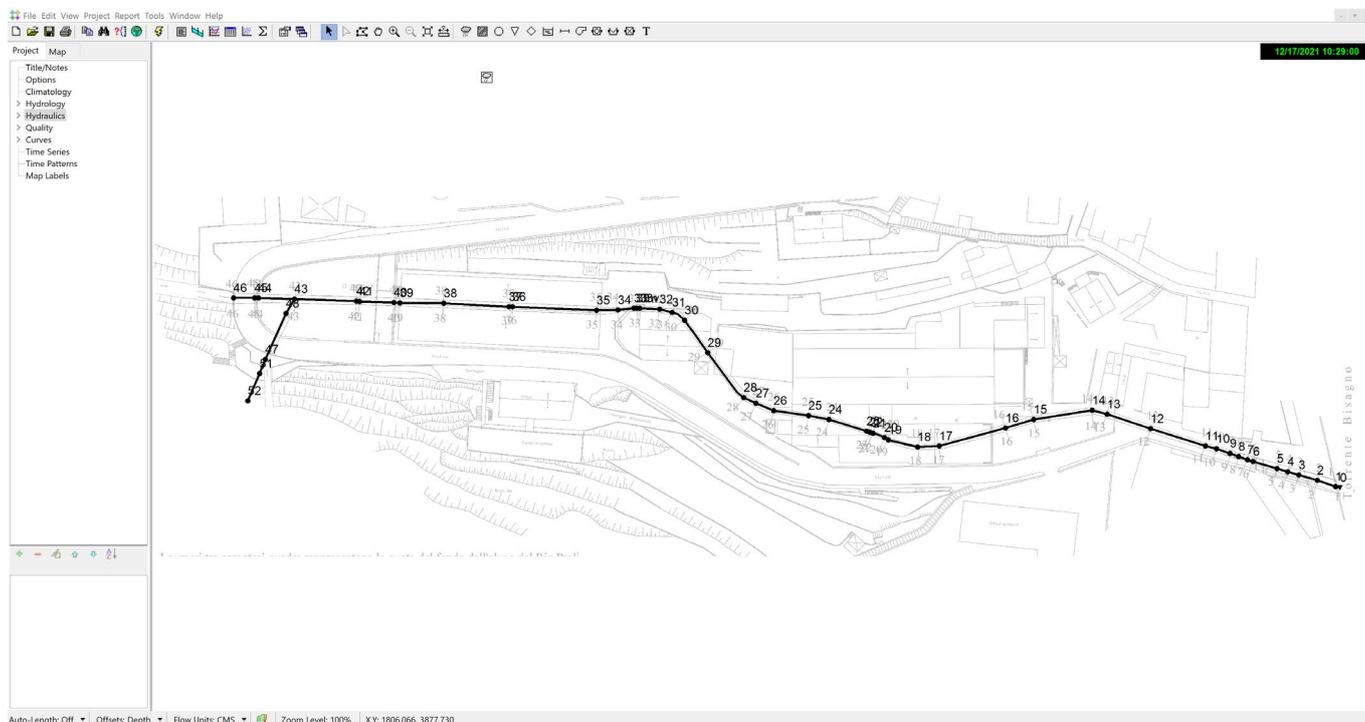


Fig. 20: Interfaccia grafica del software SWMM 5.1 e modello idraulico del Rio Preli e del suo affluente in destra idraulica Rio Figallo

Il modello è stato realizzato sulla base dei rilievi forniti, uno risalente al 2014 e uno successivo del 2021; data la mancanza di dati di dettaglio sullo scorrimento del tratto tombato relativo all'affluente in destra idraulica del Rio Preli è stata considerata cautelativamente una pendenza pari all'1%.

Il tirante idrico sul Torrente Bisagno, nella condizione priva di scolmatore e TR pari a 200 anni, è stato utilizzato per impostare la condizione al contorno (*Fixed*) nell'*Outfall*. Nello specifico la condizione di valle è stata impostata prudenzialmente al massimo tirante del Bisagno con TR 200 anni pari a 37.34 m s.l.m. dedotta dallo studio del DHI.

Le 46 sezioni del Rio Preli presenti nel rilievo, sono state inserite nel modello attraverso l'utilizzo di elementi *link* con geometrie personalizzate (*Custom*), tenendo conto dell'effettiva distanza tra le sezioni e considerando un coefficiente di scabrezza di Manning pari a $0.0286 \text{ m}^{-1/3}$ s. Le geometrie personalizzate *Custom* in SWMM vengono semplificate considerandole simmetriche, pertanto sono state inserite le sezioni con area liquida equivalente mantenendo la geometria affine a quella reale seppur rendendole simmetriche rispetto all'asse verticale.

L'affluente in destra idraulica è composto da due tratti tombati che si immettono nel nodo 43; nello specifico si tratta di due scatolari a sezione rettangolare: il tratto più a monte ha dimensioni $1 \times 0.92 \text{ m}$ e lunghezza pari a circa 14.75 m, il tratto finale che si immette nell'asta principale ha dimensioni pari a $1.22 \times 1.12 \text{ m}$ e lunghezza pari a circa 4 metri. È stato schematizzato nel modello l'ultimo tratto a cielo aperto dell'affluente destro, con l'orificio è stata schematizzata l'immissione con griglia nel tratto tombato.

I nodi (*Junctions*) sono stati inseriti tenendo conto della quota di fondo dell'alveo e della sua profondità rispetto al piano campagna.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>31 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	31 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	31 di 88								

Per i sottobacini è stato considerato il modello di infiltrazione *Curve Number* tenendo conto del valore medio indicato nel documento “Sottobacini” del Piano di Bacino del Bisagno che evidenzia un CN pari a 93.81; i parametri caratteristici del sottobacino, considerati per la modellazione, sono quelli riportati nel capitolo precedente mentre per le perdite idrologiche sono stati considerati i seguenti valori:

- Coefficiente di Manning per le aree impermeabili (*N-imperv*): $0.02 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$;
- Coefficiente di Manning per le aree permeabili (*N-perv*): $0.25 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$;
- Altezza d’acqua che si accumula nelle depressioni superficiali impermeabili (*Dstore-imperv*): 1 mm;
- Altezza d’acqua che si accumula nelle depressioni superficiali permeabili (*Dstore-perv*): 8 mm.

Il modello è stato sottoposto ad uno ietogramma rettangolare di durata pari al tempo di corrvazione del bacino del Rio Preli (28 minuti), utilizzando la curva di possibilità pluviometrica riferita alla Stazione di Ponte Carrega con TR pari a 200 anni.

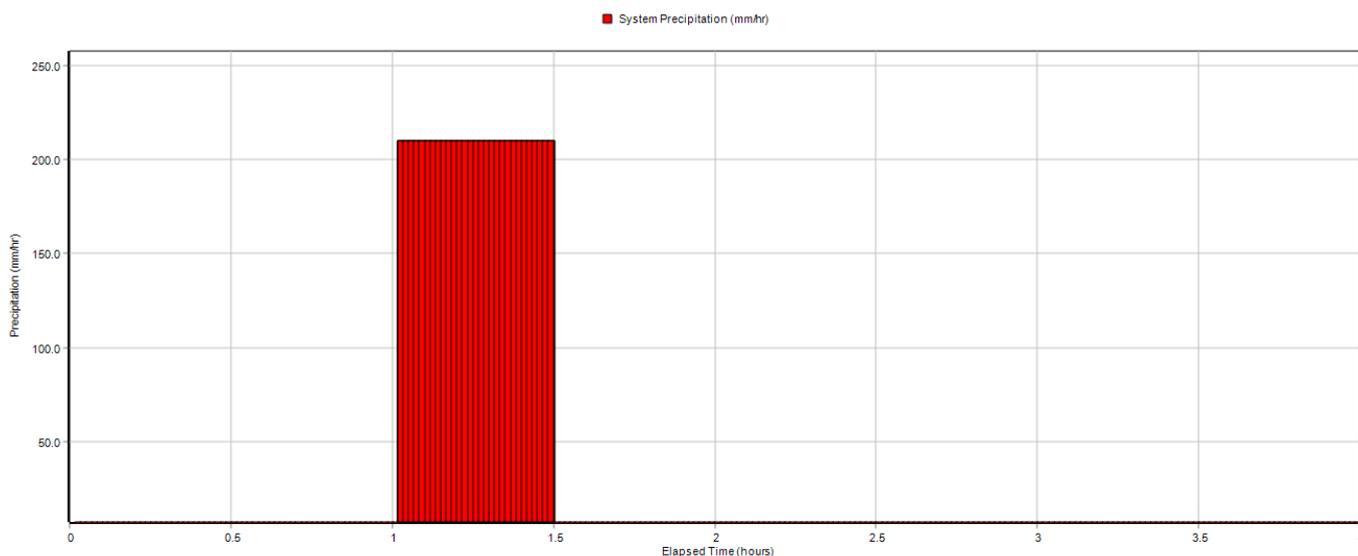


Fig. 21: Ietogramma rettangolare TR 200 anni, durata 28 minuti

La portata duecentennale massima a valle della confluenza tra l’asta principale e l’affluente in destra idraulica risulta pari a $24 \text{ m}^3/\text{s}$, come calcolato nel Piano di Bacino. Osservando il grafico sottostante è possibile vedere come si ripartiscono le portate a monte di tale nodo: lungo l’asta principale la portata massima risulta essere pari a circa $20.9 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre per l’affluente in destra idraulica la portata massima si attesta a $3.10 \text{ m}^3/\text{s}$.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	32 di 88

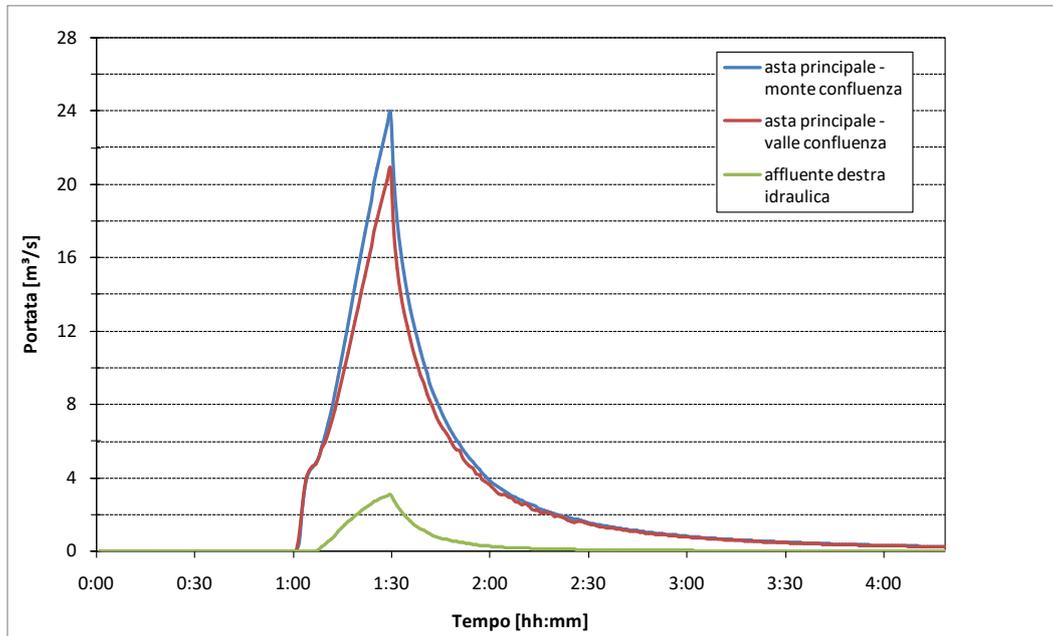
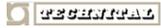


Fig. 22: Portata nel tratto relativo all'affluente in destra idraulica e lungo l'asta principale a monte e a valle dell'affluente.

I risultati della modellazione idraulica, con TR=200 anni, mostrano che il Rio Preli e il Rio Figallo, se non rigurgitati dal Bisagno non mostrano esondazioni, ma si hanno solo alcuni tratti con funzionamento in pressione a sezione piena. Considerando invece la massima piena del Bisagno, che comunque presenta tiranti idrici superiori alla strada, si evidenziano criticità nel tratto terminale del Rio Preli per un tratto lungo circa 50 metri partendo dallo sbocco nel Bisagno.



PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA
PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E
STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	33 di 88

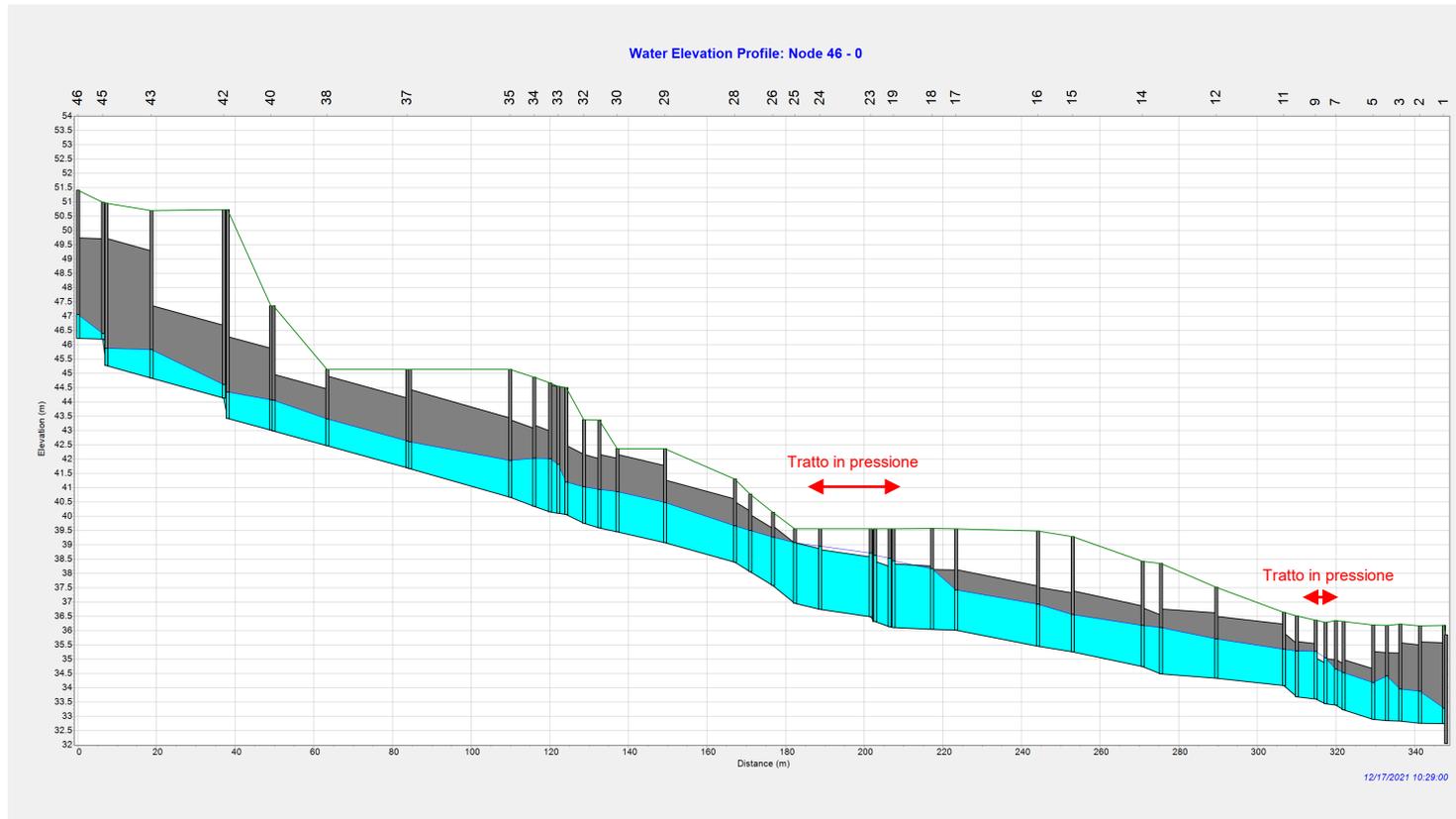


Fig. 23: Rappresentazione del profilo idraulico dell'asta principale del Rio Preli (tratto tombato) simulato con SWMM con TR pari a 200 anni senza massima piena sul Bisagno.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0003 001	REV. A

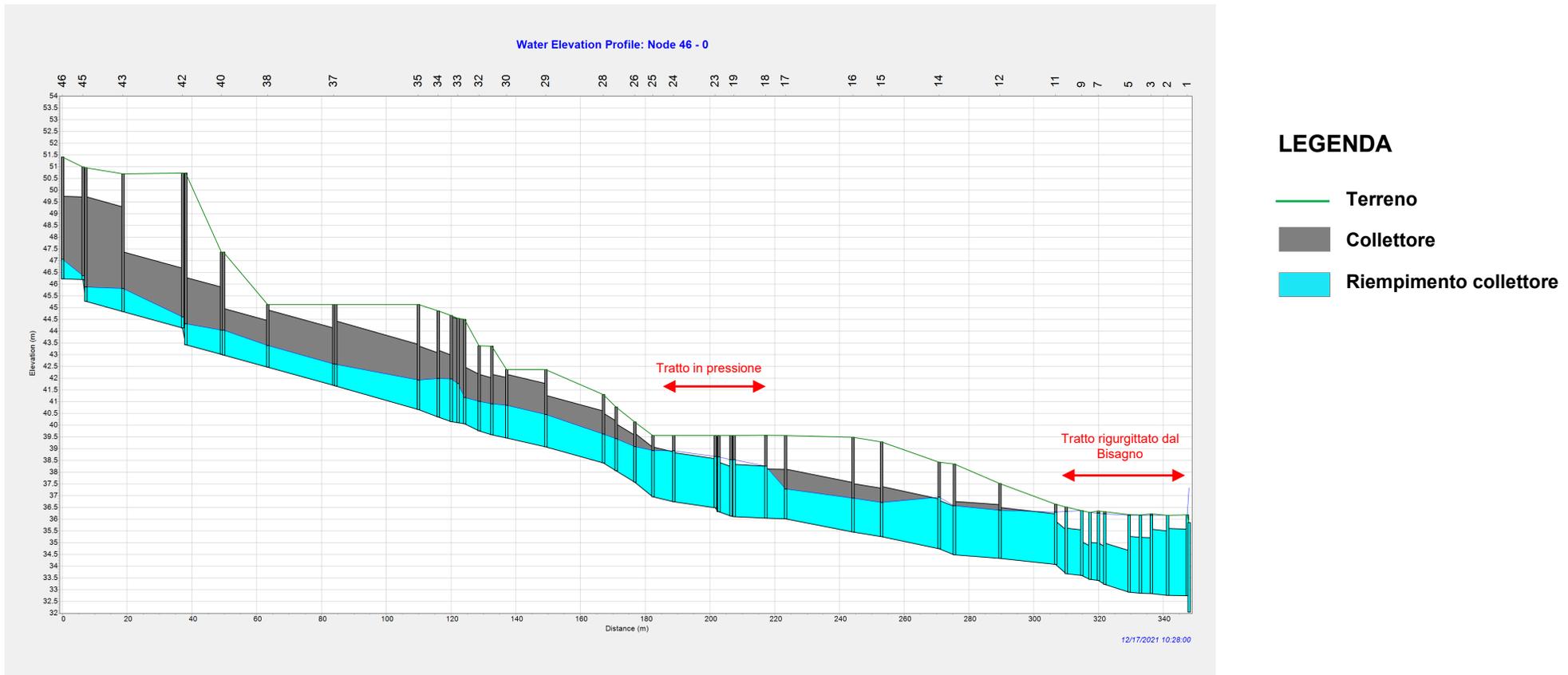


Fig. 24: Rappresentazione del profilo idraulico dell'asta principale del Rio Preli (tratto tombato) simulato con SWMM con TR pari a 200 anni con livello sul Bisagno costante pari al valore massimo di TR di 200 anni.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	35 di 88

