

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



Tesi di Laurea Magistrale

**EFFICIENZA IDRAULICA DEI SISTEMI DI DRENAGGIO
URBANO SOSTENIBILE NEL COMUNE DI PRATO**

Relatore:

Prof. Fulvio Boano

Correlatore:

Ing. Anacleto Rizzo – IRIDRA S.r.l.

Candidato:

Antonio Grande

INDICE

INTRODUZIONE	4
CAPITOLO 1: PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO.....	6
• ANALISI IDROLOGICA.....	10
CAPITOLO 2: SISTEMI DI DRENAGGIO SOSTENIBILE (SuDS)...	16
• LE SCALE DI APPLICAZIONE SuDS.....	18
• ANALISI DELLE PROPOSTE PROGETTUALI.....	23
CAPITOLO 3: INTERVENTI SuDS ANALIZZATI.....	27
• MAPPATURA DELLE POTENZIALI AREE D'INTERESSE.....	28
• INTERVENTI DIFFUSI.....	33
• STIMA DEI VOLUMI LAMINATI CON INTERVENTI DIFFUSI.....	36
• PRIORITÀ DEGLI INTERVENTI DIFFUSI E INTERVENTI PUNTUALI.....	38
• APPROCCIO END OF PIPE.....	39
• QUADRO ECONOMICO DELLE QUATTRO ALTERNATIVE PROPOSTE...	45
• ALTERNATIVA 1.....	46
• ALTERNATIVA 2.....	49
• ALTERNATIVA 3 e 4.....	50
• ANALISI MULTICRITERIALE.....	55
• VALUTAZIONE SINTETICA DELLE PROPOSTE.....	61
CAPITOLO 4: MODELLAZIONE MATEMATICA DEI DEFLUSSI URBANI	
• I MODELLI DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI.....	63
• SOFTWARE EPA SWMM.....	71
• STRUTTURA DEL PROGRAMMA.....	73
• NODI.....	81

• COLLEGAMENTI O RAMI.....	82
• OPZIONI DI SIMULAZIONE.....	86
• MODELLAZIONE DEI PROCESSI FISICI.....	93
CAPITOLO 5: RISULTATI.....	97
• SVILUPPO DEL MODELLO.....	98
• INSERIMENTO DEI LID CONTROL.....	104
• DEFINIZIONE VALORI CARATTERISTICI DEI LID.....	115
• SIMULAZIONI TR 2, 5 e 10 ANNI CON I 79 LID.....	124
• SIMULAZIONI CON CONDUCIBILTA' IDRAULICA A 1000 mm/h E DESCRIZIONE DELL'ESONDAZIONE.....	148
• INSERIMENTO NUOVI LID E LANCIO SIMULAZIONI.....	178
• VALUTAZIONE DELL'ALTERNATIVA END OF PIPE.....	208
CONCLUSIONI.....	217
BIBLIOGRAFIA.....	219

INTRODUZIONE

Il quartiere San Paolo di Prato presenta una serie di problematiche dal punto di vista idraulico dovute principalmente all'inadeguata capacità di deflusso dei collettori, e quindi responsabile dei fenomeni di allagamento che si verificano, a seguito di brevi ed intensi eventi meteorici, principalmente su via San Paolo/via dell'Alberaccio.

Per tanto, al fine di ricercare una soluzione, il comune di Prato attraverso l'ente gestore dell'infrastruttura fognaria ovvero, PubliAcqua Spa che a sua volta incaricò Ingegnerie Toscane Srl, avviò degli studi idraulici, che sono stati presi come riferimento nei primi capitoli di questo lavoro di tesi. Infatti dopo aver realizzato il modello idraulico della rete fognaria in InfoWorks, Publiacqua Spa propose la realizzazione di una nuova condotta di by-pass in sostituzione dei collettori esistenti in via San Paolo/via dell'Alberaccio.

Tuttavia questa soluzione si presentava molto onerosa e non in grado di risolvere i problemi localizzati su tutto il bacino. Per questo, il comune di Prato si mostrò molto interessato nei confronti di possibili soluzioni alternative che seguissero l'approccio del Drenaggio Urbano Sostenibile (SuDS) attraverso l'adozione di sistemi basati sulla natura "NBS" che oltre a poter essere utilizzate come elemento di arredo urbano, richiedono una gestione semplice ed economica e permettono un trattamento spinto delle acque di prima pioggia.

A tal proposito, IRIDRA Srl realizzò uno studio approfondito sul quartiere San Paolo, al fine di ricercare potenziali aree per il retrofitting SuDS. Partendo da un'accurata analisi idrologica, IRIDRA Srl formulò delle soluzioni progettuali che si basavano su interventi diffusi di retrofitting dislocati sull'intero quartiere, che prevedevano principalmente o l'utilizzo di aree verdi esistenti o la realizzazione di nuove aree verdi.

Le tre soluzioni proposte, oltre a quella del canale di by-pass, riguardavano la sola possibilità di inserire nel quartiere degli interventi di retrofitting o comunque sia la possibilità di sfruttare il futuro parco San Paolo (in via San Paolo) o con soli interventi NBS oppure utilizzando anche le soluzioni dell'ingegneria tradizionale, come le vasche volano.

Queste soluzioni vennero analizzate attraverso un'analisi multicriteriale che non riguardava solo l'aspetto economico ma anche altri criteri come: ambiente, attuazione, riqualificazione urbana ecc...

Quindi, in tale contesto, diventa fondamentale approfondire i reali benefici che queste soluzioni potrebbero apportare ai fini della mitigazione del rischio idraulico. Infatti l'obiettivo di questo lavoro è proprio quello di testare l'efficacia degli interventi di retrofitting SuDS mediante modellazione numerica.

Partendo dallo sviluppo del modello idraulico della rete sul software EPA SWMM, per poi sfruttare gli studi realizzati da IRIDRA Srl in modo tale da definire le caratteristiche e collocare, nei diversi sottobacini della rete, gli interventi di retrofitting diffusi ad alta priorità, rappresentati attraverso i LID CONTROL, ed infine valutare i risultati ottenuti (sia dal punto di vista del volume esondato complessivamente dalla rete e sia analizzando il volume complessivamente intercettato dai vari LID) a seguito del lancio delle diverse simulazioni, utilizzando ietogrammi costanti relativi a TR 2,5 e 10 anni.

In particolar modo, sono state approfondite due soluzioni: la prima (*before pipe*) che ha come obiettivo evitare che le acque di runoff urbano finiscano direttamente in fognatura ed è quindi relativa ai soli interventi di retrofitting, aumentando successivamente il numero degli interventi stessi fino a 152. Ed infine, integrando a quest'ultima, la soluzione relativa all'impiego di vasche volano all'interno del futuro parco San Paolo.

CAPITOLO 1

PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO

Nel seguente lavoro di tesi si sono trattate una serie di criticità dal punto di vista idraulico del quartiere San Paolo del comune di Prato.

In particolare tale quartiere è soggetto a fenomeni di allagamento, per insufficienza della rete fognaria mista, che si concentrano sulla dorsale principale di tale rete in via San Paolo/ via dell'Alberaccio.

Il bacino analizzato ha un'estensione di circa 46,8 ha, ed è delimitato a nord da via Pistoiese, a sud da via dell'Alberaccio/via San Paolo, ad est da via Donizetti e a ovest dal viale Nam Dinh. Il deflusso dei collettori all'interno di tale bacino avviene da nord verso sud, interamente per gravità, e converge complessivamente nel collettore principale di via San Paolo, *Figura 1*.

Tale collettore, avente una sezione di tipo Vigentino, prosegue verso ovest su via dell'Alberaccio arrivando in Località Galciana per poi immettersi nel canale Vella.

Il Comune di Prato aveva, quindi, richiesto a Publiacqua S.p.A., ente gestore dell'infrastruttura fognaria mista sul territorio di Prato, di approfondire il funzionamento idraulico di tale rete soggetta ad eventi piovosi intensi.

A sua volta Publiacqua S.p.A. aveva incaricato la società ingegneria Toscane S.r.l di realizzare uno studio idraulico con modellazione idraulica della fognatura del quartiere San Paolo, realizzata attraverso il software InfoWorks ICM, con lo scopo di evidenziare le criticità del sistema per le diverse condizioni al contorno e tempi di ritorno di pioggia.

Il software, integrando le equazioni di continuità e del moto, permette di simulare la risposta della rete fognaria nelle diverse condizioni, tramutando gli afflussi in deflussi.

Al tempo stesso la rete fognaria è stata modellata sulla base di rilievi, che si sono concentrati sulla dorsale principale del sistema attraverso l'ausilio del rilievo LIDAR (maglia 1x1 m) fornito dalla regione Toscana.

L'area dei bacini drenati è stata classificata secondo tre diverse superfici omogenee:

- Edifici: coeff. deflusso 0.75
- Strade: coeff. deflusso 0.75
- Altro: coeff. deflusso 0.20

Per mezzo del modello idraulico, è stata valutata la risposta della rete fognaria ai diversi tempi di ritorno facendo riferimento allo scenario attuale e quello pregresso (in assenza del sottopasso di viale Nam Dinh), vedi *Tabella 1*.



Figura 1: Planimetria rete fognaria del quartiere San Paolo, Prato. (IRIDRA srl,2021)

Per lo scenario attuale, la modellazione ha evidenziato la presenza di allagamenti per bassi tempi di ritorno, soprattutto a monte dell'attraversamento di viale Nam Dinh, causati principalmente dall'insufficiente capacità di deflusso della condotta di tipo Vigentino su via dell'Alberaccio / via San Paolo.

Inoltre al crescere del tempo di ritorno, si è notato come tali allagamenti interessino anche le zone limitrofe a via San Paolo / via dell'Alberaccio.

Infine, si è osservato che a seguito della realizzazione del sottopasso, in viale Nam Dinh, si è avuto una piccola incidenza in termini di volumi complessivamente allagati (in m³).

	Scenario attuale	Scenario progressivo	Variazione %
Tr 2 anni	819	802	2%
Tr 5 anni	2826	2772	2%
Tr 10 anni	4500	4394	2%

Tabella 1: Volume complessivamente esondato, m³ (Publiacqua Spa)

Dato che i volumi esondati dalla rete fognaria non sono eccessivi e se spalmati sull'intero bacino drenato, generano un'altezza di pioggia massima di 10 mm, che è ideale ai fini dell'applicazione delle tecniche SuDS (Sustainable Drainage Systems). L'approccio del drenaggio urbano sostenibile si propone come una valida ed innovativa alternativa alle soluzioni dell'ingegneria tradizionale, attraverso l'adozione di sistemi basati sulla natura NBS (Nature Based Solutions).

A valle delle analisi effettuate tramite il modello fognario, Publiacqua definì la necessità di interventi di potenziamento sulla dorsale principale per la mitigazione del rischio idraulico ma anche l'esigenza di interventi sulla rete secondaria a monte del collettore principale, al fine di sopperire ai fenomeni di allagamento locali del bacino urbano.

Una prima proposta di mitigazione del rischio idraulico avanzata da Publiacqua consisteva nella realizzazione di una **nuova condotta di by-pass** circolare avente diametro variabile da DN 600 a DN 1800, in sostituzione dei collettori esistenti, *Figura 2*.

Tale condotta parte da via San Paolo, e prosegue su via dell'Alberaccio attraversando viale Nam Dinh. A valle dell'attraversamento la condotta prosegue verso sud fino a incrociare via Suor Niccolina, proseguendo poi verso nord-ovest fino a ritornare su via dell'Alberaccio e continuando così verso il collettore Vella.



Figura 2: L'ipotesi progettuale per la realizzazione di una nuova condotta (Publiacqua Spa)

Lanciando la simulazione con tale soluzione, si evidenziava un miglioramento circa la capacità di smaltire le piogge da parte del collettore principale, con assenza di allagamenti fino a tempi di ritorno di 15 anni.

D'altra parte, tale ipotesi si presentava molto costosa, ed essendo realizzata alla fine della rete (*end of pipe*) non è in grado di risolvere i problemi localizzati su tutto il bacino.

La progettazione dell'intervento di by-pass, ad oggi, è ancora in fase preliminare. Quindi dati gli alti costi attesi, il comune di Prato, ha mostrato interesse nello studiare possibili soluzioni alternative che seguano l'approccio **SuDS**, volto a gestire il runoff urbano con soluzioni naturali **NBS** diffuse su tutto il bacino.

A tale scopo, IRIDRA S.r.l. è stata incaricata di studiare il quartiere, identificando aree potenziali per il retrofitting SuDS che interessino sia l'intero bacino drenato sia il nascente parco San Paolo a valle della rete fognaria, previsto nel Progetto PRATO PIU'.

ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica condotta da IRIDRA sul quartiere San Paolo è stata eseguita sulla base dei dati pluviometrici e delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) fornite dal SIR (Settore idrologico Regionale) della regione Toscana.

La stazione pluviometrica considerata è quella di Calenzano TOSO1004784 (Firenze), scelta per le analogie plano-altimetriche con il quartiere San Paolo di Prato, *Figura 3*. A differenza della stazione scelta da Publiacqua, che ha considerato nel suo studio la stazione di Galceti (PO).

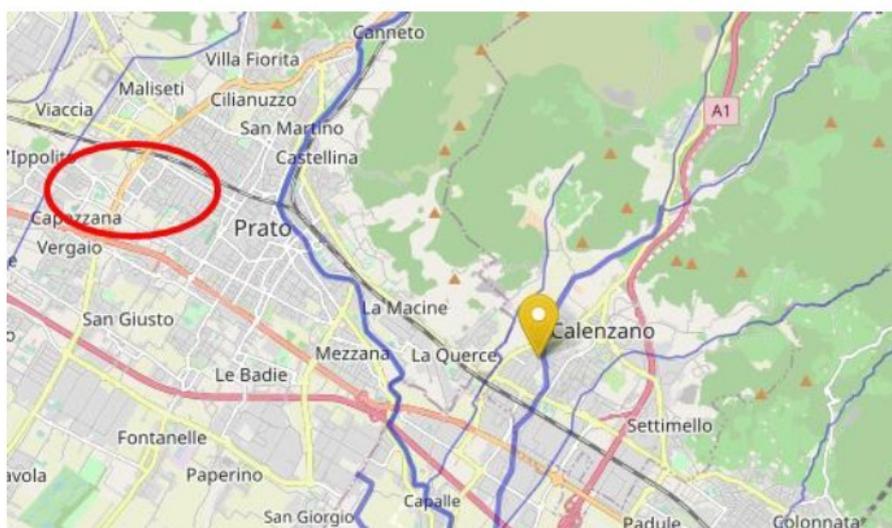


Figura 3: Ubicazione pluviometro di Calenzano (SIR Toscana)

Il SIR Toscana fornisce un'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme riportando, per le varie stazioni pluviometriche del territorio Toscano, le LSPP con i rispettivi coefficienti "a" e "n" al variare del tempo di ritorno considerato (aggiornate fino al 2012), *Tabella 2*.

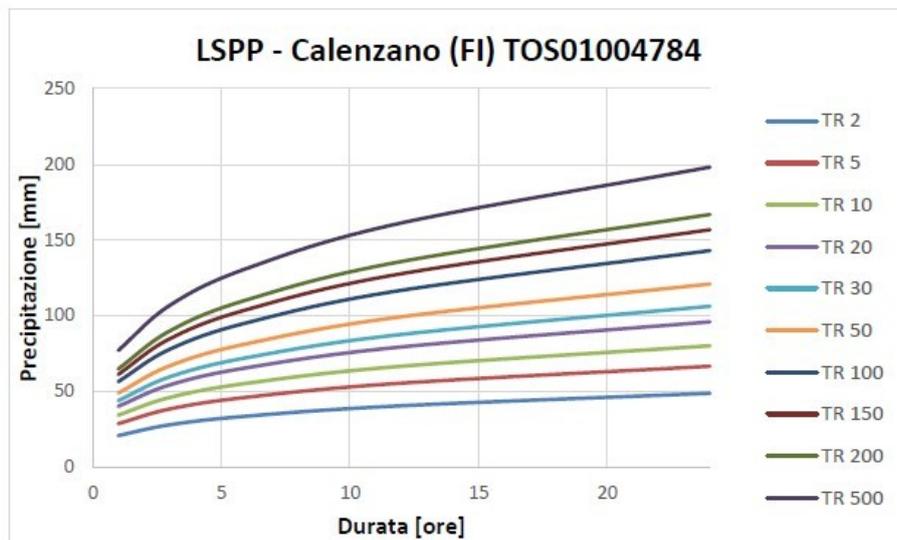


Figura 4: LSPP, pluviometro di Calenzano (SIR Toscana, aggiornamento 2012)

TR	2 ANNI	5 ANNI	10 ANNI	20 ANNI	30 ANNI	50 ANNI	100 ANNI	150 ANNI	200 ANNI	500 ANNI
t (ora)	h(mm)	h(mm)	h(mm)	h(mm)						
1	20.89	28.76	34.38	40.25	44.00	48.98	56.52	61.31	64.93	77.13
3	28.02	38.47	46.08	54.36	59.69	66.96	77.91	84.83	89.99	106.88
6	33.72	46.21	55.43	65.71	72.35	81.56	95.41	104.12	110.57	131.31
12	40.59	55.52	66.68	79.43	87.70	99.36	116.83	127.8	135.86	161.33
24	48.85	66.7	80.21	96.01	106.31	121.03	143.06	156.87	166.93	198.2
a	20.892	28.758	34.378	40.250	43.996	48.977	56.517	61.306	64.931	77.129
n	0.26726	0.26474	0.2666	0.27354	0.27762	0.28466	0.29223	0.29563	0.29712	0.29698

Tabella 2 : Altezze e coefficienti “a” e “n” delle LSPP di Calenzano (SIR Toscana, aggiornamento 2012)

Le LSPP con durata minore di 1 ora sono ottenute applicando la formula di Bell:

$$h_{t,T}/h_{60,T} = 0.54 \cdot (t^{0.25}) - 0.50$$

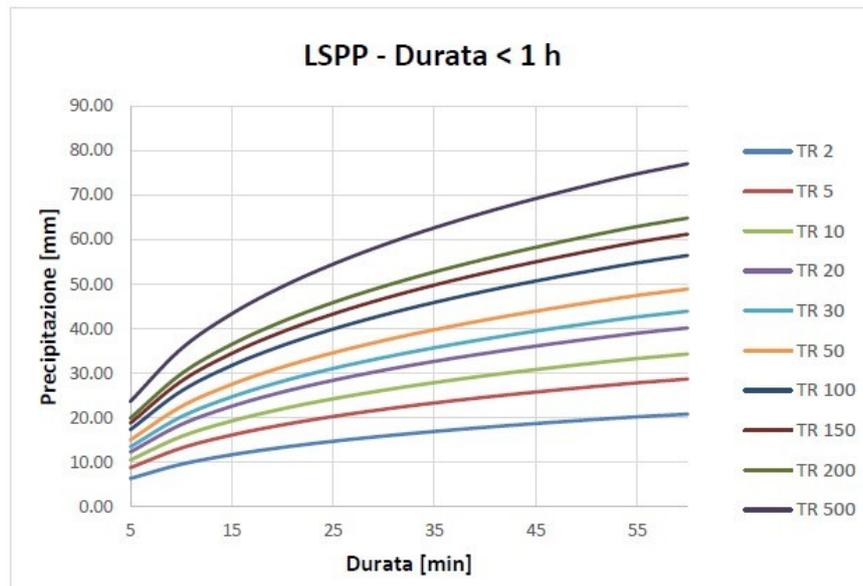


Figura 5: LSPP, con durata minore di 1 h (SIR Toscana, aggiornamento 2012)

TR	2 ANNI	5 ANNI	10 ANNI	20 ANNI	30 ANNI	50 ANNI	100 ANNI	150 ANNI	200 ANNI	500 ANNI
t [min]	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
5	6.42	8.84	10.57	12.38	13.53	15.06	17.38	18.85	19.97	23.72
10	9.62	13.24	15.82	18.53	20.25	22.54	26.01	28.22	29.89	35.50
15	11.76	16.18	19.35	22.65	24.76	27.56	31.80	34.50	36.54	43.40
20	13.41	18.46	22.07	25.84	28.25	31.44	36.28	39.36	41.68	49.51
25	14.78	20.35	24.32	28.48	31.13	34.65	39.99	43.38	45.94	54.57
30	15.96	21.97	26.26	30.74	33.61	37.41	43.17	46.83	49.59	58.91
35	16.99	23.39	27.97	32.74	35.79	39.84	45.98	49.87	52.82	62.74
40	17.92	24.68	29.50	34.54	37.75	42.03	48.50	52.61	55.71	66.18
45	18.77	25.84	30.89	36.17	39.54	44.01	50.79	55.09	58.35	69.31
50	19.55	26.92	32.18	37.67	41.18	45.84	52.90	57.38	60.77	72.19
55	20.28	27.91	33.37	39.07	42.70	47.54	54.86	59.51	63.02	74.86
60	20.89	28.76	34.38	40.25	44.00	48.98	56.52	61.31	64.93	77.13

Tabella 3: Altezze di pioggia delle LSPP con durata minore di 1 h (SIR Toscana, aggiornamento 2012)

Sulla base della serie storica delle altezze di pioggia giornaliere registrate dal pluviometro di Calenzano (Figura 6), sono stati costruiti i grafici della distribuzione delle frequenze delle altezze di pioggia giornaliere (Figura 7) e la distribuzione delle frequenze dei volumi di pioggia cumulati per ogni evento piovoso per la stazione di Calenzano (Figura 8).

Altezze di pioggia giornaliera - (2016-2020)

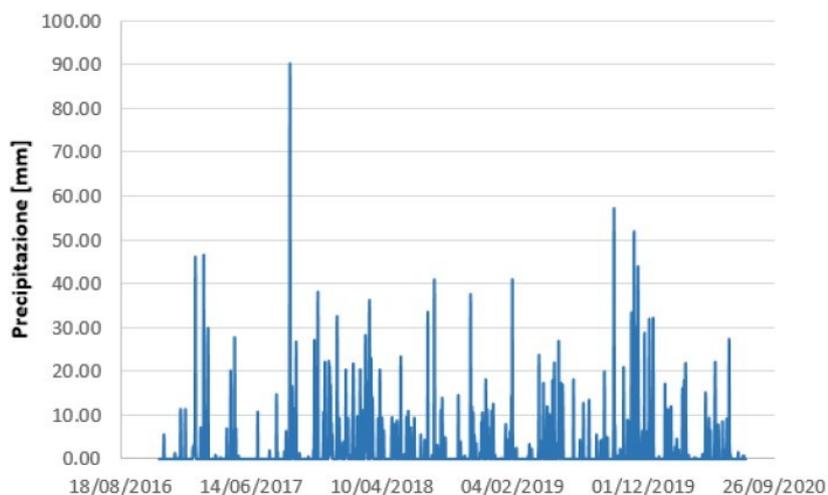


Figura 6: Serie storica delle altezze di pioggia giornaliera per Calenzano (SIR Toscana)

Analisi precipitazioni giornaliera [2016-2020]

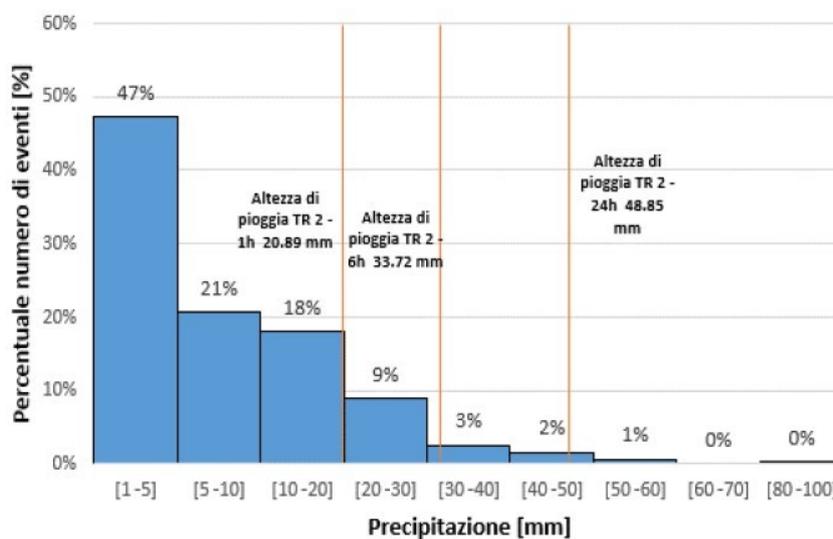


Figura 7: Distribuzione delle altezze di pioggia giornaliera (2016-2020) per Calenzano (SIR Toscana)

Analisi precipitazioni giornaliere [2016-2020]

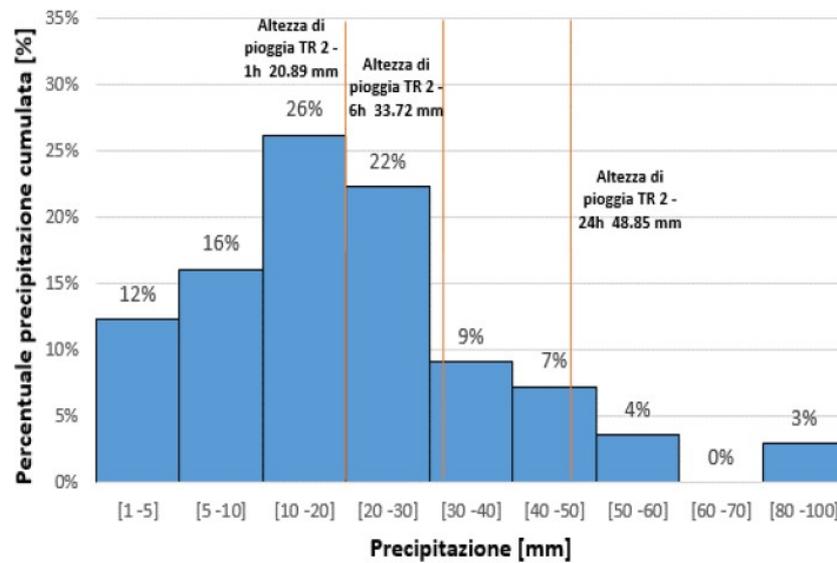


Figura 8: Distribuzione dei volumi di pioggia cumulati (2016-2020) per Calenzano (SIR Toscana)

Da *figura 7* si evince che circa l'86% degli eventi meteorici registrati, sono eventi con altezza di pioggia inferiore a TR 2 anni e durata un'ora ($h = 20.89$ mm), che corrisponde all'incirca al massimo target ottenibile (in realtà leggermente inferiore) con la progettazione tipica di interventi standard di retrofitting SuDS che al tempo stesso, come si evince da *figura 8*, riescono a captare circa il 56% dei volumi di pioggia cumulati nell'area di indagine.

Il tempo di corrivazione del bacino è valutato secondo la formula:

$$T_c = T_s + T_a$$

- T_s = tempo di accesso in rete;
- T_a = tempo di permanenza dell'acqua in rete, assunto pari a 10 minuti.

Il tempo di accesso in rete è valutato secondo la formula:

$$T_s = L / (1.5v)$$

Dove:

- L è la lunghezza di percorrenza dell'acqua pari a 1522.8 m;
- v è la velocità dell'acqua in rete assunta pari a 1 m/s.

Il tempo di corrivazione risulta pari a 27 minuti, in linea con la durata della pioggia critica del bacino assunta pari a 30 minuti da Publiacqua.

E' quindi coerente concentrare l'attenzione dello studio nell'intercettazione degli eventi di pioggia con durata di 30 minuti.

- TR 2 ANNI; $h = 15,96$ mm; $I = 31,92$ mm/h
- TR 5 ANNI; $h = 21,97$ mm; $I = 43,94$ mm/h
- TR 10 ANNI; $h = 26,26$ mm; $I = 52,52$ mm/h

CAPITOLO 2

SISTEMI DI DRENAGGIO SOSTENIBILE (SuDS)

Un problema che è stato troppo spesso sottovalutato o affrontato senza la necessaria pianificazione è il drenaggio delle acque meteoriche di dilavamento, con il risultato che, a fronte della crescente urbanizzazione ed impermeabilizzazione dei suoli, i picchi di piena delle fognature si raggiungono molto velocemente con conseguenze anche catastrofiche dovute all'esonazione dei corpi idrici in cui le reti scaricano, o reflussi ed allagamenti dovuti a sezioni di fognatura non sufficienti a smaltire le portate che si generano anche per eventi di pioggia non eccezionali, ciò che accade nel nostro caso.

Accanto ai problemi idraulici, si accompagnano problemi legati agli impatti delle fognature miste e bianche sulla qualità dei corpi idrici superficiali e sotterranei, dovuti al trascinamento nelle acque di dilavamento di sostanze solide e di vari tipi di sostanze inquinanti che si depositano sulle superfici drenate nei periodi di tempo secco.

Per tanto sia per la gestione dell'inquinamento dovuto alle acque di prima pioggia e sia per creare dei nuovi volumi di laminazione naturale, al fine di drenare un volume di *runoff* minore all'interno della rete fognaria, il drenaggio urbano sostenibile *SuDS* propone l'adozione di sistemi basati sulla natura, gli *NBS (Nature Based Solutions)* i quali comportano i seguenti vantaggi:

- Si inseriscono piacevolmente nel paesaggio e non determinano impatti ambientali rilevanti;
- permettono una riqualificazione ambientale ed urbanistica e di ricostituire ecosistemi naturali e corridoi ecologici;
- richiedono una gestione semplice ed economica;
- permettono di migliorare la qualità delle acque e restituirle subito alla circolazione naturale e/o alle falde sotterranee;
- permettono il trattamento spinto delle acque di prima pioggia, depurando volumi maggiori e bloccando una maggiore quantità di inquinanti;
- permettono di ridurre i tempi di corrivazione, di ottenere una buona laminazione idraulica e di rispettare il principio dell'invarianza idraulica.