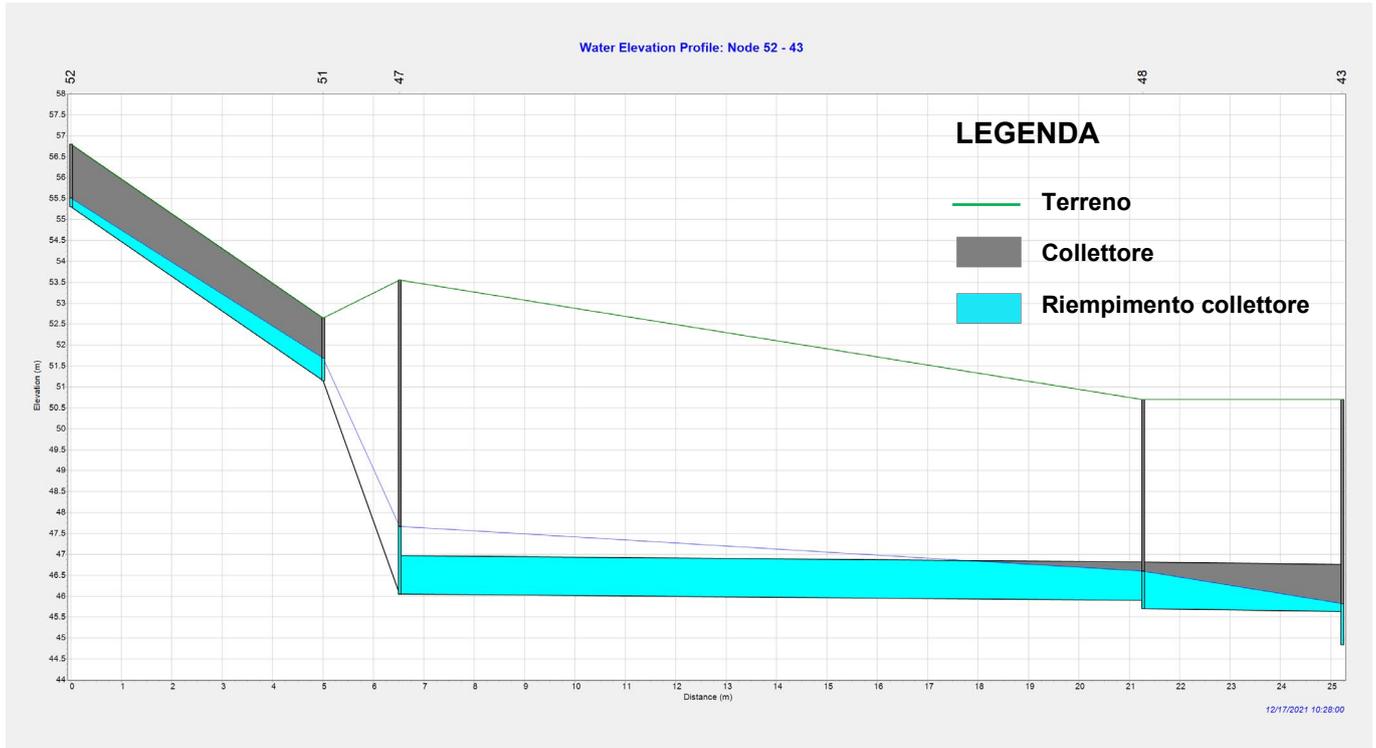


Fig. 25: Rappresentazione del profilo idraulico dell'affluente in destra idraulica, Rio Figallo, simulato con SWMM considerando un TR pari a 200 anni

La descrizione di dettaglio di come interpretare i profili riportati nelle figure precedenti è realizzata nella figura seguente:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>36 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	36 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	36 di 88								

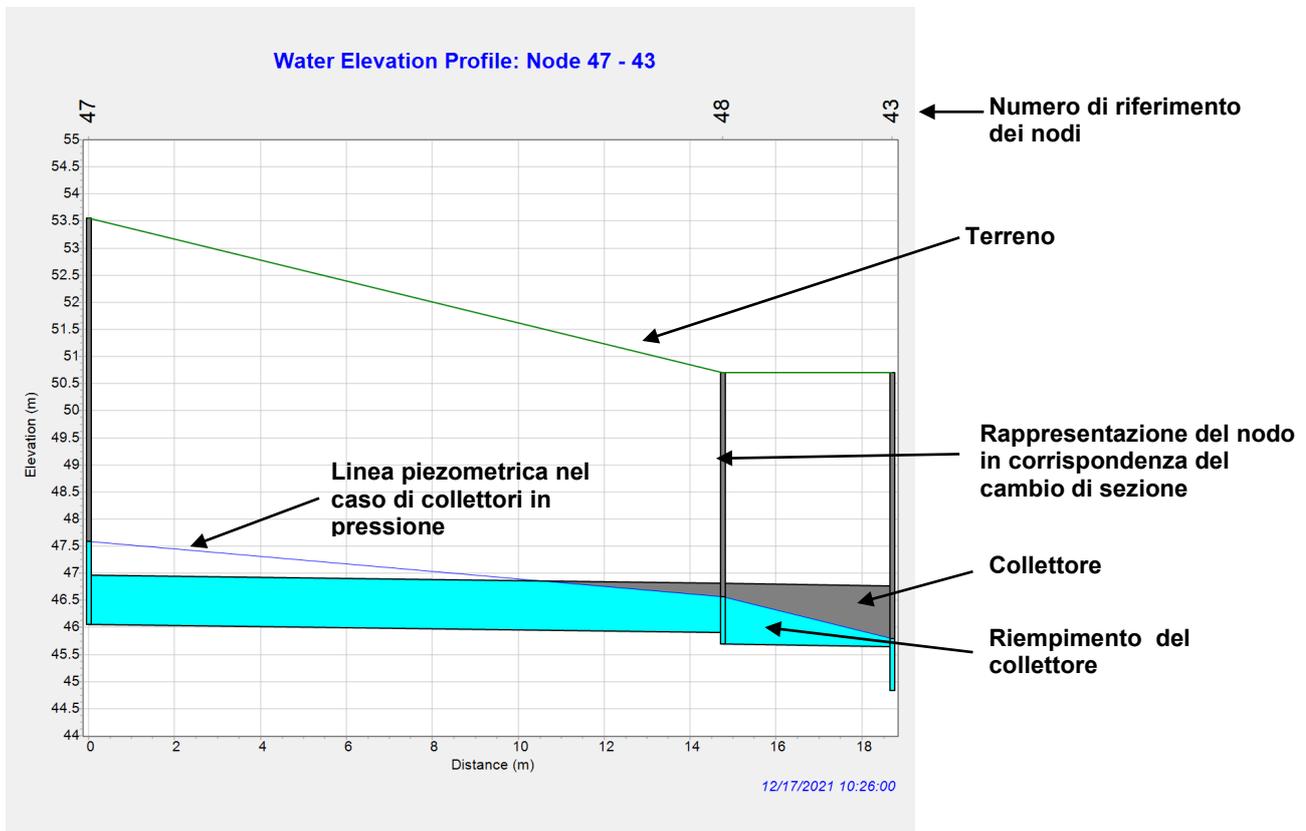


Fig. 26: Legenda per interpretare i profili sviluppati in SWMM

Per verificare la sensibilità del modello al parametro scabrezza è stata rifatta la simulazione del Rio Preli adottando una scabrezza di $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, valore minimo tra quelli consigliati nel piano di bacino, rispetto a $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, valore del calcolo precedente e suggerito come maggiormente idoneo nel Piano di Bacino. E' utile sottolineare che più è basso il valore di scabrezza secondo Gauckler-Strickler e maggiormente scabro è il collettore o il corso d'acqua oggetto di indagine che quindi risulta in condizioni peggiori.



PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA
PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E
STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	37 di 88

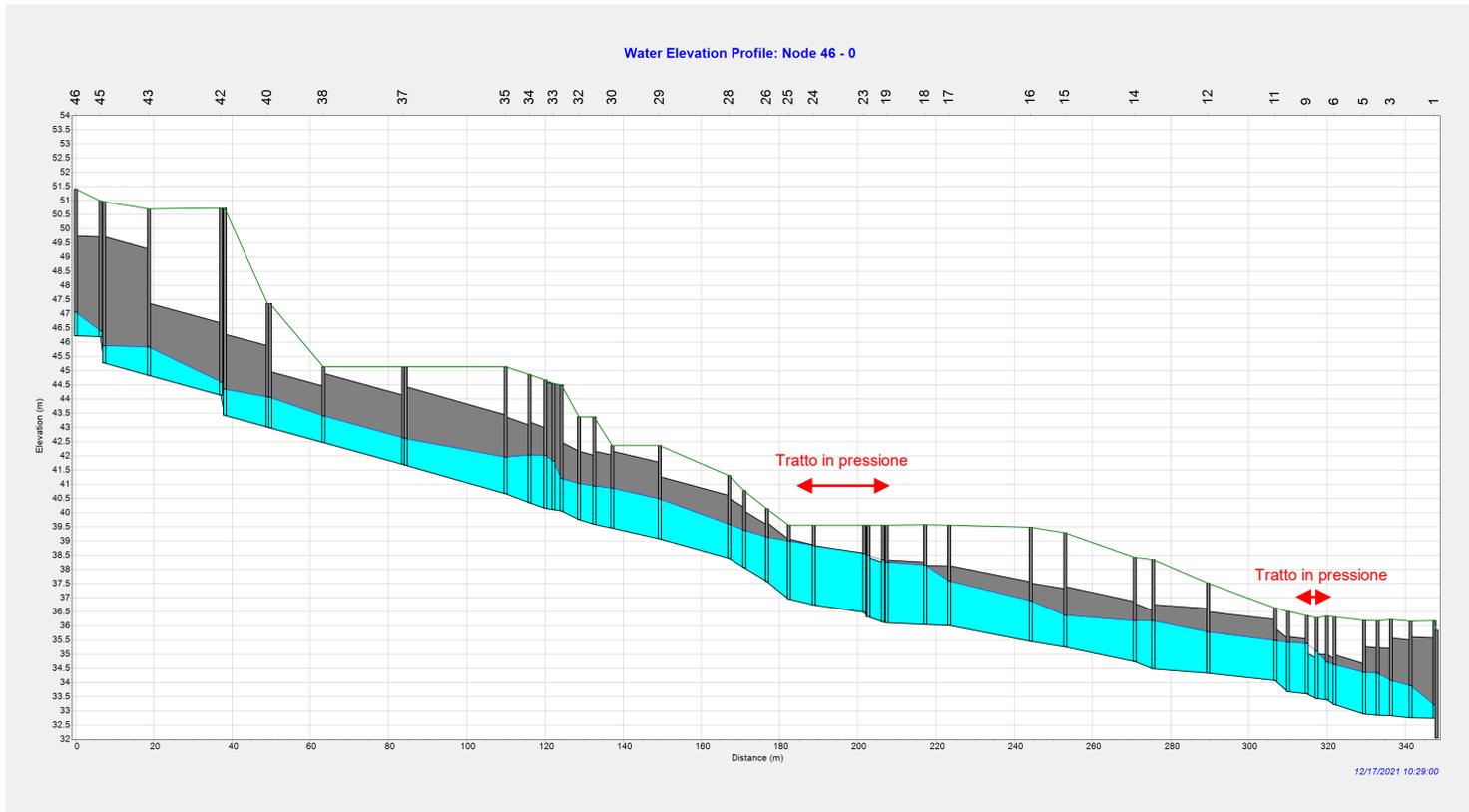


Fig. 27: Rappresentazione del profilo idraulico dell'asta principale del Rio Preli (tratto tombato) simulato con SWMM con TR pari a 200 anni senza massima piena sul Bisagno e scabrezza pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE		COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0003 001	REV. A	FOGLIO 38 di 88

Analogamente si sono valutati gli ietogrammi e gli idrogrammi per Tempi di Ritorno di 50 e 500 anni.

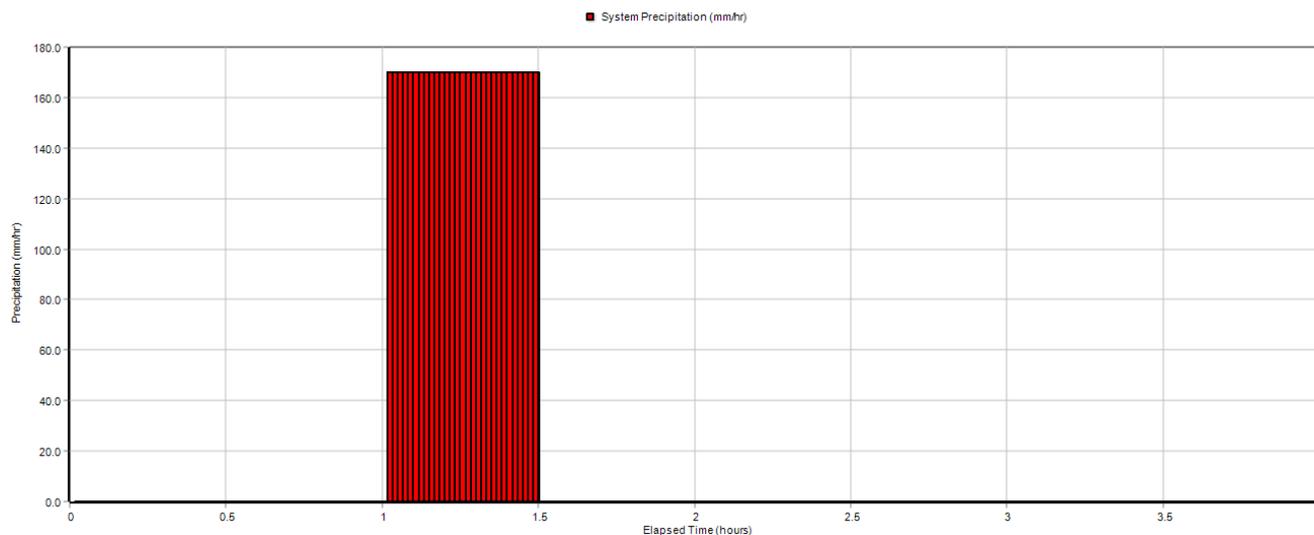


Fig. 28: Ietogramma rettangolare TR 50 anni, durata 28 minuti

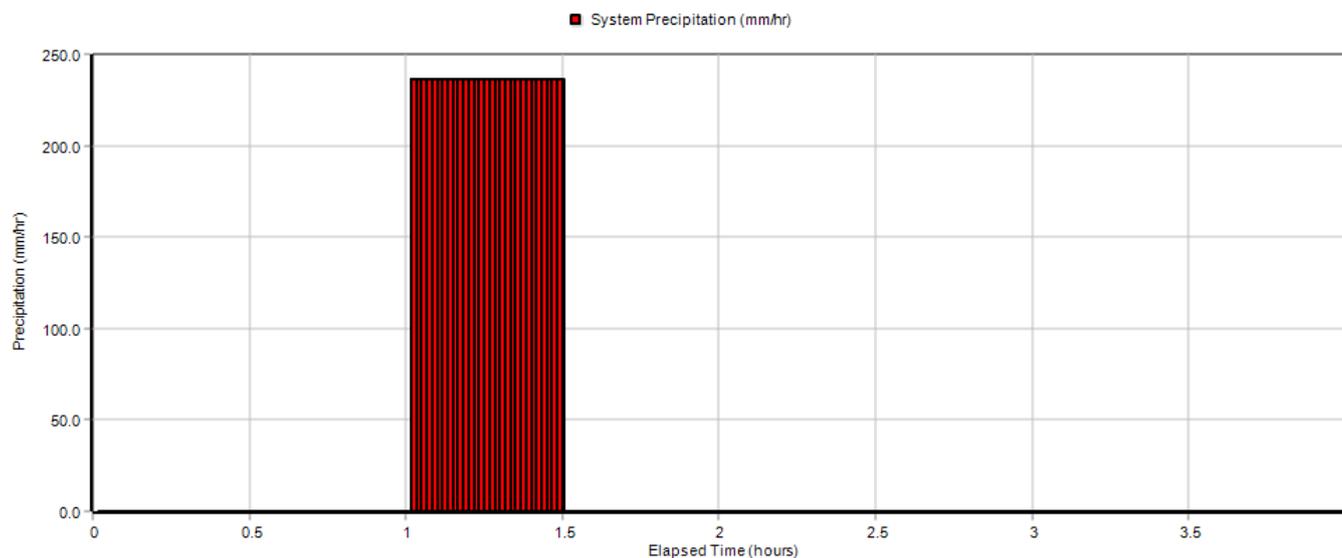


Fig. 29: Ietogramma rettangolare TR 500 anni, durata 28 minuti

La portata con tempo di ritorno pari a 50 anni a valle della confluenza tra l'asta principale e l'affluente in destra idraulica risulta pari a circa $17.47 \text{ m}^3/\text{s}$, in linea con quanto previsto dal Piano di Bacino, osservando il grafico sottostante è possibile vedere come si ripartiscono le portate a monte di tale nodo: lungo l'asta principale la portata risulta essere pari a circa $15.15 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre per l'affluente in destra idraulica la portata si attesta pari a $2.32 \text{ m}^3/\text{s}$.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	39 di 88

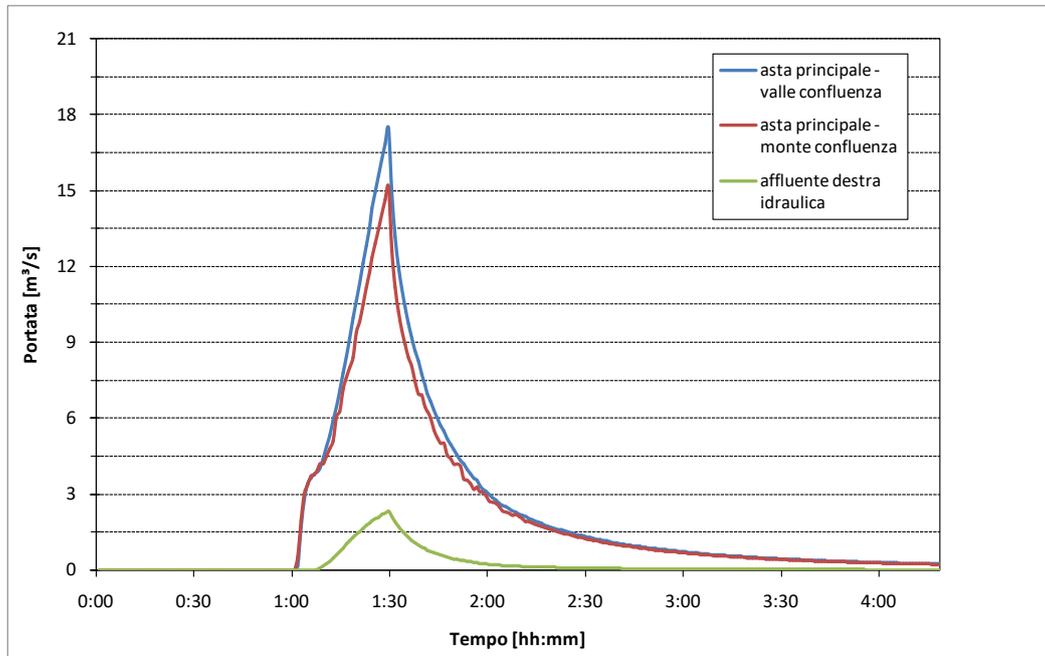


Fig. 30: Portata nel tratto relativo all'affluente in destra idraulica e lungo l'asta principale a monte e a valle dell'affluente per TR 50 anni.

La portata con tempo di ritorno pari a 500 anni, a valle della confluenza tra l'asta principale e l'affluente in destra idraulica risulta pari a $28.31 \text{ m}^3/\text{s}$, in linea con quanto riportato nel Piano di Bacino; lungo l'asta principale la portata risulta essere pari a circa $24.76 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre per l'affluente in destra idraulica la portata si attesta pari a $3.60 \text{ m}^3/\text{s}$.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	40 di 88

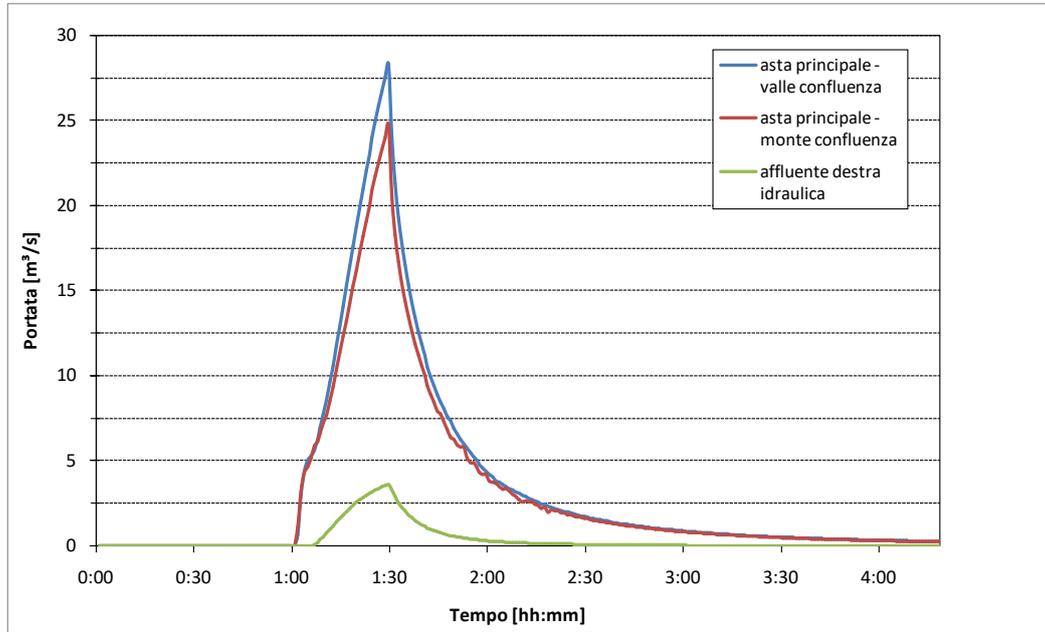
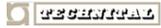


Fig. 31: Portata nel tratto relativo all'affluente in destra idraulica e lungo l'asta principale a monte e a valle dell'affluente per TR 500 anni.



PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA
PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E
STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	41 di 88

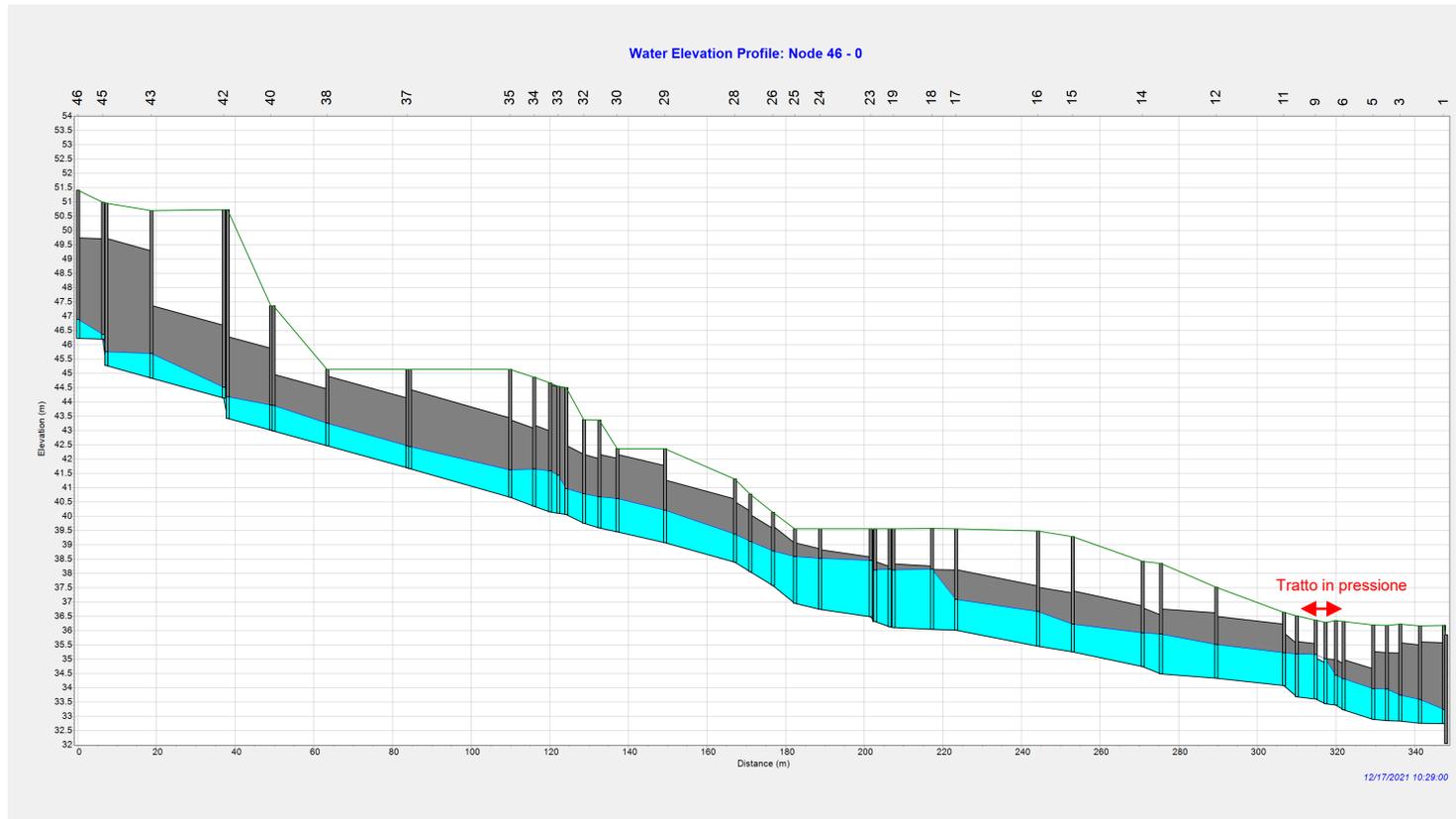


Fig. 32: Rappresentazione del profilo idraulico dell'asta principale del Rio Preli (tratto tombato) simulato con SWMM con TR pari a 50 anni senza massima piena sul Bisagno.



PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA
PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E
STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	42 di 88

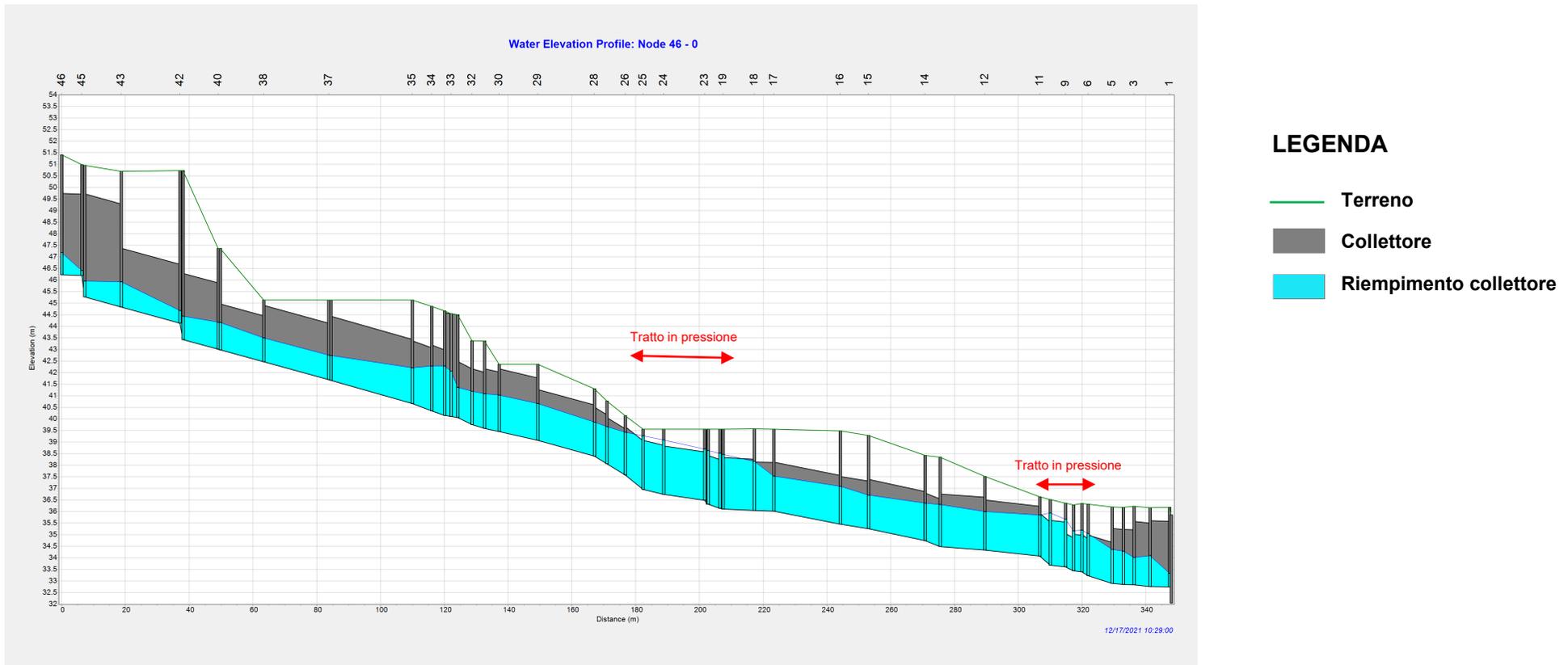
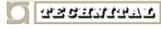


Fig. 33: Rappresentazione del profilo idraulico dell'asta principale del Rio Preli (tratto tombato) simulato con SWMM con TR pari a 500 anni senza massima piena sul Bisagno.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>43 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	43 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	43 di 88								

Nelle successive tabelle si riportano i risultati numerici delle simulazioni effettuate con TR di 50, 200 e 500 anni. In tale tabelle i vari rami del Rio Preli sono individuati dal Nodo di Monte e di valle del tratto considerato. I valori dei nodi corrispondono a quanto riportato nelle tavole del rilievo. Nelle tabelle si è quindi riportata la velocità dell'acqua massima, l'altezza dell'acqua massima raggiunta (corrispondente al valore mediato tra i nodi di monte e valle del ramo), il grado di riempimento (pari al rapporto tra l'altezza d'acqua e l'altezza della sezione), il franco idraulico rappresenta la differenza tra l'altezza della sezione e l'altezza dell'acqua massima e il valore del numero di Froude.



**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA
PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E
STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	44 di 88

Nodo di monte	Nodo di valle	TR 50				
		Velocità massima [m/s]	Altezza d'acqua [m]	Grado di riempimento	Franco Idraulico [m]	Numero di Froude Fr
1	0	5.53	0.40	0.14	2.46	2.79
2	1	3.88	0.77	0.27	2.07	1.41
3	2	3.57	1.01	0.37	1.73	1.13
4	3	3.47	1.07	0.45	1.31	1.07
5	4	3.56	1.17	0.49	1.21	1.05
6	5	5.54	1.18	0.67	0.58	1.63
7	6	5.85	1.15	0.72	0.45	1.74
8	7	5.62	1.36	0.86	0.22	1.54
9	8	5.26	1.43	1.00	0.00	1.40
10	9	3.45	1.59	0.82	0.35	0.87
11	10	3.84	1.41	0.76	0.45	1.03
12	11	3.64	1.23	0.57	0.93	1.05
13	12	3.85	1.35	0.59	0.93	1.06
14	13	3.44	1.35	0.65	0.72	0.95
15	14	3.86	1.17	0.55	0.96	1.14
16	15	4.81	1.19	0.58	0.87	1.40
17	16	4.11	1.22	0.58	0.89	1.19
18	17	5.56	1.62	0.77	0.48	1.40
19	18	3.12	2.09	0.94	0.13	0.69
20	19	3.93	2.08	0.94	0.13	0.87
21	20	3.44	1.96	0.93	0.15	0.78
22	21	6.36	2.00	0.95	0.11	1.43
23	22	5.07	1.80	1.00	0.00	1.21
24	23	3.10	1.90	0.91	0.19	0.72
25	24	3.56	1.72	0.81	0.40	0.87
26	25	4.55	1.43	0.68	0.67	1.22
27	26	5.79	1.14	0.57	0.86	1.73
28	27	6.16	1.02	0.48	1.10	1.95
29	28	5.62	1.08	0.49	1.12	1.73
30	29	4.88	1.17	0.43	1.54	1.44
31	30	3.36	1.13	0.44	1.44	1.01
32	31	4.40	1.06	0.44	1.36	1.36
33v	32	4.87	0.99	0.41	1.43	1.56
33	33v	8.99	1.38	0.61	0.88	2.45
33m	33	11.22	1.11	0.49	1.15	3.40
34	33m	3.46	1.39	0.49	1.45	0.94
35	34	2.63	1.14	0.42	1.58	0.79
36	35	3.81	0.89	0.32	1.89	1.29
37	36	4.09	0.79	0.25	2.36	1.47
38	37	4.64	0.78	0.32	1.66	1.68
39	38	5.21	0.83	0.42	1.15	1.82
40	39	3.61	0.89	0.32	1.89	1.22
41	40	3.71	0.83	0.29	2.04	1.30
42	41	7.07	0.57	0.27	1.53	3.00
43	42	7.48	0.61	0.24	1.93	3.06
44	43	2.04	0.67	0.15	3.78	0.80
45	44	5.18	0.32	0.09	3.22	2.93
46	45	4.13	0.42	0.12	3.10	2.03

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	45 di 88

Nodo di monte	Nodo di valle	TR 200				
		Velocità massima [m/s]	Altezza d'acqua [m]	Grado di riempimento	Franco Idraulico [m]	Numero di Froude Fr
1	0	6.82	0.43	0.15	2.43	3.32
2	1	4.49	0.94	0.33	1.90	1.48
3	2	3.93	1.32	0.48	1.42	1.09
4	3	3.98	1.40	0.59	0.98	1.07
5	4	3.80	1.55	0.65	0.83	0.98
6	5	5.88	1.51	0.86	0.25	1.53
7	6	6.48	1.50	0.94	0.10	1.69
8	7	6.52	1.56	0.99	0.02	1.66
9	8	7.41	1.43	1.00	0.00	1.98
10	9	4.05	1.80	0.93	0.14	0.96
11	10	4.36	1.66	0.89	0.20	1.08
12	11	4.11	1.51	0.70	0.65	1.07
13	12	4.27	1.66	0.73	0.62	1.06
14	13	3.91	1.70	0.82	0.37	0.96
15	14	4.39	1.51	0.71	0.62	1.14
16	15	5.23	1.52	0.74	0.54	1.35
17	16	4.69	1.54	0.73	0.57	1.21
18	17	6.56	1.97	0.94	0.13	1.49
19	18	3.79	2.22	1.00	0.00	0.81
20	19	4.89	2.21	1.00	0.00	1.05
21	20	4.23	2.11	1.00	0.00	0.93
22	21	6.43	2.11	1.00	0.00	1.41
23	22	5.75	1.80	1.00	0.00	1.37
24	23	4.19	2.09	1.00	0.00	0.93
25	24	4.45	2.12	1.00	0.00	0.98
26	25	5.41	1.93	0.92	0.17	1.24
27	26	6.60	1.58	0.79	0.42	1.68
28	27	6.80	1.38	0.65	0.74	1.85
29	28	6.11	1.36	0.62	0.84	1.67
30	29	5.25	1.44	0.53	1.27	1.40
31	30	3.70	1.39	0.54	1.18	1.00
32	31	4.80	1.33	0.55	1.09	1.33
33v	32	5.25	1.23	0.51	1.19	1.51
33	33v	11.98	1.42	0.63	0.84	3.21
33m	33	9.48	1.78	0.79	0.48	2.27
34	33m	3.61	1.79	0.63	1.05	0.86
35	34	2.65	1.50	0.55	1.22	0.69
36	35	3.82	1.14	0.41	1.64	1.14
37	36	4.32	0.95	0.30	2.21	1.42
38	37	5.10	0.93	0.38	1.51	1.69
39	38	5.80	1.01	0.51	0.97	1.84
40	39	3.97	1.06	0.38	1.72	1.23
41	40	4.07	1.00	0.35	1.87	1.30
42	41	7.68	0.69	0.33	1.41	2.95
43	42	7.79	0.74	0.29	1.80	2.90
44	43	2.28	0.80	0.18	3.65	0.81
45	44	5.61	0.39	0.11	3.15	2.87
46	45	4.58	0.53	0.15	2.99	2.01

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	46 di 88

Nodo di monte	Nodo di valle	TR 500				
		Velocità massima [m/s]	Altezza d'acqua [m]	Grado di riempimento	Franco Idraulico [m]	Numero di Froude Fr
1	0	8.03	0.49	0.17	2.37	3.68
2	1	4.69	1.05	0.37	1.79	1.46
3	2	4.44	1.48	0.54	1.26	1.17
4	3	4.11	1.64	0.69	0.74	1.02
5	4	4.09	1.76	0.74	0.62	0.98
6	5	6.17	1.76	1.00	0.00	1.48
7	6	7.09	1.60	1.00	0.00	1.79
8	7	7.64	1.58	1.00	0.00	1.94
9	8	8.70	1.43	1.00	0.00	2.32
10	9	4.36	1.94	1.00	0.00	1.00
11	10	4.75	1.86	1.00	0.00	1.11
12	11	4.25	1.86	0.86	0.30	1.00
13	12	4.29	1.85	0.81	0.43	1.01
14	13	3.96	1.78	0.86	0.29	0.95
15	14	4.35	1.58	0.74	0.55	1.11
16	15	5.17	1.59	0.77	0.47	1.31
17	16	4.64	1.62	0.77	0.49	1.16
18	17	6.48	1.93	0.92	0.17	1.49
19	18	4.10	2.22	1.00	0.00	0.88
20	19	5.62	2.21	1.00	0.00	1.21
21	20	5.17	2.11	1.00	0.00	1.14
22	21	6.53	2.11	1.00	0.00	1.44
23	22	7.10	1.80	1.00	0.00	1.69
24	23	4.89	2.09	1.00	0.00	1.08
25	24	5.04	2.12	1.00	0.00	1.11
26	25	5.51	2.10	1.00	0.00	1.21
27	26	7.26	1.82	0.91	0.18	1.72
28	27	7.30	1.57	0.74	0.55	1.86
29	28	6.39	1.54	0.70	0.66	1.64
30	29	5.44	1.60	0.59	1.11	1.37
31	30	3.87	1.54	0.60	1.03	1.00
32	31	4.99	1.48	0.61	0.94	1.31
33v	32	5.43	1.38	0.57	1.04	1.48
33	33v	12.35	1.64	0.73	0.62	3.08
33m	33	9.73	2.04	0.90	0.22	2.17
34	33m	3.68	2.04	0.72	0.80	0.82
35	34	2.65	1.77	0.65	0.95	0.64
36	35	3.83	1.33	0.48	1.45	1.06
37	36	4.32	1.07	0.34	2.08	1.33
38	37	5.26	1.05	0.43	1.39	1.64
39	38	6.11	1.11	0.56	0.87	1.85
40	39	4.18	1.17	0.42	1.61	1.24
41	40	4.26	1.09	0.38	1.78	1.30
42	41	7.96	0.78	0.37	1.32	2.88
43	42	7.95	0.81	0.32	1.73	2.82
44	43	2.42	0.89	0.20	3.56	0.82
45	44	5.81	0.46	0.13	3.08	2.73
46	45	4.82	0.60	0.17	2.92	1.99

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>47 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	47 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	47 di 88								

I risultati della modellazione idraulica, con Tempi di Ritorno pari a 50, 200 e 500 anni, mostrano che il Rio Preli e il Rio Figallo, se non rigurgitati dal Bisagno non hanno esondazioni, ma si hanno solo alcuni tratti con funzionamento in pressione a sezione piena, come evidenziato sui profili e dai risultati numerici precedentemente riportati.

Nei paragrafi successivi si effettueranno delle valutazioni anche sulle possibilità di ostruzioni dell'imboccatura del Rio Figallo al fine di riprodurre le esondazioni che si sono verificate nella zona in passato.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>48 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	48 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	48 di 88								

1.6 MODELLAZIONE 2D DELL'ESONDAZIONE DEL RIO PRELI

Nonostante la modellazione con SWMM del Rio Preli e dell'affluente Rio Figallo non abbiano mostrato evidenze di criticità idrauliche dal punto di vista numerico, è noto che allagamenti dell'area si sono verificati in passato. Questo è sicuramente dovuto al manufatto di imbocco del Rio Figallo che rappresenta il passaggio tra il pelo libero a il canale tombato, dove, come evidenziato dalle foto, è presente una griglia facilmente ostruibile e un troppo pieno nettamente insufficiente.

Per tale ragione **si è ipotizzato che tale imbocco sul Rio Figallo fosse completamente ostruito** e l'onda di piena, di portata massima pari a circa $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$, fosse in grado di defluire verso valle, in superficie, senza imboccare il tratto tombato.

In tal modo l'idrogramma di piena viene propagato, attraverso il software HEC-RAS sulle superfici, note attraverso il LIDAR.