I vantaggi dell'adozione di sistemi SuDS risiedono nella loro capacità di sfruttare, rispetto all'ingegneria tradizionale (anche detta Hard Engineering o Infrastrutture grigie, *figura 9*) i molteplici Servizi Ecosistemici (Ecosystem Services) forniti dai sistemi naturali, promuovendo una ingegneria più sostenibile (anche detta Soft Engineering o Infrastrutture verdi e blu). Esempi di servizi ecosistemici forniti da soluzioni naturali SuDS sono di seguito riportati:

- regolazione atmosferica
- regolazione climatica
- regolazione idrica
- recupero delle acque
- controllo dell'erosione e trattenimento dei sedimenti
- formazione di suolo
- bilanciamento cicli dei nutrienti
- riduzione carico inquinante sfruttando i processi naturali di fitoestrazione (phytoextraction), fitostabilizzazione (phytostabilization), fitodegradazione (phytodegradation), fitovolatilizzazione (phytovolatilization)
- Pollinazione
- aumento biodiversità
- produzione di biomasse
- aumento aree ricreative educazione ambientale

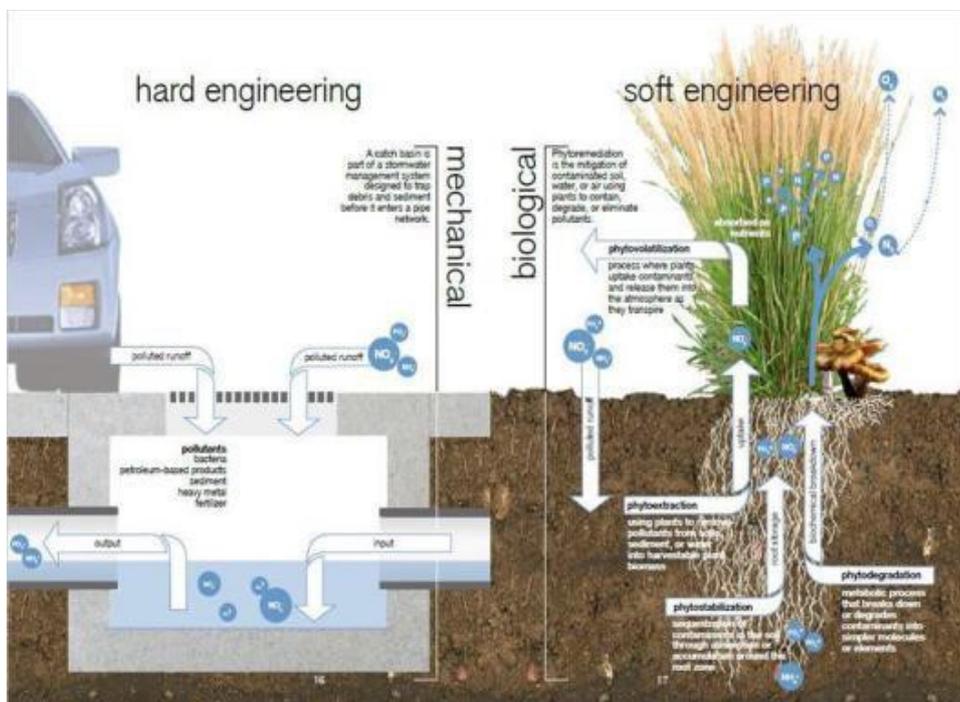


Figura 9: Confronto tra Hard e Soft Engineering (Huber, J., 2010)

LE SCALE DI APPLICAZIONE SuDS

Le varie tecniche SuDS permettono di utilizzare tale approccio in diversi ambienti urbani e periurbani. Seguendo la classificazione del LID Manual (Huber 2010), da un punto di vista del retrofitting dell'area su Prato San Paolo le seguenti scale di applicazione d'interesse, possono essere definite:

- Edifici ed abitazioni
- Strade
- Parcheggi
- Spazi aperti

Come visibile da *Figura 10*, le singole abitazioni permettono una serie d'interventi di retrofitting, che restano di limitata efficacia per quanto riguarda l'obiettivo della laminazione delle acque di pioggia, dati i limitati spazi a disposizione. Discorso diverso è da fare per il verde pertinenziale interno agli edifici, che permetterebbe di mettere a disposizione veri e propri spazi aperti per la gestione delle acque di runoff urbano. Tuttavia, per il Comune, lavorare su proprietà privata risulta più complicato, rendendo le aree a parcheggio e stradali di primario interesse per l'obiettivo dello studio, dato che su queste, in concerto con i diversi uffici competenti (Verde, Strade, Ambiente, Infrastrutture) è possibile per il Comune procedere in autonomia alla realizzazione di opere di retrofitting che evitino (o ritardino) l'accesso delle acque di pioggia in rete fognaria. In modo simile, il retrofitting di aree a parco pubbliche risulta chiave per migliorare la risposta idrologica del bacino drenato dal quartiere San Paolo.



Figura 10: scale di applicazione per gli interventi di retrofitting per Prato San Paolo (IRIDRA, 2021)



Figura 11: Esempi di interventi SuDS (IRIDRA ,2021)

I primi passi della progettazione si sono focalizzati su uno studio dettagliato delle caratteristiche territoriali del quartiere San Paolo, facendo riferimento ai regolamenti tecnici vigenti come: Mappatura Comunale, Pianificazione Strutturale, PGRA e Piano Urbanistico del quartiere.

Dal punto di vista geologico e idrologico, la maggior parte del quartiere è stata catalogata a bassa capacità di infiltrazione (fascia arancione, *figura 12*).

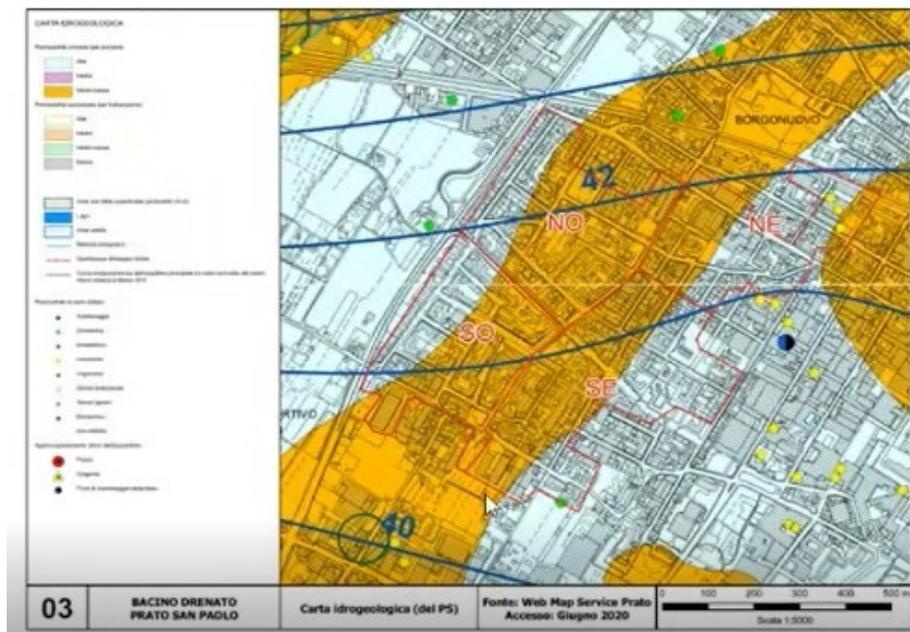


Figura 12: Carta Idrogeologica (Web Map Service Prato)

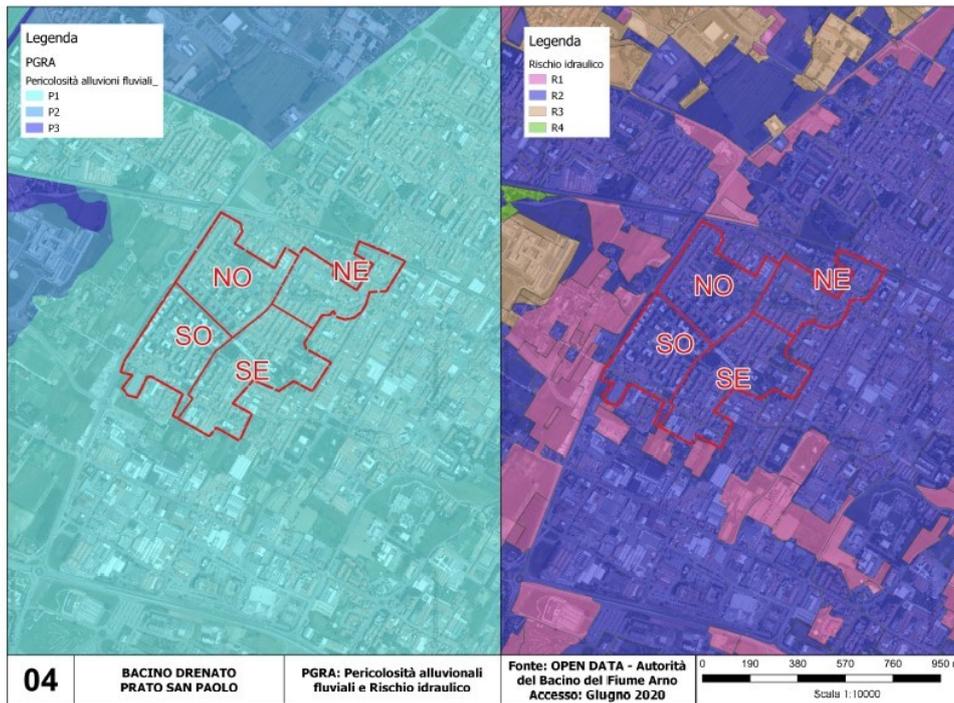


Figura 13: PGRA, Prato San Paolo (OPEN DATA)

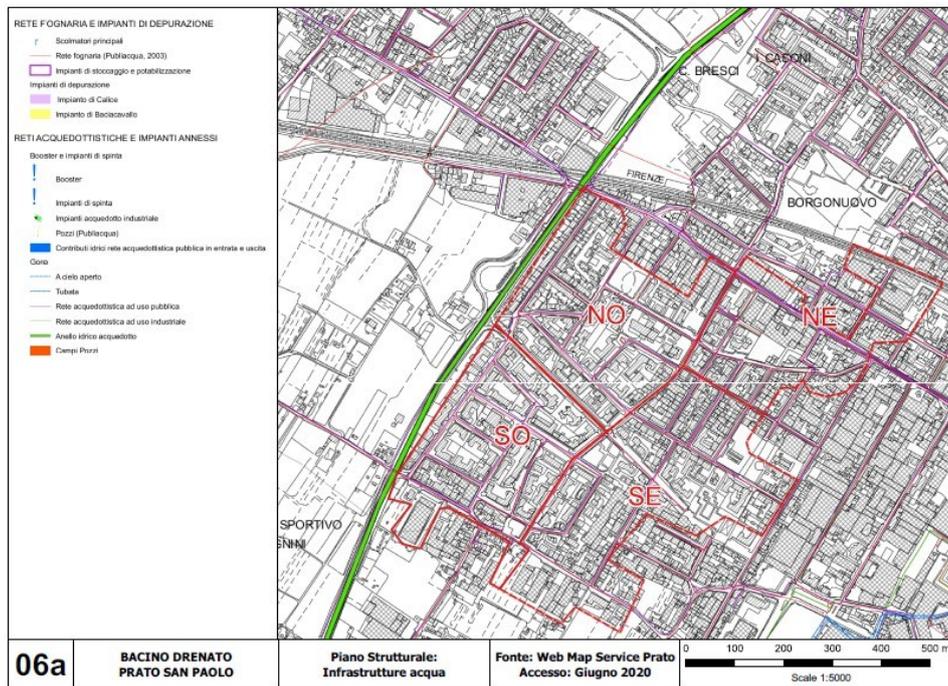


Figura 14: "Infrastrutture acqua" del P.S. (Web Map Service Prato)

Nonostante questo, si è potuto comunque impostare un approccio di drenaggio urbano sostenibile in tale contesto perché, nel momento in cui si trattano eventi meteorici intensi, dai quali deriva il problema della gestione di grandi volumi

d'acqua, al fine di ridurre il rischio idraulico, diventa prioritario trovare nuovi volumi di laminazione piuttosto che deimpermeabilizzare il bacino.

L'organizzazione del progetto è partita suddividendo il quartiere in 4 Macroaree **NO – NE – SO – SE**. Per ognuna di queste, sono state realizzate delle schede per descriverne le caratteristiche (*Figura 15,16,17 e 18*).



Figura 15: Ortofoto generale (Geoportale Regione Toscana)

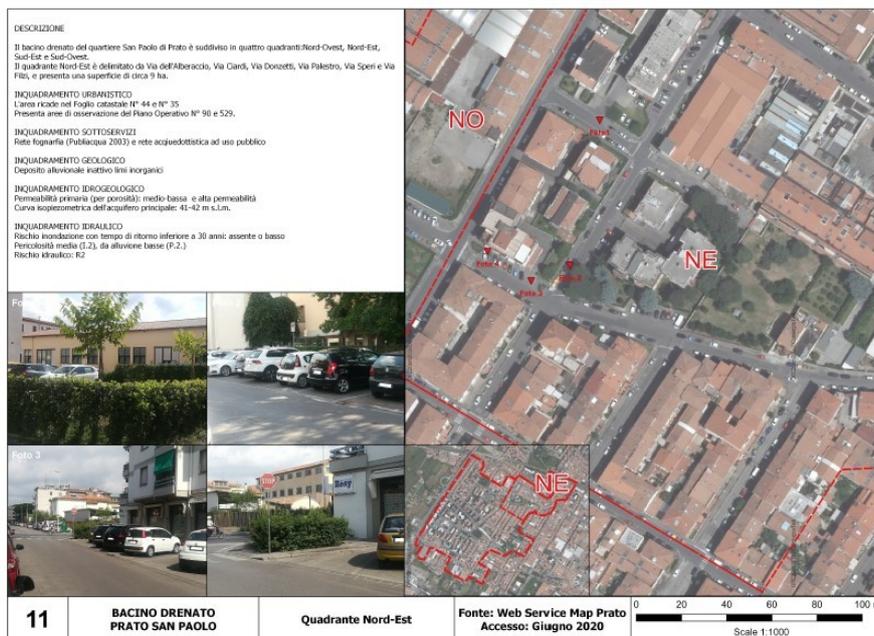


Figura 16: Quadro conoscitivo quadrante NE (Web Map Service Prato)

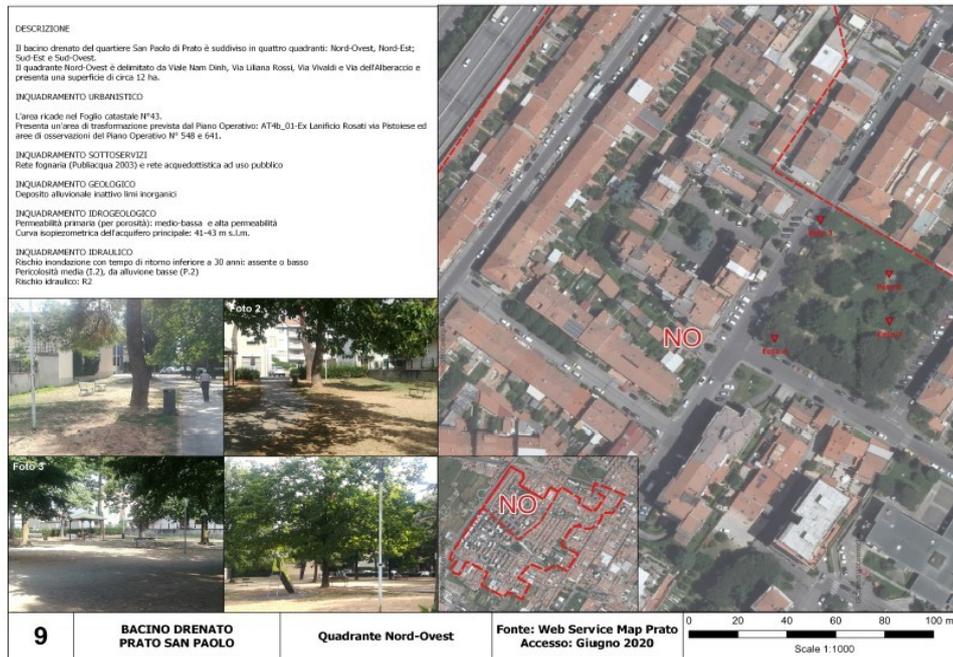


Figura 17: Quadro conoscitivo quadrante NO (Web Map Service Prato)

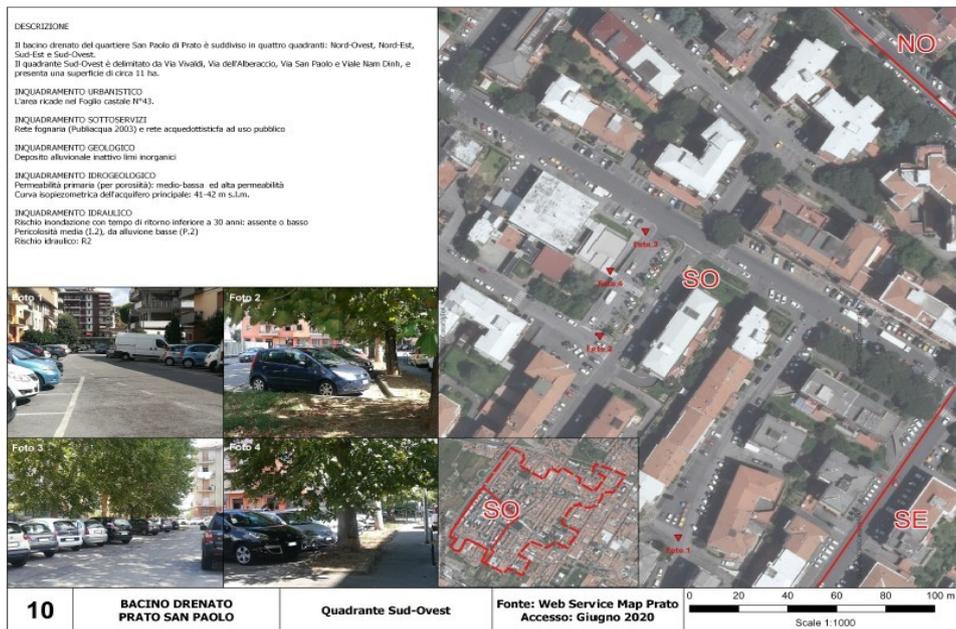


Figura 18: Quadro conoscitivo quadrante SO (Web Map Service Prato)

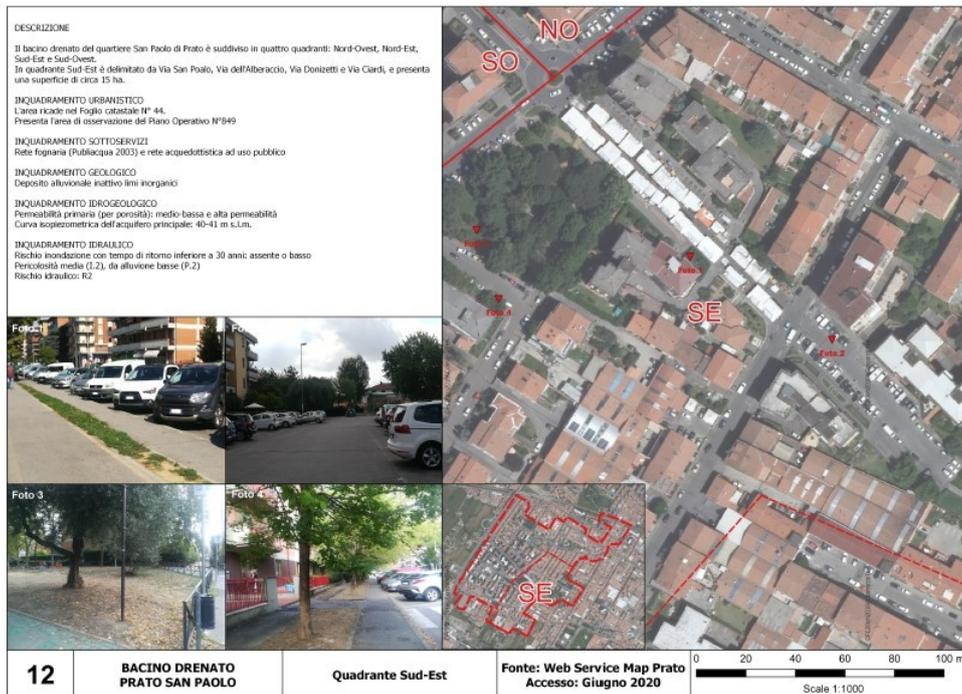


Figura 19: Quadro conoscitivo quadrante SE (Web Map Service Prato)

ANALISI DELLE PROPOSTE PROGETTUALI

Quindi dopo aver effettuato dei sopralluoghi nel quartiere in modo da analizzare in maniera dettagliata lo stato attuale delle aree interessate, sono stati proposti due approcci duali:

- **Before-pipe** (interventi a monte): consiste nel realizzare una serie di interventi mirati a evitare che le acque di runoff urbano finiscano direttamente in fognatura.
- **End of pipe** (interventi a valle): ovvero quali sono le tecniche da poter adottare quando ormai le acque di runoff sono già entrate in fognatura.

Dato che l'obiettivo primario è quello di aumentare la capacità di laminazione del bacino urbano drenato, si è optato principalmente su soluzioni che prediligano l'accumulo delle acque da laminare in superficie e la successiva restituzione al suolo, filtrando l'acqua di runoff.

Quindi sono state escluse soluzioni come:

- *pozzi perdenti*, perché la maggior parte del quartiere ricade in area a permeabilità bassa limitandone le potenzialità di smaltimento delle acque di runoff. Inoltre, questi, essendo interrati comportano un onere manutentivo più gravoso rispetto a altre soluzioni.
- *Pavimentazioni permeabili e porose* che già sono oggetto della pianificazione comunale e definiti come interventi di demineralizzazione nel P.O.C. di Prato e quindi si è deciso di non considerarle.

In fine, la principale soluzione presa in considerazione è stata quella del *retrofitting* attraverso le *Aree di Bioritenzione (rain garden)*:

Le aree di bioritenzione sono leggere depressioni del suolo ricoperte a verde, finalizzate alla raccolta e al trattamento delle acque meteoriche drenate dalle superfici impermeabili circostanti mediante filtrazione e rimozione degli agenti inquinanti.

Questi sistemi permettono quindi un filtraggio e una depurazione del tutto naturale dell'acqua raccolta con ottime rimozioni dei principali inquinanti veicolati delle acque di prima pioggia come *solidi sospesi, fosforo e metalli (figura 20)*.

Pollutant	Typical removal efficiency
TSS	> 90%
Total phosphorous	> 80%
Nitrogen	50% on average
Metals (zinc, lead, cadmium)	> 90%
Metals (copper)	up to 60%

Figura 20: Tipici valori di efficienza nella rimozione dei principali inquinanti (The SuDS Manual, 2015)

Inoltre, le aree di bioritenzione hanno un effetto benefico anche in termini di riduzione del rischio idraulico, aumento della biodiversità, oltre a poter essere utilizzate come elemento di arredo urbano (Figura 21).

Le acque di dilavamento vengono convogliate tramite deflusso superficiale all'area di bioritenzione vegetata. La fascia con copertura erbosa effettua un'azione di filtraggio del materiale più grossolano e di rallentamento della velocità di deflusso. Nell'area di ristagno si ha un accumulo temporaneo e un ulteriore deposito di materiale trasportato.

Lo strato di materiale organico effettua una prima filtrazione delle acque meteoriche e favorisce la crescita di microorganismi che provvedono ad una degradazione della materia organica trasportata. Lo spessore di suolo vegetativo svolge la funzione di sistema di filtrazione; le particelle argillose del suolo forniscono siti per l'assorbimento di inquinanti. La vegetazione garantisce la stabilità del suolo e partecipa all'azione di trattenimento degli inquinanti.

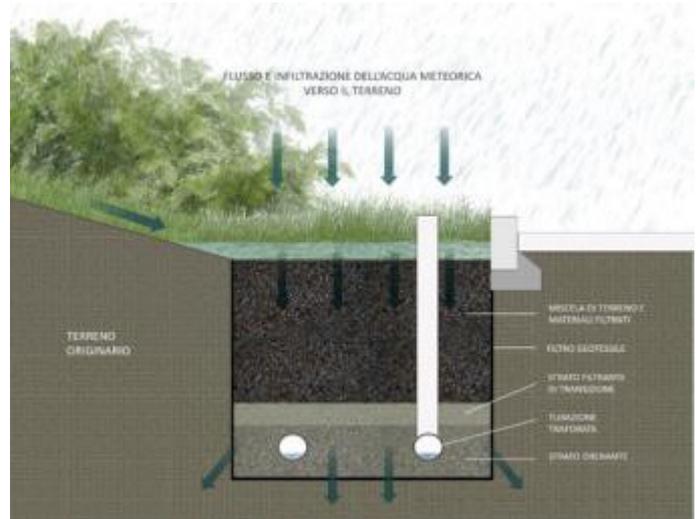


Figura 21: A sinistra ,esempio di area di bioritenzione (The SuDS Manual,2015). A destra, tipologico area di bioritenzione(Schede Tecniche Comune di Bologna, 2018)

Il termine *retrofit* è utilizzato quando le tecniche SuDS sono destinate a sostituire ed aumentare un sistema di drenaggio esistente in un bacino idrografico sviluppato, sfruttando aree esistenti senza cambiarne la destinazione d'uso. Esempi di retrofit SuDS, potrebbero essere l'inserimento di rain garden in giardini delle abitazioni, la deviazione del drenaggio del tetto in un sistema di raccolta e accumulo, o il convogliare del deflusso stradale in aree a verde di arredo stradale adibite ad area di bioritenzione.

Uno schema funzionale di un intervento di retrofitting è mostrato in *Figura 22,23*:

I cordoli stradali vengono rialzati in alcuni punti, per non fare attivare i tombini esistenti, e rimossi in altri, per permettere l'ingresso delle acque di pioggia nell'area verde. Il tombino esistente viene mantenuto con funzione di troppo pieno nel caso di piogge intense. In tal modo un' aiuola esistente è in grado di accumulare in superficie e nei pori il volume di runoff intercettato, infiltrandolo

nel sottosuolo nelle successive 24-48 ore, mentre la fognatura esistente viene by-passata per la quasi totalità delle acque di runoff annuali.

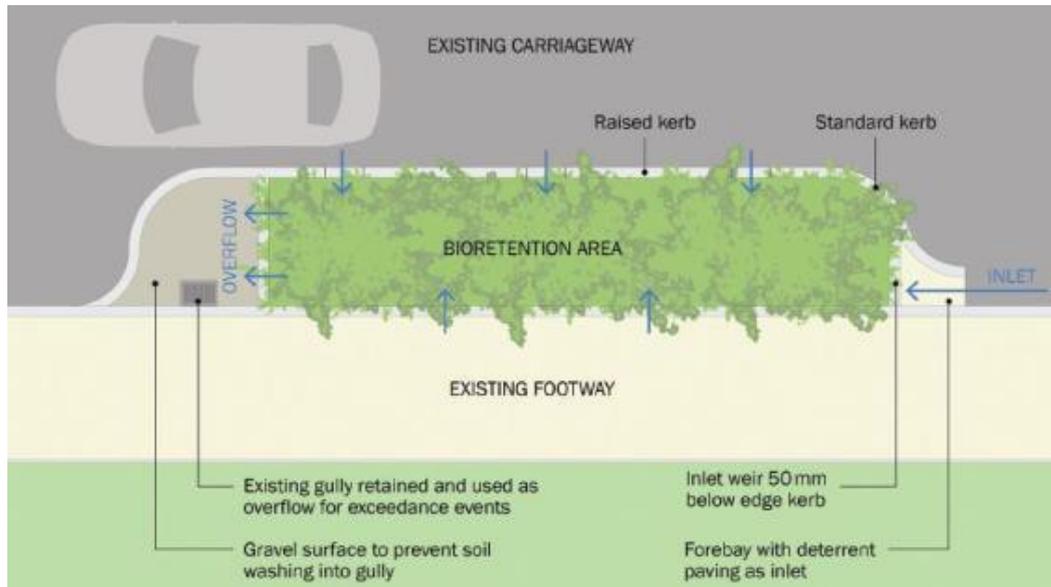


Figura 22: Esempio di area verde per retrofitting SuDS (The SuDS Manual, 2015)



Figura 23: Alma Road Rain garden di Londra (www.susdrain.org)

Gli elementi SuDS sono tipicamente dimensionati per infiltrare le acque intercettate in massimo 24-48 ore, in modo da essere in grado di fornire nuovamente i benefici e i volumi di laminazione per l'evento di pioggia successivo. In sede di progettazione definitiva/esecutiva degli interventi, nel caso si confermasse la scarsa capacità di infiltrazione del suolo e ci si attendesse svuotamenti delle aree SuDS maggiori dei tempi indicati, si suggerisce di inserire una “bocca tarata” che scarichi in fognatura in modo controllato ciò che

non viene infiltrato, mantenendo intatta la capacità di laminazione dell'intervento di retrofitting.

CAPITOLO 3

INTERVENTI SuDS ANALIZZATI

Le ipotesi progettuali, fatte alla base di queste soluzioni, sono di natura semplificativa:

- si suddividono le soluzioni *before-pipe* in *interventi diffusi* ed *interventi puntuali*;
- per *interventi diffusi* si intendono tutti quegli interventi che, ragionevolmente, condividono condizioni di funzionamento simili su tutto il quartiere San Paolo (es. aree verdi d'arredo lungo le strade). Per essi viene adottato un approccio semplificato per l'identificazione delle aree potenzialmente d'interesse per un retrofitting SuDS, basato sulla mappatura delle aree potenziali per interventi SuDS di retrofitting;
- per *interventi puntuali* si intendono tutte quelle possibilità di interventi di retrofitting SuDS in siti specifici, per cui non avrebbe senso procedere con approcci semplificati, al fine di evitare estrapolazioni errate dei possibili benefici (es. parchi).
- la stima dei benefici a scala di quartiere per gli interventi diffusi viene fatta per mezzo di valori parametrici stimati da tipologici progettati su aree reali del quartiere San Paolo e portati ad una definizione pari a quella di una fattibilità tecnico economica;
- per ogni tipologico verranno stimati i costi di costruzione sulla base del prezzario Regionale, in modo da tarare costi parametrici realistici per la stima dei costi d'investimento degli interventi a scala di quartiere;
- si assume di lavorare sull'esistente, senza prendere in considerazione modifiche alla viabilità del quartiere (no pedonalizzazioni, modifiche larghezza carreggiate e sensi di marcia);
- viene data priorità ad interventi realizzabili in aree pubbliche, cioè strade e parcheggi, fornendo soluzioni che il Comune possa proporre e realizzare in autonomia;

- si trascurano (e non si propongono) gli effetti derivanti da eventuali futuri interventi di demineralizzazione dei parcheggi con pavimentazioni drenanti;
- tutte le aree verdi classificate come lungo strada (cioè lungo strade e parcheggi) sono state considerate potenzialmente utili per interventi di retrofitting, indipendentemente dal se esse siano pubbliche o pertinenziali. Infatti l'obiettivo dello studio è quello di definire, in modo quantitativo, se l'utilizzo di aree verdi esistenti in ottica multi-obiettivo SuDS possa fornire benefici, in termini di riduzione del rischio di allagamenti per il quartiere San Paolo, comparabili con quelli attesi dall'intervento di by-pass;
- Tutte le aree verdi classificate come corti interne (es. aree verdi interne a servizi dei condomini) e come parchi, non sono state considerate come aree adeguate ad interventi diffusi potenziali;
- si trascura l'analisi di dettaglio degli interventi potenzialmente realizzabili per i singoli condomini, data l'oggettiva difficoltà del Comune a poterli coinvolgere in tali interventi.

MAPPATURA DELLE POTENZIALI AREE D'INTERESSE

L'individuazione delle potenziali aree di retrofitting urbano avviene secondo un approccio semplificato, sulla base della mappatura dell'area oggetto di interesse, eseguita mediante software open source QGis. Il bacino drenato del quartiere San Paolo si estende per una superficie di circa 47 ha. Tale area è stata suddivisa secondo **cinque macro aree omogenee**, identificate sulla base di foto aeree e sopralluoghi sul campo:

- Aree parcheggi;
- Aree verdi;
- Aree tetti;
- Aree strade;
- Altro (principalmente aree pavimentate nelle corti interne dei condomini).

Ad eccezione della classificazione "Altro", ogni altro elemento mappato viene nominato con un *id*. Le aree censite, con le caratteristiche principali (*id*, sotto classificazione, area, foglio e particella catastale, sottobacino e elementi limitrofi).

Sono state campionate N° **286 aree parcheggi** (*figura 24*), in formato shapefile, per una superficie di circa 2.95 ha, che corrisponde al 6.3% del bacino totale drenato. I parcheggi campionati sono stati classificati, a loro volta, secondo quattro tipologie di parcheggio, per mezzo dell'ausilio di foto aeree e sopralluoghi:

- In linea lungo carreggiata principale (2.49%);
- Spina di pesce lungo carreggiata principale (2.47%);
- In linea fuori carreggiata principale (0.10%);
- Spina di pesce fuori carreggiata principale (1.26%).

Le principali categorie di parcheggi presenti sono in linea e a spina di pesce lungo carreggiata principale; solo lo 0.10% del bacino drenato è occupato da parcheggi in linea fuori carreggiata principale.

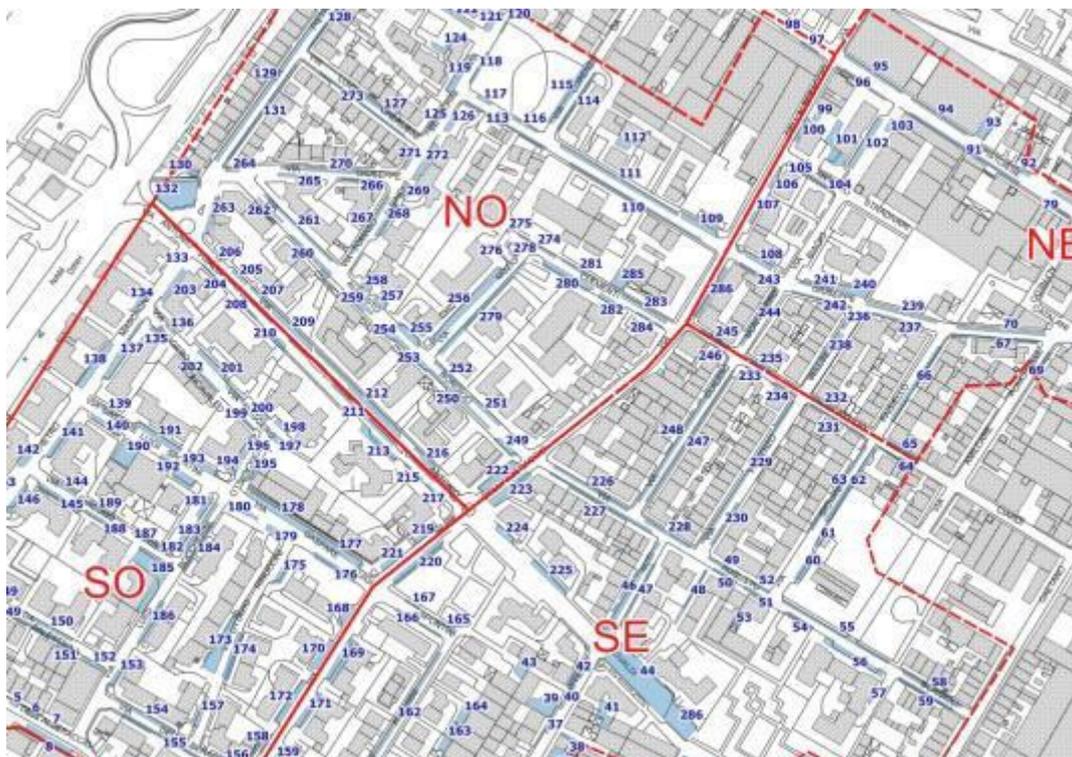


Figura 24: aree parcheggio campionate in formato shapefile (IRIDRA, 2021)

Le **aree verdi** campionate in formato shapefile ricoprono una superficie di circa 8.21 ha, che corrisponde al 17.6% del bacino drenato (*Figura 26*). Sono state mappate n° **665** aree, le quali sono state sotto classificate in base a:

- tipologia di area verde (area a parco oppure no);
- tipologia di alberatura presente;
- posizione (lungo strada, corte interna).

Per quanto riguarda la tipologia di alberatura, l'approccio utilizzato è di tipo speditivo, basato sull'altezza attuale per la classificazione delle aree alberate. La classificazione è stata eseguita con l'ausilio di foto aeree, shapefile rappresentative degli alberi presenti nel Comune di Prato (Fonte: Comune di Prato) e sopralluoghi:

- CAT. 0 – Assenza di alberi (0.2 % del bacino drenato);
- CAT.1 – Aiuole (2.4% del bacino drenato);
- CAT.2 – Alberi di media altezza (7.6% del bacino drenato);
- CAT.3 – Alberi di elevata altezza (7.3% del bacino drenato).

Le aree verdi così classificate, sono caratterizzate principalmente da alberi di media ed elevata altezza, rispettivamente 7.6% e 7.3% del bacino drenato.

In termini di tipologia e posizione di area verde, l'approccio utilizzato è di tipo speditivo, basato su foto aeree ed estensione delle aree:

- Lungo strada – parco, 26% sul totale delle aree verdi (4.5% del bacino drenato);
- Lungo strada – no parco, 31% sul totale delle aree verdi (5.5% del bacino drenato);
- Corte interna – parco, 6% sul totale delle aree verdi (1.0% del bacino drenato);
- Corte interna – no parco, 37% sul totale delle aree verdi (6.5% del bacino drenato).

trascurando le aree parco e le corti interne e limitando le aree potenzialmente di interesse alle sole aree verdi lungo strada al di fuori dei parchi, si assumono potenziali interventi di retrofitting SuDS before-pipe su solo il 31% delle aree verdi totali, pari ad una superficie del 5.5% del bacino drenato.



Figura 25: Da sinistra a destra: CAT.0, CAT.1, CAT.2 e CAT.3 (Google Earth)



Figura 26: aree verdi campionate in formato shapefile (OPEN DATA)

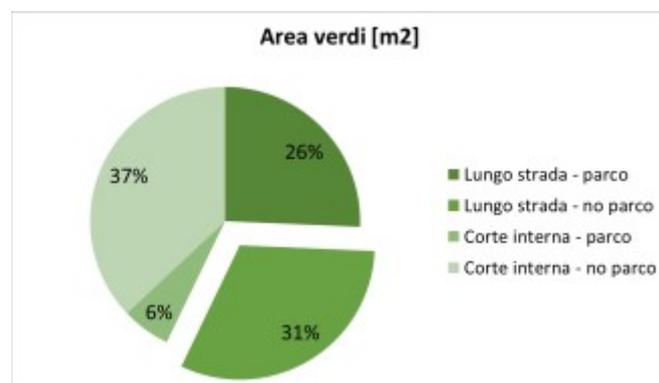


Figura 27: Distribuzione aree verdi (IRIDRA, 2021)

L'area tetti e le aree strade sono state rappresentate per mezzo di shapefiles poligonali (figura 28), a partire dalla CTR del Comune di Prato, fornita dal Geoscopio della Regione Toscana. Le aree strade sono state depurate delle eventuali aree mappate come parcheggi presenti lungo la carreggiata. Le aree tetti e le aree strade presentano una superficie di 19 ha e 8.7 ha, che corrispondono rispettivamente al 41% e il 19% del bacino drenato.



Figura 28: A sinistra, aree tetti in formato shapefile. A destra, aree strade in formato shapefile (IRIDRA,2021)

Le rimanenti aree non mappate sono principalmente aree delle corti interne degli edifici e sono state classificate come **ALTRO**. In Tabella 4 sono riportate in sintesi le superfici delle rispettive macro-aree omogenee mappate.

Superfici	Area [m ²]	Area [ha]	%
AREE VERDI	82085	8.2	17.6%
AREE PARCHEGGI	29521	2.9	6.3%
AREE TETTI	189967	19.0	41%
AREE STRADE	87454	8.7	19%
ALTRO	78626	7.9	17%
AREA BACINO TOTALE	467656	46.8	

Tabella 4: Aree rappresentative del bacino drenato (IRIDRA,2021)

INTERVENTI DIFFUSI

L'adozione di soluzioni SuDS diffuse sul territorio favorisce la possibilità di ridurre le acque di pioggia defluite in fognatura e di migliorare la risposta idrologica del bacino per mezzo di aree urbane multiobiettivo. Sulla base delle aree campionate, sono stati definiti n° 6 **tipologie di interventi** per la realizzazione dei sistemi di retrofitting SuDS:

- **A** rimozione parcheggio;
- **B** realizzazione area verde;
- **C** aree verdi;
- **C0** Utilizzo di area verde esistente di tipo C0 (solo verde);
- **C1** Utilizzo di area verde esistente di tipo C1 (presenza di arbusti);
- **C2** Utilizzo di area verde esistente di tipo C2 (presenza di alberature meno significative);
- **C3** Utilizzo area verde esistente di tipo C3 (presenza alberature più significative).

Gli interventi categorizzati come **tipologia A** (*Figura 29*) riguardano aree, come ad esempio parcheggi in linea lungo carreggiata principale, che necessitano la rimozione di posti auto per il recupero di una superficie tale da poter realizzare interventi di retrofitting SuDS.

Gli **interventi B** (*Figura 29*) sono aree parcheggio che presentano superfici pavimentate impermeabili non adibite a parcheggio auto, come isole spartitraffico, che possono essere utilizzate per la realizzazione di aree SuDS senza modificare il numero di posti auto attualmente previsti.

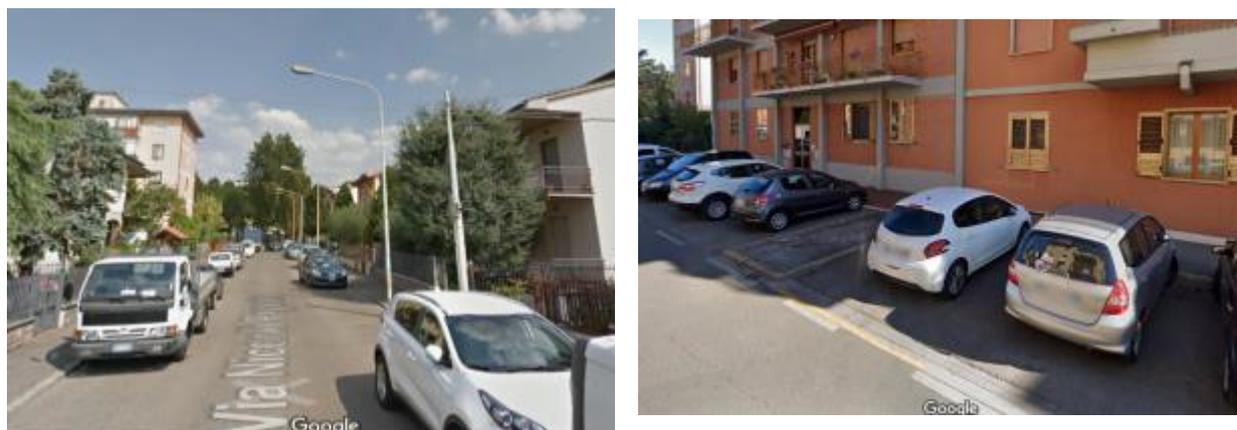


Figura 29: Esempi di interventi di retrofitting di tipo A (sinistra) e B (destra), (IRIDRA 2021)

Gli interventi di **tipologia C** (*Figura 30*) si identificano come aree parcheggio che presentano allo stato attuale aree verdi, come aree pertinenziali, in cui è possibile convogliare il deflusso proveniente dalle aree parcheggio adiacenti. In base alla classificazione adottata per le aree verdi campionate, è possibile prevedere quattro sottocategorie di intervento C, in funzione alla tipologia di verde esistente: intervento C0, C1, C2, C3.



Figura 30: Esempi di interventi di retrofitting di tipo C0,C1,C2 e C3 (IRIDRA ,2021)

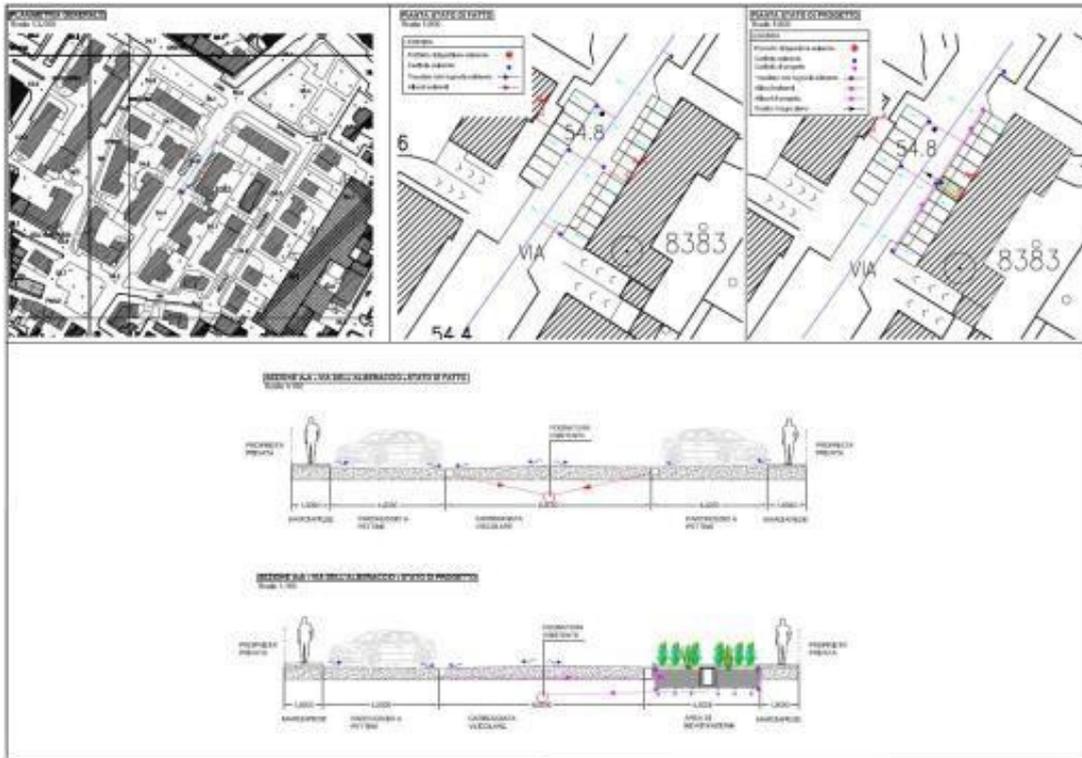


Figura 31: Esempio elaborato grafico per tipologico (IRIDRA,2021)

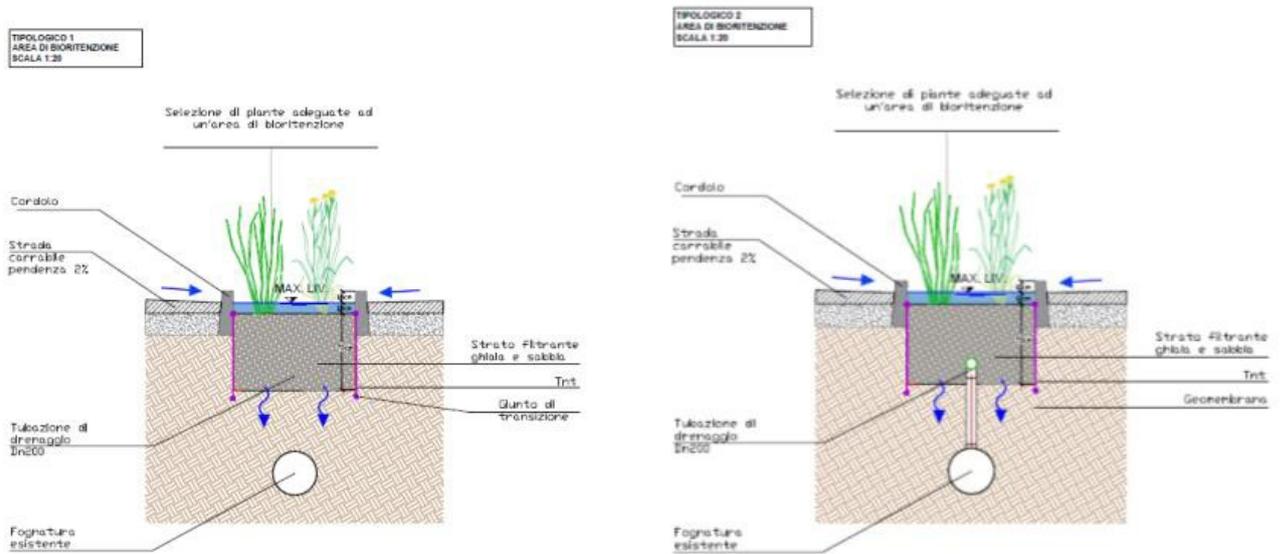


Figura 32: A sinistra, completa infiltrazione nel sottosuolo. A destra, parziale infiltrazione del sottosuolo (IRIDRA,2021)

STIMA DEI VOLUMI LAMINATI CON GLI INTERVENTI DIFFUSI

L'analisi dei tipologici calati in un contesto reale, di cui è riportata una sintesi in **Tabella 5**, ha permesso di definire i seguenti valori parametrici per scalare i benefici degli interventi di retrofitting SuDS diffusi sull'intero quartiere San Paolo:

- Area drenata massima da intervento di retrofitting SuDS strade “10%”
- coefficiente area netta/area lorda retrofitting SuDS interventi A,B,C0eC1 “0.8”
- coefficiente area netta/area lorda retrofitting SuDS interventi C2 e C3 “0.5”
- altezza area bioritenzione/trincea infiltrante “80 cm”
- altezza media accumulo acqua in superficie area bioritenzione/trincea infiltrante “10 cm”
- Porosità medium di riempimento (sabbia/ghiaia) “0.35”
- Porosità apparente piante superficiali “0.90”
- % rimozione parcheggi per interventi A “5%”

	Area parcheggio - Stato di progetto [m2]	SuDS retrofitting area - potenziale [m2]	SuDS retrofitting area - reale [m2]	Net/Gross SuDS coeff	Area drenata [m2]	Percentuale SuDS/area drenata [m2]
A	87	23	21	0.91	162	13.0%
B	264	14	12.5	0.89	482	2.6%
C0	141	32.5	27.5	0.85	461	6.0%
C1	49	3	3	1.00	139	2.2%
C2	47	20	18.2	0.91	116	15.7%
C3	238	95	44.9	0.47	491	9.1%

Tabella 5: Parametri tecnici per i diversi tipologici (IRIDRA,2021)

Per ogni intervento potenziale diffuso identificato viene stimato:

- **Area potenziale SuDS:** cioè tutta l'area dedicata a sistemi di drenaggio (es. tutta l'area verde mappata);
- **Area effettiva SuDS:** cioè l'area che effettivamente concorre all'accumulo delle acque di pioggia (es. solo l'area non occupata da alberature per gli interventi C3);
- **Superficie drenata:** cioè l'area di captazione delle piogge veicolate verso l'intervento di retrofitting SuDS (parcheggi e strade per cui è effettivamente possibile drenare le acque verso gli elementi SuDS);
- **Volume di accumulo nel medium:** volume di laminazione messo a disposizione dagli elementi SuDS all'interno dei vuoti del mezzo poroso ad alta permeabilità;

- **Volume di accumulo superficiale:** volume di laminazione messo a disposizione dagli elementi SuDS in superficie, al netto dello spazio eventualmente occupato dalle piante;
- **Volume di accumulo totale:** somma del volume di laminazione nel medium e superficiale;
- **Volume runoff TR 2 anni:** volume di runoff intercettato e convogliato verso gli elementi SuDS di progetto considerando l'altezza di pioggia target per TR 2 anni e considerando, a favore di sicurezza, la superficie drenata completamente impermeabile;
- **Volume runoff TR 5 anni:** volume di runoff intercettato e convogliato verso gli elementi SuDS di progetto considerando l'altezza di pioggia target per TR 5 anni e considerando, a favore di sicurezza, la superficie drenata completamente impermeabile;
- **Volume runoff TR 10 anni:** volume di runoff intercettato e convogliato verso gli elementi SuDS di progetto considerando l'altezza di pioggia target per TR 10 anni e considerando, a favore di sicurezza, la superficie drenata completamente impermeabile;

I risultati, riassunti nella **Tabella 6**, evidenziano i seguenti aspetti principali:

1. Il volume di accumulo messo a disposizione dagli elementi potenziali di retrofitting SuDS diffusi è ampiamente sufficiente per contenere il volume di esondazione previsto con tempo di ritorno 2 anni, in particolare, sarebbero sufficienti anche solo i volumi di accumulo superficiale a questo scopo.
2. Il volume di accumulo complessivo (sia superficiale che medium di riempimento) sarebbe sufficiente ad accumulare sia i volumi di esondazione previsti con tempo di ritorno 5 anni che per tempo di ritorno 10 anni.
3. Le superfici drenate (parcheggi e strade) sono sufficienti a raccogliere volumi di runoff obiettivo per tutti gli eventi con tempo di ritorno di interesse.

		A		B		C		C.1		C.2		C.3		
				C.0										
				s.	p.	s.	p.	s.	p.	s.	p.	s.	p.	Tot.
Area Drenata	m2	11134	5910	4445	1781	44069	10986	32888	5055	27212	18202			161681
	%	2.4%	1.3%	1.0%	0.4%	9.4%	2.3%	7.0%	1.1%	5.8%	3.9%			34.6%
SuDS retrofitting - n° interventi		118	37	24	7	182	25	115	17	35	18			
SuDS retrofitting area – potenziale	m2	557	778	556	271	5509	1362	6578	993	5442	3522			25567
SuDS retrofitting area - effettiva	m2	445	623	444	217	4407	1090	3289	496	2721	1761			15493
Percentage area totale bacino drenato	%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.9%	0.2%	0.7%	0.1%	0.6%	0.4%			3.3%
Volume accumulo - medium	m3	125	174	124	61	1234	305	921	139	762	493			4338
	% - Tr 2	18%	25%	18%	9%	177%	44%	132%	20%	109%	71%			621%
	% - Tr 5	4%	6%	4%	2%	44%	11%	33%	5%	27%	18%			155%
	% - Tr 10	3%	4%	3%	1%	30%	8%	23%	3%	19%	12%			107%
Volume accumulo - superficiale	m3	40	56	40	20	397	98	296	45	245	158			1394
	% - Tr 2	6%	8%	6%	3%	57%	14%	42%	6%	35%	23%			199%
	% - Tr 5	1%	2%	1%	1%	14%	4%	11%	2%	9%	6%			50%
	% - Tr 10	1%	1%	1%	0%	10%	2%	7%	1%	6%	4%			34%
Volume di accumulo - totale	m3	165	230	164	80	1631	403	1217	184	1007	652			5733
	% - Tr 2	24%	33%	24%	11%	233%	58%	174%	26%	144%	93%			820%
	% - Tr 5	6%	8%	6%	3%	58%	14%	43%	7%	36%	23%			205%
	% - Tr 10	4%	6%	4%	2%	40%	10%	30%	5%	25%	16%			141%
Volume runoff - Tr 2 anni	m3	234	124	93	37	925	231	691	106	571	382			3395
	% - Tr 2	33%	18%	13%	5%	132%	33%	99%	15%	82%	55%			486%
Volume runoff - Tr 5 anni	m3	312	165	124	50	1234	308	921	142	762	510			4527
	% - Tr 5	11%	6%	4%	2%	44%	11%	33%	5%	27%	18%			162%
Volume runoff - Tr 10 anni	m3	379	201	151	61	1498	374	1118	172	925	619			5497

Tabella 6: Stima sintetica dei volumi di laminazione potenzialmente a disposizione (IRIDRA,2021)

PRIORITÀ DEGLI INTERVENTI DIFFUSI

La diversa priorità di realizzazione degli interventi di retrofitting SuDS *before – pipe* è stata definita come segue:

- *Priorità alta:*
 1. Interventi B e C in strade in cui le aree di interesse di retrofitting SuDS ricadono in particelle pubbliche (cioè quelle riportanti nella particella la voce “strada”).
 2. Interventi C in parcheggi che ricadono in particelle pubbliche (cioè quelle riportanti nella particella la voce “strada”).
- *Priorità media:*
 1. Interventi A (rimozione dei parcheggi) in cui le aree di interesse di retrofitting SuDS ricadono in particelle pubbliche (cioè quelle riportanti nella particella la voce “strada”).

- *Priorità bassa:*

1. tutti gli altri interventi per i quali, benché lungo strada, non avendo strade e parcheggi in particelle pubbliche è previsto che la realizzazione possa seguire un iter pubblico – privato più complesso, prediligendo prima gli interventi B,C0 e C1 e, solo in ultima analisi, quelli interessanti alberature più significative (C2 e C3) e la rimozione di parcheggi (A).

Per gli interventi a priorità alta è stata, inoltre, eseguita una **scrematura più di dettaglio sulla fattibilità dell'intervento**. Difatti, ogni area potenziale a priorità alta è stata verificata con un sopralluogo speditivo virtuale, in modo da verificare l'effettiva fattibilità dell'intervento nell'area verde "C" lungo strada. Sono risultati fattibili circa l'80% degli interventi potenzialmente selezionati per essere aree di intervento di retrofitting SuDS sulla sola base dell'analisi della posizione, delle informazioni catastali e dell'uso del suolo, confermando la validità dell'approccio per una stima di pre-fattibilità degli interventi. In totale, gli interventi a priorità alta fattibili sono risultati n° 54 per i tipologici C (aree verdi) e n° 25 per i tipologici B (nuove aree verdi in aree spartitraffico): questi **n° 79** interventi diffusi (*before-pipe*) sono quindi da considerarsi quelli a priorità maggiore nel quartiere San Paolo.

INTERVENTI PUNTUALI

Gli interventi puntuali principali identificati sul quartiere San Paolo riguardano i **parchi**.

Alcuni di essi sono già oggetto di progetti in corso, legati al progetto PRATO PIU'. In quest'ultimo sono previsti interventi di riqualificazione di alcuni spazi pubblici ubicati nel quartiere San Paolo. Tra le aree pubbliche presenti nel progetto del Comune di Prato, tre aree sono risultate di particolare interesse:

area in via Vivaldi (identificata con ID AREA_VERDE N°80), area in via Spontini (identificate con ID AREA_VERDE N°71) e l'area in via Becherini (identificata con ID AREA_VERDE N° 443). Ulteriori aree oggetto di interesse sono le aree verdi identificate con ID N°11, N°87-88 e l'Area Parcheggio N°44.

APPROCCIO END OF PIPE

Per quanto riguarda il secondo approccio proposto, ovvero *end-of-pipe* (interventi a valle) risulta necessario stimare i volumi di pioggia drenati dal bacino che raggiungono il collettore di via San Paolo.

Sulla base del rilievo fornito da Publiacqua (*Figura 33*) è stato realizzato il profilo idraulico del collettore di via San Paolo, mentre per conoscere l'andamento altimetrico dell'area sono state estrapolate le curve di livello di equidistanza 1 m e 0.5 m dal volo lidar (DTM1X1) della Regione Toscana.



Figura 33: Tracciato planimetrico del collettore di via San Paolo (Publiacqua Spa)

- **Proposta progettuale per le acque miste**

Il bacino drenato del quartiere San Paolo convoglia il suo deflusso in tre nodi lungo il collettore di via San Paolo, facendo riferimento a *Figura 34*:

- A – Nodo della rete in via San Paolo angolo via Nuti;
- B – Nodo in via San Paolo angolo via Boccherini;
- C – Nodo in via dell'Alberaccio angolo via Pietro Mascagni;



Figura 34: Individuazione dei nodi di confluenza lungo il collettore di via San Paolo (Publiacqua Spa)

A partire dal modello fornito da Publiacqua in formato .inp, è stato possibile individuare il tracciato della rete fognaria modellata, i sottobacini drenati dai singoli pozzetti ed estrapolare, mediante il software SWMM, la direzione del deflusso nei collettori in funzione delle sole pendenze.

Si redistribuiscono, quindi, i volumi di esondazione simulati dallo studio idraulico di Publiacqua sui tre nodi di confluenza nel collettore di via San Paolo. L'ipotesi semplificata è di una redistribuzione lineare rispetto alle aree dei sottobacini drenati. I volumi di esondazione da rimuovere dalla fognatura in prossimità dei nodi A, B, C vengono dati in range ed in funzione del tempo di ritorno 2, 5, 10 anni. I valori sono riportati in Tabella 7 e sono assunti come valori di progetto di pre-fattibilità per il dimensionamento delle soluzioni end-of-pipe.

Volumi [m3]						
	A		B		C	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
TR2	227.7	23.2	445.3	185.8	230.4	285.5
TR5	911.5	93.1	1782.5	743.7	922.4	1142.8
TR10	1322.0	135.0	2585.2	1078.6	1657.5	1337.8

Tabella 7: Range dei volumi drenati nei nodi A,B e C (Publiacqua Spa)

La proposta progettuale *end-of-pipe* per la gestione delle acque miste in eccesso, prevede:

- Intercettazione della fognatura presso i rami A e B con rami di fognatura mista di by-pass, che convogliano le acque miste presso le aree dedicate all'interno del futuro Parco San Paolo, prima che il collettore di via San Paolo vada in pressione e crei problemi di rigurgito e allagamento su via San Paolo/ via dell'Alberaccio.
- 1°stadio: fitodepurazione a flusso subsuperficiale per il trattamento delle acque di prima pioggia sfiorate da fognatura mista.
- 2°stadio: Bacino di detenzione asciutto fruibile con trincea infiltrante per accumulare e drenare in 24-48 ore le acque da laminare, sia le acque di prima pioggia trattate che le acque di seconda pioggia. Il volume di accumulo superficiale è dimensionato per intercettare i volumi in eccesso per eventi con tempo di ritorno 2 anni, al fine di mantenere altezze di accumulo superficiale limitate e compatibili con la destinazione ad uso parco dell'area, i volumi di accumulo richiesti da eventi meteorici con tempi di ritorno maggiori (5,10 anni) vengono interrati, per mezzo di moduli ad alta porosità geocellulari tipo Hidrobox (Figura 35). I volumi messi a disposizione e quindi la profondità massima attesa per i moduli geocellulari, sono riportati in Tabella 8.

La proposta progettuale ha preso in considerazione solo un funzionamento totalmente a gravità, essendo sconsigliabile gestire gli ampi volumi e portate di picco di pioggia degli eventi intensi con sistemi di pompaggio elettromeccanici. Per tale motivo, visto il profilo della fognatura in via San Paolo e le caratteristiche plano-altimetriche dell'area, non sono state fatte proposte per la gestione delle acque convogliate sul ramo fognario C, quello più in prossimità del sottopasso di viale Nam Dinh.

	Intercettazione fognatura punto A				Intercettazione fognatura punto B				Evento di pioggia target raggiunto
	V modulo [mc]	V totale [mc]	h modulo [m]	h totale [m]	V modulo [mc]	V totale [mc]	h modulo [m]	h totale [m]	
NBS – Bacino di detenzione	385	385	0.9	0.9	562	562	0.9	0.9	Tr 2
hidrobox 1.1 - 1°	175	559	0.45	1.4	344	906	0.45	1.4	Tr 5
hidrobox 1.1 - 2°	175	734	0.45	1.8	344	1250	0.45	1.8	
hidrobox 1.1 - 3°	175	909	0.45	2.3	344	1594	0.45	2.3	
hidrobox 1.1 - 4°	175	1084	0.45	2.7	344	1938	0.45	2.7	Tr 10
hidrobox 1.1 - 5°	175	1258	0.45	3.2	344	2282	0.45	3.2	

Tabella 8: Volumi di accumulo soluzione end of pipe (IRIDRA,2021)





Figura 35: Posizione degli interventi NBS, tipologico NBS, esempio di bacino asciutto (Liberare il suolo, Regione Emilia Romagna), stadio di fitodepurazione e modulo geocellulare Hydrobox (IRIDRA,2021)

QUADRO ECONOMICO DELLE QUATTRO ALTERNATIVE PROPOSTE

Quanto presentato finora ha definito la tipologia e il numero di interventi NBS proponibili per limitare i problemi di allagamento del quartiere San Paolo. Vengono, quindi, definite una serie di alternative progettuali per la definizione di un quadro progettuale di sintesi, sulla cui base viene definito un quadro economico preliminare di pre-fattibilità.

Vengono proposte **quattro alternative progettuali** come segue

1. **Alternativa 1:**

Solo interventi retrofitting SuDS *before – pipe*.



2. **Alternativa 2:**

Solo interventi NBS *end of pipe* nel futuro Parco San Paolo.