La modellazione è stata considerata senza tener conto della piena del Bisagno proprio per valutare in modo separato l'impatto del Rio Figallo

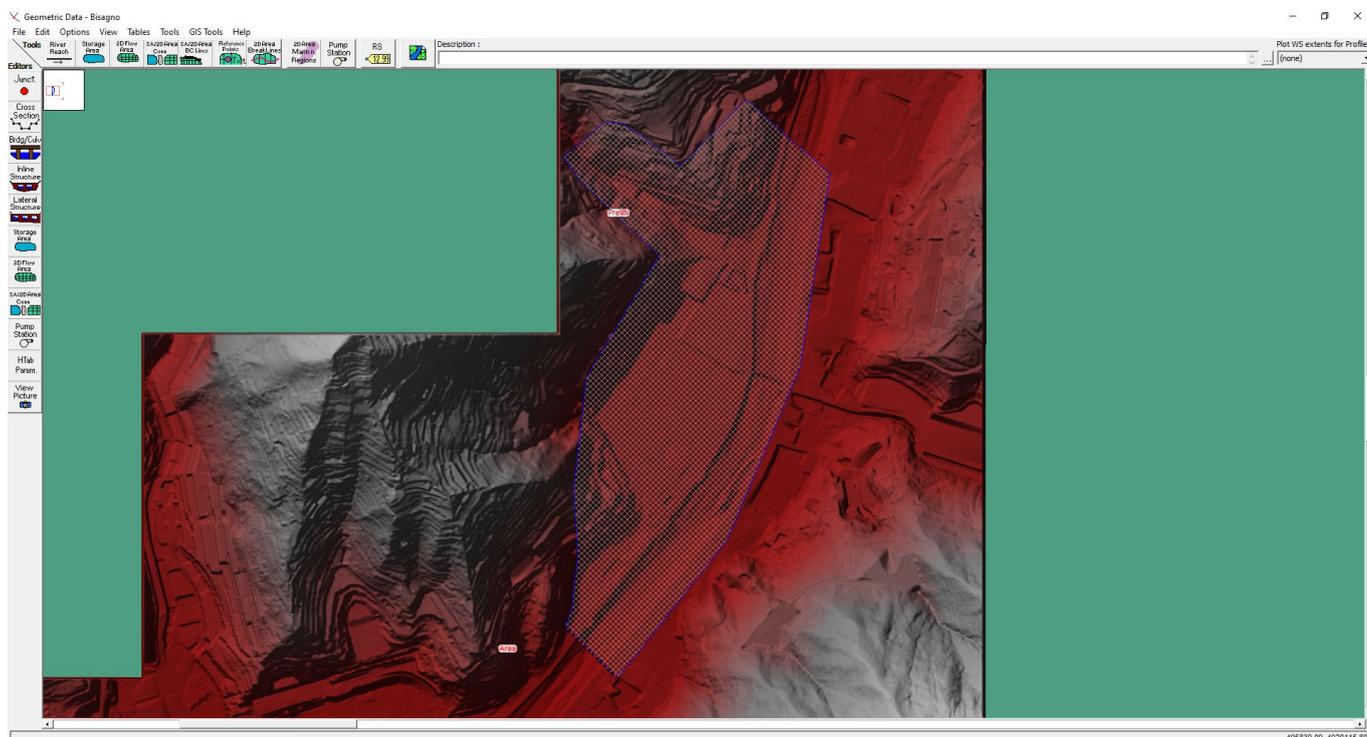


Fig. 34: Modellazione 2D dell'esonazione del Rio Figallo: rappresentazione del LIDAR, della griglia di calcolo e delle condizioni al contorno in HEC-RAS.

La prima simulazione effettuata, considerando il TR di 200 anni, è stata eseguita considerando il LIDAR-DTM ufficiale della Regione così come fornito e ottenuto dagli algoritmi di pulizia del LIDAR-DSM per rimuovere edifici, alberi, ecc..

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>49 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	49 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	49 di 88								

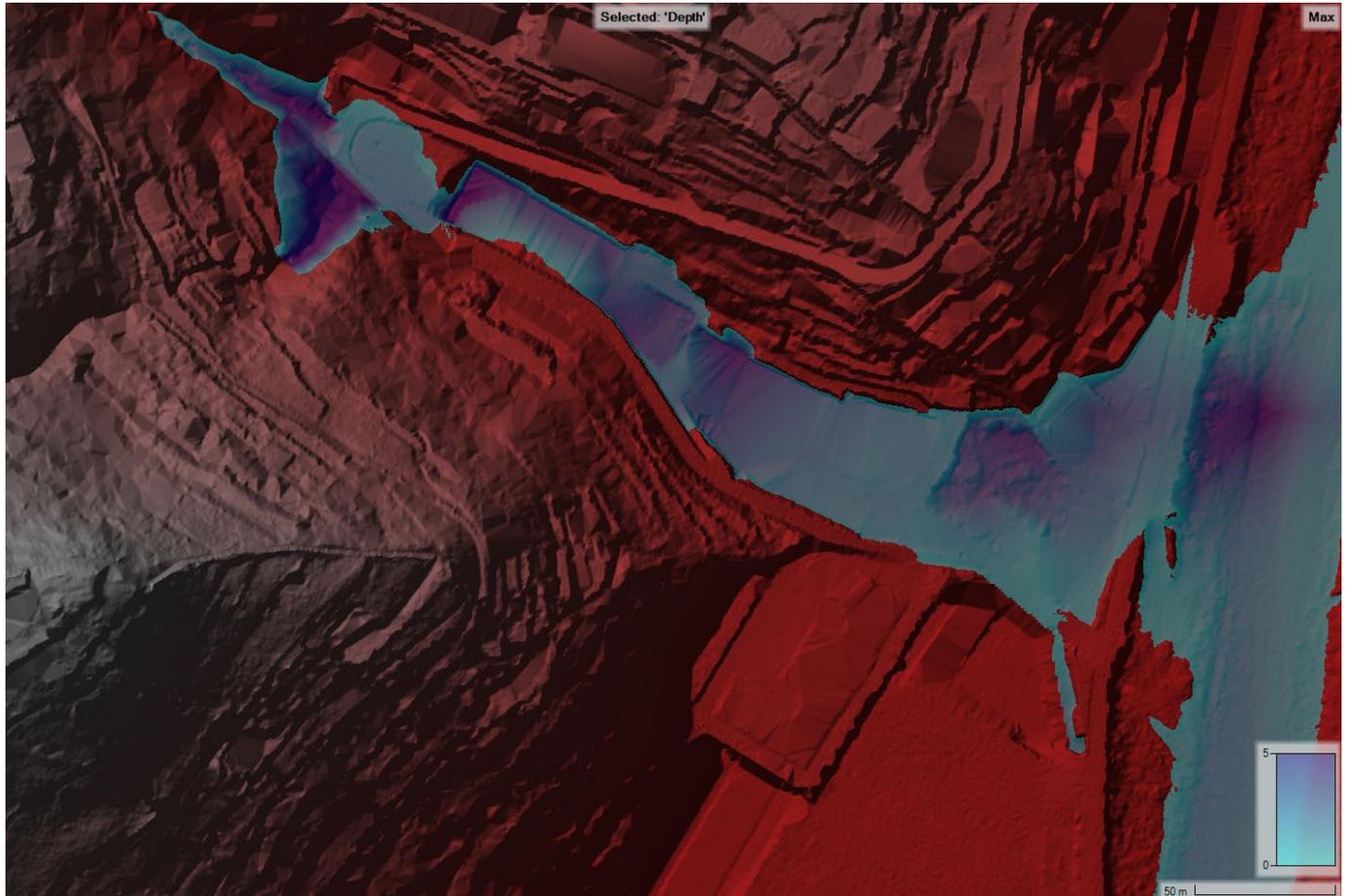


Fig. 35: Modellazione 2D dell'esondazione del Rio Figallo: rappresentazione del LIDAR DTM, e dei tiranti idrici massimi ottenuti con TR di 200 anni.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>50 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	50 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	50 di 88								

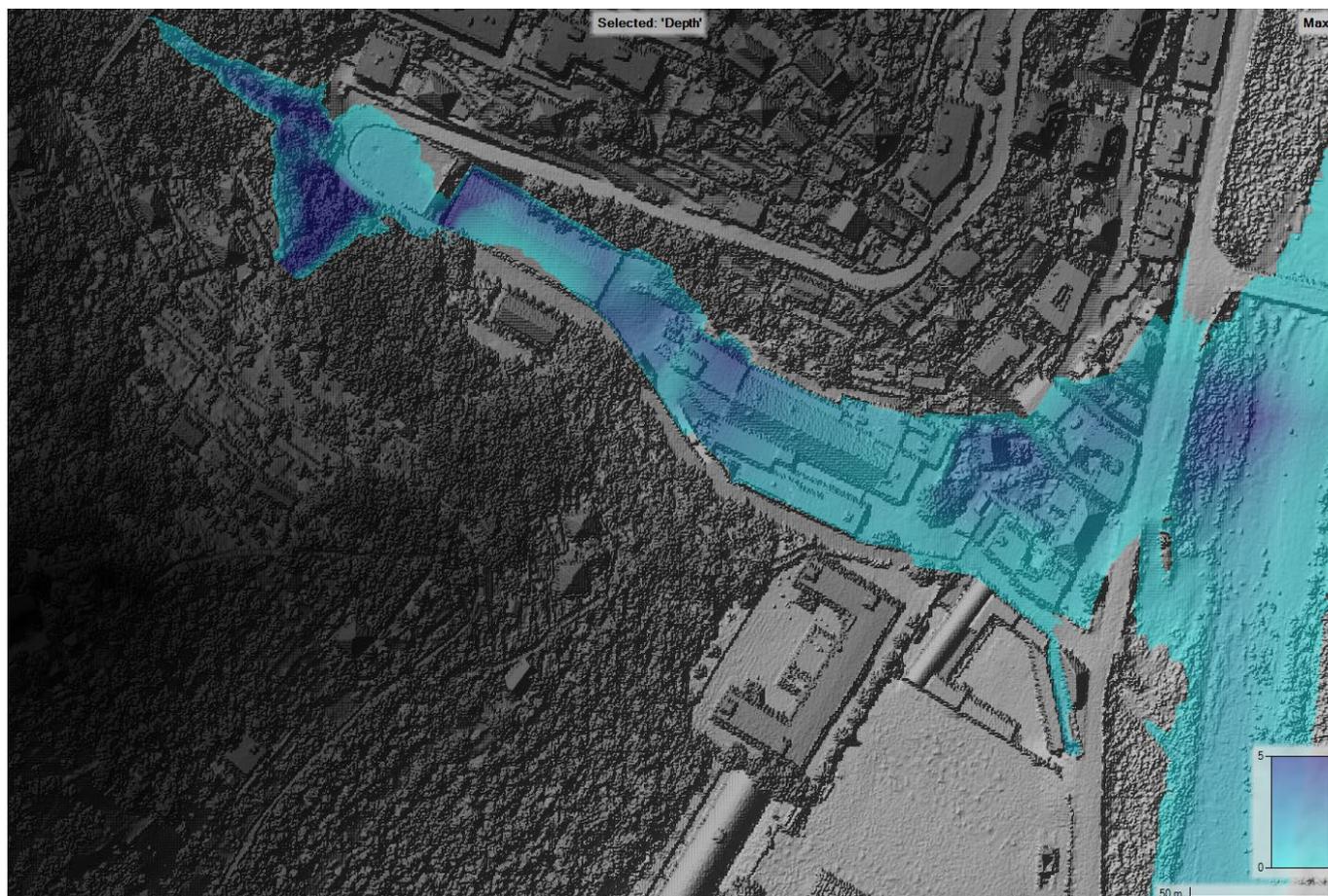


Fig. 36: Modellazione 2D dell'esondazione del Rio Figallo: rappresentazione del LIDAR DSM, e dei tiranti idrici massimi ottenuti con TR di 200 anni.

Occorre evidenziare che i risultati ottenuti sono ovviamente legati al LIDAR DTM utilizzato come base della propagazione superficiale che ha una risoluzione di circa 1x1 m. Di conseguenza alcuni elementi topografici tipo muretti, cancelli, muri di edifici, ecc.. non presenti nel LIDAR possono portare a dei risultati difformi rispetto a eventi reali.

Si è pertanto provveduto a modificare il LIDAR-DTM tenendo conto della presenza di edifici e muretti che possono modificare il flusso delle acque confrontando il LIDAR DTM con il LIDAR DSM e le foto aeree.

In particolare si è evidenziata una non corretta rappresentazione della strada che a causa della presenza di un albero non era stata profilata nel LIDAR DTM in modo corretto. Si veda la Figura seguente. In tale punto il LIDAR-DTM è stato adeguato mantenendo il profilo corretto della strada.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D Z1	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0003 001	REV. A	FOGLIO 51 di 88

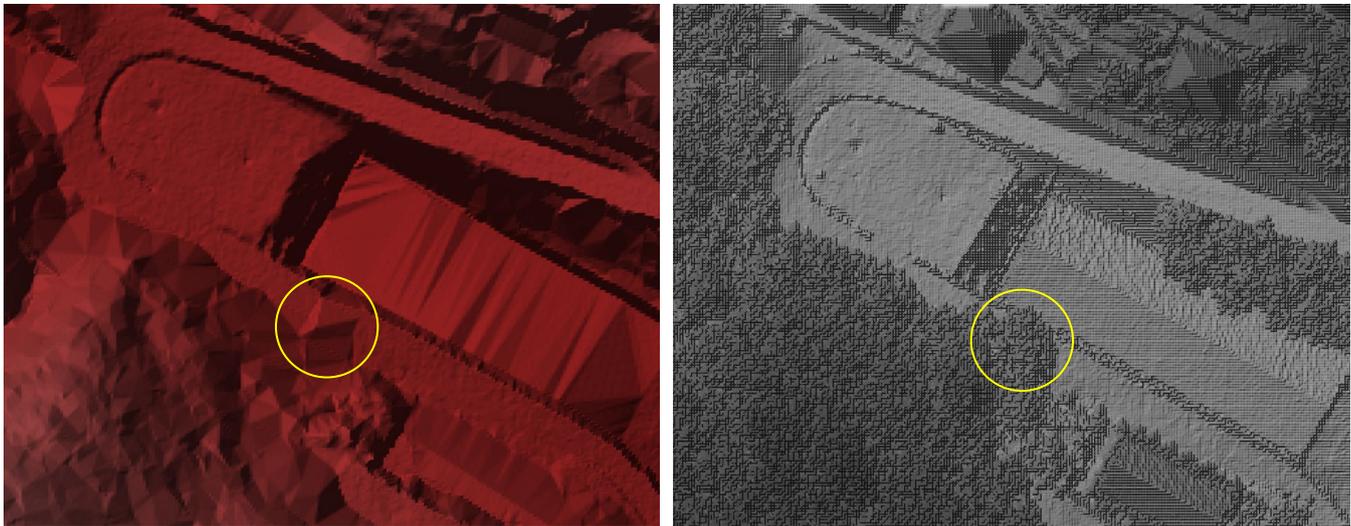


Fig. 37: Anomalia riscontrata lungo la strada nel LIDAR DTM corretta manualmente.

Analogamente, come evidenziato dalle foto aeree, sono presenti muri ed edifici che possono modificare il flusso delle acque, come riscontrabile nell'immagine seguente.



Fig. 38: Presenza di muretti e barriere non presenti nel LIDAR DTM che sono state aggiunte manualmente.

Al LIDAR-DTM sono poi stati aggiunti i principali edifici tenendo conto delle foto aeree e di quanto osservato. Occorre infatti tenere conto che si ha un edificio aperto all'interno dell'area per il passaggio dei mezzi, che non è stato inserito in quanto rappresenta una apertura e non un edificio come potrebbe apparire dalla foto aerea ed evidenziato nell'immagine seguente.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	52 di 88



Fig. 39: Apertura presente in un edificio per il transito di mezzi che consente il passaggio dell'acqua e pertanto l'edificio non è stato inserito nel LIDAR-DTM.

Pertanto, il LIDAR DTM, modificato come precedentemente descritto, è stato utilizzato nella modellazione idraulica e lo si può visualizzare nell'immagine seguente.

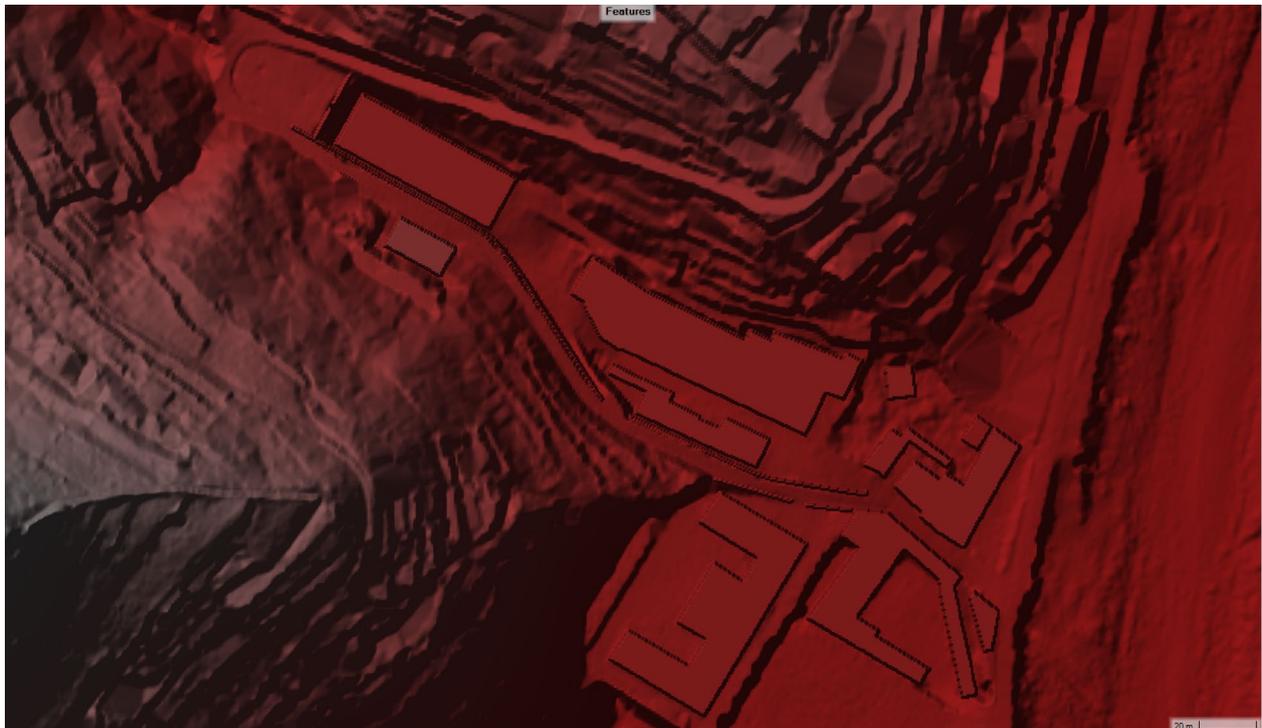


Fig. 40: Immagine del LIDAR DTM aggiornato con muretti ed edifici.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	53 di 88



Fig. 41: Immagine aerea da Google Maps corrispondente al LIDAR.

L'immagine seguente mostra pertanto le aree allagate con le modifiche apportate al LIDAR DTM.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>54 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	54 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	54 di 88								

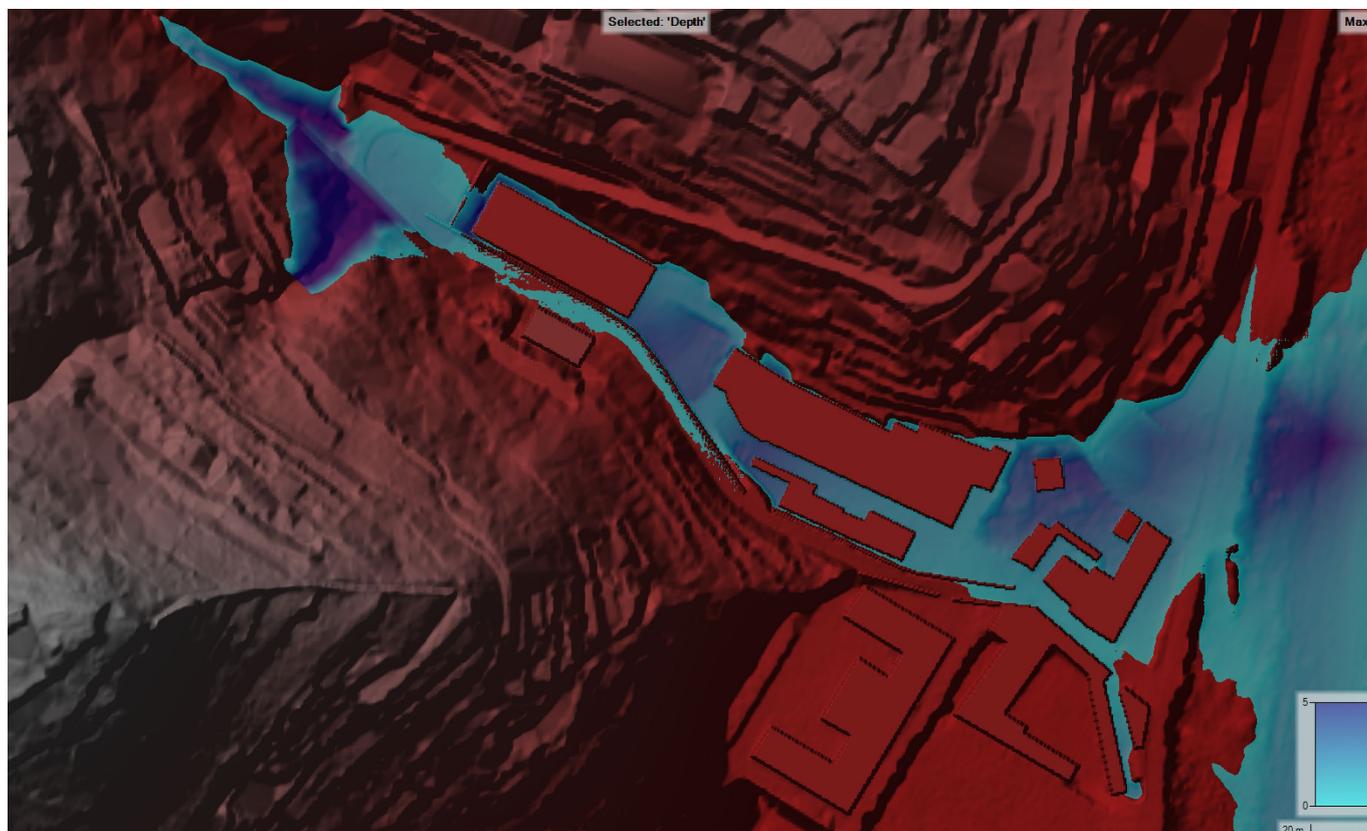


Fig. 42: Modellazione 2D dell'esondazione del Rio Figallo: rappresentazione del LIDAR DTM corretto manualmente con barriere ed edifici, e dei tiranti idrici massimi ottenuti con TR di 200 anni.

Per quanto riguarda l'area di Gavette si ha un leggero interessamento in una zona ribassata in comunicazione con Via Lodi attraverso un cancello, come evidenziato nell'immagine seguente di Google Street View.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>55 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	55 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	55 di 88								



Fig. 43: Indicazione del cancello, attraverso Google Maps, dove, da via Lodi si ha ingresso di acqua in prossimità di Gavette.

La rappresentazione completa delle aree allagate e delle velocità massime con TR pari a 50, 200 e 500 anni la si può ritrovare nell'allegato alla relazione.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>56 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	56 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	56 di 88								

Ulteriori considerazioni sono realizzate valutando le condizioni idrauliche che si instaurano a seguito dell'intervento progettuale a Gavette. In particolare vengono demoliti e ricostruiti gli edifici di Gavette più vicini a Via Lodi. Inoltre tali edifici vengono allontanata dalla strada. Pertanto il rilievo LIDAR DTM è stato modificato secondo le indicazioni progettuali raccordando via Lodi non i nuovi edifici nell'area di Gavette.

Si riportano i risultati dell'allagamento a seguito dell'ostruzione dell'imboccatura del Rio Figallo con base il LIDAT-DTM opportunamente modificato per TR 200 e 500 anni con il dettaglio nel tratto terminale di via Lodi.

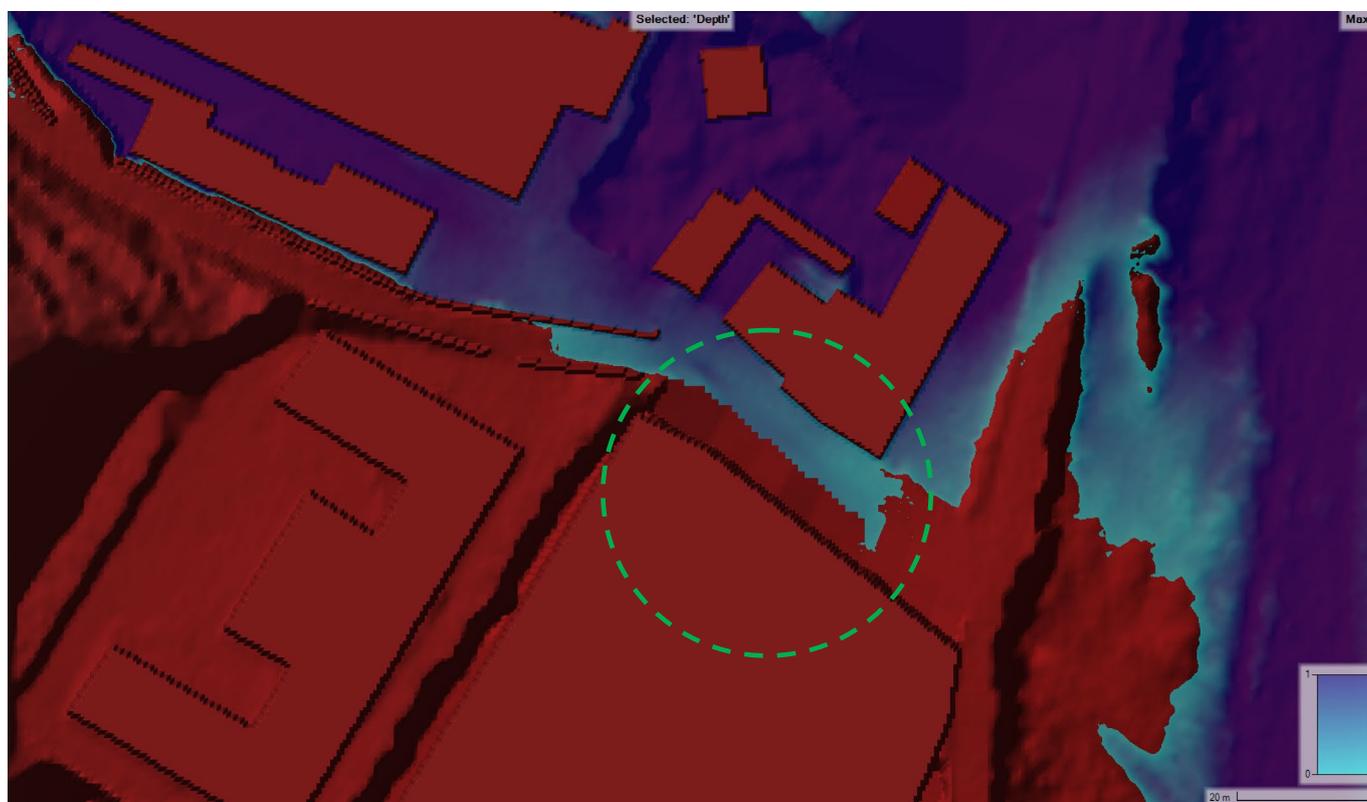


Fig. 44: Dettaglio dell'esondazione con il LIDAR DTM aggiornato nel tratto terminale di via Lodi con il nuovo edificio e la strada raccordata a seguito della demolizione degli edifici esistenti di Gavette con TR pari a 200 anni.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>57 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	57 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	57 di 88								

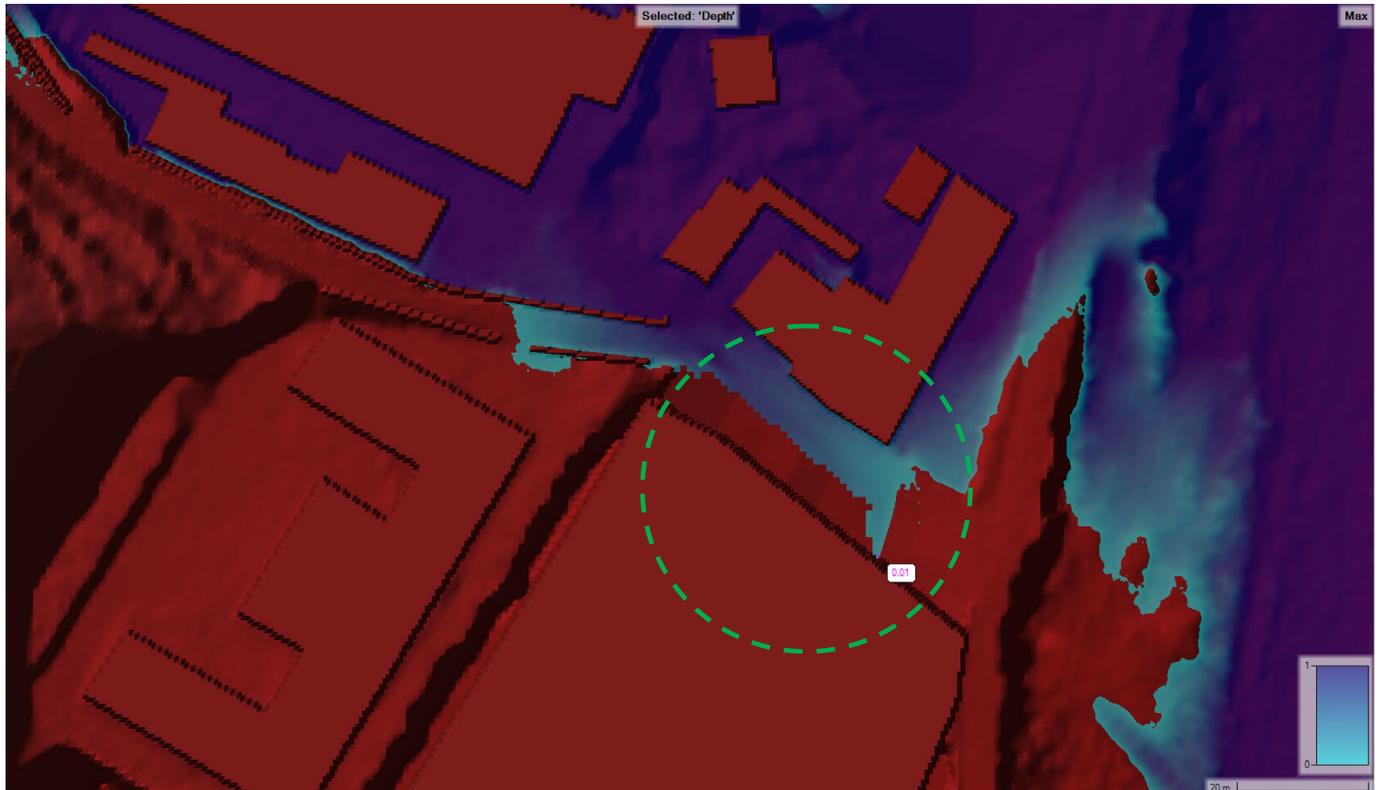


Fig. 45: Dettaglio dell'esonazione con il LIDAR DTM aggiornato nel tratto terminale di via Lodi con il nuovo edificio e la strada raccordata a seguito della demolizione degli edifici esistenti di Gavette con TR pari a 500 anni.

Si osserva pertanto che l'esonazione non va ad interessare gli edifici in progetto, ma rimane di fatto confinata su via Lodi.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>58 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	58 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	58 di 88								

3. CONCLUSIONI

Nel presente documento è stato condotto lo studio idrologico-idraulico del Rio Preli e dell'affluente Rio Figallo entrambi modellati con idonei strumenti di calcolo. In particolare è stato usato il codice di calcolo SWMM per la parte di Rio tombato e il codice di calcolo HEC-RAS per valutare le aree potenzialmente interessate da esondazioni.

Si sono quindi prodotti sia i profili di piena che le relative mappe di esondazione con Tempi di Ritorno pari a 50, 200 e 500 anni. Il Rio Preli e il Rio Figallo di fatto non mostrano situazioni di criticità particolari, se non alcuni tratti che vanno in pressione, ma senza dare luogo ad esondazioni. Confrontando però i risultati delle simulazioni con le esondazioni storiche si è visto che l'area è soggetta ad esondazioni e la causa è legata all'imbocco del Rio Figallo e del manufatto che raccorda la parte di alveo naturale con il tratto tombato non adeguato allo scopo.

Da tale considerazione si è proceduto nello studio ipotizzando l'imbocco del Rio Figallo completamente ostruito e l'idrogramma di piena del Rio Figallo, anziché incanalarsi nel collettore tombato viene fatta esondare in superficie e modellata tramite la propagazione 2D di HEC-RAS.

Da tale propagazione superficiale si è potuto constatare che l'esondazione del Rio Figallo non interessa in modo significativo l'area di intervento in corrispondenza del Deposito di Gavette, se non una piccola parte ribassata in comunicazione attraverso un cancello con via Lodi. Nelle condizioni di progetto con l'allontanamento degli edifici da via Lodi e il raccordo di quest'ultima con l'area in progetto non si hanno situazioni di allagamento conseguenti alle condizioni idrologiche/idrauliche ipotizzate.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>59 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	59 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	59 di 88								

ALLEGATO 1 – IL CODICE DI CALCOLO SWMM

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>60 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	60 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	60 di 88								

IL CODICE DI CALCOLO SWMM

Il modello SWMM è stato creato inizialmente da Metcalf e Eddy nel 1971 ed è stato migliorato più volte nel corso degli anni e tutt'oggi viene costantemente aggiornato ed arricchito in nuove versioni. Il software, di tipo open-source è scaricabile alla pagina web: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. Il codice di calcolo SWMM è in grado di simulare la propagazione della portata sia con il metodo dell'onda cinematica (Kinematic Wave) sia con le equazioni di De Saint Venant complete (Dynamic Wave). Il moto in pressione è ammesso grazie alla semplificazione del problema con lo slot di Preissman. SWMM fornisce, tramite interfaccia grafica, numerosi elementi da utilizzare per la definizione della rete idraulica oggetto di studio.

Gli oggetti disponibili in SWMM per la costruzione dei sistemi idraulici sono:

1. Nodo (*Junction*);
2. Condotto (*Conduit*);
3. Scarico (*Outfall*);
4. Pluviometro (*Rain gage*);
5. Sottobacino (*Subcatchment*);
6. Pompa (*Pump*);
7. Invasi (*Storage Unit*);
8. Orifizio (*Orifice*);
9. Soglia/Scolmatore (*Weir*);
10. Scarico di uscita (*Outlet*);

L'onda di piena dei rami viene generata, a seguito di un evento di pioggia, tramite una trasformazione afflussi-deflussi che ha luogo nel sottobacino (*Subcatchment*) afferente; quest'ultimo è schematizzato come una superficie piana rettangolare inclinata, caratterizzata da una scabrezza e da una pendenza. La definizione del sottobacino richiede l'inserimento di numerosi parametri, principalmente idrologici, e la scelta del modello di infiltrazione. Ulteriori dettagli saranno forniti nelle pagine seguenti.

I *Rain gage*, ossia i pluviometri, definiscono attraverso una serie pluviometrica, la pioggia che cade sul bacino.

Il nodo (*Junction*) è l'elemento di connessione tra due o più condotti e viene inserito quando c'è una confluenza tra rami, un cambiamento di sezione, un salto, una variazione di pendenza oppure una variazione di scabrezza (ovvero di materiale). I nodi sono i punti nei quali la pioggia caduta nei sottobacini ad essi correlati diventa portata e dove viene introdotta la portata nera o altre portate in ingresso. Per ogni nodo occorre inserire la quota di fondo (*Invert Elevation*), la massima altezza (*Max Depth*) che è ricavata come differenza tra la quota del terreno e la quota di fondo tubo ed eventualmente la portata di tempo secco. Ad ogni nodo viene assegnato automaticamente un numero progressivo con le sue relative coordinate cartesiane. Una volta disegnata la rete si possono facilmente inserire nuovi nodi o spostare gli stessi.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>61 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	61 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	61 di 88								

Il condotto (*Conduit*) è l'elemento del sistema idraulico che consente il trasferimento dell'acqua tra due nodi. Ad ogni condotto si può assegnare una forma semplicemente selezionandola da un elenco fornito dal programma. Inoltre è possibile disegnare una sezione per punti qualora si presentasse una sezione irregolare e non contemplata nella casistica predefinita. Graficamente il condotto è rappresentato da un segmento che collega due nodi e ad ogni condotto è assegnato un numero che lo contraddistingue. Tra i principali parametri da assegnare ai condotti, oltre alla forma e alle dimensioni della sezione, ci sono le quote delle sezioni di estremità del condotto (per evidenziare gli eventuali salti presenti) e la scabrezza che dipende dal materiale e che incide sulle perdite energetiche. Per quanto riguarda la lunghezza dei condotti si può assegnare automaticamente mentre si disegna, col comando Auto-length-on, oppure si inserisce il valore nella finestra del relativo condotto.

Tramite SWMM è possibile simulare eventi singoli o in continuo (serie pluviometriche). Il suo utilizzo è molto versatile e di fatto, benché sia nato prevalentemente come programma di modellazione per reti di fognature urbane, può essere tranquillamente applicato anche nello studio di sistemi di canali aperti aventi sezioni regolari o di forma varia. Grazie alla risoluzione e integrazione in forma completa delle equazioni di De Saint Venant, è possibile compiere calcoli e simulazioni di tipo idraulico su reti di canali o condotte, sollecitate da fenomeni meteorici o da ingressi di natura diversa. Analizzando la filosofia di schematizzazione di un bacino idrografico preso ad esempio, si può notare una rappresentazione a più livelli (Figura 1).

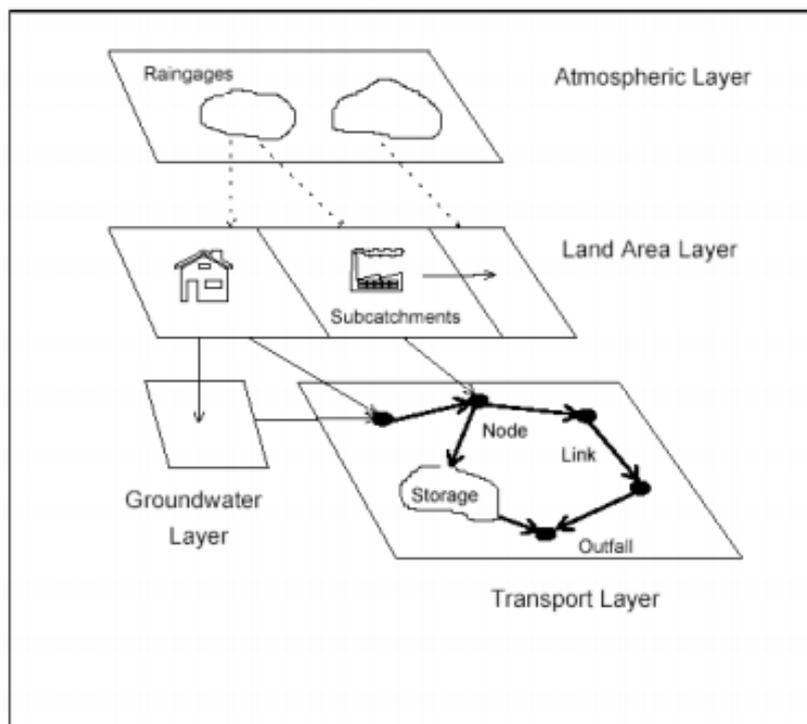


Figura 1: Concettualizzazione di un'area di drenaggio in SWMM.

Il bacino viene schematizzato in 4 livelli, ossia:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>62 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	62 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	62 di 88								

ATMOSFERA: nel quale si definiscono i valori di pioggia che la simulazione utilizza per le precipitazioni sul bacino. Le simulazioni possono avere la durata di poche ore (evento singolo) o durare diversi giorni (simulazioni in continuo), la scelta dipende dall'area di studio analizzata o del fenomeno che si vuole investigare.

TERRITORIO: può essere suddiviso in vari sottobacini, ciascuno settato con parametri che ne definiscono le caratteristiche fisiche e geometriche; riceve apporti dal livello Atmosfera, come pioggia, o sotto forma di deflusso superficiale proveniente da altre porzioni di Territorio;

GROUNDWATER: è un particolare tipo di livello rappresentate la porzione di terreno permeabile nel quale le acque si infiltrano;

TRASPORTO: contiene la rete dei canali, condotte e manufatti; il software utilizza una descrizione topologica della rete basandosi su una geometria formata da rami e nodi, ognuno di essi ha caratteristiche specifiche che, combinate tra loro, consentono la rappresentazione idraulica dell'intera rete di deflusso. In questo comparto si procede al calcolo della propagazione in rete.

È possibile scegliere tra diversi modelli numerici per la valutazione della propagazione dell'acqua all'interno dei condotti: moto uniforme, onda cinematica e moto vario, quest'ultimo generato dalla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant:

Moto uniforme: rappresenta il moto in assoluto più semplice da rappresentare. Ciò è dovuto alle ipotesi che vi sono alla base che riguardano l'assunzione che ad ogni passo temporale il flusso si mantenga costante e uniforme. L'idrogramma relativo sarà semplicemente traslato nel tempo senza alcun ritardo né cambio di forma. Le equazioni che lo governano mettono in relazione la portata all'area coinvolta (o all'altezza equivalente). Tale modello risulta inappropriato se si vuole studiare il funzionamento di invasi, effetti legati al ritardo dell'onda di piena, inversione dei flussi, studio delle perdite in ingresso o in uscita, flusso in pressione. Può essere utile per lo studio di reti non magliate, dove ogni nodo dispone di un proprio efflusso (a meno che non si tratti di un nodo intermedio). Tale modello come si è già detto è insensibile alle variazioni di tempo, quindi si presta solo per analisi preliminari utilizzando simulazioni in continuo (a lungo termine).