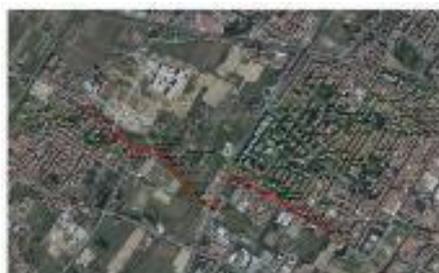
3. Alternativa 3:

Solo interventi convenzionali (vasche volano interrato – infrastrutture grigie) *end-of-pipe* nel futuro Parco San Paolo.



4. Alternativa 4:

Canale di by-pass previsto negli studi precedenti.



Per ogni alternativa vengono stimati:

- il numero di interventi necessari a raggiungere gli obiettivi di progetto, in funzione dei diversi eventi con tempo di ritorno d'interesse.
- I costi di investimento (**CAPEX**) preliminari di pre-fattibilità.
- I costi di gestione da manutenzione ordinaria, stimati per mezzo di valori parametrici.

ALTERNATIVA 1

I costi d'investimento sono stati assunti sulla base di computi preliminari redatti per i 6 tipologici di dettaglio sviluppati, utilizzando il prezzario di Regione Toscana. I risultati sono riassunti in Tabella 9, dai quali si può dedurre che:

- l'extra costo previsto per l'Opzione 2 in caso di bassa infiltrazione dei terreni è piuttosto limitato, quindi, anche in presenza di terreni a bassa permeabilità, le tecniche SuDS possono garantire un contributo alla limitazione dei fenomeni di allagamento grazie al volume di accumulo messo a disposizione, indipendentemente dalla capacità d'infiltrazione dell'area, mantenendo limitati i costi d'investimento;
- i costi degli elementi SuDS sono spesso bassi rispetto a quelli dei lavori necessari per l'adeguamento del manto stradale, specialmente quando sono richiesti la dismissione e spostamento delle caditoie pluviali o l'inversione della pendenza di drenaggio del manto stradale. Quindi, è altamente consigliato, cogliere l'occasione di manutenzioni stradali ordinarie o straordinarie per inserire elementi SuDS *before pipe* diffusi.

In termini di **costi parametrici** per stimare il costo d'investimento previsto a scala di bacino, si assume un costo di **200 €/m²** per le aree di bioritenzione e 40 €/m² per il rifacimento del manto stradale. Tali costi considerano che i lavori vengano fatti a larga scala (almeno una decina di interventi per volta) e in concomitanza dei lavori stradali, con i macchinari necessari alla realizzazione degli elementi SuDS già presenti nell'area di cantiere. Nel caso in cui si procedesse a realizzare un singolo intervento, i costi parametrici potrebbero risultare anche significativamente superiori.

Tipologico	CAPEX SuDS - Opzione 1 [€]	CAPEX SuDS - Opzione 2 [€]	CAPEX Strada [€]	CAPEX Totali [€]
A	4,100 €	4,700 €	25,500 €	30,200 €
B	4,700 €	5,200 €	8,800 €	14,000 €
C0	5,400 €	6,200 €	21,900 €	28,000 €
C1	1,900 €	2,500 €	1,100 €	3,500 €
C2	10,400 €	11,000 €	3,800 €	14,800 €
C3	18,900 €	20,300 €	38,600 €	58,900 €

Tabella 9: Costi di investimento CAPEX (IRIDRA,2021)

I **costi di gestione** sono stati calcolati stimando la spesa prevista dalle seguenti attività di manutenzione ordinaria principale richieste dai sistemi di drenaggio urbano sostenibile:

- Sfalciatura piante aree di bioritenzione (taglio, trasporto, carico, scarico, smaltimento in discarica);
- Gestione caditoie (pulizia, trasporto, carico, scarico, smaltimento in discarica);

- Personale per visite di controllo (visite periodiche, visite dopo eventi meteorici intensi).

Sono stati calcolati, inoltre, i **risparmi sui costi di gestione** dovuti a:

- minore frequenza degli sfalci delle aree verdi convertite con interventi di retrofitting a SuDS, data la minore frequenza degli sfalci richiesta dalle specie messe a dimora nelle aree di bioritenzione;
- minore frequenza nella gestione e pulizia delle caditoie pluviali, in modo da tenere conto la maggiore capacità di trattenere sedimenti e fogliame delle aree di bioritenzione, oltre alla capacità di questi sistemi di usare la fognatura esistente solo come troppo pieno, quindi, mantenendo sostanzialmente inefficaci le caditoie per quasi la totalità dell'anno.

I costi di gestione e manutenzione ordinari riportati sono al netto dei costi per lo smaltimento dei rifiuti solidi, dato che essi sono attesi identici alla condizione attuale di normale attività di pulizia delle strade.

I valori parametrici e le assunzioni fatte per la stima dei costi parametrici sono riassunte in Tabella 10.

Parametro	Valore	Unità
altezza materiale accumulato in caditoie	10	cm
dimensione lato caditoia	50	cm
peso specifico materiale accumulato caditoia	1800	kg/mc
Biomassa aree di bioritenzione	0.5	kg/m2
Biomassa aree a prato	0.5	kg/m2
Costo parametrico per sfalcio	0.1	€/m2
Costo parametrico per trasporto, carico e scarico materiale	18	€/ton
Costo parametrico conferimento materiale in discarica	50	€/ton
Pulizia, lavaggio, rimozione materiale pozzetto pluviale	25	€/pozzetto
frequenza pulizie pozzetti - fuori SuDS	Ogni anno	-
frequenza pulizie pozzetti - troppo pieni aree di bioritenzione SuDS	Ogni 5 anni	-
n° caditoie per area di bioritenzione	1	-
n° visite ordinarie SuDS	Ogni 3 mesi	-
n° visite dopo eventi intensi	3 all'anno	-
n° interventi SuDS diffusi visitati per visita	50	n°/visita
durata visita	8	ore/visita
costo manodopera non specializzata	30	€/ora
n° di sfalci piantumazioni aree SuDS di bioritenzione	1	n°/anno
n° di sfalci prato aree verdi	3	n°/anno

Tabella 10: Valori parametrici per la stima dei costi di gestione (IRIDRA,2021)

ALTERNATIVA 2

I **costi d'investimento** per l'Alternativa 2 sono stati assunti sulla base di computi preliminari della proposta progettuale di dettaglio sviluppato, utilizzando il prezzario di Regione Toscana per gli interventi NBS e le offerte raccolte sul costo di realizzazione dei moduli Hidrobox. I risultati sono riassunti in Tabella 11.

Costi d'investimento Alternativa 2 (NBS end-of-pipe)	Tr 2 anni		Tr 5 anni		Tr 10 anni	
	[€]		[€]		[€]	
	A	B	A	B	A	B
Tubazioni	19,900 €	26,600 €	19,900 €	26,600 €	19,900 €	26,600 €
Fitodepurazione	28,500 €	55,700 €	28,500 €	55,700 €	28,500 €	55,700 €
Bacino di detenzione	14,500 €	15,900 €	14,500 €	15,900 €	14,500 €	15,900 €
Arredi a verde	15,000 €	18,000 €	15,000 €	18,000 €	15,000 €	18,000 €
Hidrobox	- €	- €	159,900 €	314,800 €	210,900 €	415,000 €
Totale	77,900 €	116,200 €	237,800 €	288,700 €	430,900 €	492,900 €

Tabella 11: Computo preliminare per l'Alternativa 2 (IRIDRA,2021)

I **costi di gestione** sono stati calcolati stimando la spesa prevista dalle seguenti attività di manutenzione ordinaria principale, richieste dagli NBS proposti:

- Sfalcio piante aree di fitodepurazione per acque di prima pioggia (taglio, trasporto, carico, scarico e smaltimento in discarica);
- Sfalcio prato bacino di detenzione asciutto (taglio, trasporto, carico, scarico e smaltimento in discarica);
- Gestione caditoie (pulizia; trasporto, carico, scarico e spurgo in discarica);
- Personale per visite di controllo (visite periodiche, visite dopo eventi meteorici intensi).

Si sono assunti i medesimi valori parametrici riassunti in Tabella 10, con lievi modifiche in accordo alle soluzioni NBS proposte (biomassa aree di fitodepurazione 3 kg/m²; visite ordinarie all'anno con frequenza maggiore, ogni 2 mesi, dato l'alto valore fruitivo dell'area; 2 ore per visita).

ALTERNATIVA 3 e 4

I **costi d'investimento** per le alternative con infrastrutture grigie sono stati calcolati per mezzo di costi parametrici basati sull'esperienza di lavoro con gestori di dimensioni pari a Publiacqua. Le vasche di laminazione, assunte interrato, sono state dimensionate per contenere tutto il volume utile d'interesse per i diversi tempi di ritorno considerati. Il costo del canale di by-pass è stato stimato computando la lunghezza dei diversi tratti fognari proposti da Publiacqua (circa 1.7 km in totale, con diametri variabili da DN 600 a DN 2200).

I **costi di gestione** della vasca volano (Alternativa 3) sono stati calcolati stimando la spesa prevista dalle seguenti attività di manutenzione ordinaria principale:

- Rimozione materiale accumulato al fondo della vasca una volta ogni due anni (trasporto, carico, scarico, smaltimento in discarica);
- Energia per svuotamento con pompe delle vasche volano a fine evento, assumendo di svuotare la vasca in 24 ore;
- Personale per visite di controllo (visite periodiche; visite dopo eventi meteorici intensi), assunto pari a quello previsto per l'alternativa 2 con NBS.

Non è stato considerato alcun costo di gestione ordinario per il canale di by-pass (Alternativa 4).

SINTESI DEI RISULTATI

Per l'**Alternativa 1**, riguardante le soluzioni di retrofitting SuDS before-pipe, si è proceduto ad individuare gli interventi minimi necessari per gestire i volumi di laminazione target in modo graduale, considerando sempre gli interventi puntuali e incrementando il numero di interventi diffusi previsti.

Riguardo l'Alternativa 1 si evidenzia che:

- TR 2 ANNI (*Figura 36*): Le soluzioni di retrofitting SuDS before-pipe con parcheggi e strade al di fuori di particelle private sono potenzialmente sufficienti a laminare e rimuovere dalla rete i volumi di pioggia in eccesso, senza richiedere rimozioni di parcheggi (no interventi A) e con un numero ridotto di aree verdi con alberature significative (non tutti gli interventi C3 mappati). Sono quindi considerati solo gli interventi giudicati fattibili dal sopralluogo virtuale. In aggiunta agli interventi puntuali, si prevede la necessità di **n°79** interventi diffusi, corrispondenti ad un'area di retrofitting SuDS pari allo **0.9% del bacino drenato**.
- TR 5 ANNI (*Figura 37*): Le soluzioni di retrofitting SuDS before-pipe sono potenzialmente sufficienti a laminare e rimuovere dalla rete i volumi di pioggia in eccesso, ma è richiesta la rimozione di una quota parte dei parcheggi pubblici (5% - interventi A) e di lavorare anche sul verde pertinenziale lungo strada, escludendo però gli interventi sul pertinenziale con alberature (no interventi in strada o parcheggio privato C2 o C3). In aggiunta agli interventi puntuali, si prevede la necessità di **n°412** interventi diffusi, corrispondenti ad un'area di retrofitting SuDS pari allo **2.8% del bacino drenato**.
- TR 10 ANNI (*Figura 38*): Le soluzioni di retrofitting SuDS before-pipe sono potenzialmente sufficienti a laminare e rimuovere dalla rete i volumi di pioggia in eccesso, ma è richiesta la rimozione di una quota parte dei parcheggi pubblici (5% - interventi A) e di lavorare anche sul verde pertinenziale lungo strada con alberature meno significative (interventi C2). In aggiunta agli interventi puntuali, si prevede la necessità di **n°525** interventi diffusi, corrispondenti ad un'area di retrofitting SuDS pari allo **4.2% del bacino drenato**.

Si evidenzia come i risultati ottenuti siano perfettamente in linea con i range noti da letteratura. In accordo col SuDS Manual (Wood-Ballard et al. 2015), infatti, è noto che servano percentuali di copertura a SuDS variabili tra il 5 e il 10% del bacino drenato per avere effetti apprezzabili sulla laminazione di eventi di pioggia coi tempi di ritorno di 10 anni, mentre range più bassi dell'ordine di 1-5% del bacino drenato sono suggeriti se il target sono le piogge tipiche annuali fino ad eventi con tempo di ritorno 2 anni.



Figura 36: Alternativa 1, TR 2 anni (IRIDRA,2021)



Figura 37: Alternativa 1, TR 5 anni (IRIDRA,2021)



Figura 38: Alternativa 1, TR 10 anni (IRIDRA,2021)

I **costi di costruzione** sono riassunti in Tabella 12, da cui si possono evincere le seguenti considerazioni:

- l'uso di NBS *end-of-pipe* (alternativa 2) è la soluzione più economica per tutti e tre gli eventi di pioggia target (2,5 e 10 anni);
- i costi di investimento di interventi SuDS *before-pipe* (alternativa 1), nel caso di una pianificazione a larga scala per la loro realizzazione, hanno costi d'intervento per le sole aree SuDS comparabili con quelli della soluzione *end-of-pipe* Grey (alternativa 3);
- il canale di *by-pass* (alternativa 4) comincia ad avere costi di investimento comparabili con alcune delle altre alternative solo se il target è l'evento con tempo di ritorno 10 anni, ma mantenendo comunque un costo complessivo più alto;
- gli interventi di retrofitting SuDS diffusi *before-pipe* hanno costi d'investimento comparabili con le altre alternative solo se pianificati insieme ad interventi di manutenzione stradale ordinaria.

I **costi di gestione e manutenzione ordinaria (OPEX)** sono riassunti in Tabella 12, da cui si possono evincere le seguenti considerazioni:

- in linea generale, si può dire che i costi di gestione siano sufficientemente bassi per tutte le alternative considerate;
- la condotta di by-pass non comporta alcun costo di gestione e manutenzione ordinario;
- tra le alternative che prevedono una manutenzione aggiuntiva, l'uso di NBS end-of-pipe (alternativa 2) è la soluzione più economica per tutti e tre gli eventi di pioggia target (2,5 e 10 anni);
- i costi di gestione degli interventi diffusi (alternativa 1) sono i più alti tra le alternative previste ma, se si considerano anche i risparmi dovuti ad un cambio di vegetazione messa a dimora (minore frequenza di sfalci rispetto alle attuali aree verdi) e un diverso funzionamento delle fognature esistenti (minore frequenza di pulizia delle caditoie pluviali), tali costi risultano dello stesso ordine di grandezza di quelli stimati per la soluzione *end of pipe Grey* (alternativa 3).

CAPEX	Evento Tr 2 (699-mc)			Evento Tr 5 (2798 mc)			Evento Tr 10 (4058 mc)		
	CAPEX - SuDS [€]	CAPEX - manto stradale/ opere fognarie [€]	CAPEX - totale	CAPEX - SuDS [€]	CAPEX - manto stradale/ opere fognarie [€]	CAPEX - totale	CAPEX - SuDS [€]	CAPEX - manto stradale/ opere fognarie [€]	CAPEX - totale
Alternativa 1 (Solo before-pipe)	590,000 €	1,200,000 €	1,750,000 €	1,940,000 €	4,000,000 €	5,900,000 €	2,750,000 €	5,300,000 €	8,000,000 €
Alternativa 2 (Solo end-of-pipe NBS)	150,000 €	47,000 €	195,000 €	625,000 €	47,000 €	670,000 €	735,000 €	47,000 €	780,000 €
Alternativa 3 (Solo end-of-pipe Grey)	385,000 €	47,000 €	430,000 €	1,540,000 €	70,000 €	1,600,000 €	2,230,000 €	70,000 €	2,300,000 €
Alternativa 4 (By-pass Publiacqua)	- €	3,400,000 €	3,400,000 €	- €	3,400,000 €	3,400,000 €	- €	3,400,000 €	3,400,000 €

OPEX	Evento Tr 2 (699 mc)			Evento Tr 5 (2798 mc)			Evento Tr 10 (4058 mc)		
	OPEX SuDS [€]	Risparmio OPEX [€]	OPEX totale	OPEX SuDS [€]	Risparmio OPEX [€]	OPEX totale	OPEX SuDS [€]	Risparmio OPEX [€]	OPEX totale
Alternativa 1 (Solo before-pipe)	3,400 €	3,000 €	400 €	17,500 €	11,000 €	6,500 €	22,000 €	15,200 €	6,800 €
Alternativa 2 (Solo end-of-pipe NBS)	1,650 €	- €	1,650 €	1,650 €	- €	1,650 €	1,650 €	- €	1,650 €
Alternativa 3 (Solo end-of-pipe Grey)	2,300 €	- €	2,300 €	5,500 €	- €	5,500 €	7,500 €	- €	7,500 €
Alternativa 4 (By-pass Publiacqua)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €

Tabella 12: Riepilogo CAPEX e OPEX (IRIDRA,2021)

ANALISI MULTICRITERIALE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

L'analisi Multicriteriale, è un metodo di valutazione che è in grado di fornire una visione di sintesi, in cui appare evidente se accanto ad alcuni (sensibili) vantaggi, la stessa soluzione d'intervento porti a (seri) svantaggi. Con tale approccio è inoltre possibile comprendere quale grado di compromesso occorre accettare quando si preferisce una tipologia di intervento ad altre (*Tabella 13*).

I **Criteri** di valutazione esprimono cosa ci interessa riguardo al problema trattato: innanzitutto gli obiettivi che vogliamo raggiungere (nel nostro caso un contributo alla riduzione del rischio di allagamenti di via San Paolo), ma anche gli altri aspetti "secondari" che ci interessano (p.es. costi, impatti ambientali, etc.), che è necessario quantificare per procedere alla valutazione delle Alternative.

Giudizio	Valore
Molto Positivo	+++
Positivo	++
Abbastanza Positivo	+
Neutro	0
Abbastanza Negativo	-
Negativo	--
Molto Negativo	---

Di seguito si analizza ogni attributo in modo da evidenziare pregi, difetti ed opportunità di ciascuna alternativa proposta:

- **Potenziale criticità allagamenti**
- via San Paolo. Come mostrato nell'ambito di questo lavoro, tutte le alternative proposte sono in grado di dare contributi attesi come significativi in termini di riduzione del rischio di allagamenti; l'Alternativa 2 riceve un giudizio leggermente più basso rispetto alle altre alternative visto che, per motivi plano-altimetrici della rete fognaria, non è possibile deviare ed accumulare a gravità i volumi in eccesso con NBS nell'area del futuro parco San Paolo anche per il nodo C di via San Paolo, quello più prossimo all'attraversamento di viale Nam Dinh.

- A monte di via San Paolo. In termini di riduzione di possibili allagamenti locali sul quartiere San Paolo, un approccio SuDS diffuso (Alternativa 1) risulta l'unico in grado di dare benefici.
- **Miglioramento funzionamento fognatura**
- Riduzione volumi di pioggia in rete. In termini di riduzione dei volumi di pioggia in rete, un approccio SuDS diffuso (Alternativa 1) risulta l'unico in grado di dare benefici, dato che permette effettivamente di intercettare le acque di ruscellamento prima che le stesse finiscano in fognatura. Inoltre, tali sistemi, by-passando la rete fognaria esistente finché il volume di laminazione non è esaurito, attivano i pozzetti solo come troppo pieno verso la fognatura esistente. Dato che gli elementi SuDS diffusi sono dimensionati per massimizzare il volume di accumulo, dato l'obiettivo principale di laminazione, in accordo alle analisi delle piogge del Comune di Prato, tali soluzioni permetterebbero di evitare di mandare in fognatura almeno il 50% del volume di runoff generato dalla superficie impermeabile intercettata, se ci si limita al target con tempo di ritorno 2 anni, per arrivare fino a circa l'80% se il target diventa l'evento con tempo di ritorno 10 anni (35 mm in 30 minuti). Il giudizio per l'Alternativa 1 per tale attributo è, quindi, "Molto Positivo".
- Riduzione attivazione sfiori da fognatura mista non trattati. Il bacino del quartiere San Paolo è servito da una rete fognaria mista, contribuendo quindi all'attivazione degli sfioratori di piena a valle in tempo di pioggia e, quindi, a scaricare acque reflue che, per quanto diluite, veicolano carichi inquinanti significativi sia per l'effetto di dilavamento di prima pioggia delle superfici drenate, che per le acque nere domestiche. Di conseguenza, le Alternative 1, 2 e 3 contribuiscono tutte a ridurre lo sversamento di tali carichi inquinanti non trattati e sono giudicati "Molto Positivi".
- **Urbano e cittadinanza**
- Riqualficazione urbana. Le alternative che promuovono l'utilizzo di NBS possono tutte essere viste come una occasione per una riqualficazione urbana del quartiere.

In particolare, l'Alternativa 1, prevedendo tra gli 80 e i 500 piccoli interventi di retrofitting SuDS (a seconda dell'evento di pioggia target) ha un enorme potenziale per riqualificare su scala diffusa l'intero quartiere San Paolo, legandolo a tematiche quali la resilienza urbana e l'adattamento ai cambiamenti climatici. L'Alternativa 2, cioè l'intervento end-of-pipe NBS nel futuro parco San Paolo, condivide gli stessi principi, avendo però un impatto sul quartiere minore dato la natura di singolo intervento centralizzato in una sola area.

- Isole di calore. Un contributo positivo in termini di riduzione delle isole di calore è previsto per la sola Alternativa 1, dato che è l'unica a prevedere nuove aree verdi nel quartiere (Interventi diffusi A e B).
- Necessità di comunicazione alla cittadinanza. Va evidenziato come le soluzioni proposte di drenaggio urbano sostenibile, benché sempre più presenti nel dibattito degli esperti del settore, sono per lo più sconosciute all'opinione pubblica. Nel caso l'amministrazione decidesse di promuovere le alternative che le prevedono (Alternativa 1 e 2), si ritiene perciò importante accompagnare le successive fasi di progettazione e realizzazione ad una attenta comunicazione alla cittadinanza delle soluzioni SuDS. I cittadini non sono, tendenzialmente, contrari a tali soluzioni tecniche se queste sono opportunamente spiegate e disseminate. Al tempo stesso è probabile che, se questi interventi venissero realizzati con un approccio totalmente dal "alto" (top-down) senza campagne di informazione che li anticipino, i cittadini, vedendo aiuole e aree verdi che ricevono direttamente le acque di pioggia stradale, non capiscano gli interventi e in questo caso si potrebbero avere lamentele e campagne pubbliche e/o social negative per l'amministrazione. Al contrario, le soluzioni con infrastrutture grigie tradizionale non comportano alcun problema sotto quest'aspetto.
- Educazione ambientale. Le soluzioni NBS presentano un interesse anche per lo sviluppo di attività di educazione ambientale con scuole e/o associazioni ambientaliste o del territorio. In particolare, gli interventi proposti permetterebbero attività legate a temi quali i cambiamenti climatici, le soluzioni innovative di adattamento, il valore della natura e dei servizi ecosistemici.

L'Alternativa 2 ha ricevuto il giudizio più elevato dato che, inserendo l'intervento in un'area a parco, permetterebbe di avere un luogo di ritrovo e dal valore estetico maggiormente significativo, per cui è attesa una capacità di veicolare attività di educazione ambientale più significativa.

- **Ambiente**

- Supporto alla biodiversità. Le soluzioni NBS permettono, inoltre, di concorrere ad aumentare la biodiversità in ambiente urbano. Il contributo non è massimo dato che, nella famiglia delle soluzioni SuDS, quelle a maggior valore di biodiversità sono quelle con acque superficiali (stagni, zone umide), non previste nella proposta progettuale. Un contributo maggiore è atteso per l'Alternativa 1, data la maggiore diffusione sul quartiere delle soluzioni SuDS.
- Trattamento acque di prima pioggia. Le soluzioni NBS permettono di intercettare e trattare in modo efficace i carichi inquinanti veicolati dalle acque di prima pioggia. Le soluzioni SuDS diffuse di bioritenzione (Alternativa 1) intercettando e trattando le acque di prima pioggia prima che entrino in fognatura e si mischino alle acque nere. La fitodepurazione end-of-pipe (Alternativa 2) trattando le acque di sfioro in situ, prima di infiltrarle in modo controllato. La vasca volano (Alternativa 3) potrebbe essere progettata con funzionamento anche di vasca di prima pioggia, comportando medesimi benefici ambientali.
- Polveri sottili. Anche se con benefici limitati, dato che non si mettono a dimora nuove siepi o alberature, l'incremento della superficie a verde legata agli interventi SuDS diffusi (Alternativa 1, Interventi A e B) contribuisce ad aumentare la capacità di intercettazione delle polveri sottili generate nel quartiere San Paolo.
- Ricarica Falda. Gli interventi SuDS diffusi (Alternativa 1) permettono anche una infiltrazione delle acque di pioggia capillare sul quartiere, contribuendo, al pari di interventi di demineralizzazione classica (p.es. pavimentazione permeabili) a ristabilire una risposta idrologica del bacino urbano a condizioni pre-sviluppo. Un beneficio simile è atteso anche per le soluzioni NBS end-of-pipe (Alternativa 2), anche se con benefici minori dato che la derivazione delle acque nei punti di intercettazione avviene solo durante eventi meteorici intensi, limitando il quantitativo di acque di pioggia infiltrate soli a tali eventi.

- **Attuazione**

- Gradualità degli interventi. L'adozione di un approccio più olistico a scala di quartiere, con numerosi piccoli interventi diffusi (Alternativa 1), permette una maggiore flessibilità nella pianificazione per il finanziamento e la realizzazione degli interventi, vantaggio che le altre Alternative non hanno, prevedendo tutte singoli interventi risolutivi con un elevato investimento previsto.
- Numero di interventi. Di contro rispetto al precedente beneficio, rimane sicuramente più complicato raggiungere l'obiettivo del progetto, cioè contribuire a ridurre i rischi di allagamento del quartiere, se si hanno numerosi interventi da realizzare (Alternativa 1) rispetto a singoli interventi risolutivi (Alternativa 2, 3 e 4).
- Proprietà dei terreni. Il tema della proprietà dei terreni in concomitanza degli interventi previsti è complesso. Per l'Alternativa 1 è difficile dare un giudizio: se da un lato diversi interventi possono essere realizzati in autonomia da parte del Comune, essendo essi ricadenti in aree di proprietà comunale, è probabile che la totalità di interventi necessari per raggiungere l'obiettivo minimo di accumulare un volume pari a quello esondato con tempo di ritorno 2 anni richieda di fare accordi su aree verdi pertinenziali (su suolo pubblico, ma a gestione privata). Ciò è sicuramente preponderante se si vuole accumulare volumi generati da eventi di pioggia con tempi di ritorno maggiori di 5 e 10 anni. Le Alternative 2 e 3 vengono entrambe giudicate negativamente, dato che tuttora le aree del futuro Parco San Paolo non sono di proprietà pubblica. Anche per l'Alternativa 4, il canale di by-pass, si attendono problemi sotto questo aspetto, dato che è previsto che attraversi aree private.
- Approfondimenti conoscitivi idraulici. Delle Alternative studiate, l'unica in grado di procedere alle fasi successive senza ulteriori approfondimenti idraulici è il canale di by-pass, cioè l'unica per cui è presente una simulazione idraulica (studio di Publiacqua) che verifichi l'effettivo miglioramento di comportamento idraulico della rete e l'assenza di allagamenti a seguito dell'intervento progettato. Per le altre proposte progettuali, l'Alternativa 2 con NBS end-of-pipe: non essendo possibile intercettare per gravità il nodo C in prossimità di viale Nam Dinh, si rende necessario, nelle successive fasi di progettazione (o anche prima) verificare che la rimozione dei volumi veicolati nei nodi B e A a monte

lungo via San Paolo sia sufficiente a evitare fenomeni di rigurgito e allagamento lungo la via. Un discorso analogo, ma con un atteso minore impatto negativo, vale per le altre due Alternative.

- Costi d'investimento (CAPEX). Il canale di by-pass (Alternativa 4) è la soluzione meno conveniente in termini di costi d'investimento, mentre le soluzioni NBS end-of-pipe (Alternativa 2) sono le più economiche. L'approccio con interventi diffusi SuDS (Alternativa 1) ha costi d'investimento adeguati solo se tali interventi vengono pianificati in concomitanza dei lavori di manutenzione ordinaria delle strade.
- Costi di gestione e manutenzione ordinaria (OPEX). Il canale di by-pass (Alternativa 4) è la soluzione più conveniente, non comportando alcun extra-costi di gestione e manutenzione per il Comune. Al tempo stesso, i costi di gestione per manutenzione ordinaria sono piuttosto contenuti per le altre alternative, con valore leggermente minori per le soluzioni NBS end-of-pipe (Alternativa 2).

Criteri	Attributi	Alternativa 1 (Solo before-pipe)	Alternativa 2 (Solo end-of-pipe NBS)	Alternativa 3 (Solo end-of-pipe Grey)	Alternativa 4 (By-pass Publicacqua)
Potenziale riduzione criticità allagamenti	Via San Paolo	+++	++	+++	+++
	A monte di via San Paolo	+++	o	o	o
Miglioramento funzionamento fognatura	Riduzione volumi di pioggia in rete	+++	o	o	o
	Riduzione attivazione sfiori non trattati	+++	+++	+++	o
Urbano e cittadinanza	Riqualficazione urbana	+++	+	o	o
	Isole di calore	+	o	o	o
	Necessità comunicazione cittadinanza	-	-	+++	+++
	Educazione ambientale	++	+++	o	o
Ambiente	Supporto alla biodiversità	++	+	o	o
	Trattamento acque prima pioggia	+++	+++	+	o
	Polveri sottili	+	o	o	o
	Ricarica Falda	+++	+	o	o
Attuazione	Gradualità interventi	+++	---	---	---
	n° interventi	---	+++	+++	+++
	Proprietà terreni	+/-**	---	---	--
	Approfondimenti conoscitivi idraulici	-	---	-	+++
	CAPEX	+	+++	+	---
	OPEX	-	+	-	+++

*Esclusi i costi di realizzazione del manto stradale della superficie drenata

** Necessità di lavorare, di più o di meno in funzione del Tr obiettivo, su aree verdi lungo strada pertinentiali

Tabella 13: Riepilogo analisi multicriteriale (IRIDRA,2021)

VALUTAZIONE SINTETICA DELLE PROPOSTE

Tale analisi ha mostrato come soluzioni NBS, alternative agli approcci classici ingegneristici con infrastrutture grigie, possano concorrere a migliorare il comportamento idrologico ed idraulico del bacino urbano del quartiere San Paolo, con attesi benefici sulla riduzione dell'impatto dei fenomeni di allagamento che tuttora interessano via San Paolo anche per eventi meteorici a bassa intensità (tempo di ritorno 2, 5 e 10 anni).

- realizzare il canale di by-pass proposto da Publicacqua (Alternativa 4), che comporta una significativa spesa, risultando risolutivo della sola

componente idraulica senza permettere di mettere a disposizione della cittadinanza diversi servizi ecosistemici aggiuntivi, ma non comportando per il comune problematiche aggiuntive a quelle attuali;

- sfruttare il futuro Parco San Paolo (area di trasformazione At4_05 del Piano Operativo comunale) per concorrere ad alleggerire la rete fognaria di via San Paolo, volanizzando temporaneamente le acque in soluzioni convenzionali (vasca volano – Alternativa 3) o con NBS integrate nell'area parco (Alternativa 2). Benché i costi d'investimento risultino minori di quelli previsti per il canale di by-pass, rimane un singolo intervento con cifre significative da mettere a disposizione per la realizzazione; si ricorda che la soluzione NBS end-of-pipe proposta, allo stato attuale, non è prevista nell'inquadramento normativo di Regione Toscana, per quanto invece risulti fattibile ed in linea con altri regolamenti regionali di settore (p.es. Regione Lombardia), ed è quindi consigliato un tavolo tecnico preliminare coi soggetti interessati (Regione Toscana, ARPAT, Publiacqua) se si decidesse di percorrere questa opzione;
- adottare un approccio di più ampio respiro e lungo nel tempo, che porti a riprogettare le aree verdi diffuse e presenti sul bacino a monte di via San Paolo come elementi SuDS multiobiettivo (Alternativa 1), sfruttando l'occasione per una riqualificazione urbana del quartiere San Paolo stesso; nel medio-lungo periodo sono necessari centinaia di interventi prima che sia apprezzabile un beneficio concreto sui problemi di allagamento di via San Paolo, da pianificare nel tempo in concerto agli interventi di manutenzione stradale. Nel breve periodo, però, il comune potrebbe realizzare, con costi d'investimento bassi, dei primi piloti dimostrativi, in modo da verificarne il funzionamento coi tecnici comunali e permettere una migliore e più consapevole pianificazione futura.