Onda cinematica: tale modello risolve, per ogni condotto, l'equazione di continuità in maniera semplificata. Una delle ipotesi che vi stanno alla base è l'assunzione che la pendenza della vena fluida sia uguale alla pendenza del condotto. La massima portata transitabile nella tubazione è pari a quella di tubo pieno. Qualsiasi flusso in eccesso o viene perso o viene reintrodotta successivamente quando la capacità della tubazione lo permette. Con il metodo cinematico si permette alla portata e alla sezione di cambiare nello spazio e nel tempo. Ciò produrrà idrogrammi in uscita che potranno avere ritardi o la cui forma sia differente da quella iniziale. Tuttavia non è possibile spiegare effetti legati al ritardo dell'onda di piena, perdite in ingresso e in uscita, inversione del flusso o di condotti in pressione. Se gli effetti suddetti non dovessero essere significativi allora questa alternativa può essere considerata un metodo accurato ed efficiente, soprattutto per le simulazioni a lungo termine.

Metodo dinamico: tale modello si basa sull'integrazione completa delle equazioni del flusso di De Saint Venant producendo effettivamente i risultati teorici più corretti. Le equazioni sono quelle del moto e della continuità per quanto riguarda le tubazioni, nonché equazioni di bilancio volumetrico per quanto riguarda i nodi. Con tale metodo è possibile rappresentare il flusso in pressione, tanto che le portate in eccesso possono superare il livello massimo dato dal tubo pieno, risalendo verso la superficie in corrispondenza dei nodi. Può succedere anche che le portate superino la profondità massima disponibile e allaghino il piano campagna. A questo punto il flusso in eccesso viene in parte perso dal sistema e in parte ristagna per poi reimmettersi all'interno della rete una volta possibile. Con il modello dinamico si possono studiare invasi, effetti legati al ritardo dell'onda di piena, perdite in entrata e in uscita,

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>63 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	63 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	63 di 88								

inversioni di flusso e flussi in pressione. Le reti da analizzare possono essere sia ramificate che magliate. È ottimale nello studio di sistemi soggetti a ritardi del flusso legati a restringimenti o sbarramenti posti nella rete. Ciò generalmente obbliga in un certo senso ad utilizzare intervalli temporali molto piccoli, dell'ordine del minuto o anche meno.

SWMM è in grado di rappresentare i vari processi idrologici che producono il deflusso dalle aree urbane e non, i quali 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*, ognuno dei quali sarà diviso sulla base dell'area permeabile e impermeabile o sulla base di forti variazioni geometriche come ad esempio la pendenza. Il deflusso superficiale può essere diretto fra i *Subcatchments*, o nei punti di entrata di una rete di fognatura.

Caratteristiche delle precipitazioni

Le precipitazioni in SWMM sono assegnate attraverso la definizione dei *Rain Gages* i quali forniscono i dati di pioggia sui bacini. Si tratta fondamentalmente dell'assegnazione di un ietogramma di progetto. Questi possono essere inseriti manualmente in SWMM attraverso appositi editor, oppure possono essere caricati da un file di testo esterno. I principali parametri di input dei *Rain Gages* comprendono informazioni relative all'intensità o al volume della pioggia e l'intervallo di registrazione dei dati (ogni ora, 30 minuti, 15 minuti, ecc..).

Caratteristiche dei sottobacini

Per quanto riguarda i vari sottobacini è necessario immettere in SWMM i valori delle rispettive aree, le pendenze medie, *width* o larghezza equivalente del bacino, la percentuale delle aree impermeabili, l'altezza delle depressioni superficiali nelle aree permeabili ed impermeabili, il coefficiente di Manning per le superfici permeabili ed impermeabili, ed infine i dati per il calcolo dell'infiltrazione. Le definizioni dei singoli parametri utilizzati sono di seguito riportate:

Aree: viene immesso il valore dell'area del sottobacino, espresso in ettari. Utilizzando il comando Auto-length ON, all'atto di disegnare il sottobacino, sarà calcolata immediatamente la sua area, così che disponendo di un background in scala sarà sufficiente ricalcare i contorni delle zone interessate.

Pendenze medie: si tratta della pendenza media del singolo sottobacino;

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>64 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	64 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	64 di 88								

Width o larghezza equivalente del bacino: se lo scorrimento superficiale è idealizzato come un deflusso lungo una superficie piana inclinata, nel caso più semplice di forma rettangolare, allora il *width* del bacino di drenaggio è identificabile fisicamente con la larghezza, ‘width’, appunto, della superficie su cui avviene lo scorrimento superficiale.

Supponendo di avere un bacino semplice di forma rettangolare e percorso da un canale di scolo di lunghezza l che lo divida in due aree simmetriche, come nel caso della Figura 2, il calcolo del *width* porterebbe a trovare il valore di $W=2 l$.

Inoltre moltiplicando il valore del *width* per il valore di q_L , deflusso laterale per unità di larghezza, si ottiene rapidamente il valore totale dell’apporto idrico nel canale centrale.

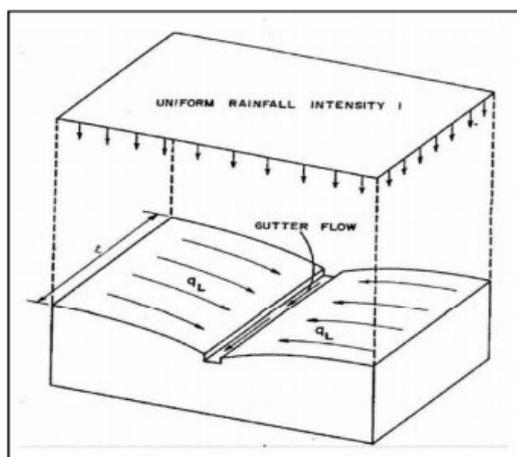


Figura 2: Bacino idealizzato di forma rettangolare.

Occorre tenere in conto che il valore del *width* può influire sulla forma dell’idrogramma, infatti, osservando l’equazione del calcolo del deflusso superficiale, trattato nel paragrafo successivo, si osserva che una volta fissate le pendenze del bacino e la scabrezza del terreno il calcolo venga influenzato unicamente dal valore di W .

Considerando il caso di cinque bacini, tutti aventi la stessa area, ma differenti valori di W (Figura 3) si possono osservare le diverse risposte in termini di *runoff* superficiale.

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
DEPOSITO GAVETTE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	65 di 88

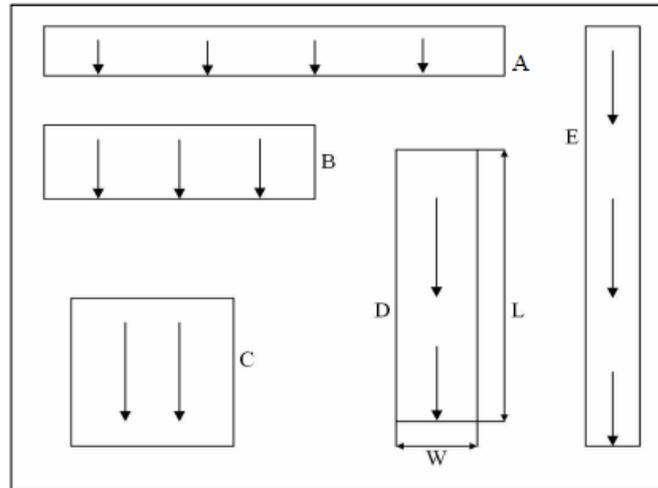


Figura 3: Cinque bacini aventi differenti forme ma uguali aree, per illustrare l'effetto della forma dei bacini.

Si presuppone che il canale di drenaggio sia situato alla base del rettangolo. Supponendo di compiere una simulazione, con una pioggia di 20 minuti, utilizzando il solo *Runoff*, quindi usando la condizione di serbatoi non lineari, si ottengono i seguenti idrogrammi (Figura 4):

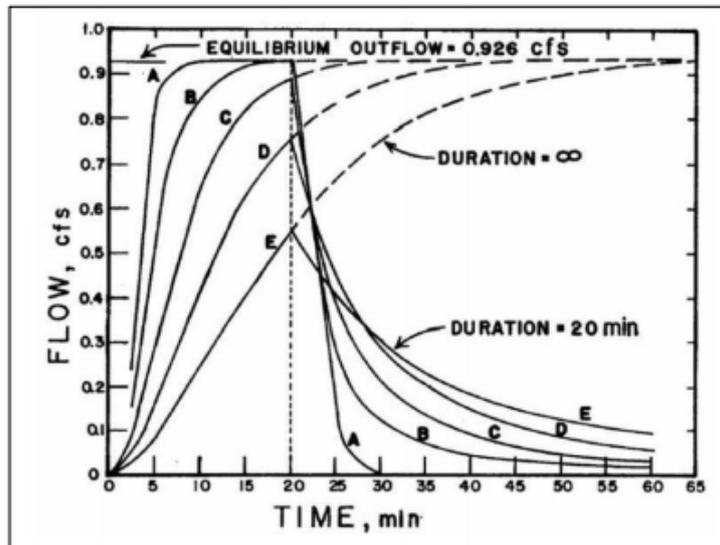


Figura 4: Idrogrammi relativi ai cinque differenti bacini

Due considerazioni possono essere tratte dall'osservazione di questi idrogrammi. Innanzitutto un differente effetto di immagazzinamento, ben evidente confrontando i risultati del bacino A con quelli relativi ad E. I differenti bacini si comportano come un serbatoio; nel caso di E, avente una forma allungata ed un valore di W più piccolo tra tutti,

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>66 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	66 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	66 di 88								

si ha un deflusso laterale minore, da cui ne consegue che pur ricevendo lo stesso quantitativo di pioggia un quantitativo maggiore di acqua viene immagazzinata e rilasciata più lentamente. Per contro, nel caso del bacino A si avrà un rilascio più rapido ed un minore immagazzinamento, avendo così nell'idrogramma i rami di accumulo e di rilascio che crescono più rapidamente degli altri casi. Risulta anche evidente un effetto sulla forma dell'idrogramma. Infatti, tutti raggiungono il valore di picco allo stesso istante (ovvero nel momento in cui cessa la pioggia), anche se nel caso di un elevato valore di W , e questo è il caso del bacino A, si raggiunge rapidamente il picco massimo di deflusso, producendo così un idrogramma piatto per il restante periodo di pioggia. Quindi, nel caso in cui ci si trovi a schematizzare un bacino con diversi sottobacini e soggetto a pioggia variabile nel tempo, un elevato valore di $Width$ tenderà più rapidamente a causare picchi negli idrogrammi.

Nella realtà, specialmente in zone rurali, è più facile imbattersi in bacini dalla forma irregolare ed in cui il canale di scolo abbia un andamento non lineare e non centrato rispetto all'area.

In questi casi generici (Figura 5) si utilizza la seguente relazione:

$$W = (2 - S_k)l \quad (1)$$

dove:

W = width o fattore di forma del bacino;

S_k = skewfactor o fattore di obliquità;

l = lunghezza del canale di drenaggio.

Il valore di S_k , compreso tra $0 \leq S_k \leq 1$, si calcola nel seguente modo:

$$S_k = \frac{A_2 - A_1}{A_{tot}} \quad (2)$$

con:

A_1 = porzione di area su di un lato del canale;

A_2 = porzione di area dall'altro lato del canale;

A_{tot} = area totale.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>67 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	67 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	67 di 88								

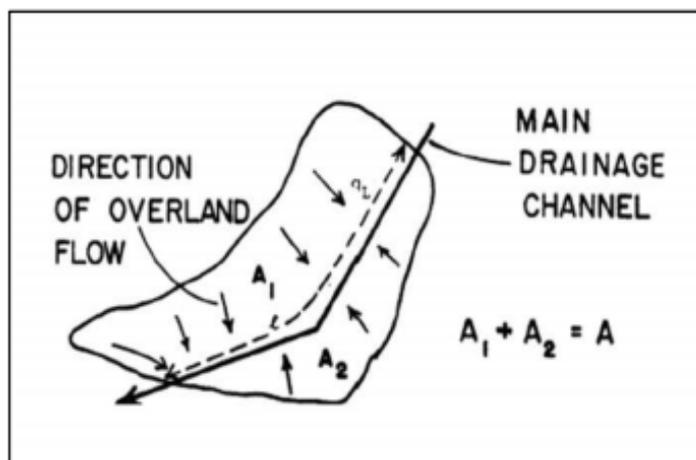


Figura 5: Generico bacino per il calcolo del width.

Il valore di W e della pendenza del bacino rimane lo stesso sia per le aree impermeabili che per quelle permeabili.

Percentuale aree impermeabili: il valore introdotto è definito come il rapporto tra le superfici impermeabili, quali strade ed aree urbane, e l'area totale del sottobacino;

Altezza delle depressioni superficiali: l'altezza d'acqua nelle depressioni superficiali viene considerata come una perdita causata da diversi fattori tra i quali possiamo annoverare il ristagno delle acque e l'intercettazione da parte delle asperità del terreno e delle superfici.

L'acqua così immagazzinata è soggetta, nel caso di superfici permeabili, ad infiltrazione (ed evaporazione), mentre nel caso di superfici impermeabili questa è esaurita solo per evaporazione. Nell'immissione dei dati risulta quindi necessario utilizzare due valori distinti, uno per le aree permeabili ed uno per quelle impermeabili. Inoltre per le superfici impermeabili viene indicata una percentuale di area nella quale non si hanno depressioni, e quindi non si ha immagazzinamento di acqua; in tale maniera si ottiene che una parte delle superfici impermeabili risponde immediatamente alla sollecitazione dovuta alle piogge generando un deflusso superficiale in tempi minori.

Deflusso superficiale

Il deflusso superficiale è costituito da quella parte di precipitazione che scorre sulla superficie del terreno e si raccoglie successivamente nella rete di scolo; i fenomeni idrologici di infiltrazione, intercettazione e di accumulo nelle depressioni superficiali costituiscono di fatto delle perdite nelle simulazioni 'a evento singolo', le perdite che vengono sottratte all'afflusso meteorico totale, rappresentato dalla pioggia lorda, fornendo così la pioggia netta, ossia quella quota di precipitazione che contribuisce al deflusso superficiale.

Il deflusso superficiale, schematizzato dal programma SWMM, può essere concettualmente raffigurato dalla seguente immagine.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>68 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	68 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	68 di 88								

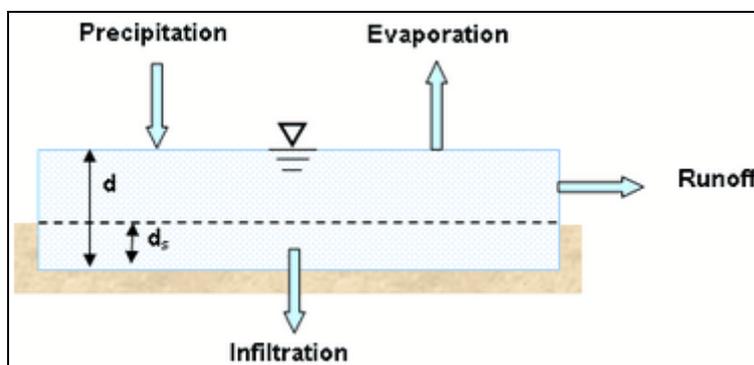


Figura 6: Rappresentazione concettuale del deflusso superficiale in SWMM.

Ogni superficie dei sottobacini è trattata come un serbatoio non-lineare. Gli ingressi derivano dalle precipitazioni, dalle piogge e/o scioglimento delle nevi, le uscite sono diverse e sono rappresentate dall'evaporazione, dall'infiltrazione e dal deflusso superficiale.

Il volume di questo serbatoio è rappresentato dalla massima capacità di immagazzinamento delle depressioni, ossia quel volume d'acqua intercettata da avvallamenti, sconessioni delle superfici e ristagni.

Il deflusso superficiale per unità di area, Q , si innesca ogniqualvolta l'altezza d'acqua nel serbatoio supera il valore delle depressioni d_s , ed in questo caso il flusso che fuoriesce è dato dalla equazione:

$$Q = W \frac{1,49}{n} (d - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

dove:

Q = deflusso superficiale;

W = "larghezza" del sottobacino o width;

n = coefficiente di scabrezza di Manning;

d = altezza dell'acqua;

d_s = altezza delle depressioni superficiali;

S = pendenza del sottobacino.

L'altezza dell'acqua dei sottobacini è continuamente aggiornata nel corso del calcolo, risolvendo numericamente il bilancio d'acqua presente sul sottobacino. I sottobacini, come si avrà modo di vedere, sono divisi in due porzioni: impermeabili (aree urbane, zone industriali e strade) e permeabili (aree destinate a coltivazioni o aree naturali), questo perché il deflusso superficiale può infiltrarsi attraverso la porzione superficiale delle aree permeabili.

Infiltrazione

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>69 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	69 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	69 di 88								

L'infiltrazione è quel processo per cui le acque meteoriche cadute al suolo su aree permeabili penetrano attraverso la superficie del terreno per giungere negli strati inferiori del suolo.

SWMM offre tre possibilità di calcolo per l'infiltrazione:

Equazioni di Horton: Questo metodo si basa su osservazioni empiriche che dimostrano che l'infiltrazione nel caso di una precipitazione sufficientemente prolungata diminuisce esponenzialmente da un tasso iniziale massimo ad un tasso minimo. Vale la seguente legge:

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (4)$$

dove:

f = capacità d'infiltrazione al tempo t ;

f_0 = valore massimo iniziale di f ;

f_c = valore costante finale di f a suolo saturo;

k = costante dipendente dalle caratteristiche del suolo;

t = durata della pioggia.

Metodo di Green-Ampt: Lo schema concettuale del metodo è rappresentato nella Figura 7. Il modello suppone che il processo di infiltrazione inizi quando uno strato d'acqua di altezza h_0 si sia accumulato sulla superficie del suolo. Il suolo è caratterizzato da un'umidità iniziale che è supposta omogenea con θ_i . Il modello ipotizza che il fronte umido sia rappresentato da una superficie orizzontale S_u che all'istante iniziale del processo di infiltrazione coincide con S_h . Successivamente, S_u avanza nel sottosuolo muovendosi lungo la verticale e mantenendo giacitura invariata, poiché si suppone che l'infiltrazione avvenga per traiettorie liquide verticali e con vettore velocità d'infiltrazione invariante nello spazio. Al passaggio del fronte umido, l'umidità assume il valore della capacità di immagazzinamento idrico del suolo C_s . Con il simbolo θ_r viene indicata l'umidità residua del suolo che permane dopo un prolungato drenaggio per gravità.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>70 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	70 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	70 di 88								

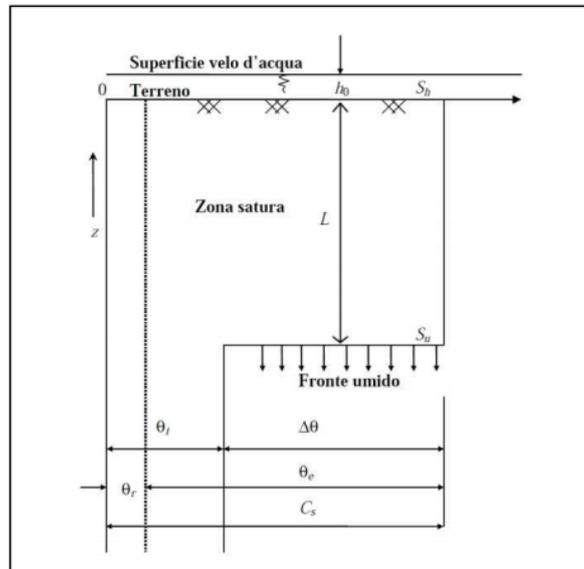


Figura 7: Rappresentazione schematica del modello di infiltrazione di Green – Ampt.

Metodo Curve Number: il metodo proposto dal SCS (Soil Conservation Service) è una procedura che consente una stima della pioggia netta a partire dalla conoscenza della pioggia totale e dagli usi del suolo. Questo modello presume che la capacità di infiltrazione totale di un terreno può essere trovata tramite un valore tabulato (il Curve Number) associato alla tipologia d'uso; durante un evento di pioggia tale capacità è diminuita in funzione della pioggia cumulata e della capacità rimanente. Il metodo si basa sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione di proporzionalità:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S} \quad (5)$$

dove:

V = volume di deflusso;

P_n = precipitazione netta;

W = invaso del suolo, cioè il volume idrico effettivamente immagazzinato;

S = il valore massimo immagazzinabile nel terreno in condizioni di saturazione dopo l'inizio della precipitazione.

La precipitazione netta (6) si ottiene sottraendo alla precipitazione totale le perdite iniziali dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabile all'intercettazione operata dalla copertura vegetale, dalle asperità del terreno e dall'infiltrazione prima della formazione del deflusso:

$$P_n = P - I_a \quad (6)$$

dove:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">71 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	71 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	71 di 88								

P_n = precipitazione netta;

P = precipitazione totale;

I_a = perdite iniziali.