E' importante evidenziare come le alternative progettuali proposte non debbano essere viste in totale antitesi tra di loro. Difatti, da un lato l'obiettivo primario è stato quello di studiare soluzioni per risolvere le problematiche di allagamento per gli eventi piovosi target, con tempo di ritorno 2, 5, e 10 anni. Al tempo stesso, realizzare più di queste soluzioni insieme non può che aumentare la resilienza del quartiere anche per eventi piovosi più significativi.

Come già analizzato in precedenza, un aspetto chiave da valutare per le 4 alternative proposte è sicuramente quello relativo agli approfondimenti conoscitivi. Infatti, l'obiettivo di questo lavoro di tesi è proprio quello di riadattare il modello idraulico attraverso il software EPA SWMM, e lanciare delle simulazioni al fine di verificare l'efficienza idraulica delle Alternative 1 e 3.

Il modello idraulico della rete fognaria è stato realizzato sul software INFOWORKS ICM, per cui il primo passo di questo lavoro è stato quello di ricostruire il modello su EPA SWMM.

CAPITOLO 4

MODELLAZIONE MATEMATICA DEI DEFLUSSI URBANI

I modelli di trasformazione afflussi-deflussi

Con la dicitura "trasformazione afflussi-deflussi" si fa riferimento all'insieme di tutti quei processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso, a partire dalla precipitazione meteorica e prima ancora che il deflusso stesso si incanali nella rete idrografica.

La risposta idrologica di un bacino è il frutto di processi climatici, ecologici e idrologici. Ognuno di questi processi deve essere valutato e modellato a opportuna scala spaziale e temporale. Pertanto, il fenomeno è influenzato da numerosi fattori: le caratteristiche del terreno, le condizioni di umidità del suolo all'inizio dell'evento, le modalità con cui evolve l'evento meteorico.

I principali fenomeni che determinano la risposta idrologica di un bacino sono i seguenti:

- il deflusso è generato da ciascuna area contribuyente di un bacino come risultato delle interazioni dinamiche tra le precipitazioni e l'umidità del suolo;
- il deflusso globale è dato dal contributo delle varie componenti di deflusso;
- i flussi di acqua sono incanalati all'interno della rete, come previsto dalla topologia della rete stessa.

I modelli di formazione dei deflussi hanno l'intento di fornire una descrizione matematica, più o meno dettagliata, dei processi idrologici che si svolgono nel bacino idrografico.

Data la complessità dei fenomeni e delle relazioni che influenzano e descrivono il reale comportamento di un bacino, si introduce un modello idrologico che ne approssima il comportamento reale attraverso alcune semplificazioni. In relazione alla loro struttura i modelli idrologici di trasformazione afflussi-deflussi possono essere classificati in:

- *Modelli idraulici*: basati prevalentemente su leggi empiriche. Sulla base di osservazioni sperimentali e di modelli analitici, tentano di simulare i singoli processi idrologici che vengono poi collegati da opportune relazioni matematiche.

Questi modelli offrono una parametrizzazione meno onerosa e soprattutto più facilmente determinabile da un'informazione qualitativa sulla litologia e sull'uso del suolo del bacino.

- *Modelli concettuali*: derivati da opportune schematizzazioni della reale dinamica dei fenomeni. Essi assimilano la trasformazione reale delle piogge in portate così da fornire una risposta simile. In questa categoria è possibile inquadrare modelli aventi strutture anche molto differenti: si possono identificare sia modelli molto articolati, simili a modelli idraulici, sia modelli come quelli lineari parametrici, di struttura semplice, vicina a quella dei modelli sintetici.
- *Modelli sintetici* (o a scatola chiusa o empirici): sono particolari modelli che non si prefiggono di riprodurre i processi idrologici e i fenomeni fisici che intervengono nella trasformazione afflussi-deflussi né

fisicamente né matematicamente. Essi considerano il sistema come una scatola chiusa (*black box*) sulla quale non viene fatta alcuna ipotesi.

La modellazione, perciò, si conclude nella ricerca di un operatore matematico che leghi tra loro, nel miglior modo possibile, ingresso ed uscita del sistema, ovvero l'afflusso meteorico con la portata che defluisce alla sezione di chiusura del bacino idrografico.

Al fine di determinare le portate che defluiscono alla sezione di chiusura del bacino idrografico è necessario conoscere la quantità di acqua che precipita sul suolo. Difatti, essa contribuisce con diverse modalità e con diversi tempi alla formazione delle portate.

I quattro meccanismi distinti che danno luogo al deflusso sono: afflusso diretto, deflusso superficiale, deflusso profondo e deflusso ipodermico.

L'*afflusso diretto* rappresenta l'aliquota del volume di pioggia che precipita direttamente sulle superfici liquide del bacino. E, siccome tale contributo risulta essere molto limitato, la portata relativa a tale contributo viene assimilata a quella relativa al deflusso superficiale.

Il *deflusso superficiale*, salvo il caso di bacini molto permeabili, rappresenta il contributo maggiore del deflusso complessivo; esso comincia a formarsi dopo un certo lasso di tempo dall'inizio dell'evento piovoso, in particolare, quando l'intensità di pioggia supera l'intensità di evapotraspirazione e di infiltrazione. Altri fattori che determinano il ritardo della formazione della portata sono: i caratteri geomorfologici del bacino idrografico (la dimensione del bacino, la natura geologica dei terreni, la destinazione d'uso e l'urbanizzazione dei suoli, la pendenza dei versanti, l'estensione e la struttura della rete idrografica, la tipologia e la consistenza della vegetazione, ecc.) e l'iniziale stato d'imbibizione del bacino.

Il *deflusso profondo* rappresenta l'aliquota dell'acqua che si infiltra nel sottosuolo. Bisogna, però, considerare che il moto delle acque filtranti avviene in modo molto lento, per cui il deflusso sotterraneo diventa portata con un forte ritardo rispetto all'inizio del fenomeno meteorico. Se si considerano periodi di tempo molto lunghi, infatti, si può notare che il deflusso profondo costituisce il principale contributo alla formazione del deflusso complessivo. Inoltre, il contributo di portata del deflusso profondo risulta essere molto più regolare rispetto a quello del

deflusso superficiale a causa dell'azione modulatrice che gli ammassi filtranti attraversati esercitano sulla portata del deflusso profondo.

Il *deflusso ipodermico* rappresenta la parte dell'acqua di pioggia infiltratasi nel terreno che scorre, più o meno parallelamente, alla superficie del suolo in uno strato superficiale spesso alcune decine di centimetri. L'entità di tale tipo di deflusso dipende dalle caratteristiche litologiche del bacino; risulta essere essenzialmente nullo quando il terreno è impermeabile e, in tal caso, non può esservi infiltrazione. Invece, quando il terreno è permeabile in profondità l'infiltrazione forma solo il deflusso profondo. Solitamente, il contributo del deflusso ipodermico viene accorpato con le portate dovute ai deflussi superficiali.

Tale accorpamento è dovuto principalmente a tre fattori:

- la costante di tempo di tale fenomeno risulta essere più vicina a quella tipica del deflusso superficiale rispetto a quella del deflusso profondo;
- complicato determinare con sufficiente approssimazione tale contributo;
- alcune ricerche condotte negli Stati Uniti hanno dimostrato che il contributo del deflusso ipodermico è rilevante solo in piene di piccola entità mentre nel caso di piene di grossa rilevanza esso risulta essere trascurabile.

La quantità di acqua di pioggia che si infiltra nel terreno dipende dalle condizioni iniziali della superficie, dalle caratteristiche idrologiche del primo strato di suolo e dal suo contenuto idrico. L'acqua che non può essere assorbita dal terreno si accumula in pozzanghere formate dalla scabrezza della superficie che quando si riempiono provocano ruscellamento superficiale. A seconda del contenuto idrico, lo strato di suolo può assorbire l'acqua o trasferirla allo strato sottostante. In presenza di una falda superficiale, inoltre, può esserci un apporto di acqua dagli strati più profondi per effetto della risalita capillare.

La determinazione dei deflussi causati dagli afflussi meteorici al bacino idrografico considerato costituisce uno dei problemi centrali dell'idrologia. Per determinare il bilancio idrico di un suolo è necessario prendere in considerazione tutti gli apporti e le perdite d'acqua lungo il profilo verticale di suolo. Considerando lo schema riportato nella *figura 39* come rappresentativo del bilancio idrologico di massa dell'acqua per una porzione elementare di un bacino idrografico, esso ha come ingresso fondamentale la precipitazione misurata in prossimità del suolo.

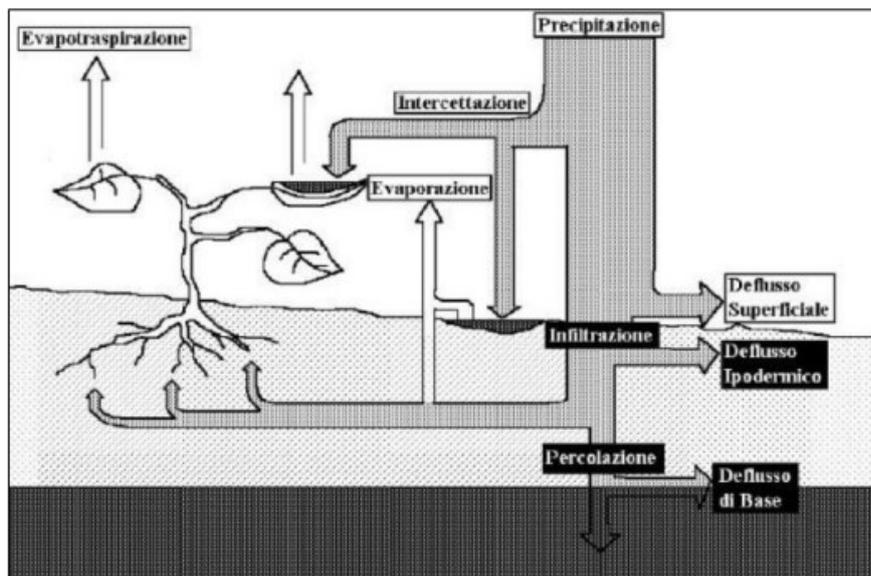


Figura 39: Bilancio idrologico (Giugni M, 2018)

La precipitazione viene: in parte intercettata dalla vegetazione, in parte si infiltra nel sottosuolo e, in parte ancora va ad accumularsi in piccoli invasi naturali e/o artificiali (pozzanghere, avvallamenti del terreno, impluvi artificiali); la parte rimanente, infine, dà luogo al deflusso superficiale che scorrerà in direzione della rete idrografica secondo le linee di massima pendenza del terreno.

La presenza di una coltura o di vegetazione spontanea causa delle perdite d'acqua nel suolo radicato per traspirazione e contemporaneamente diminuisce le perdite per evaporazione negli strati superficiali occultando la superficie del terreno. A seconda della tipologia di suolo, del suo contenuto idrico e della fase fenologica della coltura, l'acqua nel suolo è più o meno disponibile per la pianta, influenzando quindi la sua capacità traspirativa.

Il sistema suolo – vegetazione – quindi, rappresenta una naturale capacità di invaso che tende a ridurre la quantità di acqua precipitata, quale raggiungerà la rete idrografica denominata precipitazione efficace. Questa decurtazione dipenderà, in ogni istante, dalla capienza complessiva di tali invasi e che varierà nel tempo sia a causa del loro graduale riempimento durante prolungati eventi di pioggia, sia a causa di altri processi di trasferimento dell'acqua che agiscono nella configurazione suolo – atmosfera.

I diversi tipi di deflusso (superficiale, ipodermico e profondo) assumono una importanza relativa, che varia in funzione del tempo di risposta del bacino in esame. Per tempo di risposta del bacino s'intende l'intervallo di tempo trascorso fra l'inizio dell'evento meteorico e l'arrivo del colmo di piena alla sezione di chiusura. Questo dipende, in maniera sensibile, dall'estensione del bacino stesso e dalla lunghezza del corso d'acqua principale, nonché dal regime di quest'ultimo (torrentizio, fluviale, ecc.).

Quindi, avendo come fine principale la stima dei deflussi superficiali ed eventualmente ipodermici, la modellazione della trasformazione afflussi - deflussi si basa essenzialmente sul calcolo, a partire dalla distribuzione spazio-temporale delle piogge e delle perdite che queste subiscono per intercettazione e infiltrazione.

Le piante poi, attraverso le radici, assorbono l'acqua dal suolo e la trasmettono sotto forma liquida agli apparati fogliari. Dal mesofillo fogliare l'acqua liquida passa allo stato di vapore ed è allontanata dalla superficie sulla quale è avvenuto il passaggio di stato. Questo fenomeno viene indicato con il termine di *traspirazione*. Essa è funzione dell'apporto di energia, del gradiente verticale della tensione di vapore e della velocità del vento. L'*evaporazione*, che avviene in modo analogo, è il processo attraverso il quale l'acqua liquida passa allo stato di vapore ed è allontanata dalla superficie sulla quale è avvenuto il passaggio di stato.

L'energia necessaria al passaggio di stato è fornita, per la maggior parte, dalla radiazione solare con un contributo derivante dalla temperatura dell'aria circostante. Il tasso di evaporazione è legato alla differenza fra la tensione di vapore sulla superficie di evaporazione (vale a dire la tensione di saturazione) e quella dell'atmosfera circostante. Man mano che il fenomeno dell'evaporazione procede, l'aria circostante diventa gradualmente satura fino a che, nel caso in cui l'aria satura non venga allontanata dalla superficie di evaporazione per azione del vento, il processo si arresta. La radiazione solare, la temperatura dell'aria, l'umidità e la velocità del vento rappresentano, quindi, i parametri climatici fondamentali nel processo dell'evaporazione.

I fenomeni dell'evaporazione e della traspirazione avvengono simultaneamente e difficilmente possono essere distinti, perciò, si parla di *evapotraspirazione*.

La stima dell'evapotraspirazione influenza solo indirettamente la stima delle perdite legate alle piogge, tramite il bilancio di umidità del suolo da cui dipende il tasso di infiltrazione, e il bilancio d'acqua dei piccoli invasi da cui dipende l'intercettazione.

Il fattore di perdita, quantitativamente più rilevante è nella maggior parte dei casi legato al processo d'infiltrazione.

La modellazione del processo di trasformazione degli afflussi in deflussi si inserisce come componente fondamentale nella più generale modellistica per la ricostruzione e/o la previsione degli idrogrammi di piena, a partire dalla distribuzione spazio - temporale delle piogge che interessano il bacino. La trasformazione della pioggia al suolo in portata nella sezione di chiusura, si verifica secondo una cascata di processi, ognuno dei quali si può rappresentare attraverso un idoneo sotto-modello specializzato.

In particolare, l'ingresso principale al modello sarà costituito da una serie di misurazioni di pioggia, di tipo puntuale (registrazioni pluviometriche) e/o distribuito (radar meteorologico), che dovranno essere interpolate, tramite un adeguato modello estimativo per ottenere l'andamento delle precipitazioni lorde al suolo nello spazio e nel tempo in termini di afflussi per unità di area (ovvero con dimensioni di portata per unità di area).

La porzione di tali precipitazioni che andrà a formare lo scorrimento superficiale (ed eventualmente anche il deflusso ipodermico, nei limiti precedentemente accennati), detta anche precipitazione efficace o deflusso efficace, verrà stimata con un adeguato modello di trasformazione afflussi - deflussi, che stimerà la produzione di deflusso teorica in ciascun punto del bacino, avente questa ancora le dimensioni di una portata per unità di area.

Infine, il processo di raccoglimento dei deflussi superficiali nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo, fino alla sezione di chiusura, verrà riprodotto attraverso un opportuno modello di formazione dell'*onda di piena*. A causa dell'urbanizzazione si riscontra l'aumento del volume di deflusso diretto e un aumento della portata massima dovuti:

- all'aumento delle superfici impermeabili (strade, parcheggi, tetti, ecc.) che riduce complessivamente l'infiltrazione;
- alla trasformazione dei canali naturali in canali sotterranei, che riduce i volumi di invaso. La rete artificiale è idraulicamente più efficiente.

Come conseguenza la velocità del deflusso aumenta e la concentrazione è più rapida incrementando i picchi di piena. Dopo l'urbanizzazione il picco di piena aumenta ed è anticipato (Figura 40). Nonostante l'aumento del volume di deflusso diretto, la piena si esaurisce più rapidamente.

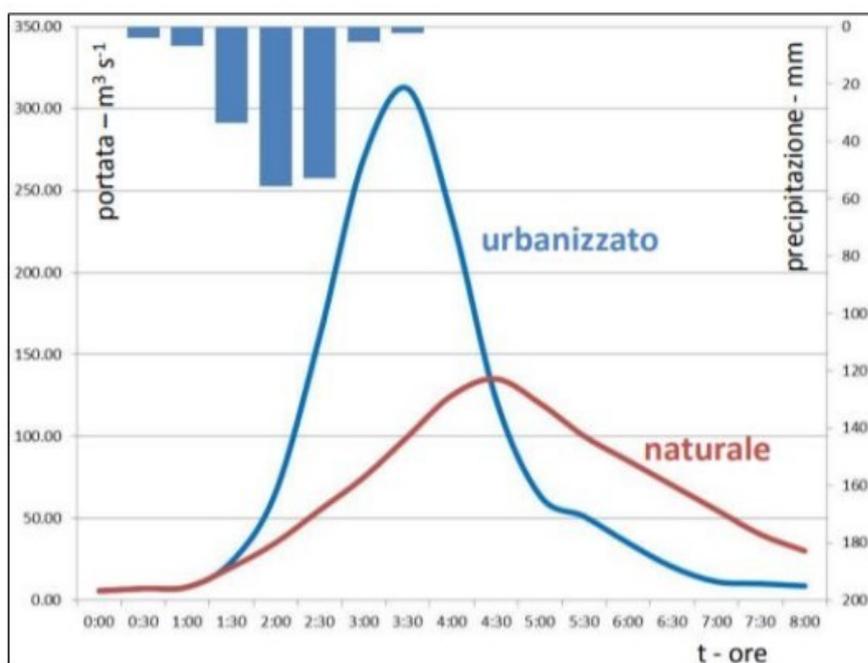


Figura 40: Differenza del picco di piena tra un suolo urbanizzato (linea blu) e uno naturale (linea rossa)
(Dalla Fontana G.C. 2013).

SOFTWARE EPA SWMM

SWMM (Storm Water Management Model ossia modello di gestione delle acque piovane), è un modello matematico di gestione delle acque meteoriche, capace di simulare la trasformazione afflussi-deflussi sia per singoli eventi (durata di poche ore) sia per quelli in continuo (durata di diversi giorni o mesi).

Il software è stato per la prima volta prodotto e sviluppato nel 1971, dal Water Supply and Water Resources Division dell'Environmental Protection Agency (US-EPA).

Il software SWMM è adottato in tutto il mondo per la pianificazione, l'analisi e la progettazione legata al deflusso delle acque di pioggia su reti fognarie miste o separate, oppure, su canali aperti che presentano sezioni irregolari, fognature sanitarie e altri sistemi di drenaggio nelle aree urbane, con molte applicazioni anche in aree extra urbane. Inoltre, col software si rappresentano i diversi processi idrologici che generano il deflusso delle aree urbane, tra cui: la variabilità delle precipitazioni nel tempo e l'evaporazione delle acque stagnanti in superficie, l'accumulo e lo scioglimento della neve, l'intercettazione della pioggia, l'infiltrazione delle acque meteoriche negli strati insaturi del terreno, la riduzione del deflusso tramite pratiche di infrastrutture verdi. L'analisi di tutti questi processi nello spazio si ottiene dividendo l'area di studio in una raccolta di aree più piccole e omogenee (sottobacini), ognuna avente delle opportune caratteristiche di permeabilità. Il flusso terrestre può essere instradato tra le sotto-aree, tra i sottobacini o tra i punti di entrata di un sistema di drenaggio. Questo modello è poi di tipo distribuito, poiché viene presa in considerazione la variabilità spaziale sia delle precipitazioni in ingresso al sistema e sia delle portate, nonché delle diverse proprietà del bacino.

Nella rappresentazione del sistema fognario è possibile gestire reti di estensione illimitata e usufruire di un'ampia scelta di forme di condotte e canali, oltre ad avere la possibilità di modellare strutture particolari di trattamento e stoccaggio. Il programma di calcolo SWMM lavora trasformando le piogge che precipitano sui sottobacini (nel software denominati subcatchments) in portata che defluisce attraverso una rete di canali e collettori, tubazioni, dispositivi di stoccaggio e sistemi di trattamento, pompe, orifizi e regolatori.

Il software è in grado di memorizzare le variazioni nel tempo delle proprietà relative al deflusso prodotto in ogni sottobacino, nonché, di registrare le modifiche che subiscono le portate che circolano all'interno dei collettori e dei canali.

Un ulteriore, e fondamentale, potenzialità del programma è di poter modellare i fenomeni legati al ciclo idrologico dell'acqua. Infatti, è possibile sottrarre alla portata entrante nel sistema di drenaggio, i contributi legati all'evapotraspirazione e all'infiltrazione del sottobacino.

Il programma è corredato da un ambiente integrato per la modifica dei dati d'ingresso dell'area di studio, l'esecuzione di simulazioni idrologiche, idrauliche e di gestione sulla qualità delle acque e, la visualizzazione dei risultati in una molteplicità di formati.

Quest'ultimi, includono aree di drenaggio di colore diversificato e mappe del sistema di trasporto e grafici e tabelle di serie temporali, grafici di profili e analisi statistiche di frequenza.



Figura 41: Ciclo Idrologico Urbano (EPA SWMM,2015)

In SWMM le varie grandezze sono considerate funzione dello spazio e del tempo e, nei diversi “subcatchments”, sono considerate globali. Difatti, come primo passo viene elaborato l'idrogramma in uscita da ogni singolo sottobacino. Ovviamente, quanto più è accurata la discretizzazione dei sottobacini tanto più si avrà una simulazione che è in grado di rappresentare precisamente il fenomeno fisico reale.

Il periodo di tempo impiegato per le simulazioni può riguardare un lasso di tempo esteso, comprendente numerosi eventi meteorologici intervallati da fasi di tempo di asciutto, perciò si possono svolgere delle simulazioni di tipo continuo anche per lunghi periodi.

Nel programma è possibile progettare o verificare le reti di drenaggio, oppure svolgere delle valutazioni idrologiche e idrauliche. Infatti, esso implementa i principi di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto, inoltre presenta la possibilità di realizzare calcoli e simulazioni idrauliche attraverso l'integrazione numerica e la risoluzione completa delle equazioni di

De Saint Venant, su una rete di canali o condotte sollecitata da eventi meteorici avendo, anche, la possibilità di monitorare diverse tipologie di inquinanti.

STRUTTURA DEL PROGRAMMA

Come è possibile osservare dalla *figura 42*, il funzionamento di una rete di drenaggio in SWMM si basa sullo scambio di flussi di acqua e di materiali tra i quattro diversi comparti:

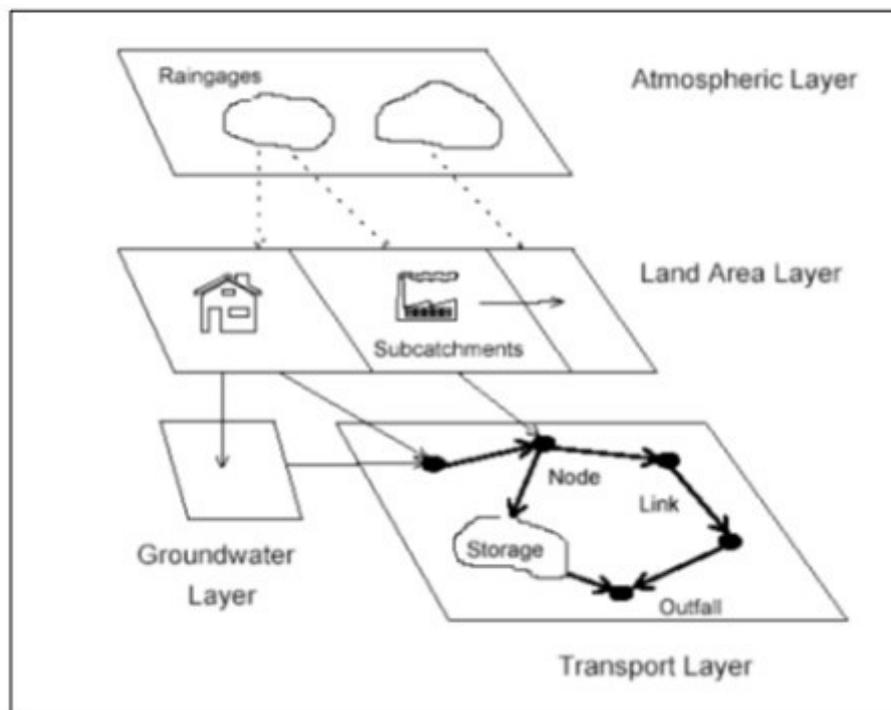


Figura 42: Funzionamento della rete, i comparti "layer" (EPA SWMM, 2015)

Nel comparto atmosfera (atmospheric layer) si genera l'evento atmosferico (pioggia o neve) che determina il deflusso superficiale o l'infiltrazione nel blocco "superficie terreno". In questo comparto si definiscono i valori di

pioggia che la simulazione utilizza per le precipitazioni sul bacino. Gli oggetti principali utilizzati per modellare il processo di precipitazione/deflusso sono i misuratori di pioggia “Rain Gage”. Lo scioglimento della neve (Snowmelt) è modellato con oggetti “Snow Packs” posizionati sopra i sottobacini. Il comparto superficie terreno (land area layer) è rappresentato da uno o più sottobacini che ricevono la precipitazione (pioggia o neve) dal comparto atmosfera. Inoltre, i sottobacini inviano il deflusso sotto forma di evaporazione nel blocco “atmosfera”, sotto forma di infiltrazione nel comparto delle “acque sotterranee” oppure di deflusso superficiale e carichi inquinanti in quello “trasporto”.

Il comparto acque sotterranee (groundwater layer) riceve l’infiltrazione dal blocco “superficie terreno” e trasferisce una parte di questo afflusso al blocco di “trasporto” come intercettazione delle acque sotterranee. Gli oggetti “Aquifers” posizionati sotto i sottobacini sono usati per modellare il flusso delle acque sotterranee. Il comparto trasporto (transport layer) contiene l’insieme degli elementi di convogliamento (canali, condotte, impianti, tubi, pompe e regolatori) e delle unità di stoccaggio/trattamento che convogliano le acque verso le strutture di trattamento o direttamente ai nodi di uscita. Il programma SWMM adotta una rappresentazione della rete che si basa su una geometria costituita da collegamenti (Links) e nodi (Nodes), i quali connessi fra di loro permettono una riproduzione di tipo idraulica dell'intero sistema di deflusso. Nel comparto trasporto si esegue il calcolo della propagazione nel sistema, optando tra varie opzioni: moto uniforme, onda cinematica e moto vario, basati sulla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant. Con quest'ultima opzione il programma permette di eseguire i calcoli in maniera più rigorosa, poiché vengono modellati anche i fenomeni di rigurgito, moto a pelo libero, moto in pressione e inversione del flusso nei collegamenti.

Il software SWMM è suddiviso in due moduli. Uno di servizio, e uno computazionale di tipo idrologico-idraulico.

Il primo modulo, quello di servizio, è a sua volta ripartito in una serie di comparti che consentono di elaborare i risultati ottenuti. Infatti, si possono eseguire operazioni statistiche sui valori ottenuti dalle simulazioni attraverso il modulo statistico (Statistics Block); gestire i dati meteorologici e climatici da inserire nel software, i quali sono utilizzati nel corso di simulazioni in continuo con il modulo temperatura (Temperature Block) e modulo pioggia (Rain Block); gestire i risultati ottenuti attraverso i grafici e le stampe nel modulo grafico (Graph Block); sistemare i valori d’uscita dal programma così da poter aggregare i dati utilizzabili dai moduli in cascata con il modulo combinatore

(Combine Block). Ai moduli di servizio appartiene anche il modulo esecutivo (Executive Block), il quale manipola i file d'interfaccia tra i vari blocchi e il blocco, oppure la sequenza di blocchi, da eseguire.

Il secondo modulo, ossia quello computazionale, contiene quattro moduli con i relativi simulatori di processo idrologico e idraulico: un modulo di deflusso superficiale (Runoff Block) per la modellazione del deflusso superficiale; un modulo di propagazione nella rete dell'Onda Cinematica (Transport Block) per il calcolo della propagazione in rete con la schematizzazione dell'onda cinematica.

Un terzo è il modulo di propagazione nella rete del Moto Vario (Extran Block) di calcolo dinamico basato sulla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant che governano il fenomeno idraulico di propagazione all'interno della rete; infine un modulo di Trattamento e Depurazione (Storage/Treatment Block) che descrive i processi all'interno di un impianto di trattamento.

Il Runoff Block è il primo passo di una simulazione in SWMM. Il modulo riceve in ingresso i dati meteorologici registrati dal Rain Block e dal Temperature Block, oppure si possono introdurre degli ietogrammi – con intensità o volume di pioggia e con tempo o precipitazione totale espressa in mm/tempo – realizzati dall'utente. Il modulo Runoff studia il processo afflussi-deflussi impiegando un approccio basato sulla tecnica dei serbatoi non lineari, con una opzione per il calcolo del contributo dell'acqua proveniente dallo scioglimento della neve. Inoltre, vengono analizzati i processi di infiltrazione e di evaporazione, così da poter ottenere come risultato il tracciamento dell'idrogramma per ogni ramo della rete analizzata. Il modulo si può impostare per realizzare simulazioni per periodi temporali che vanno dai pochi minuti agli anni. Runoff offre anche la possibilità di simulare la qualità delle acque, in termini di analisi dei processi di spostamento dei contaminati dalle superfici scolanti alla rete di fognatura o di scolo. L'output di questo modulo consiste in idrogrammi che fungono da ingresso alla rete di drenaggio.

Il Transport Block, che può seguire il lancio del Runoff Block, modella invece il comportamento qualitativo e quantitativo della rete, attenendo il calcolo idraulico sulla schematizzazione dell'onda cinematica. L'analisi qualitativa è basata su cinetiche del primo ordine, con criteri di Shield sull'inizializzazione del moto. I risultati consistono in livelli, in portate e concentrazione di sostanzecontaminanti per ogni componente della rete, schematizzata in un sistema di rami e nodi.

Lo Storage/Treatment Block può simulare fino a tre inquinanti in un serbatoio contenente, a sua volta, fino a cinque unità o processi. Il modulo, poi, simula i processi di decadimento del primo ordine associati a una miscelazione completa, funzioni di rimozione e di dinamica di sedimentazione. Inoltre, è possibile prevedere i costi di avvio e di gestione e di manutenzione per ogni unità di trattamento.

L'Extended Transport Block – anche detto Extran Block – costituisce il cuore idraulico del programma di calcolo SWMM. Infatti, esso permette di modellare la propagazione dei deflussi all'interno della rete attraverso la risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant. È un modulo completo per la simulazione delle reti ramificate o a maglia. Sono modellati anche i fenomeni di rigurgito, le inversioni del flusso nei rami, i moti a pelo libero e in pressione. Extran Block adotta una raffigurazione topologica della rete basata su una geometria di rami e nodi. Quest'ultimi presentano opportune caratteristiche efficacemente configurabili che, se combinate tra loro, sono in grado di descrivere idraulicamente l'intera rete di deflusso. Nella rappresentazione utilizzata dal modulo, i rami sono essenzialmente i condotti della rete fognaria o i canali nel caso di sezioni aperte. Essi consentono di estendere le portate da un nodo all'altro. I nodi rappresentano i pozzetti presenti nel sistema fognario (nel caso dei collettori fognari) o i punti di intersezione dei rami (nel caso dei canali a cielo aperto). Nei nodi sono concentrate le portate in ingresso provenienti dal Runoff Block, generate a partire dal modello afflussi-deflussi, e le portate uscenti dalla rete. L'utilizzo del modulo Extran è preferibile qualora fosse necessario riportare le condizioni di rigurgito e di inversioni di flusso, nonché quando siano presenti organi speciali di regolazione come: sfioratori, pompe e bacini d'accumulo. Mentre, per la simulazione dei canali e delle piccole condotte nelle aree più a monte del sistema, dove meglio reggono le assunzioni di serbatoi non lineari in cascata e di moto uniforme, si addice meglio alle caratteristiche dei moduli di Runoff e Transport, i quali essendo più semplici permettono una migliore capacità computazionale (minore tempo di simulazione, minore capacità di calcolo, ecc.).

All'avvio del software EPA SWMM, si presenta un'interfaccia come si riporta in *figura 43*, nella quale sono riportati i principali comandi per la rappresentazione del modello. Durante la fase di progettazione iniziale vengono inserite le informazioni a disposizione riguardanti la morfologia del territorio, la conformazione della rete di drenaggio ed i dati riguardanti gli eventi atmosferici.

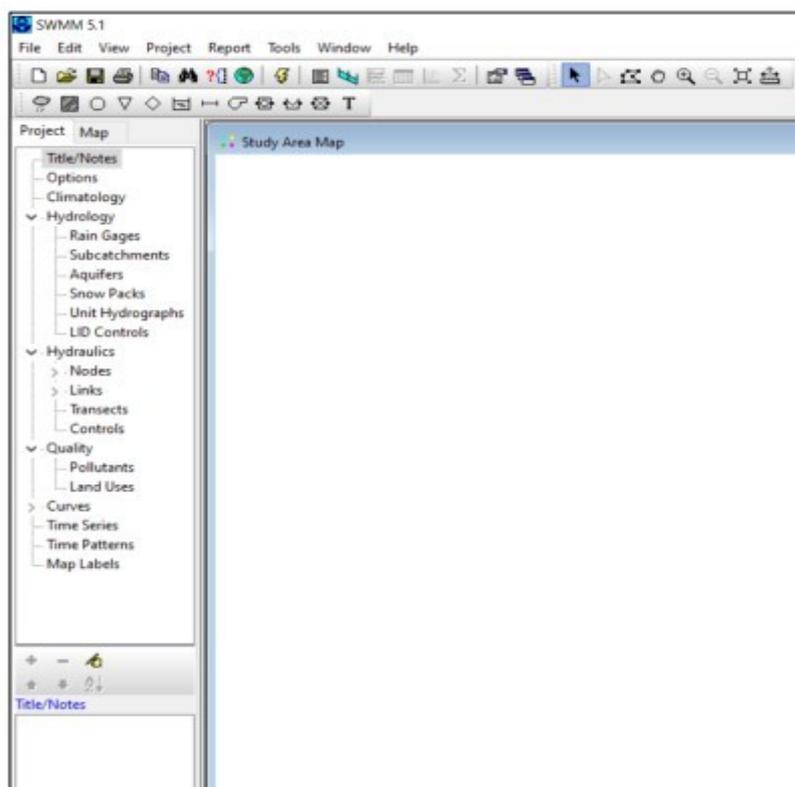


Figura 43: Interfaccia iniziale (EPA SWMM,2015)

Il programma è suddiviso in 3 moduli di progetto principali, come riportato in figura 44:

- modulo idrologico (Hydrology);
- modulo idraulico (Hydraulics);
- modulo di qualità (Quality);

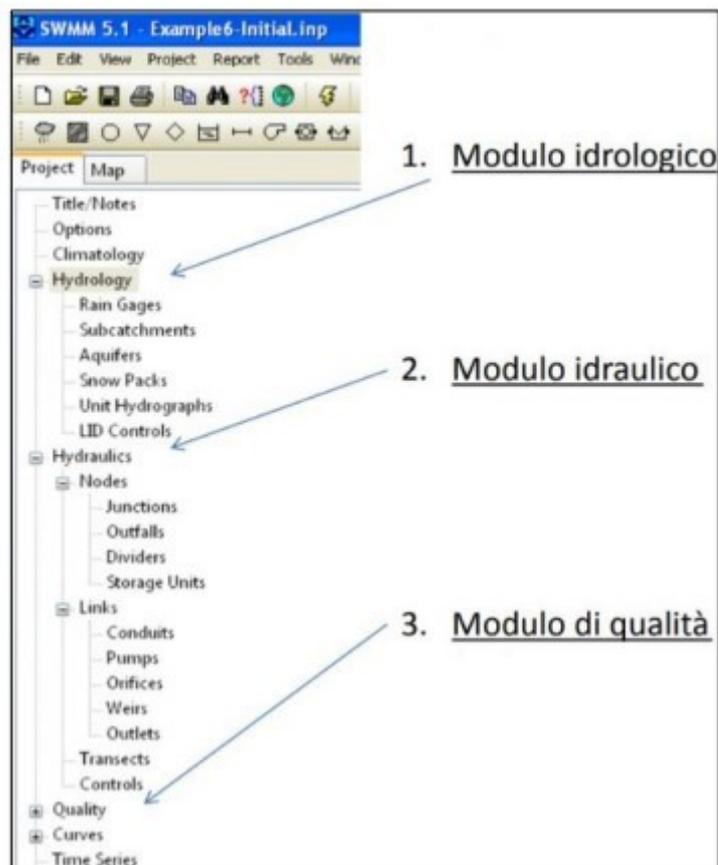


Figura 44: I moduli di progetto (EPA SWMM,2015)

Il modulo idrologico stima le portate prodotte da un determinato evento di precipitazione e descrive il territorio come un mosaico di sottobacini ciascuno dei quali ha una caratterizzazione dimensionale e funzionale. Al suo interno si trovano i seguenti comandi:

- Pluviometri (Rain Gages) *Figura 45*: forniscono le informazioni relative all'intensità delle precipitazioni, in funzione del tempo, sui bacini. Tali dati possono essere inseriti manualmente sottoforma di serie temporali attraverso appositi editor, oppure caricati da un file di testo esterno. Le principali proprietà in input comprendono informazioni riguardanti: l'intensità o il volume della pioggia e anche l'intervallo di registrazione dei dati (ogni ora, 30 minuti, 15 minuti, ecc).
- Sottobacini (Subcatchments): costituiscono delle porzioni di territorio che intercettano le precipitazioni e generano il deflusso che volge verso un

punto di uscita. È possibile aggiungere n sottobacini disegnando n poligoni con il mouse sulla mappa e, poi, per ogni sottobacino sarà l'utente a decidere il punto di uscita di ogni area, che può essere un nodo del sistema di drenaggio o un sottobacino adiacente.

Ciascun subcatchment viene suddiviso in porzioni permeabili e impermeabili, in cui il deflusso potrà o meno infiltrarsi. L'infiltrazione può essere tenuta in conto adottando uno tra i metodi di calcolo suggeriti: Horton, Horton modificato, Green-Ampt, Green-Ampt modificato e il Curve Number. Le proprietà fondamentali che l'utente deve assegnare ai sottobacini, per definire integralmente il sottobacino stesso, sono: la precipitazione a cui esso è soggetto (Rain Gage), i nodi del sistema di drenaggio che ricevono afflusso da esso (Outlet), l'area espressa in ettari (Area), la larghezza equivalente del sottobacino (Width), impermeabilità (%Zero-Imperv), pendenza media della superficie (%Slope), numero di Manning sia per la parte impermeabile (N-Imperv) che per quella permeabile (N-Perv) e il depression storage sia per la parte impermeabile (Dstore-Imperv) che per quella permeabile (Dstore-Perv). Inoltre, esiste anche un apposito editor di gruppo che permette di impostare lo stesso evento di pioggia a tutti i sottobacini dell'area di lavoro.

- **Acquiferi (Aquifers):** sono un'area del sottosuolo che ricevono le infiltrazioni dal sottobacino sopra di essi e scambiano il flusso delle acque sotterranee con un nodo del sistema di trasporto.
- **Accumulo di neve (Snow Packs):** è la neve accumulata che copre un sottobacino.
- **Unità idrografiche (Unit Hydrographs):** sono una funzione di risposta che descrivono la quantità di afflusso/infiltrazione di fognature generata nel tempo per unità di pioggia istantanea.
- **Controlli LID (LID Controls):** l'acronimo LID sta per low-impact development (sviluppo a basso impatto). Rappresentano l'insieme di strategie e tecniche adottate nella gestione sostenibile delle acque meteoriche. Il loro scopo è quello di controllare le acque di pioggia tramite tecnologie a basso impatto che imitano i normali processi naturali e che mirano al mantenimento del regime idrico presente prima dell'urbanizzazione. Tra le varie tecnologie utilizzate per ridurre il deflusso superficiale attraverso una maggiore infiltrazione vi sono: le aree di bioretensione, le pavimentazioni porose o i ricoprimenti vegetativi, i sistemi di trincea, ecc.

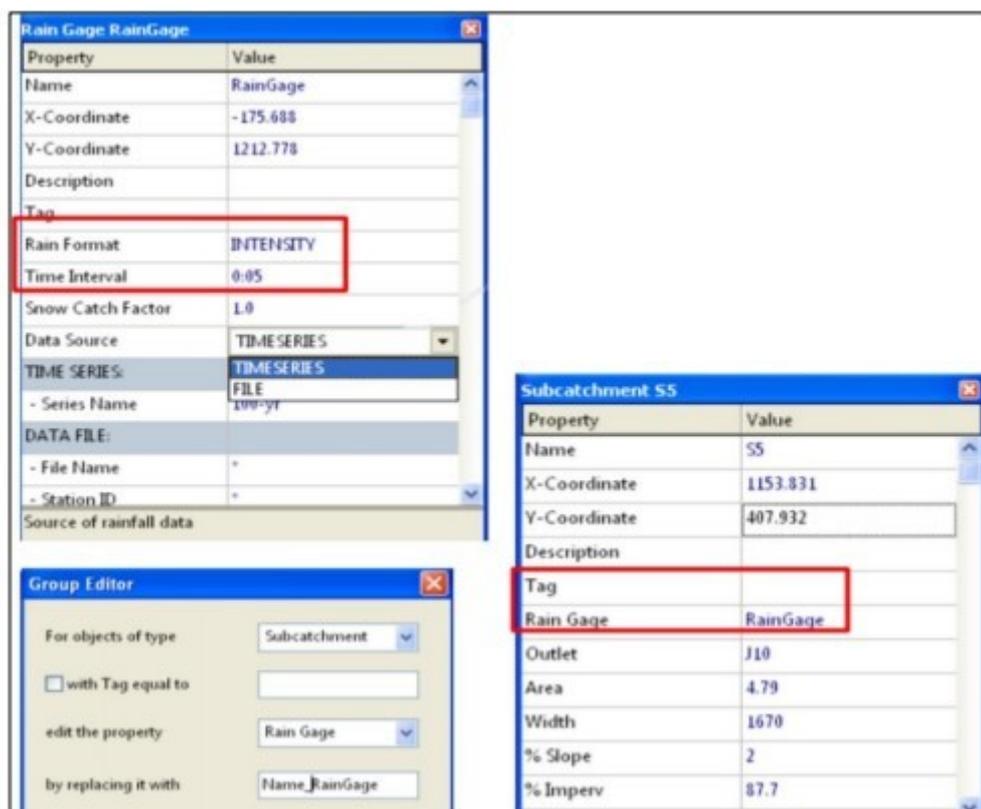


Figura 45: Pannello Rain Gage (EPA SWMM,2015)

Il modulo idraulico contiene un set flessibile di comandi che permettono di realizzare la modellazione idraulica del sistema di drenaggio. È utilizzato per incanalare le portate (bianche o nere) attraverso una rete idraulica costituita da: tubazioni, canali a pelo libero, vasche, sfioratori, unità di stoccaggio/trattamento e strutture di diversione. Il programma SWMM utilizza una schematizzazione di collegamenti (o rami) e nodi per rappresentare la rete di scolo delle acque, favorendo così la riproduzione discreta del modello fisico e la soluzione matematica delle equazioni di De Saint Venant che sono le basi matematiche del modello e del blocco Extran.

La rete di drenaggio è idealizzata come una successione di rami, ciascuno dei quali ha una determinata geometria, che si collegano tra loro in corrispondenza dei nodi. Le proprietà costanti associate ai collegamenti sono: il tipo di sezione, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza; quelle ottenute ad ogni passo di calcolo sono invece: la portata, la velocità, l'area bagnata, il raggio idraulico e la larghezza del pelo libero. Le ultime tre sono in funzione del livello idrico

istantaneo. La variabile indipendente fondamentale nei collegamenti che si assume costante in ogni passo di calcolo è la portata Q .

La velocità e l'area bagnata del flusso, o il livello, sono invece grandezze variabili nello stesso. Le proprietà costanti e associate ai nodi sono: la quota di scorrimento e la quota di immissione (o emissione) del collegamento rispetto al fondo; quelle ottenute ad ogni passo di calcolo e funzione del livello idrico nel nodo sono: il volume, l'area superficiale libera e il carico idraulico totale H . La variabile indipendente fondamentale nei nodi, variabile nel tempo ma costante nel singolo nodo durante un passo di calcolo, è il carico idraulico totale. La variazione di volume nel nodo durante un certo passo di calcolo costituisce la base per i calcoli seguenti di portata e di carico idraulico totale.

NODI

I Nodi (Nodes) rappresentano la confluenza dei canali superficiali o, nel caso si adottasse il programma per sistemi fognari, dei pozzetti (giunzioni, bocche di scarico, deviatori di flusso, unità di stoccaggio). È possibile aggiungere i nodi di connessione semplicemente posizionandoli con il mouse sulla mappa. I principali parametri di input per definire un nodo sono:

- la quota dal fondo (Invert Elevation);
- la quota del terreno;
- gli eventuali afflussi in ingresso dall'esterno (Inflows);
- l'area inondata durante l'allagamento (Ponded Area).

Gli elementi che fanno parte della voce "nodi" sono i seguenti:

- Giunzioni (Junctions) : sono i punti in cui i "links" (tubazioni, condotte e canali) si uniscono tra loro con un volume di stoccaggio trascurabile.
- Bocche di scarico (Outfalls) : rappresentano i nodi terminali della rete dai quali l'acqua viene scaricata e convogliata in un corpo recettore con elevazione della superficie dell'acqua nota. Al contrario delle giunzioni gli outfalls possono essere collegati ad una sola condotta.
- Deviatori di flusso (Dividers) : sono elementi, del sistema di trasporto, che consentono di dividere la portata in due condotti distinti. Possono avere al più due elementi collegati sul lato di scarico. Questi particolari nodi vengono considerati tali solo nel caso del modello dell'onda cinematica con flusso costante mentre vengono ridotti a delle semplici giunzioni nel caso del modello dell'onda dinamica. In base a come vengono deviati gli afflussi, esistono quattro diversi tipi di deviatori di flusso: cutoff divider, tabular divider, overflow divider e weir divider.

La portata che viene deviata attraverso i deviatori di flusso è calcolata con la seguente relazione:

$$Q_{div} = C_w \cdot \left(\frac{Q_{in} - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}} \cdot H_w \right)^{1,5}$$

dove: **C_w** è il coefficiente di sbarramento, **Q_{in}** è la portata entrante nel deviatore, **Q_{min}** è il valore di portata per cui inizia la separazione, **H_w** è l'altezza di sbarramento e **Q_{max}** è il valore di portata massima, calcolata come:

$$Q_{max} = C_w * H_w^{1.5}$$

- Unità di Stoccaggio (Storage Units) : sono nodi del sistema di drenaggio che garantiscono un volume di accumulo (stagni, laghi, ecc.). Possono riprodurre sia delle strutture di stoccaggio molto piccole che molto grandi. Oltre a consentire l'entrata e lo scarico dell'acqua, essi considerano anche l'evaporazione superficiale e l'infiltrazione nel suolo.

I COLLEGAMENTI O RAMI

I Collegamenti (Links) sono elementi che permettono il transito dell'acqua da un nodo all'altro del sistema. Ogni ramo è schematizzato come un condotto con caratteristiche costanti di forma, lunghezza, pendenza, scabrezza, ecc. La forma del canale può essere scelta utilizzando un apposito menù del programma (*figura 48*), grazie al quale è possibile selezionare una serie di sezioni di formati standard. Inoltre, sono da specificare il nodo di entrata (Inlet Offset) e di uscita (Outlet Offset) della condotta.

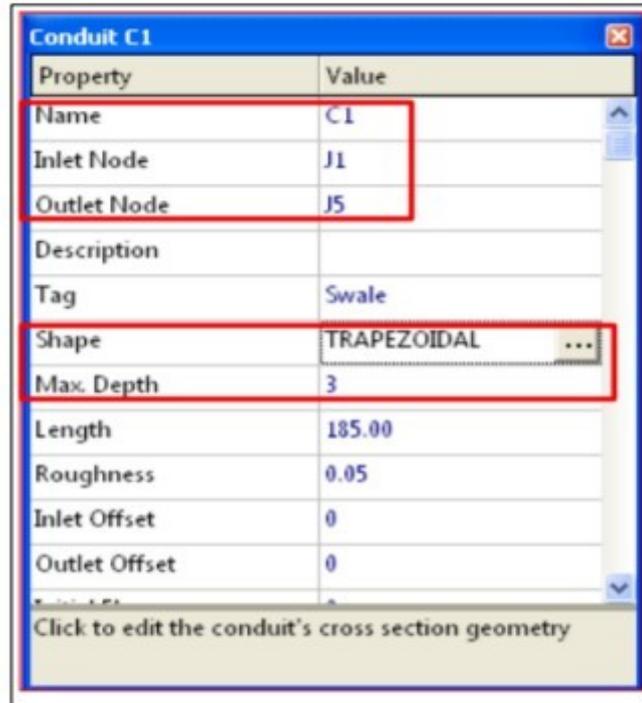


Figura 46: Pannello setting condotte (EPA SWMM,2015)

Gli elementi che fanno parte della voce “collegamenti” sono i seguenti:

- **Condotte (Conduits):** sono dei tubi o canali che trasportano l’acqua da un nodo a un altro del sistema di trasporto. Possono avere forme diverse: rettangolare, trapezoidale, triangolare, circolare, ellittica, ad arco, parabolica, a ferro di cavallo, irregolare, ecc. (figura 47). Solitamente, la maggior parte dei tubi di drenaggio sono di forma circolare e i canali di scolo hanno tradizionalmente geometrie ellittiche o ad arco. Per il calcolo della portata nei condotti, il programma SWMM si serve dell’equazione di Manning:

$$Q = \frac{1,49}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

dove: Q è la portata che circola nella condotta, A è l'area della sezione trasversale, R è il raggio idraulico, S è la pendenza, n è il coefficiente di Manning. La pendenza S , a seconda del modello di flusso utilizzato, viene considerata come pendenza della condotta o pendenza della perdita di carico dovuta all'attrito.

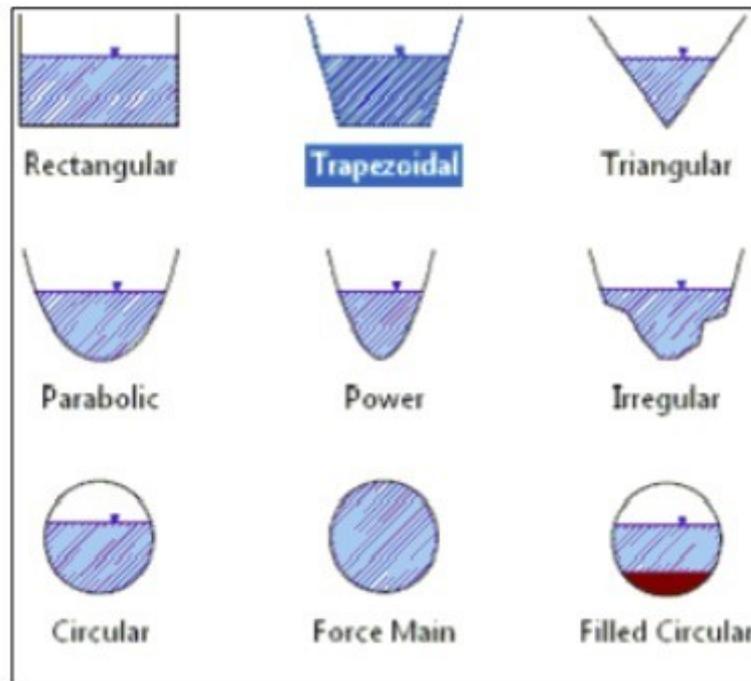


Figura 47: Le diverse tipologie di condotte (EPA SWMM,2015)

- Pompe (Pumps): sono degli impianti adottati per sollevare l'acqua a quote più elevate. Infatti, può capitare che non sia possibile, per diverse ragioni, costruire delle fognature che funzionino a gravità. Il software SWMM supporta cinque diversi tipi di funzionamento della pompa.
- Orifizi (Orifices): sono sistemi che hanno il compito di modellare le strutture di scarico e di deviazione nei sistemi di drenaggio dirigendo e regolando il flusso tra due nodi del sistema di trasporto. Nel programma, essi, fungono da collegamento tra due nodi e possono avere forma rettangolare o circolare ed essere posizionati in basso o a lato del nodo a monte. La portata attraverso un orifizio che risulta essere completamente aperto viene calcolata come:

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

con: Q è la portata, C è il coefficiente di scarico, A è la sezione dell'apertura dell'orifizio, g è l'accelerazione di gravità, h è la differenza di carico tra il nodo di valle e quello di monte.

- Sbarramenti (Weirs) : sono sistemi che permettono di modellare gli scolmatori/sbarramenti posizionati all'interno della rete di drenaggio (in un tombino o lungo il lato di un canale) o nei serbatoi. Allo stesso modo degli orifizi, rappresentano un collegamento per incanalare e regolare il flusso tra due nodi del sistema di trasporto. Talvolta si possono verificare delle inversioni di flusso per cui può essere necessario inserire una valvola di non ritorno. Nel software esistono cinque differenti tipologie di sbarramenti, ognuno dei quali ha una relazione differente per il calcolo della portata.
- Uscite (Outlets): sono dei dispositivi che controllano la portata uscente dai serbatoi di accumulo, dotati in alcuni casi di una valvola di non ritorno, per confinare il flusso in una sola direzione. Nel software vengono rappresentati come collegamenti tra due nodi.

Il modulo qualità definisce uno o più inquinanti presenti nei sottobacini, classificandoli alla classe di suolo di appartenenza, valutandone l'origine e la propagazione lungo la rete. Tale modulo presenta due comandi principali:

- il comando Inquinanti (Pollutants): con il quale il software SWMM riesce a simulare l'origine e il percorso intrapreso lungo la rete da ogni inquinante che si può accumulare ed essere allontanato dalla superficie del sottobacino o essere introdotto direttamente nel sistema di trasporto. Per la loro definizione è opportuno stabilire l'unità di misura, la concentrazione nelle piogge, nelle acque superficiali e in quelle sotterranee. L'accumulo e il dilavamento di inquinanti sono funzione degli usi del suolo.
- il comando Usi del suolo (Land Uses): con il quale si è in grado di fornire determinate caratteristiche ai sottobacini. Inoltre, con questo comando si possono caratterizzare le funzioni che descrivono l'accumulo e il lavaggio di sostanze inquinanti nei vari sottobacini. Alcuni esempi sono i suoli residenziali, commerciali, industriali e non sviluppati.

OPZIONI DI SIMULAZIONE

Dopo che un'area di studio è stata opportunamente descritta è possibile simulare la sua risposta al deflusso, al flusso e al comportamento della qualità dell'acqua. Il software ha una serie di opzioni che controllano il modo in cui viene eseguita la simulazione. I processi fisici, che compaiono durante il ciclo idrologico, si possono modellare impostando determinate opzioni di simulazione (Simulation Options). Tra le varie categorie di opzioni che si possono settare dal menù a tendina (*figura 48*) vi sono quelle:

- Generali (General): in cui si impostano i valori per le seguenti opzioni: modello di processo (Process Models), modello d'infiltrazione (Infiltration Model) e modello di propagazione (Routing Model);
- Date (Dates): in cui si impostano la data e l'ora di inizio e fine della simulazione nonché la data e l'ora del giorno in cui deve iniziare il report dei risultati della simulazione.
- Intervalli di tempo (Time Steps): in cui viene scelta la lunghezza delle fasi temporali utilizzate per il calcolo del deflusso, il calcolo della propagazione e la comunicazione dei risultati. I passi temporali sono specificati in giorni, ore, minuti e secondi;
- Onda dinamica (Dynamic Wave): imposta diversi parametri che controllano il modo in cui vengono eseguiti i calcoli della propagazione del flusso dell'onda dinamica. Questi parametri non hanno alcun effetto per gli altri metodi di propagazione del flusso.
- File (Files): viene utilizzata per specificare quali file di interfaccia verranno utilizzati o salvati durante la simulazione.

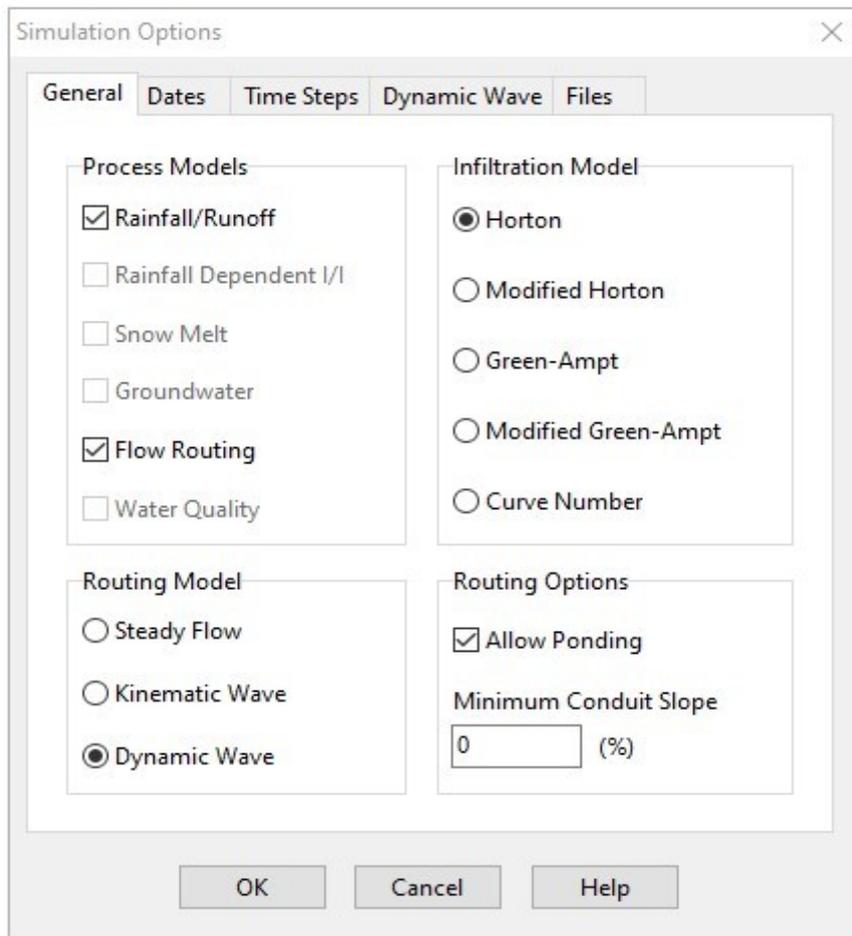


Figura 48: Pannello Opzioni di Simulazione

In questa sezione vengono brevemente descritti i modelli utilizzati da SWMM per modellare le acque meteoriche attraverso i seguenti processi fisici:

- Deflusso superficiale (Runoff);
- Infiltrazione (Infiltration);
- Onda dinamica (Dynamic wave).

RUNOFF

Il software di calcolo SWMM per convertire l'eccesso di precipitazioni (pioggia e/o fusione di neve meno infiltrazione, evaporazione e astrazione iniziale) in deflusso superficiale (flusso via terra) su un sottobacino utilizza un modello di serbatoio non lineare (Figura 49).

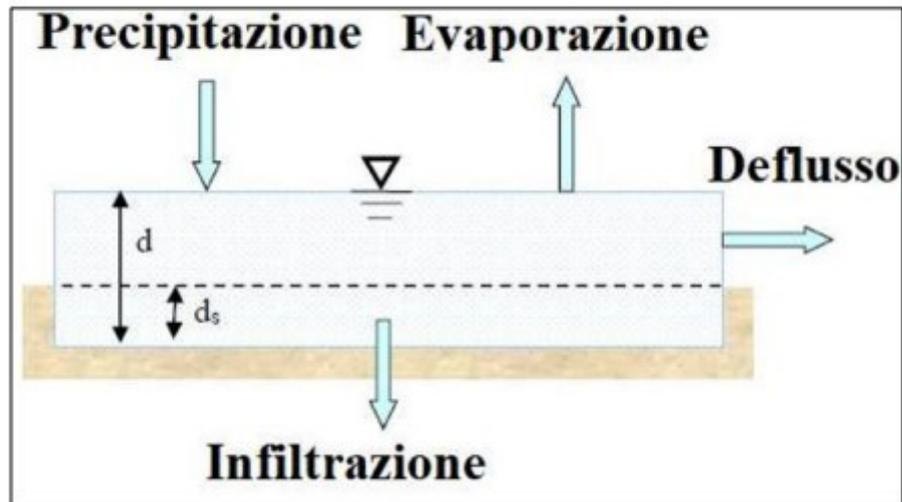


Figura 49: Modalità di formazione del deflusso superficiale (EPA SWMM,2015)

Il volume di questo serbatoio è rappresentato dalla massima capacità di immagazzinamento delle depressioni, ossia quel volume d'acqua intercettata da avvallamenti, sconnessioni delle superfici e ristagni. In questa schematizzazione, il sottobacino è soggetto agli afflussi di precipitazione (pioggia e scioglimento delle nevi) e alle perdite dovute all'evaporazione, all'infiltrazione e al deflusso superficiale. Nel modello, un sottobacino viene schematizzato come una superficie rettangolare, con una pendenza uniforme S e una larghezza W , che drena l'acqua superficiale attraverso un singolo canale di uscita (figura 49).

Nel serbatoio di figura, il deflusso superficiale per unità di superficie, q_L , si verifica solo quando il livello dell'acqua d supera il limite massimo di depressione d_s . Per il calcolo del deflusso superficiale per unità di superficie si può adottare l'equazione di Manning, nell'ipotesi che esso si comporti come una portata uniforme che scorre all'interno di un canale rettangolare con pendenza S :

$$q_L = \frac{1,49}{n} \cdot \frac{W}{A} \cdot (d - d_s)^{5/3} \cdot S^{1/2}$$

equazione 1

La profondità dell'acqua sul sottobacino d viene continuamente aggiornata nel tempo risolvendo numericamente l'equazione del bilancio idrico sul sottobacino. Infatti, dalla conservazione della massa, la variazione netta di profondità d per

unità di tempo t è semplicemente la differenza tra i tassi di afflusso e di deflusso rispetto al sottobacino:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q_L$$

equazione 2

dove:

- i è la quantità di pioggia + scioglimento della neve (ft/s);
- e è il tasso di evaporazione della superficie (ft/s);
- f è il tasso di infiltrazione (ft/s);
- q_L è il deflusso superficiale(ft/s).

Sostituendo la relazione (1) nella (2) si ottiene:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \alpha \cdot (d - d_s)^{5/3}$$

equazione 3

Dove α è definito come:

$$\alpha = \frac{1,49}{n} \cdot \frac{W}{A} \cdot S^{1/2}$$

La relazione (3) è un'equazione differenziale ordinaria non lineare, la quale noti i valori di: i , e , f , α e d_s può essere risolta numericamente per ogni intervallo di tempo ricavando l'incognita d . Una volta che d è nota, i valori del deflusso superficiale per unità di superficie si possono ottenere dall'equazione (1). Si noti che l'equazione (2) si applica solo quando $d > d_s$. Quando $d \leq d_s$, il deflusso q_L è zero e il bilancio di massa su d diventa semplicemente:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f$$

PARTIZIONAMENTO DEL SOTTOBACINO

L'equazione (3), utilizzata per generare il deflusso superficiale, è stata sviluppata sulla base di un'area di sottobacino rettangolare idealizzata con proprietà uniformi. Nella realtà, però, le aree urbane non hanno tali proprietà; difatti le aree urbane contengono un mix di tipologie di superfici del terreno che possono essere comodamente suddivise in due categorie primarie: superfici permeabili (Pervious), come prati, campi e aree boschive, che consentono alle precipitazioni di infiltrarsi nel terreno e superfici impermeabili (Impervious), come tetti, strade e parcheggi, su cui non si verifica alcuna infiltrazione. Pertanto, SWMM consente a ogni sottobacino di avere sia una sottozona permeabile che impermeabile su cui viene risolta l'equazione (1) attraverso la definizione, da parte dell'utente, del parametro "Percentuale di impermeabilità". Esso consente di determinare la quantità di sottobacino totale dedicata a ogni tipo di superficie. Inoltre, non è raro che le superfici impermeabili inizino a generare deflusso quasi immediatamente dopo che si è verificato un evento di pioggia, ben prima che la profondità di stoccaggio della depressione si riempia. Per modellare tale comportamento, SWMM consente di dividere ulteriormente l'area impermeabile di un sottobacino in due sottozone: una che accumula l'acqua e l'altra che favorisce il deflusso. Pertanto, nel complesso, un sottobacino può contenere tre tipi di sottozone (*figura 50*). Si può notare che, in base a queste definizioni, tutta l'area impermeabile è direttamente collegata al punto di uscita del sottobacino (in genere un tubo di drenaggio o un canale).

Le tre sotto-aree sono incorporate nel sottobacino idealizzato (*figura 50*). Ovviamente, nella realtà le tre aree non si allineeranno in questo modo e tanto meno saranno necessariamente compatte e connesse. La disposizione qui usata, infatti, è solo una comodità di modellazione. I simboli A1, A2 e A3 si riferiscono alla sottozona permeabile e a due tipi di sottozone impermeabili (rispettivamente con e senza accumulo dell'acqua).

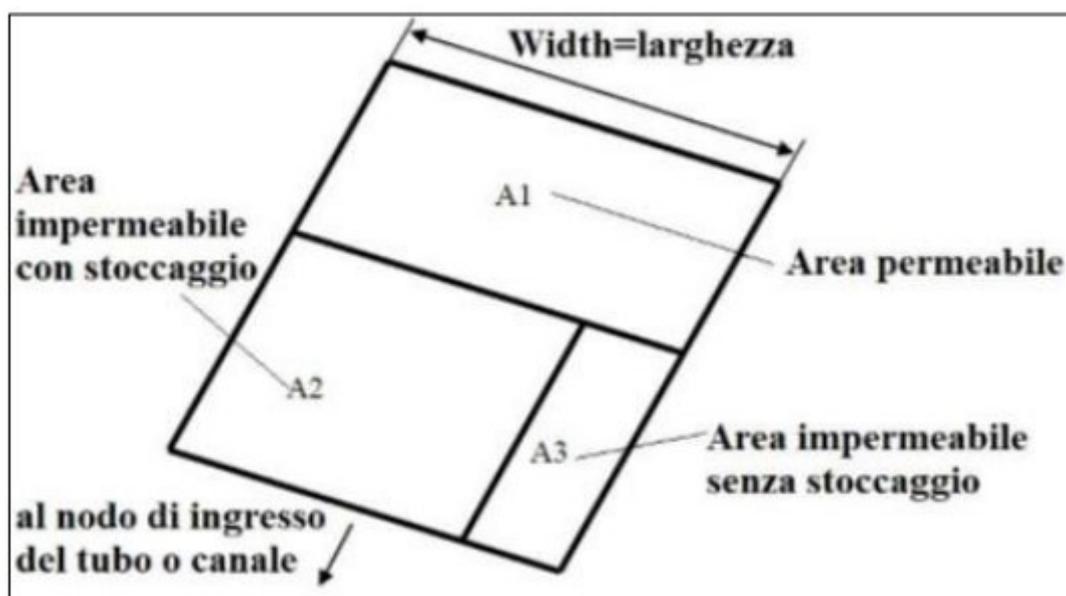


Figura 50: Le sottozone di un sottobacino (EPA SWMM, 2015)

Con tale precisazione l'equazione differenziale (3) viene risolta singolarmente per ogni sottozona e, alla fine di ogni istante di tempo, le portate prodotte da ogni sotto-area vengono combinate insieme per determinare il deflusso totale del sottobacino.

INFILTRAZIONE

L'infiltrazione è il processo attraverso il quale la pioggia penetra nella superficie del terreno, riempiendo i pori degli strati sottostanti (Akan e Houghtalen, 2003). Teoricamente, l'infiltrazione è governata dall'equazione differenziale di Richards (Richards, 1931), che mette in relazione la permeabilità del suolo con la tensione dell'acqua dei pori in funzione del contenuto di umidità del suolo. La difficoltà di risolvere questa equazione differenziale parziale altamente non lineare, lo rende inadatto all'uso in un modello come SWMM, soprattutto per le simulazioni continue a lungo termine.

Gli ingegneri hanno sviluppato diversi modelli di infiltrazione algebrica, più semplici e capaci di catturare la dipendenza generale della capacità dell'infiltrazione sulle caratteristiche del suolo e il volume di acqua precedentemente infiltrata nel corso di un evento temporalesco. Dal momento che, non esiste un accordo universale su quale modello sia il migliore, SWMM consente all'utente di scegliere tra cinque dei metodi più utilizzati:

il metodo di Horton, il metodo di Horton modificato, il metodo Green-Ampt, il metodo di Green-Ampt modificato, il metodo del Curve Number.

Nel nostro caso è stato utilizzato il metodo di Horton, il quale è di natura empirica e probabilmente il più noto. Nella sua forma abituale è applicabile solo agli eventi per i quali l'intensità delle precipitazioni supera sempre la capacità di infiltrazione; tuttavia, la forma modificata di questo modello, utilizzata in SWMM, permette di superare questa limitazione. Siccome il metodo di Horton si basa su osservazioni empiriche, le quali dimostrano che l'infiltrazione nel caso di una precipitazione sufficientemente prolungata diminuisce esponenzialmente da un tasso iniziale massimo ad un tasso minimo, allora lo stesso Horton propose la seguente equazione esponenziale per prevedere la riduzione della capacità di infiltrazione nel tempo – come osservato dalle misurazioni sul campo:

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

dove:

- **f_p** è la capacità di infiltrazione nel suolo (ft/sec);
- **f_∞** è il valore minimo di **f_p** all'istante di tempo infinito (ft/sec);
- **f_0** è il valore massimo o iniziale di **f_p** all'istante di tempo iniziale (ft/sec);
- **t** è il tempo dall'inizio dell'evento temporalesco (sec);
- **kd** è il coefficiente di decadimento (sec^{-1}).

Akan sviluppò una versione modificata del metodo di infiltrazione di Horton (Akan, 1992; Akan e Houghtalen, 2003) che è stato aggiunto come opzione di infiltrazione separata in SWMM 5. Il metodo utilizza gli stessi parametri del metodo originale ma, invece di tenere traccia del tempo lungo la curva di decadimento di Horton, utilizza il volume cumulativo di infiltrazione superiore al tasso minimo di infiltrazione come variabile di stato. Si presume, quindi, che parte dell'acqua infiltrata percola più in profondità nel terreno al tasso di infiltrazione minimo (comunemente preso come conducibilità idraulica satura del suolo). Di conseguenza, è la differenza tra i tassi di infiltrazione effettivi e minimi che si accumulano appena sotto la superficie che provocano la capacità di infiltrazione per diminuire col tempo.

Questo metodo è richiesto per dare stime di infiltrazione più accurate quando si verificano intensità di precipitazioni basse. Il metodo modificato ha la stessa equazione di decadimento esponenziale del metodo di Horton originale:

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

MODELLO DELL'ONDA DINAMICA

Il movimento dell'acqua attraverso una rete di drenaggio è regolato dalle equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine di De Saint Venant (equazione di continuità) e principio di conservazione della quantità di moto per un flusso superficiale libero variabile e instabile:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + g \cdot A \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + g \cdot A \cdot S_f = 0$$

equazione 4 e 5

Dove Q è la portata che all'istante di tempo t defluisce attraverso la sezione d'ascissa curvilinea x , A è la corrispondente sezione idrica, H è il carico idraulico totale della corrente misurato rispetto ad un riferimento orizzontale, g è la costante di accelerazione gravitazionale e S_f è la cadente piezometrica.

Si ipotizza che le grandezze che definiscono la corrente idrica (portata e livello) siano funzioni continue del tempo e della sola coordinata spaziale x . La corrente si può quindi considerare gradualmente variata con sezioni trasversali piane e verticali e pressione distribuita in maniera idrostatica.

L'analisi delle onde dinamiche risolve la forma completa delle equazioni (4) e (5) e, quindi, produce i risultati teoricamente più accurati. Può tenere conto dell'accumulo di canali, effetti di ristagno, perdite di ingresso/uscita, inversione di flusso e flusso pressurizzato. Poiché accoppia la soluzione per entrambi i livelli dell'acqua ai nodi e al flusso nelle condotte, può essere applicato a qualsiasi layout di rete generale, anche a quelli contenenti più deviazioni e circuiti a valle.

È il metodo di scelta per i sistemi soggetti a un forte riflusso a causa di restrizioni di flusso a valle e con regolazione del flusso tramite sbarramenti e orifizi. Questa generalità ha il prezzo di dover utilizzare piccoli passaggi temporali per mantenere la stabilità numerica.

La modellazione dinamica delle onde è stata introdotta per la prima volta nella versione 3 di SWMM nel 1981 come modulo di programma separato noto come EXTRAN (Extended Transport) (Roesner et al., 1983).

Le ipotesi su cui si basano le equazioni di De Saint Venant sono:

- il flusso è unidimensionale;
- la pressione è idrostatica;
- il coseno dell'angolo di inclinazione del letto del canale è vicino all'unità;
- l'attrito limite può essere rappresentato nello stesso modo del flusso costante.

La formula adottata per descrivere le perdite di carico per unità di lunghezza (cadente piezometrica) è definita attraverso l'equazione di Manning, utilizzata per modellare una portata uniforme costante:

$$S_f = \left(\frac{n}{1,486} \right)^2 \cdot \frac{Q \cdot |U|}{A \cdot R^{4/3}}$$

equazione 6

Dove n è il coefficiente di scabrezza di Manning, R è il raggio idraulico e U è la velocità media dell'acqua. L'uso del segno di valore assoluto sul termine di velocità U rende S_f una quantità direzionale (poiché Q può essere positivo o negativo) e garantisce che la forza di attrito si opponga sempre al flusso.

Per una specifica geometria della sezione trasversale, l'area di flusso A è funzione della profondità dell'acqua, che a sua volta può essere ottenuta dal carico idraulico totale H . Pertanto le variabili dipendenti in queste equazioni sono la portata Q e il carico totale H , che sono funzioni dello spazio x e del tempo t . Per risolvere queste equazioni su un singolo condotto di lunghezza L , è necessario un insieme di condizioni iniziali per H e Q all'istante di tempo iniziale $t = 0$, nonché condizioni al contorno in $x = 0$ e $x = L$ per tutti i tempi t . Combinando l'equazione (4) e (5) si ottiene una terza equazione che deve essere risolta per ogni condotto ad ogni passo di calcolo:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g \cdot A \cdot S_f - 2U \cdot \frac{\partial A}{\partial t} - U^2 \frac{\partial A}{\partial x} + g \cdot A \cdot \frac{\partial H}{\partial x} = 0$$

equazione 7

Sebbene questa equazione possa essere utilizzata per calcolare la traiettoria temporale della portata in un condotto, è necessaria un'altra relazione per fare lo stesso per le teste. La rappresentazione nodo-collegamento di una rete di trasporto in SWMM, avviene fornendo una relazione di continuità ai nodi di giunzione che collegano i condotti insieme all'interno di una rete di trasporto. Si presume che esista una superficie dell'acqua continua tra l'elevazione dell'acqua in un nodo e nei condotti che entrano ed escono da esso. Sono possibili due tipologie di nodi: si suppone che i nodi di giunzione non di stoccaggio siano punti con volume e superficie pari a zero, mentre i nodi di stoccaggio (come stagni e serbatoi) contengono sia volume che l'area superficiale. Ogni assemblaggio di nodi è costituito dal nodo stesso e dalla metà della lunghezza di ogni ramo ad esso collegato. La conservazione del flusso per l'assemblaggio richiede che la variazione di volume rispetto al tempo sia uguale alla differenza tra afflusso e deflusso. In termini di equazione:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial H} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} = A_s \cdot \frac{\partial H}{\partial t} = \sum Q$$

equazione 8

dove:

- **V** è il volume nei condotti collegati al nodo;
- **A_s** è la superficie nei condotti collegati al nodo;
- $\sum Q$ è il flusso netto nei condotti collegati al nodo (afflusso-deflusso).

Il termine $\sum Q$ include il flusso nei condotti collegati al nodo, nonché eventuali afflussi imposti dall'esterno come il deflusso in caso di pioggia o il flusso sanitario del tempo asciutto. La superficie nei condotti collegati al nodo **A_s** è costituita dalla superficie di accumulo del nodo **ASN** (se si tratta di un nodo di stoccaggio) più l'area della superficie fornita dai rami ad essa collegati, $\sum ASL$, dove **ASL** è l'area fornita da un singolo ramo di connessione. Pertanto, l'equazione di continuità del nodo può essere scritta come:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\Sigma Q}{A_{SN} + \Sigma A_{SL}}$$

equazione 9

La profondità del flusso all'estremità di un condotto collegato a un nodo può essere calcolata come la differenza tra il carico idraulico totale in corrispondenza del nodo e l'elevazione inversa del condotto. Le aree della superficie del nodo e del collegamento vengono calcolate come funzioni delle rispettive profondità di flusso.

Le equazioni (7) e (9) forniscono un insieme accoppiato di equazioni alle derivate parziali che risolvono la portata Q nei condotti e il carico idraulico totale H in corrispondenza dei nodi della rete di trasporto. Poiché non possono essere risolti analiticamente, è necessario utilizzare una procedura di soluzione numerica.

CAPITOLO 5

RISULTATI

Inizialmente, in quest'ultimo capitolo, è stata valutata la correttezza del modello idraulico della rete, utilizzando come parametro di confronto il volume complessivamente esondato.

Dal punto di vista idrologico, sono stati utilizzati i medesimi ietogrammi costanti impiegati in IW, mentre idraulicamente è stato impostato lo stesso Runoff Coefficient, ma nonostante questo, in SWMM, si genera comunque un runoff maggiore per i diversi sottobacini della rete.

Successivamente, sono state definite le caratteristiche dei 79 interventi diffusi, specificando per ognuno di essi il sottobacino d'appartenenza, per poi inserirli in SWMM per mezzo dei LID CONTROL. Dopo di che sono stati analizzati i risultati ottenuti e quindi il volume intercettato dai 79 LID, lanciando delle simulazioni per TR 2,5 e 10 anni ed in seguito si è ipotizzato di lavorare esclusivamente con i LID CONTROL appartenenti ad un solo quadrante per volta.

Quindi, alla luce dei risultati ottenuti, si è verificata la possibilità di migliorare questi ultimi attraverso l'utilizzo di un substrato ghiaioso più drenante ma meno indicato per lo sviluppo di vegetazione, e per questo si è assunta una conducibilità idraulica pari a 1000 mm/h, e lanciando nuovamente le simulazioni, oltre a valutare i risultati ottenuti, sono state analizzate le fasi temporali più critiche delle esondazioni per TR 2,5 e 10 anni.

Tuttavia, tornando ad utilizzare un parametro più realistico per la conducibilità idraulica ovvero, 300 mm/h, e con l'obiettivo di aumentare il volume complessivamente intercettato dai LID, si è aumentato il numero degli interventi a 152. Quindi una volta definite le caratteristiche dei nuovi LID CONTROL, sono state nuovamente lanciate delle simulazioni per TR 2,5 e 10 anni.

Infine, ai 152 interventi diffusi, è stata integrata l'alternativa *end of pipe* che prevede la realizzazione di vasche volano nelle aree dedicate al futuro parco San Paolo. Così dimensionando in maniera speditiva le due vasche, quella in via Nuti e quella in via San Paolo, e lanciando nuovamente le simulazioni, sono stati analizzati i miglioramenti ottenuti in termini di volume complessivamente esondato dalla rete.

SVILUPPO DEL MODELLO

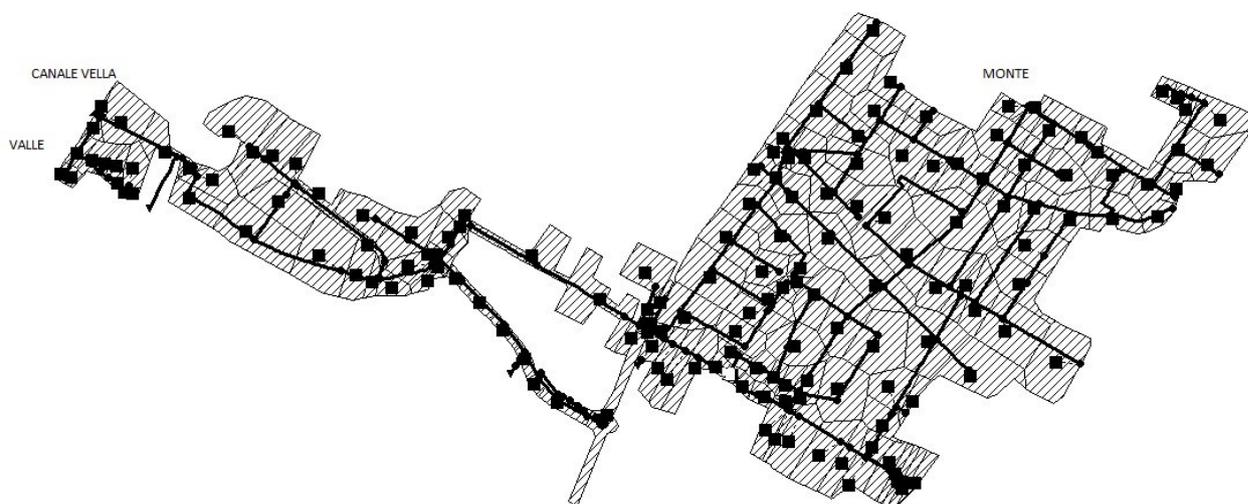


Figura 51: Modello della rete fognaria in formato.inp

Una volta caricato in SWMM il modello idraulico della rete (Figura 51), fornito da Publiacqua in formato .inp, il primo passo è stato quello di controllare ed eventualmente modificare ogni elemento del modello al fine di evitare problemi di conversione nel passaggio da InfoWorks a SWMM:

- **Nodi:** per ogni singolo nodo sono stati controllati: l'*Invert Elevation* e la *max. depth*, facendo riferimento alle quote fornite da Google Earth.
- **Condotte:** per ogni condotta è stata controllata: la forma (*shape*), il diametro (*max.depth*) e la scabrezza (*roughness*).
- **Sottobacini:** per ciascuno di essi, è stata valutata la *% di superficie impermeabile*, e il relativo *depression storage* (mm). Inoltre, per quanto riguarda il settaggio dei parametri di infiltrazione, utilizzando il metodo di Horton, sono stati adottati dei valori tale per cui tutta l'acqua che cade sulla zona permeabile si infiltra, così che la *% di superficie impermeabile* coincida con il *Runoff coefficient* presente in IW, a meno del *depression storage* (mm).

Lanciando le prime simulazioni con ietogrammi costanti riferiti a TR 2,5 e 10 anni (Figura 52), sono state valutate nel dettaglio le direzioni del deflusso nei vari profili dei collettori a monte di via San Paolo/ via dell'Alberaccio.

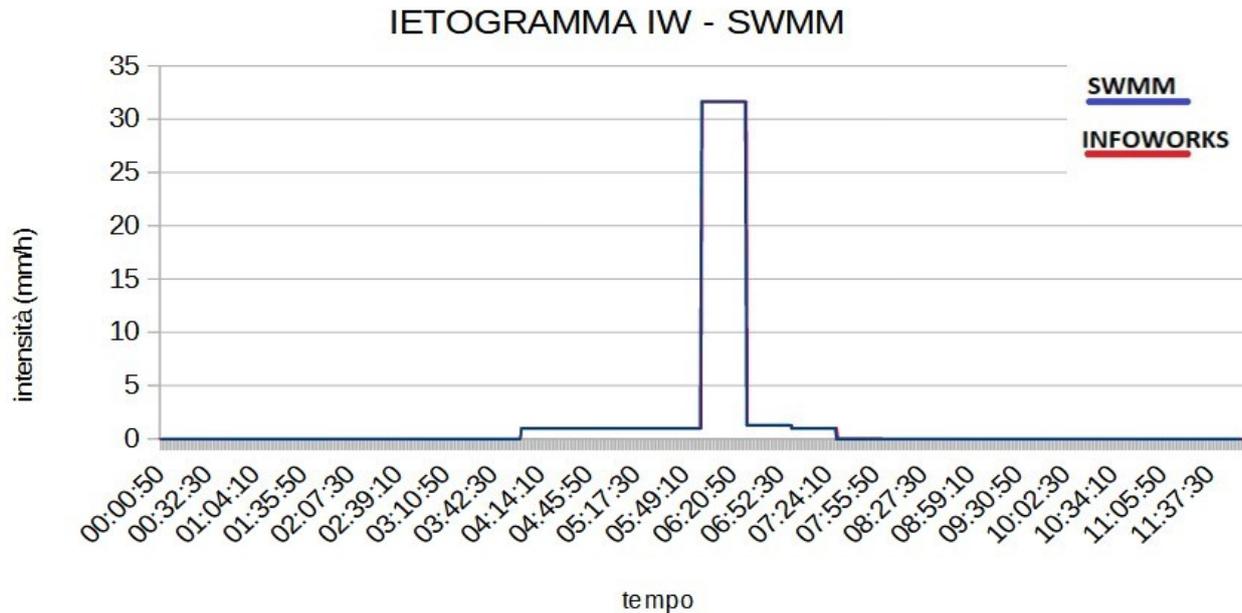


Figura 52: Ietogramma TR 2 anni

Successivamente, al fine di valutare la correttezza del modello idraulico su cui si sta lavorando, rispetto a quello utilizzato da Publicacqua, si è deciso di assumere come parametro di confronto il **volume esondato** dalla rete per i diversi tempi di ritorno.

Questo si può determinare in SWMM, dopo il lancio di ogni simulazione, andando in *report – summary – node flooding* ottenendo così per ogni nodo il volume esondato (in litri) per un evento meteorico avente una certa intensità e durata. Quindi, andando a sommare opportunamente questi volumi si ottiene il volume complessivamente esondato dalla rete.

Le simulazioni sono state realizzate impostando nelle *Time Series* gli stessi ietogrammi costanti utilizzati in InfoWorks (*figura 52*) della durata di **30 e 10** minuti rispettivamente.

Avendo a disposizione i risultati ottenuti dall'analisi idrologica presente nel report di Publicacqua, si è quindi notato che per tempi di ritorno di 2,5 e 10 anni e per eventi piovosi della durata di 30 minuti, i volumi esondati sono i seguenti:

- TR 2 ANNI vol.esondato = 819 m³;
- TR 5 ANNI vol.esondato = 2826 m³;
- TR 10 ANNI vol.esondato = 4500 m³.

Per cui impostando in SWMM gli stessi ietogrammi della durata di 30 minuti, si sono ottenuti i seguenti volumi esondati:

- TR 2 ANNI; h = 15.96 mm; I = 31.92 mm/h; vol. esondato = 1228 m³
- TR 5 ANNI, h = 21.97 mm; I = 43.94 mm/h; vol.esondato = 3601 m³
- TR 10 ANNI, h = 26.26 mm; I = 52.52 mm/h; vol.esondato = 5707 m³

Impostando, invece, ietogrammi costanti della durata di 10 minuti:

- TR 2 ANNI, h = 9.62 mm; I = 56.59 mm/h; vol.esondato = 510 m³
- TR 5 ANNI, h = 13.24 mm; I = 77.88 mm/h; vol.esondato = 2167 m³
- TR 10 ANNI, h = 15.82 mm; I = 93.06 mm/h; vol.esondato = 3619 m³

Come si può notare, c'è una differenza tra i volumi esondati in InfoWorks e quelli in SWMM, nonostante i dati in input e il setting iniziale dei modelli siano identici. Quindi utilizzando lo stesso ietogramma in SWMM si genera un runoff maggiore.

Innanzitutto, dato che il tempo di corrivazione risulta pari a 27 minuti, è quindi coerente concentrare l'attenzione solo sugli eventi meteorici di durata 30 minuti.

Riepilogando, facendo riferimento allo ietogramma TR 2 anni 30 minuti, cadono complessivamente su ogni sottobacino 18,96 mm (sia in IW che in SWMM) pertanto in SWMM sono stati inseriti i parametri di infiltrazione di Horton tale per cui tutta l'acqua che cade nella zona permeabile si infiltra, così che la % di superficie impermeabile coincida con il Runoff coefficient presente in IW, a meno del depression storage (mm).

Quindi impostando il Runoff coefficient, calcolato attraverso la seguente formula:

$$\text{Coeff. Runoff} = 0.75 \times \frac{\text{Area impermeabile}}{\text{Area totale}} + 0.25 \times \frac{\text{Area permeabile}}{\text{Area totale}}$$

e lanciando la simulazione con tali parametri, si valutano le differenze per alcuni specifici sottobacini (*Figura 53,54,55 e 56*):

SWMM					INFOWORKS			
sottobacino	%sup.imperm	vol.runoff (m3)	vol.runoff (mm)	Runoff C.	sottobacino	vol.runoff (m3)	vol.runoff (mm)	Runoff C.
57	57,2	90	10,37	0,547	57	84,54	10,06	0,554
20	55,97	80	10,12	0,534	20	76,92	9,77	0,541
39	69,06	30	12,21	0,644	39	28,98	12,08	0,684
1	60,88	10	11,17	0,589	1	9,31	10,95	0,595