La precipitazione netta, inoltre, si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo, e può essere così espressa:

$$P_n = V + W \quad (7)$$

Sostituendo il valore di W ricavato dalla (7) nella (5), si ottiene:

$$V = \frac{P_n^2}{P_n + S} \quad (8)$$

Il termine di accumulo I_a , che rappresenta il volume di pioggia perduto, risulta di difficile calcolo, per ovviare a questo si usa solitamente esprimerlo in una relazione che lo correla alla capacità di infiltrazione a saturazione S :

$$I_a = 0,2S \quad (9)$$

Introducendo questa relazione nella (6) si ha che:

$$P_n = P - 0,2S \quad (10)$$

A questo punto sostituendo nella (8) la (10) si ottiene:

$$V = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (11)$$

L'applicazione della precedente formula presuppone la conoscenza, oltre che della precipitazione totale P , della stima del massimo invaso del suolo S , il cui valore può assumere valori compresi tra 0 (superficie completamente impermeabile) ed infinito (superficie su cui non si ha formazione del deflusso superficiale).

La determinazione di S viene effettuata per mezzo della relazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (12)$$

dove:

S = valore massimo immagazzinabile nel terreno, espresso in mm;

CN = parametro denominato Curve Number.

Il parametro CN è un numero il cui valore è compreso tra 0, suolo completamente permeabile, e 100, superfici totalmente impermeabili. Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e viene stimato in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino.

La determinazione di tale parametro presuppone la conoscenza del gruppo idrologico di ciascun suolo appartenente al bacino in esame.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>72 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	72 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	72 di 88								

Il Soil Conservation Service ha classificato tutti i suoli in quattro categorie idrologiche in base al tasso di infiltrazione ottenuto per il suolo privo di copertura dopo una imbibizione prolungata.

I quattro gruppi sono definiti come segue:

Gruppo A: questo gruppo è costituito da suoli con un basso potenziale di deflusso e un alto tasso di infiltrazione quando sono completamente umidi; questi suoli sono costituiti normalmente da sabbie e ghiaie e usualmente vi vengono incluse anche sabbie limose e limi sabbiosi; tali terreni hanno una trasmissività maggiore di 0,76 cm/h;

Gruppo B: i suoli che fanno parte di questo gruppo hanno un moderato tasso di infiltrazione quando sono completamente bagnati e consistono prevalentemente in terreni da poco profondi a profondi, poco o molto drenati, con tessitura da fine a grossolana; generalmente sono inclusi in questo gruppo i limi e i limi siltosi; tali suoli hanno una trasmissività compresa tra 0,38 e 0,76 cm/h;

Gruppo C: i suoli di questo gruppo hanno un basso tasso di infiltrazione quando sono completamente bagnati e consistono maggiormente in suoli con uno strato che limita il movimento verso il basso dell'acqua e suoli con una tessitura da moderatamente fine a fine; sono normalmente incluse in questo gruppo le argille sabbiose e limose; questi suoli hanno una trasmissività che va da 0,13 a 0,38 cm/h;

Gruppo D: i suoli di questo gruppo sono dotati di un elevato potenziale di deflusso; hanno un tasso di infiltrazione molto basso e consistono maggiormente in argille con elevato potere di ritenzione idrica, terreni con una quota della falda freatica prossima a quella della superficie del terreno, suoli con uno strato argilloso vicino alla superficie e suoli poco profondi che poggiano su uno strato impermeabile; sono inclusi in questo gruppo argille limose, argille siltoso-limose, argille siltose, argille ed argille sabbiose; questi suoli hanno una trasmissività molto bassa che va da 0 a 0,13 cm/h; alcuni suoli vengono classificati in questo gruppo a causa di eventuali problemi di drenaggio, ma qualora tali problemi dovessero sparire questi suoli cambierebbero gruppo.

Una volta attribuito il gruppo idrologico di appartenenza, si procede, all'interno del bacino in studio, alla individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso e sistemazione; a ciascuna di queste superfici viene in seguito attribuito il corrispettivo e più appropriato valore di CN, dedotto dai valori riportati in tabelle.

Il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee:

$$CN_{tot} = \frac{\sum_i A_i CN_i}{A_{tot}} \quad (13)$$

dove:

CN_{tot} = CN dell'intero bacino;

CN_i = CN della i-esima zona omogenea;

A_i = area della i-esima zona omogenea;

A_{tot} = area totale del bacino.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">73 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	73 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	73 di 88								

Il metodo considera anche le condizioni di umidità iniziali del terreno antecedenti all'inizio dell'evento (AMC, Antecedent Moisture Conditions), ed i valori di CN riportati nella tabella seguente si riferiscono alla condizione AMC(II), ovvero una condizione di umidità media.

Per condizioni antecedenti l'evento molto umide, AMC(III), o molto asciutte, AMC(I), si possono derivare i relativi valori di CN usando rispettivamente:

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0,13CN(II)} \quad (14)$$

$$CN(I) = \frac{4,2CN(II)}{10-0,058CN(II)} \quad (15)$$

Si considera un terreno in condizioni AMC(I) quando questo si presenta secco pur senza raggiungere il punto di appassimento, e in cui le colture o la vegetazione sono ben sviluppate; una condizione AMC(III) fa riferimento ad un terreno saturo a causa di precipitazioni superiori a 50 mm di pioggia nei cinque giorni precedenti l'evento considerato, mentre per la stagione fredda si considerano precipitazioni superiori a 25 mm di pioggia nei cinque giorni precedenti l'evento.

Di seguito si riporta una tabella contenete i valori del parametro CN nelle diverse condizioni di uso del suolo e gruppi idrologici, nelle condizioni di umidità AMC(II) (Tabella 4).

Tabella 4: Valori del CN per differenti gruppi di terreno, nella condizione AMC(II)

Uso del suolo	Drenaggio	Condizioni	Gruppo del terreno			
			A	B	C	D
Residenziale						
Zone urbane e commerciali	Area impermeabile: 85%		89	92	94	95
Zone industriali	Area impermeabile: 72%		81	88	91	93
Case a schiera	Area impermeabile: 65%		77	85	90	92
Ville	Area impermeabile: 25%		54	70	80	85
Parcheggi			98	98	98	98
Parchi	Copertura verde: 75%		39	61	74	80
Strade						
Pavimentate	Cunette e fognatura		98	98	98	98
Sterrate			72	82	87	89
Agricolo						
Maggese			77	86	91	94
Seminativo	Solchi a ritto chino	cattive	65	76	84	88
		buone	63	75	83	87
Seminativo	Terrazzato	cattive	61	72	79	82
		buone	59	70	78	81
Pascolo		cattive	68	79	86	89
		discrete	49	69	79	84
		buone	39	61	74	80
Prato						

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">74 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	74 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	74 di 88								

Terreno boschivo	cattive	45	66	77	83
	discrete	36	60	73	79
	buone	25	55	70	77
Filari	cattive	72	81	88	91
	buone	67	78	85	89
Bosco (50%) e prato (50%) (es. frutteto)	cattive	57	73	82	86
	discrete	43	65	76	82
	buone	32	58	72	79

Strutture e funzionamento della routine idraulica

Come si è già accennato SWMM utilizza una descrizione del tipo “rami-nodi” del sistema di scolo delle acque, facilitando così la rappresentazione discreta del modello fisico e la soluzione matematica delle equazioni di moto vario (De Saint Venant) che costituiscono le basi matematiche del modello.

La rete di drenaggio, come già spiegato precedentemente, è idealizzata come una serie di rami, ciascuno associabile ad una forma geometrica, collegati tra loro in corrispondenza dei nodi.

Le proprietà costanti associate ai rami sono il tipo di sezione, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza; quelle determinate ad ogni passo di calcolo sono invece la portata, la velocità, l’area bagnata del flusso, il raggio idraulico e la larghezza del pelo libero; le ultime tre sono in funzione del livello idrico istantaneo.

La variabile indipendente fondamentale nei rami è la portata Q , e si assume costante in ogni ramo durante un passo di calcolo. Velocità ed area bagnata del flusso, o livello, sono invece grandezze variabili nello stesso ramo.

Le proprietà costanti associate ai nodi sono la quota di scorrimento e la quota di immissione (od emissione) del ramo rispetto al fondo; quelle determinate ad ogni passo di calcolo e funzione del livello idrico nel nodo sono il volume, l’area superficiale libera e il carico idraulico H .

La variabile indipendente fondamentale nei nodi è il carico idraulico, variabile nel tempo, ma costante nel singolo nodo durante un passo di calcolo.

Gli afflussi e deflussi avvengono in corrispondenza dei nodi del sistema.

La variazione di volume nel nodo durante un dato passo di calcolo costituisce la base per i calcoli seguenti di portata e carico idraulico.

Equazioni fondamentali del moto

Le equazioni che il programma gestisce sono le classiche equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine di De Saint Venant, composte da:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (16)$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">75 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	75 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	75 di 88								

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gAS \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (17)$$

dove:

A = area bagnata del flusso;

Q = portata;

x = distanza lungo l'asse del condotto;

t = tempo;

g = costante gravitazionale;

H = carico idraulico totale, dato da $z+h$;

z = livello dello scorrimento;

h = livello idrico;

S_f = cadente piezometrica.

La (16) è l'equazione di continuità in moto vario in assenza di afflussi e deflussi laterali, la (17) è l'equazione del momento della quantità di moto; quest'ultima può essere scritta in diverse forme, in base alla scelta delle variabili dipendenti.

Combinando opportunamente l'equazione del momento della quantità di moto e l'equazione di continuità, si ottiene una terza equazione che deve essere risolta per ogni condotto ad ogni passo di calcolo:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (18)$$

dove:

Q = portata lungo il condotto;

V = velocità media lungo il condotto;

A = area trasversale bagnata del condotto;

H = carico idraulico;

S_f = cadente piezometrica.

L'equazione (18) si ottiene dalla (17) sostituendo le seguenti quantità:

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \quad (19)$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">76 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	76 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	76 di 88								

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (20)$$

Infatti dalla (17) si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (21)$$

L'equazione di continuità può essere riformulata per sostituire il secondo termine dell'equazione (21), sapendo che $Q=AV$:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (22)$$

da cui, moltiplicando per V :

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (23)$$

Sostituendo, infine, la (23) nella (21) si giunge alla forma (18) dell'equazione del moto, risolta lungo i rami da SWMM.

La formula adottata per descrivere la perdita di carico (cadente piezometrica) è definita mediante l'equazione di Manning:

$$S_f = \frac{k}{gAR^{4/3}} Q|V| \quad (24)$$

dove:

k = parametro dato da gn^2 ;

n = coefficiente di scabrezza di Manning;

g = costante gravitazionale;

Q = portata;

V = velocità media;

R = raggio idraulico.

La comparsa del termine V in valore assoluto rende S_f una grandezza direzionale e assicura che le forze di attrito si oppongano sempre al moto.

Sostituendo l'espressione della cadente (24) nella (18) ed esprimendo il tutto alle differenze finite:

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2V \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t \Delta t + V^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - gA \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (25)$$

dove:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">77 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	77 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	77 di 88								

Δt = passo di calcolo;

L = lunghezza del condotto.

Risolvendo la (25) in $Q_{t+\Delta t}$ si ottiene la forma alle differenze finite dell'equazione del moto:

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R' \frac{4}{3}} |V_t|} \cdot \left[Q_t + 2V' \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t \Delta t + V'^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - gA' \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \right] \quad (26)$$

Nella (26) V' , R' ed A' sono medie pesate lungo il condotto al tempo t e $(\Delta A / \Delta t)_t$ è calcolata al passo temporale precedente.

Le incognite nella (26) sono $Q_{t+\Delta t}$, H_2 ed H_1 . Le variabili V' , R' ed A' possono essere espresse in funzione di Q ed H ; si rende comunque necessaria un'ulteriore equazione da mettere a sistema con la (26) che può essere ottenuta scrivendo l'equazione di continuità al nodo:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial t} \right)_t = \left(\frac{\sum Q_t}{A_s} \right)_t \quad (27)$$

oppure espressa alle differenze finite:

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \left(\frac{\sum Q_t \Delta t}{A_s} \right)_t \quad (28)$$

dove A_s è l'area della superficie libera al nodo.

Soluzione numerica con il metodo di Eulero modificato

Le equazioni (26) e (28) possono essere risolte sequenzialmente per determinare la portata in ogni ramo e il carico idraulico in ogni nodo ad ogni passo di calcolo Δt . La loro integrazione numerica è in questo caso effettuata mediante il "metodo di Eulero modificato". La Figura 8 mostra lo schema di applicazione del metodo per la determinazione della portata.

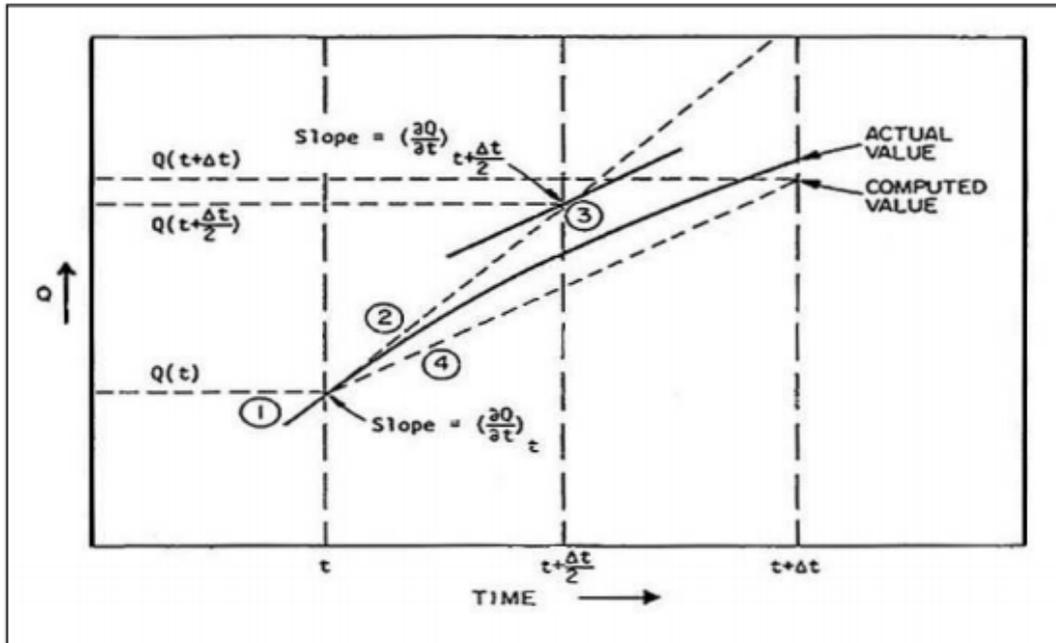


Figura 8: Metodo di Eulero modificato per la determinazione della portata.

- ① Compute $(\frac{\partial Q}{\partial t})_t$ from properties of system at time t
- ② Project $Q(t + \frac{\Delta t}{2})$ as $Q(t + \frac{\Delta t}{2}) = Q(t) + (\frac{\partial Q}{\partial t})_t \frac{\Delta t}{2}$
- ③ a. Compute system properties at $t + \frac{\Delta t}{2}$
b. Form $(\frac{\partial Q}{\partial t})_{t + \frac{\Delta t}{2}}$ from properties of system at time $t + \frac{\Delta t}{2}$
- ④ Project $Q(t + \Delta t)$ as $Q(t + \Delta t) = Q(t) + (\frac{\partial Q}{\partial t})_{t + \frac{\Delta t}{2}} \Delta t$

Figura 9: Metodo di Eulero modificato per la determinazione della portata.

Le prime tre operazioni del metodo calcolano il valore di $\partial Q/\partial t$ in corrispondenza di un passo temporale intermedio. Si assume, in pratica, che la pendenza $\partial Q/\partial t$ all'istante $t + \Delta t/2$ sia la pendenza media durante l'intervallo Δt .

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">79 di 88</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	79 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	79 di 88								

Il metodo si estende facilmente a più di un'equazione; a titolo di esempio si riportano le espressioni del carico idraulico rispettivamente al passo di calcolo intermedio e al passo di calcolo intero.

Passo di calcolo intermedio al nodo j: istante $t + \Delta t/2$

$$H_j \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) == H_j(t) + \left(\frac{\Delta t}{2} \right) \frac{\left\{ \frac{1}{2} \sum [Q(t) + Q(t + \frac{\Delta t}{2})]_{c,ds} + \sum [Q(t + \frac{\Delta t}{2})]_{p,sf} \right\}}{A_{sj}(t)} \quad (29)$$

dove la prima sommatoria si riferisce alle portate nei condotti e al deflusso superficiale, mentre la seconda si riferisce alle portate che attraversano pompe e sfioratori.

Passo di calcolo intero al nodo j: istante $t + \Delta t$

$$H_j(t + \Delta t) == H_j(t) + (\Delta t) \frac{\left\{ \frac{1}{2} \sum [Q(t) + Q(t + \Delta t)]_{c,ds} + \sum [Q(t + \Delta t)]_{p,sf} \right\}}{A_{sj}(t)} \quad (30)$$

in cui le sommatorie assumono lo stesso significato visto nella formula precedente, la (29).

Si noti che la determinazione del carico idraulico in un generico nodo al passo intermedio richiede la determinazione della portata al medesimo passo di calcolo intermedio in tutti i rami collegati al nodo in questione. Analogamente la determinazione al passo di calcolo intero richiede il valore della portata allo stesso passo $t + \Delta t$ in tutti i rami collegati. In aggiunta, anche gli afflussi e deflussi da ciascun nodo mediante sfioratore, pompe ed organi idraulici in genere vanno determinati ad entrambi i passi di calcolo, intermedio ed intero.

La sequenza dei calcoli di portata nei rami e di carico idraulico nei nodi si può quindi riassumere così:

1. calcolo della portata nei rami al passo intermedio $t + \Delta t/2$ basandosi sui valori di carico idraulico nei nodi al passo di calcolo intero precedente;
2. calcolo dei flussi attraverso pompe e sfioratori al passo intermedio $t + \Delta t/2$ basandosi sui valori di carico idraulico nei nodi collegati da tali organi al passo di calcolo intero precedente;
3. calcolo del carico idraulico nei nodi al passo intermedio $t + \Delta t/2$ basandosi sul valore medio delle portate nei rami collegati al passo di calcolo intero precedente e al corrente passo di calcolo intermedio più i flussi attraverso pompe e sfioratori al corrente passo di calcolo intermedio;
4. calcolo della portata nei rami al passo di calcolo intero $t + \Delta t$ basandosi sui valori di carico idraulico nei nodi collegati al passo di calcolo intermedio;
5. calcolo dei flussi attraverso pompe e sfioratori al passo di calcolo intero $t + \Delta t$ basandosi sui valori di carico idraulico nei nodi collegati da tali organi al passo di calcolo intermedio;
6. calcolo del carico idraulico al passo di calcolo intero $t + \Delta t$ basandosi sul valore medio delle portate nei rami collegati al passo di calcolo intero precedente e al corrente passo di calcolo intero più i flussi attraverso pompe e sfioratori al corrente passo di calcolo intero.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>80 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	80 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	80 di 88								

Stabilità numerica

Il metodo di Eulero modificato fornisce una soluzione esplicita in cui l'equazione del moto è applicata alla portata in ogni ramo e l'equazione di continuità al carico idraulico in ogni nodo.

In quanto metodo esplicito, esso si presenta aritmeticamente semplice e necessita di una minore quantità di memoria rispetto ai metodi impliciti, ma è in generale meno stabile e richiede passi di calcolo molto brevi. L'esperienza ha indicato che il programma è numericamente stabile quando sono soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

Rami

$$\Delta t \leq \frac{L}{\sqrt{gD}} \quad (31)$$

dove:

Δt = passo di calcolo;

L = lunghezza della condotta;

g = accelerazione di gravità;

D = altezza della condotta.

Questa non è altro che un forma della condizione di Courant, in cui il passo temporale di calcolo è limitato dal tempo necessario alla propagazione dell'onda lungo il condotto.

E' effettuato un controllo all'inizio del programma per verificare che tutti i condotti soddisfino tale condizione.

Nodi

$$\Delta t \leq \frac{C' A_s \Delta H_{max}}{Q} \quad (32)$$

dove:

C' = costante adimensionale, approssimativamente pari a 0,1;

A_s = area della superficie libera corrispondente del nodo;

ΔH_{max} = massimo sovralzo della superficie dell'acqua durante il passo di calcolo Δt ;

Q = afflusso netto al nodo.

Dalle disuguaglianze (31) e (32) si deduce che il passo di calcolo massimo ammissibile, Δt , è determinato dal condotto più piccolo e corto con elevati afflussi.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>81 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	81 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	81 di 88								

In genere un passo di calcolo di $5 \div 10$ secondi è sufficientemente piccolo da produrre idrogrammi in uscita esenti da oscillazioni irregolari e soddisfa la continuità della massa in assenza di condizioni di allagamento. Se si rendono necessari passi di calcolo minori si possono eliminare o aggregare i tubi e i canali più brevi.