Tabella 14: Differenze di volumi di runoff (m³) tra SWMM e IW

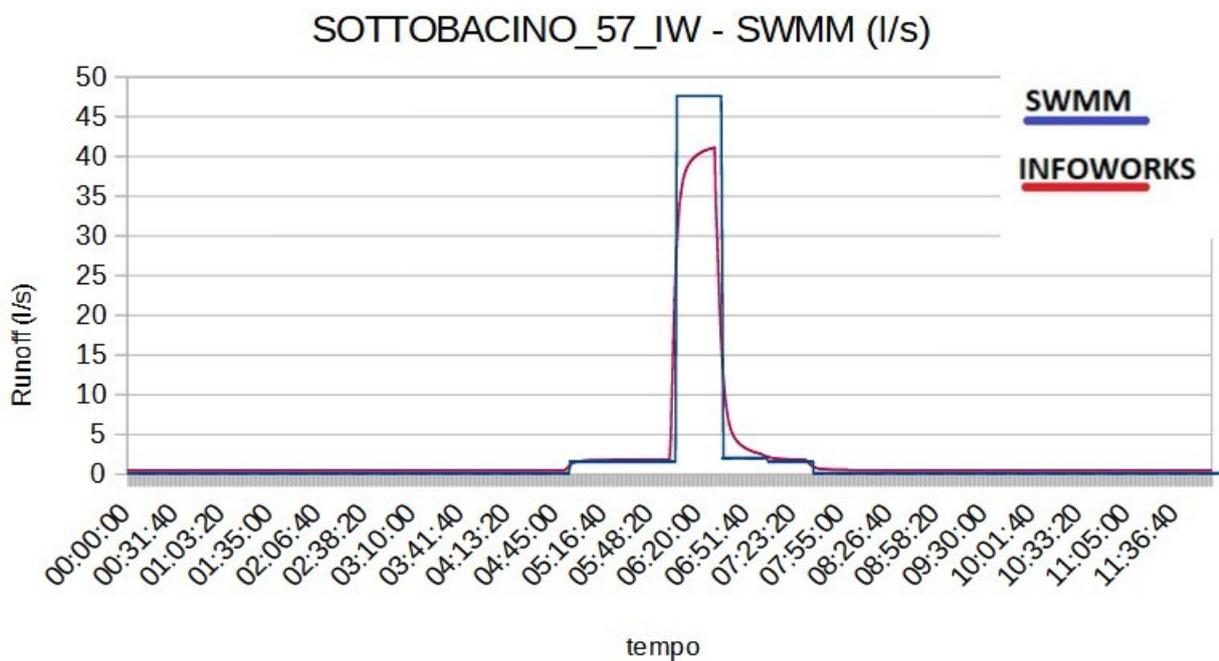


Figura 53: Differenza runoff (l/s) SWMM – IW Sottobacino 57

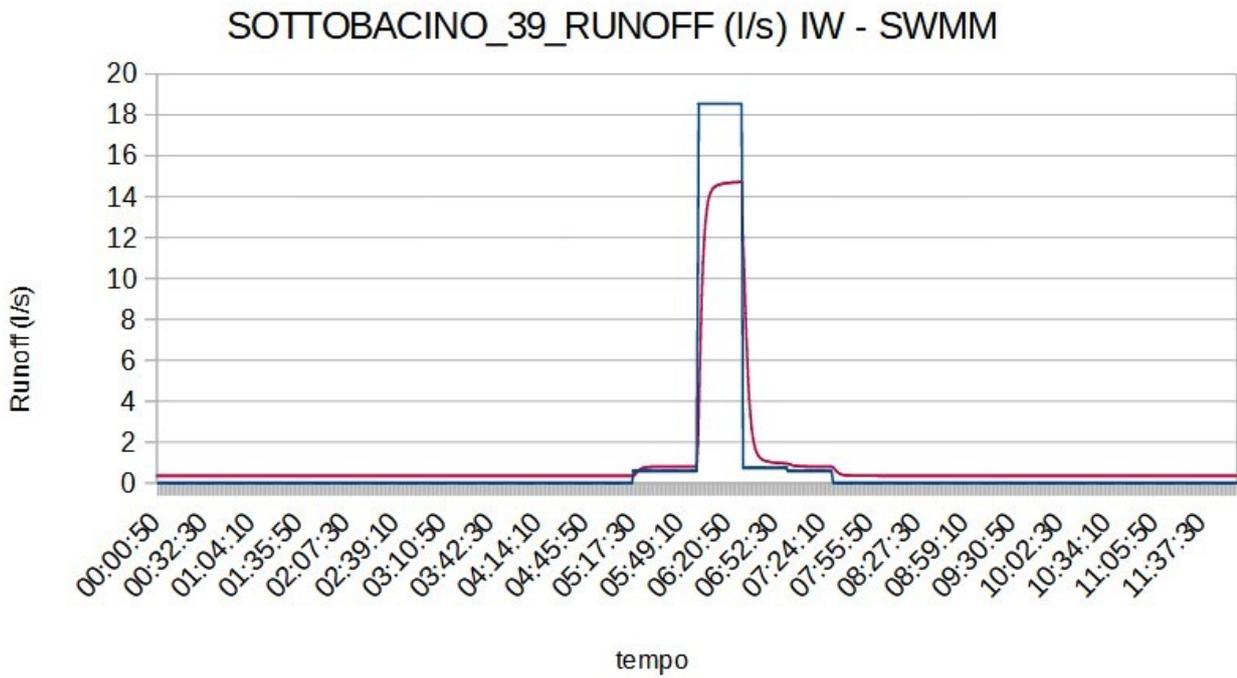


Figura 54: Differenza runoff (l/s) SWMM – IW Sottobacino 39

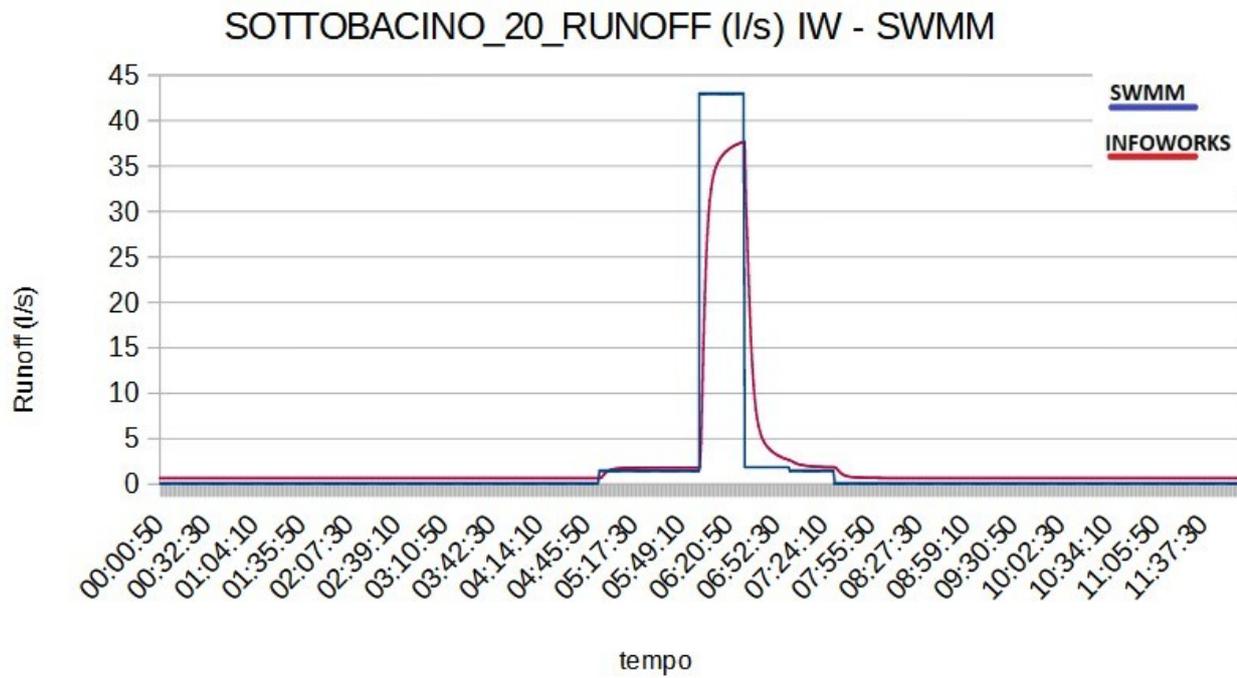


Figura 55: Differenza runoff (l/s) SWMM – IW Sottobacino 20

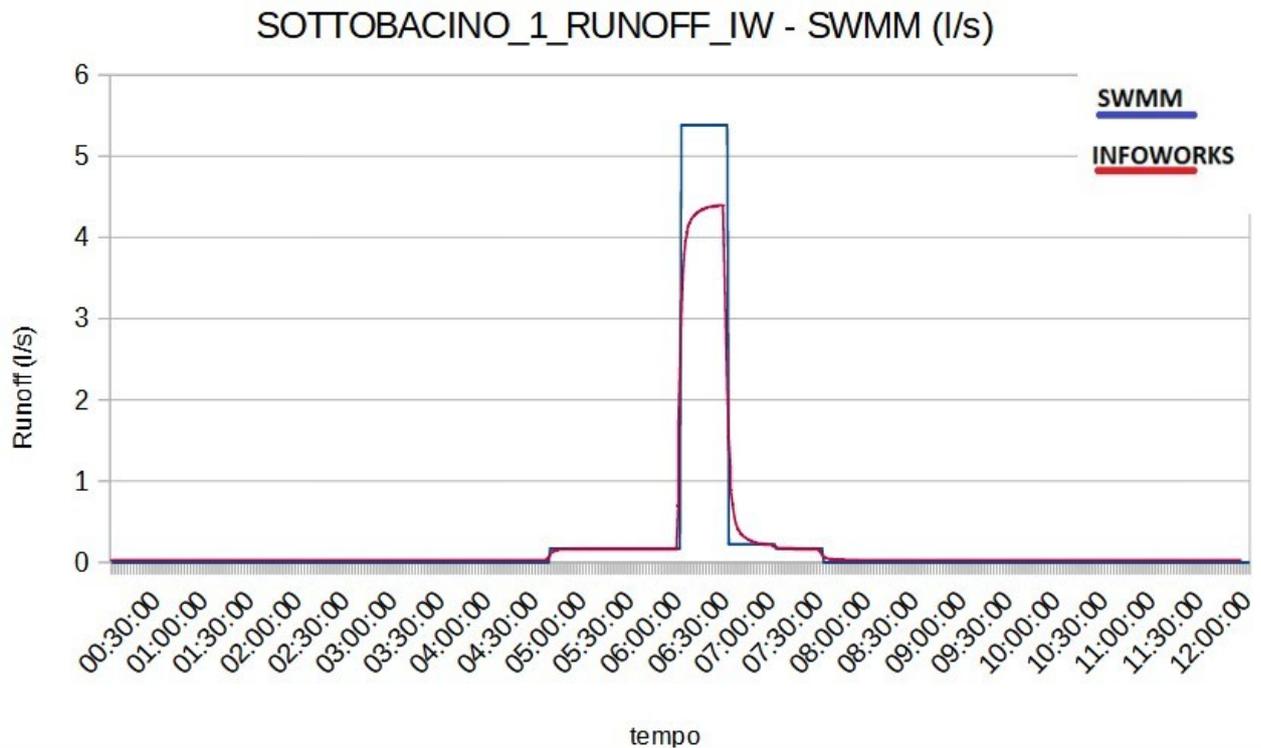


Figura 58: Differenza runoff (l/s) SWMM – IW Sottobacino 1

Da tali risultati si può notare che per ogni sottobacino, in SWMM, si genera un volume di deflusso maggiore rispetto a IW, e questo ovviamente incide successivamente sul volume complessivo allagato.

Inoltre, al fine di ridurre ulteriormente le differenze tra i risultati, sono state realizzate delle verifiche approfondite sul modello in SWMM, sia dal punto di vista idrologico che idraulico, ma queste non hanno portato ai risultati sperati.

Dal punto di vista idrologico, gli ietogrammi utilizzati sono i medesimi di IW, ed infatti il volume precipitato su ogni sottobacino è identico. Idraulicamente, oltre ad ottenere il medesimo runoff coefficient per ogni sottobacino, non sono state apportate delle sostanziali modifiche ai vari elementi idraulici del bacino per evitare incongruenze con il modello originario importato da IW.

INSERIMENTO DEI LID CONTROL

Come già introdotto nei capitoli precedenti, l'obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di approfondire l'efficienza idraulica dell'Alternativa 1 (*before pipe*), inserendo nel modello della rete idraulica degli elementi che rappresentino al meglio le opere di retrofitting SuDS previste per tale soluzione.

In particolar modo, ci si è concentrati sugli interventi a priorità maggiore, ovvero i **79 interventi diffusi** dislocati sul quartiere San Paolo di Prato. Questi interventi ricadendo in particelle pubbliche (es. lungo strada) mettono il Comune in condizioni di poter operare celermente.

Tali interventi riguardano principalmente le categorie “ B” (realizzazione aree verdi), “C0” (utilizzo area verde esistente, solo verde), “C1” (utilizzo area verde esistente, presenza di arbusti) e “C2” (utilizzo area verde esistente, presenza di alberature meno significative).

Dopo un sopralluogo virtuale speditivo, si è verificata l'effettiva fattibilità di tali interventi. Per tanto dei 79 interventi previsti, 25 sono di tipo B e i restanti appartenenti alle categorie C0, C1, C2 e C3.

Ricordando che gli interventi diffusi di tipo B, riguardano quelle aree impermeabili non adibite a parcheggio auto (es. isole spartitraffico) che possono essere utilizzate per la realizzazione di aree SuDS.

Mentre gli interventi di tipo C, riguardano aree verdi esistenti in cui è possibile convogliare il deflusso dalle aree parcheggio adiacenti.

C0: solo verde;

C1: presenza di arbusti;

C2: presenza alberature meno significative;

C3: presenza alberature più significative.

Per tali opere, IRIDRA Srl ha realizzato un censimento dettagliato (vedi *tabella 15*), in cui sono stati classificati come: interventi in prossimità di strade o interventi in prossimità di parcheggi. Inoltre, per ognuno di essi, è stata specificata: l'area SuDs assunta (m²), l'area del bacino drenato da quell'intervento (m²) e sono state riportate anche le informazioni catastali necessarie.

Attraverso l'utilizzo di *Google Earth* è stato possibile rintracciare in maniera accurata l'ubicazione di questi interventi, in modo tale da poterli inserire nei sottobacini di competenza in SWMM.

N°_	ID_INTERVENTO	TIPOLOGIA INTERVENTO	AREA SUDS ASSUNTA (mq)	AREA TRATTATA (mq)	SOTTOBACINO	UBICAZIONE
1	ID_97	Area verde C2	9	87	57	Via Vivaldi, NO (lungo strada)
2	ID_175	Area verde C0	5	45	57	Via dell'Alberaccio, SO (lungo strada)
3	ID_176	Area verde C0	6	61	57	Via dell'Alberaccio, SO (lungo strada)
4	ID_177	Area verde C0	13	127	57	Via dell'Alberaccio, SE (lungo strada)
5	ID_188	Area verde C2	3	28	57	Via Vivaldi, SO (lungo strada)
6	ID_209	Area verde C1	17	166	4	Via Vivaldi, NO (lungo strada)
7	ID_517	Area verde C1	5	45	38	Via Nuti, SE (lungo strada)
8	ID_38	Area verde C1	23	228	39	Via Paganini, SE (lungo strada)
9	ID_39	Area verde C2	4	42	41	Via Paganini, SE (lungo strada)
10	ID_70	Area verde C3	26	261	19	Via Spontini, SE (lungo strada)
11	ID_76	Area verde C1	53	530	38	Via Nuti, SE (lungo strada-corte interna)

12	ID_103	Area verde C3	8	600	20	Via Spontini,SO (lungo strada)
13	ID_104	Area verde C3	60	600	91	Via Spontini,SO (lungo strada)
14	ID_107	Area verde C1	8	158	39	Via dell'Alberaccio, SO (lungo strada)
15	ID_109	Area verde C1	25	245	36	Via Bocherini,SO (lungo strada)
16	ID_120	Area verde C2	120	1203	34	Via Spontini,SO (lungo strada)
17	ID_123	Area verde C3	13	125	35	Via Bocherini,SO (lungo strada)
18	ID_137	Area verde C3	9	91	75	Via Mascagni,SO (lungo strada)
19	ID_145	Area verde C1	3	76	87	Via Mascagni,SO (lungo strada)
20	ID_146	Area verde C1	8	77	87	Via Mascagni,SO (lungo strada)
21	ID_149	Area verde C1	202	2019	72	Via Spontini,SO (lungo strada)
22	ID_151	Area verde C2	48	479	72	Via Mascagni,SO (lungo strada- corte interna)
23	ID_159	Area verde C1	20	204	17	Via Bocherini,SO (lungo strada)

24	ID_160	Area verde C3	16	162	17	Via Bocherini,SO (lungo strada)
25	ID_161	Area verde C1	10	253	91	Via Spontini,SO (lungo strada)
26	ID_162	Area verde C1	3	26	17	Via Bocherini,SO (lungo strada)
27	ID_163	Area verde C1	12	123	18	Via Leoncavallo,SO (lungo strada)
28	ID_174	Area verde C2	3	29	57	Via dell'Alberaccio, SO (lungo strada)
29	ID_181	Area verde C3	2	19	104	Via Borgioli,NO (lungo strada)
30	ID_183	Area verde C0	19	194	57	Via Vivaldi, SO (lungo strada)
31	ID_189	Area verde C2	24	236	90	Via Vivaldi, SO (lungo strada)
32	ID_191	Area verde C0	18	177	90	Via Vivaldi, SO (lungo strada)
33	ID_196	Area verde C0	17	171	90	Via Vivaldi, SO (lungo strada)
34	ID_197	Area verde C0	20	201	98	Via Vivaldi, SO (lungo strada)
35	ID_198	Area verde C0	19	192	98	Via Vivaldi, SO (lungo strada)
36	ID_201	Area verde C2	10	96	71	Via Mascagni,SO (lungo strada)

37	ID_206	Area verde C1	2	16	71	Via Leoncavallo,SO (lungo strada)
38	ID_207	Area verde C2	7	70	4	Via Mascagni,SO (lungo strada)
39	ID_316	Area verde C2	2	116	61	Via Don Ciabatti,NO (lungo strada)
40	ID_389	Area verde C3	12	121	14	Via Clementi,NO (lungo strada)
41	ID_391	Area verde C3	3	28	14	Via Clementi,NO (lungo strada)
42	ID_400	Area verde C1	106	1056	15	Via Borgioli,NO (lungo strada)
43	ID_418	Area verde C1	8	76	14	Via Clementi,NO (lungo strada)
44	ID_414	Area verde C1	8	152	63	Via Pisciolini,NE (lungo strada)
45	ID_449	Area verde C2	23	231	80	Via dell'Alberaccio, NE (lungo strada- corte interna)
46	ID_451	Area verde C2	78	782	56	Via Straddivari,NE (lungo strada)
47	ID_459	Area verde C1	8	76	10	Via Boccherini,NE (lungo strada)

48	ID_510	Area verde C3	4	43	Myj...wcs	Via dell'Alberaccio, SE (lungo strada)
49	ID_649	Area verde C1	16	159	75	Via da Palestina,SO (lungo strada)
50	ID_655	Area verde C0	2	60	75	Via Mascagni,SO (lungo strada)
51	ID_657	Area verde C1	15	154	87	Via Mascagni,SO (lungo strada)
52	ID_663	Area verde C2	31	310	Trmyj...grb	Via Boccherini,SO (lungo strada)
53	ID_1	Parcheggio B	3	26	wbsvdc	Via dell'Alberaccio, SO
54	ID_8	Parcheggio B	4	45	8	Via Borgioli,SE
55	ID_9	Parcheggio B	4	38	8	Via Borgioli,SE
56	ID_10	Parcheggio B	5	51	7	Via Borgioli,SE
57	ID_11	Parcheggio B	2	26	7	Via Borgioli,SE
58	ID_15	Parcheggio B	5	57	10	Via Boccherini,NO
59	ID_16	Parcheggio B	4	46	10	Via Boccherini,NO
60	ID_17	Parcheggio	7	75	71	Via

		B				Mascagni,SO
61	ID_18	Parcheeggio B	2	41	39	Via dell'Alberaccio, SO
62	ID_19	Parcheeggio B	4	41	39	Via dell'Alberaccio, SO
63	ID_20	Parcheeggio B	12	215	20	Via dell'Alberaccio, SE
64	ID_21	Parcheeggio B	32	324	76	Via Rinuccini,SO
65	ID_22	Parcheeggio B	9	163	76	Via Rinuccini,SO
66	ID_24	Parcheeggio B	12	165	73	Via Spontini,SO
67	ID_25	Parcheeggio B	9	151	73	Via Spontini,SO
68	ID_26	Parcheeggio B	3	41	17	Via Leoncavallo,SO
69	ID_28	Parcheeggio B	105	1049	3	Via Mascagni,NO
70	ID_29	Parcheeggio B	10	178	57	Via dell'Alberaccio, SE
71	ID_30	Parcheeggio B	5	72	57	Via Vivaldi,SE
72	ID_31	Parcheeggio B	10	99	38	Via Vivaldi,SE
73	ID_32	Parcheeggio	7	69	38	Via Vivaldi,SE

		B				
74	ID_33	Parcheggio B	15	154	4	Via Borgioli,NO
75	ID_34	Parcheggio B	4	101	84	Via, Don Ciabatti, NO
76	ID_35	Parcheggio B	23	234	106	Via, Don Ciabatti, NO
77	ID_37	Parcheggio B	20	202	10	Via dell'Alberaccio, NE
78	ID_239	Area verde C2	18	182	16	Via Boccherini,NO (lungo strada)
79	ID_195	Area verde C3	158	1584	18	Via Leoncavallo,SO (lungo strada)

Tabella 15: Definizione dei 79 interventi diffusi prioritari

L'inserimento di tali opere in SWMM è prevista nella sezione *Hydrology - LID CONTROLS*. Ogni intervento viene rappresentato per mezzo di uno specifico LID CONTROL, identificandolo con un *ID*.

Nel pannello relativo all'editor dei LID CONTROL, c'è una vasta scelta di tipologie da poter adottare, nel nostro caso, è stata selezionata ovviamente la tipologia relativa alle aree di Bioritenzione (Bio-retention Cell).

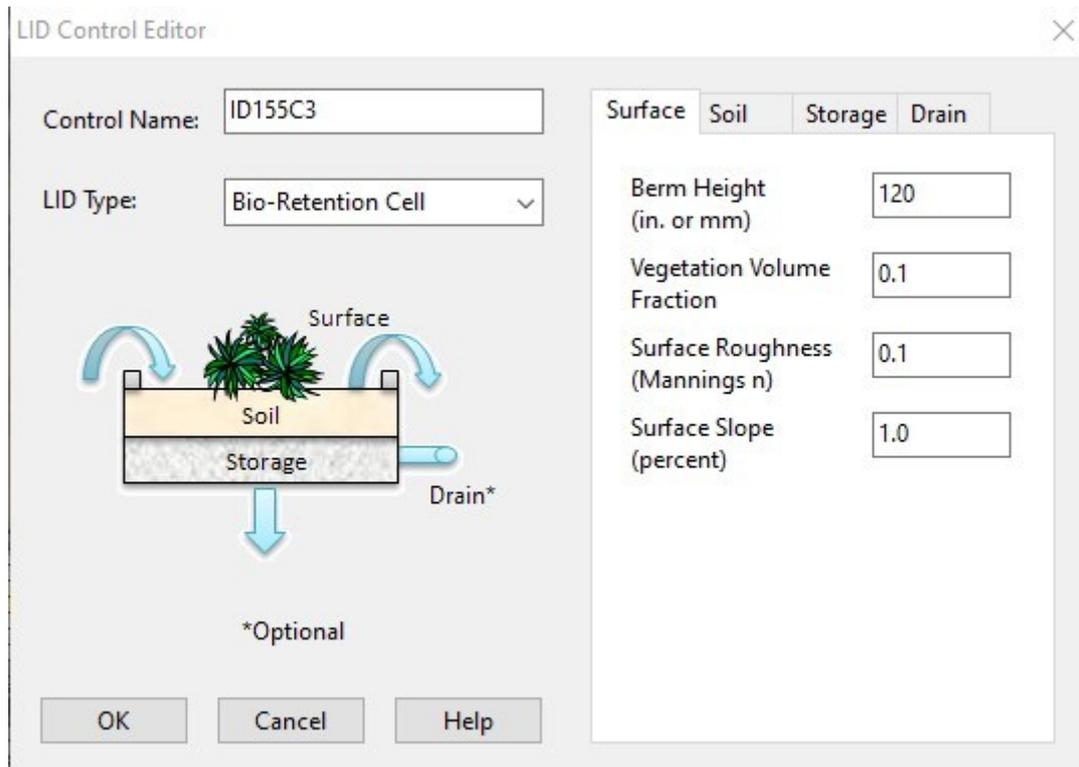


Figura 57: Pannello LID EDITOR - Surface

Nella sezione relativa alla parte superficiale “*surface*” bisogna definire i seguenti parametri principali (Figura 57):

- *Berm Height*: profondità massima a cui l’acqua può ristagnare prima che si verifichi un trabocco (si attivi il troppo pieno).
- *Vegetation Volume Fraction*: è il volume occupato dagli steli e dalle foglie. Normalmente può essere ignorato, ma può arrivare a 0,1/0,2 per una crescita della vegetazione molto densa.

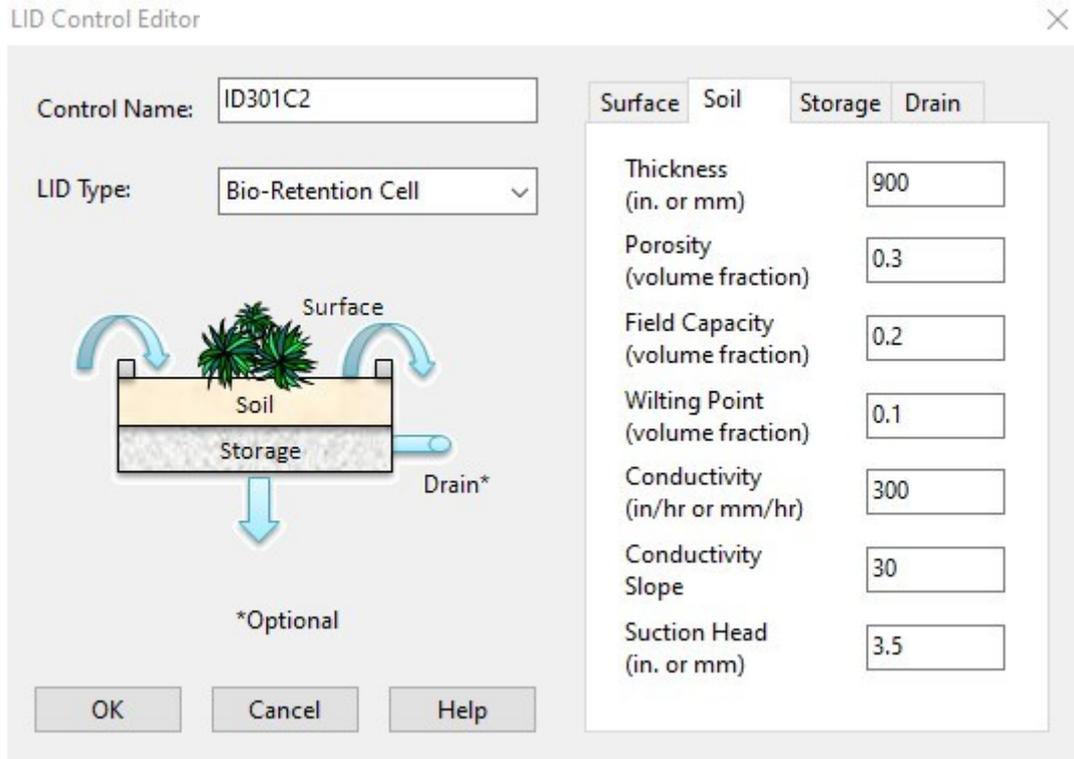


Figura 58: Pannello LID EDITOR - Soil

Nella sezione relativa allo strato di terreno “soil”, bisogna definire i seguenti parametri principali (Figura 58):

- *Thickness*: spessore strato di terreno.
- *Porosity*: vista come frazione tra il volume dei vuoti e il volume totale.
- *Field Capacity*: la % di acqua che un suolo è in grado di trattenere contro la forza di gravità.
- *Wilting Point*: Punto di appassimento, quantità di acqua presente nel terreno quando la pianta mostra sintomi di appassimento.
- *Conductivity*: Conducibilità idraulica per il terreno completamente saturo (mm/h)
- *Conductivity Slope*: Pendenza della curva logaritmica della conducibilità rispetto al contenuto di umidità del suolo. I valori vanno da 30 a 60.

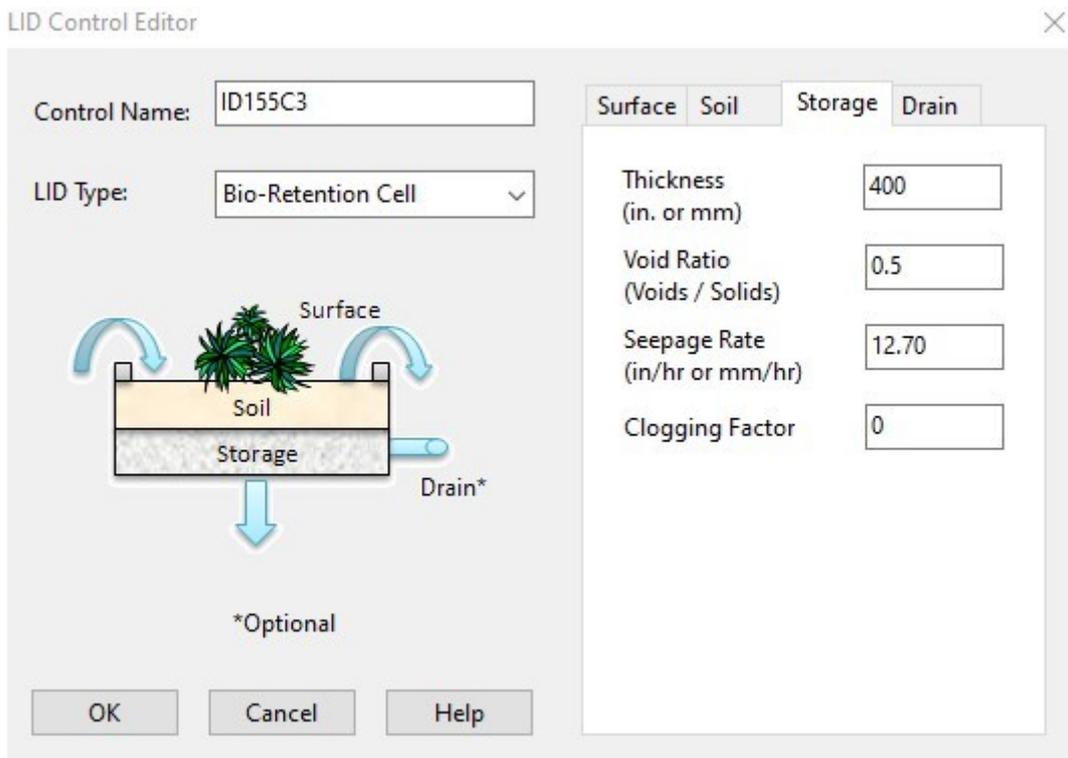


Figura 59: Pannello LID EDITOR - Storage

Nella sezione relativa allo “*storage*” (Figura 59), oltre a specificare lo spessore (*Thickness*) di questo strato, è stato anche settato il *Seepage Rate*: La velocità con cui l’acqua filtra nel terreno, ovvero la conducibilità idraulica satura dell’ambiente circostante.

Dato che, come visto al capitolo 2, buona parte del quartiere si trova su un suolo classificato a bassa infiltrazione e considerato che tale parametro è quello che regola, sostanzialmente, lo svuotamento delle aree di bioritenzione, si è deciso di provare a recuperare tali informazioni attraverso il *Web Map Service* del comune di Prato, ma tale ricerca non ha prodotto alcun risultato positivo. Quindi al fine di differenziare la capacità di infiltrazione tra le aree a maggiore e a minore infiltrazione, sulla base della classificazione dei suoli realizzata da “*Il Manuale del Geologo*” di Simone Voltaggio (Giugno 2020) come mostrato in figura 60:

tipo di terreno	f_0 [mm/h]	f_{∞} [mm/h]	α [h ⁻¹]
A) <i>Terreno con scarsa potenzialità di deflusso.</i> Comprende forti spessori di sabbie con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili	250	25.4	2
B) <i>Terreno con potenzialità di deflusso moderatamente bassa</i> Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.	200	12.7	2
C) <i>Potenzialità di deflusso moderatamente alta.</i> Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.	125	6.3	2
D) <i>Potenzialità di deflusso molto alta.</i> Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressochè impermeabili in vicinanza della superficie.	76	2.5	2

Figura 60: Classificazione dei suoli sulla base delle capacità di infiltrazione (Votaggio,2020)

Si è deciso di assumere come suoli di *classe B*, quelli che hanno una maggiore capacità di infiltrazione, mentre suoli di *classe C* quelli che hanno una scarsa capacità di infiltrazione.

Pertanto, a seconda della zona, il *seepage rate* è stato assunto pari a 6,3 mm/h (*classe C*) mentre 12,7 mm/h (*classe B*).

DEFINIZIONE VALORI CARATTERISTICI DEI LID

Le aree di bioritenzione proposte sono ribassate di 15 cm rispetto al cordolo perimetrale e ipotizzando di utilizzare uno scarico di troppo pieno che si attivi intorno ai 12 cm (*Figura 61*).

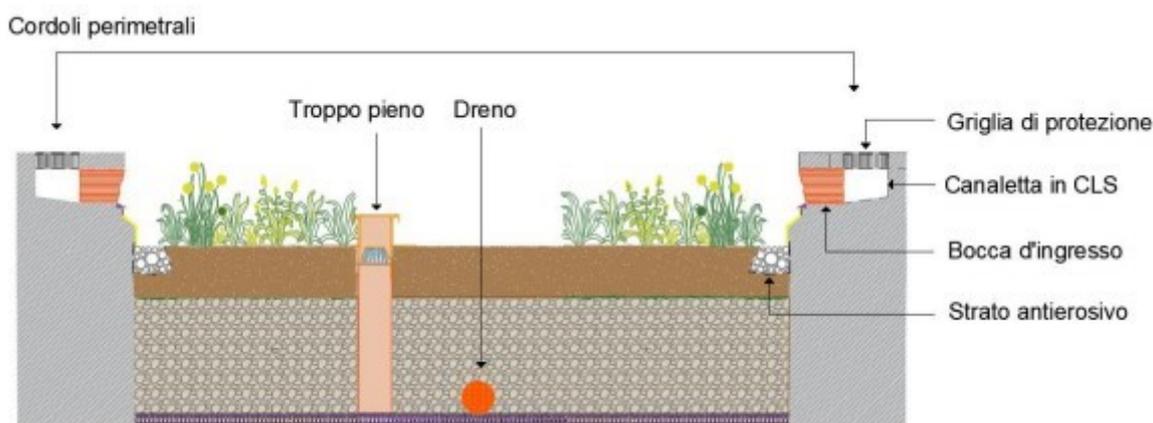


Figura 61: Schema area di bioritenzione (S.Giraud,PoliTo 2019)

Dal punto di vista stratigrafico questi elementi, come illustrato in *figura 62*, sono costituiti superiormente da una miscela di sabbia (50%), compost organico (25%) e terreno originario (25%).

Scendendo con la profondità, si trova uno strato di transizione filtrante fino ad arrivare allo strato drenante ultimo.