Calcolo del carico idraulico in condizione di sovraccarico ed allagamento

Un altro caso idraulico che richiede una trattazione particolare è la condizione di funzionamento in pressione della rete ed eventualmente di allagamento superficiale. Si ha sovraccarico quando tutti i condotti che convergono in un nodo sono pieni, oppure quando la superficie dell'acqua nel nodo si trova tra la sommità del più alto condotto entrante nel nodo in questione e la superficie del terreno.

L'allagamento è un caso particolare di sovraccarico che si verifica quando la piezometrica interseca la superficie del terreno e l'acqua fuoriesce dal nodo disperdendosi nel sistema superficiale sovrastante.

Durante il sovraccarico non è più possibile determinare il carico idraulico mediante le equazioni (29) e (30) poiché la superficie libera del nodo in pressione è troppo piccola per poter comparire a denominatore.

D'altro canto, l'equazione di continuità per ogni nodo è:

$$\sum Q(t) = 0 \quad (33)$$

cioè la somma di tutti gli afflussi e i deflussi del nodo, provenienti dal deflusso superficiale o ad esso destinati, di tutti i condotti, pompe ed organi speciali, è pari a zero.

Dal momento che il modello non risolve simultaneamente l'equazione del moto e l'equazione di continuità, le portate calcolate nei vari rami convergenti in un nodo non soddisferanno esattamente l'equazione (33). In questo caso si adotta una procedura iterativa nella quale le correzioni del carico ad ogni nodo sono determinate sulla base delle relative variazioni di portata in ogni ramo collegato rispetto a una variazione di carico: $\partial Q/\partial H$.

La (33) si può esprimere nella forma:

$$\sum \left[Q(t) + \left(\frac{\partial Q(t)}{\partial H_j} \right) \Delta H_j(t) \right] = 0 \quad (34)$$

Risolvendo in ΔH_j :

$$\Delta H_j(t) = - \frac{\sum Q(t)}{\sum \frac{\partial Q(t)}{\partial H_j}} \quad (35)$$

Questa correzione si ottiene attraverso mezzi passi di calcolo durante il sovraccarico, per cui:

$$H_j \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) = H_j(t) + k \Delta H_j \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \quad (36)$$

dove $\Delta H_j(t+\Delta t/2)$ si determina dalla (35), mentre il carico al passo di calcolo intero è:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">82 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	82 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	82 di 88								

$$H_j(t + \Delta t) = H_j\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) + k\Delta H_j(t) \quad (37)$$

dove $\Delta H_j(t)$ si determina dalla (33).

Il valore della costante k sarebbe teoricamente 1, ma si è verificato che l'equazione (34) tende a sovrastimare il carico. Di conseguenza nel calcolo col passo intermedio per migliorare i risultati si pone k pari a 0,5. Tale valore si è però sperimentato che favorisce l'origine di oscillazioni in corrispondenza dei nodi di monte. Per scongiurare questo pericolo k viene allora posto automaticamente pari a 0,3 nei calcoli con passo intermedio e pari 0,6 in quelli con passo intero.

Il termine $\partial Q(t)/\partial H_j$ ha espressione diversa a seconda che si considerino condotti o nodi.

Condotti

$$\frac{\partial Q(t)}{\partial H_j} = \frac{g}{1-k(t)} \Delta t \frac{A(t)}{L} \quad (38)$$

dove:

$$k(t) = -\Delta t \frac{gn^2}{m^2 R^{4/3}} |V(t)| \quad (39)$$

con:

Δt = passo di calcolo;

$A(t)$ = sezione trasversale del condotto;

L = lunghezza del condotto;

n = coefficiente di scabrezza di Manning;

m = pari a 1 per unità metriche decimali;

g = accelerazione di gravità;

R = raggio idraulico per il condotto pieno;

$V(t)$ = velocità nel condotto.

Nodo

$$\frac{\partial Q(t)}{\partial H_j} = 0 \quad (40)$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>83 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	83 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	83 di 88								

Dal momento che le correzioni del carico idraulico calcolate nelle (36) e (37) sono approssimazioni, il carico idraulico calcolato ha la tendenza ad oscillare all'inizio del sovraccarico. Tali oscillazioni possono portare ad instabilità in certi casi, pertanto si adotta una funzione di transizione per armonizzare il passaggio dal calcolo del carico con le (29) e (30) al calcolo con le (36) e (37).

La funzione di transizione è la seguente:

$$\Delta H_j(t) = \frac{\partial Q(t)}{DENOM} \quad (41)$$

dove:

$$DENOM = \frac{\partial Q(t)}{\partial H_j} + \left[\frac{A_{sj}(t)}{\frac{\Delta t}{2}} - \frac{\partial Q(t)}{\partial H_j} \right] e^{-15 \left(\frac{y_j - D_j}{D_j} \right)} \quad (42)$$

dove:

D_j = diametro del condotto;

y_j = altezza d'acqua;

A_{sj} = area della superficie del nodo al 96% dell'altezza di riempimento.

La parte esponenziale della funzione fa sì che l'espressione (41) converga alla (35), con un errore di circa il 2% se si pone $y_j = 1,25 D_j$.

Schematizzazione degli elementi di una rete di drenaggio

Una rete di canali per poter essere implementata in SWMM, necessita di essere schematizzata come un insieme di L lati e N nodi, ciascuno con le proprie caratteristiche (Figura 10).

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>84 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	84 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	84 di 88								

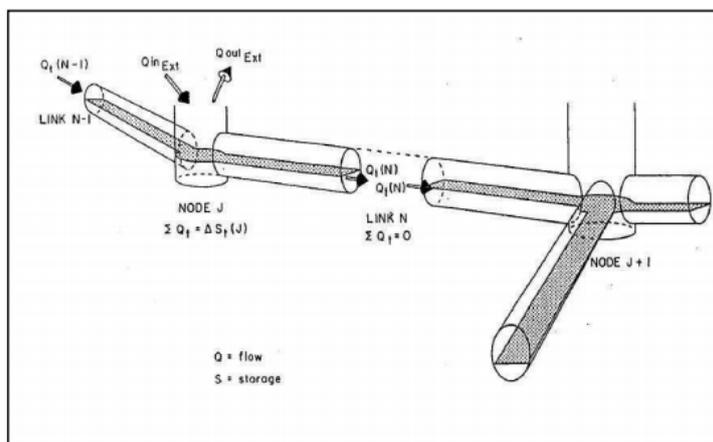


Figura 10: Schematizzazione generale della rete in nodi e rami.

Nodi

I nodi rappresentano i punti dove il sistema di trasporto interseca i vari rami. Fisicamente rappresentano la confluenza dei canali superficiali o, nel caso si utilizzi il programma per sistemi di fognature, i pozzetti (vedi Figura 11).

Alcuni nodi ricoprono un ruolo importante nella riproduzione schematica della rete che si compie in SWMM, rappresentano infatti il luogo di immissione dei deflussi superficiali; tutto il deflusso del sottobacino di calcolo viene schematizzato dal software in modo tale da convergere in un unico punto, rappresentato dal nodo di inizio del canale di scolo.

I principali parametri di input per un nodo sono la quota di fondo, la quota del terreno e gli eventuali afflussi in ingresso.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>85 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	85 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	85 di 88								

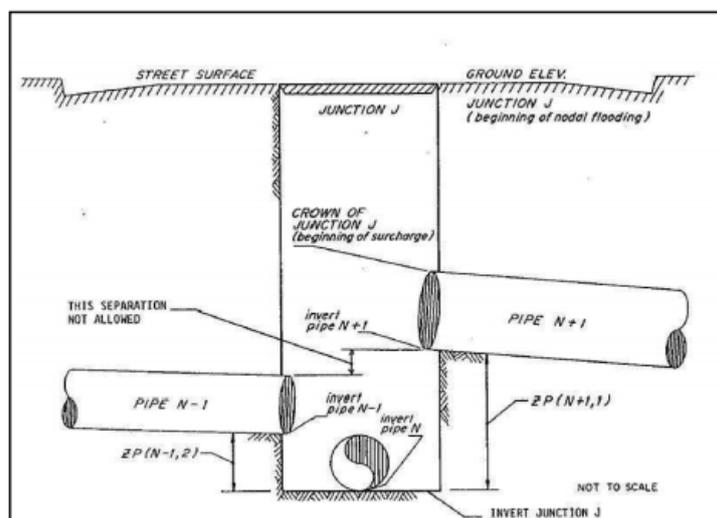


Figura 11: Schema di un nodo per una rete di condotte

Rami

I rami sono i canali o le condotte che permettono il transito dell'acqua da un nodo all'altro del sistema.

Nel processo di schematizzazione della rete idraulica, ogni singolo canale deve essere suddiviso in più rami e nei corrispettivi nodi. Ogni ramo è schematizzato come un condotto con caratteristiche costanti di forma, pendenza, scabrezza, ecc. e pertanto ogni variazione di pendenza del canale, confluenza di più collettori, salti di fondo, variazioni di profondità o di sezione devono essere rappresentati con rami differenti.

La forma del canale può essere scelta utilizzando un apposito menu del programma, grazie al quale è possibile selezionare una serie di sezioni di formati standard, tutte opportunamente configurabili nelle dimensioni a seconda delle esigenze di rappresentazione.

Come si può osservare dalla Figura 11, in uno stesso nodo possono convergere più rami, ognuno ad una altezza differente rispetto il fondo.

Un dato interessante è l'altezza massima raggiungibile dal nodo; questa, nel caso di canali e nodi aperti, rappresenta la quota oltre la quale si ha una fuoriuscita dell'acqua e viene calcolata tenendo conto delle altezze dei canali convergenti nel nodo, in particolar modo viene fissata al valore minimo del tirante, addizionato dell'eventuale salto di fondo del canale.

Outfall Nodes

Rappresentano i nodi terminali della rete. Sono utilizzati per definire le condizioni al contorno nella procedura *Dynamic Wave*. E' possibile definire diversi tipi di condizioni (ad esempio fissare il livello che l'acqua deve avere nell'*Outfall*, oppure definire delle serie temporali dei livelli).

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>86 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	86 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	86 di 88								

Pompe

E' possibile implementare in SWMM delle pompe. Il funzionamento di queste deve essere definito da una specifica relazione tra la portata sollevata ed una condizione dei nodi ai quali è collegata. E' possibile, ad esempio definire delle curve del tipo "Portata sollevata-Differenza del livello dei due nodi ai quali è collegata la pompa", oppure "Portata sollevata-Livello dell'acqua del nodo di monte".

Weir

SWMM permette la schematizzazione di organi regolatori, come ad esempio gli scaricatori. Esistono diverse possibilità di scelta nel tipo di manufatto: laterale, frontale, trapezoidale, ecc.

Lo scaricatore laterale viene schematizzato in SWMM come un collegamento, ad esempio, tra un nodo ed un *Outfall*. I parametri di input per questo dispositivo sono l'altezza della soglia (h), la lunghezza del manufatto (L) ed un coefficiente d'efflusso (C_w). La portata che fuoriesce viene calcolata mediante la seguente formula:

$$Q = C_w L h^{5/2} \quad (43)$$

Orifices

Attraverso gli *Orifices* è possibile schematizzare in SWMM manufatti quali paratoie o diaframmi. Sono rappresentati come un collegamento tra due nodi. Possono essere di sezioni circolare o rettangolare e situati alla base del nodo d'ingresso o ad una determinata quota rispetto alla base. E' possibile dotarli di una valvola di ritegno. Le portate che transitano attraverso quest'organo sono definite dalla seguente espressione

$$Q = CA\sqrt{2gh} \quad (44)$$

dove C rappresenta un coefficiente d'efflusso, A la sezione del manufatto, h la differenza di quota del pelo libero tra nodo d'ingresso e d'uscita, g l'accelerazione di gravità.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>87 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	87 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	87 di 88								

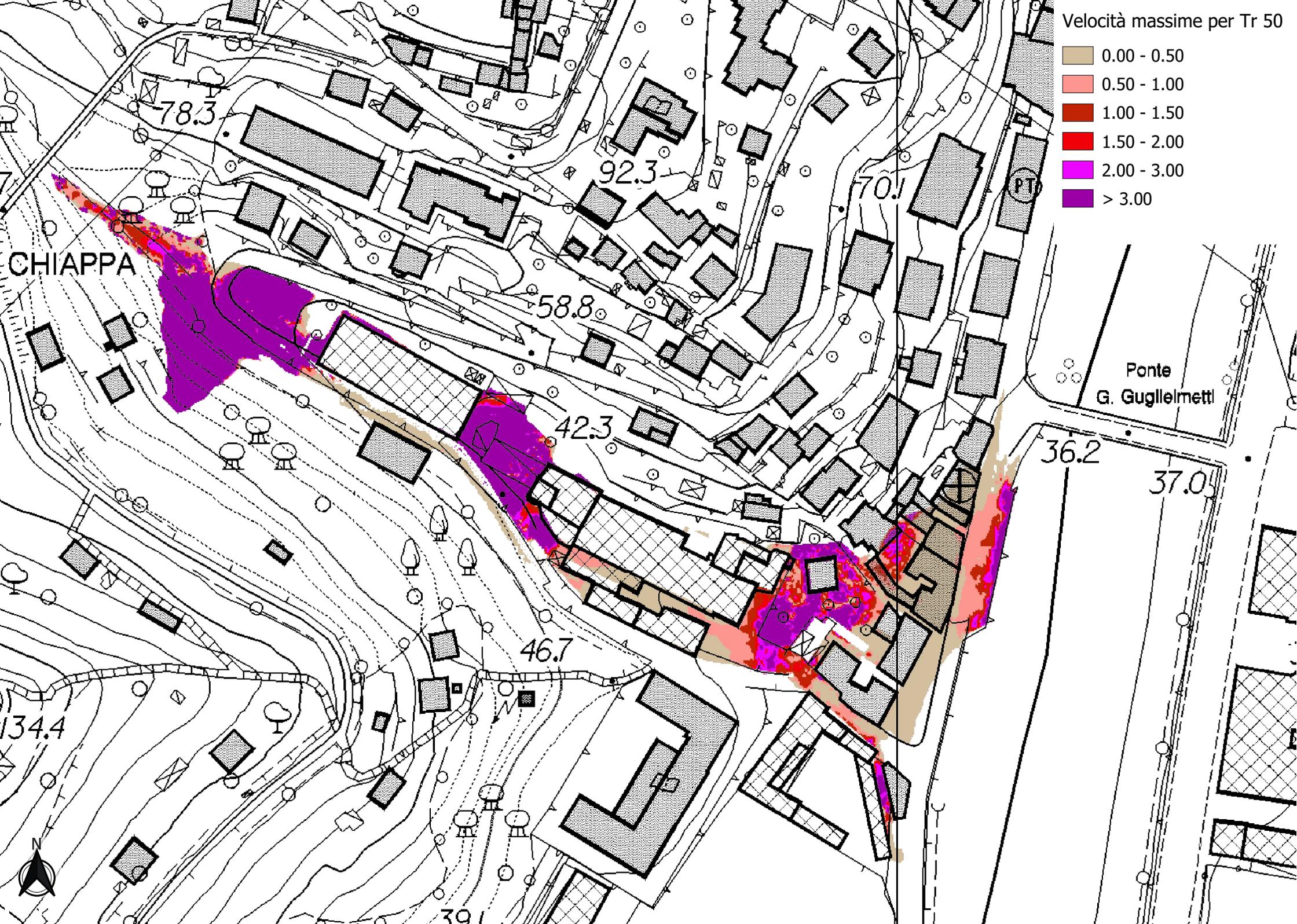
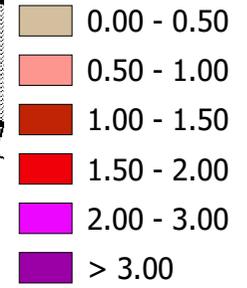
ALLEGATO 2 – MAPPE DEI TIRANTI IDRICI E DELLE VELOCITA'







Velocità massime per Tr 50



CHIAPPA

Ponte
G. Guglielmetti

134.4

78.3

92.3

70.1

58.8

42.3

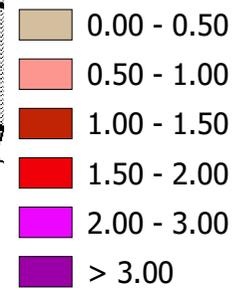
36.2

37.0

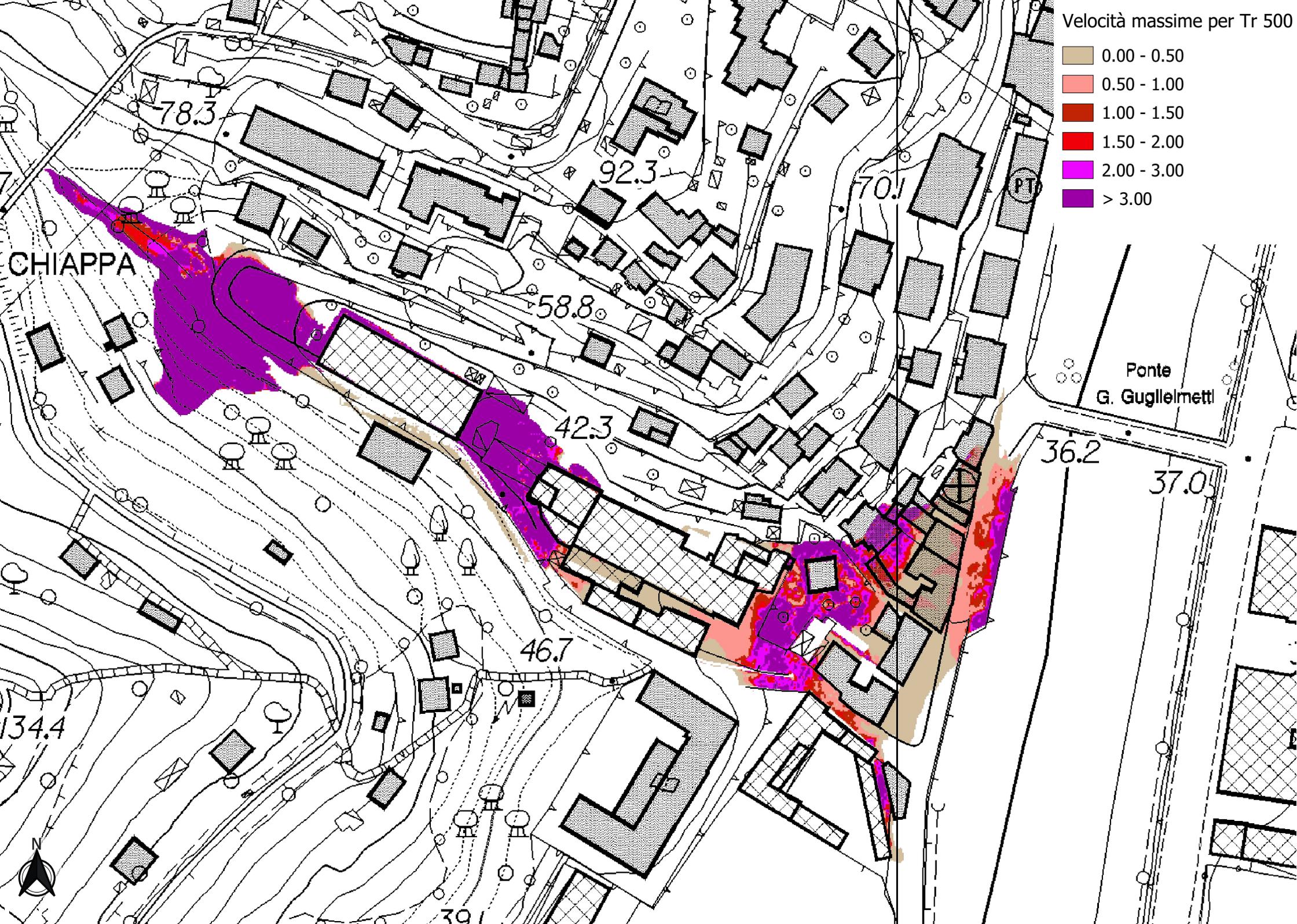
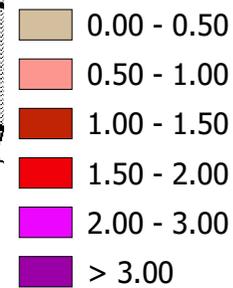
46.7

30.1

Velocità massime per Tr 200



Velocità massime per Tr 500



	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEPOSITO GAVETTE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D Z1</td> <td>RI</td> <td>ID0003 001</td> <td>A</td> <td>88 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	88 di 88
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D Z1	RI	ID0003 001	A	88 di 88								

ALLEGATO 3 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA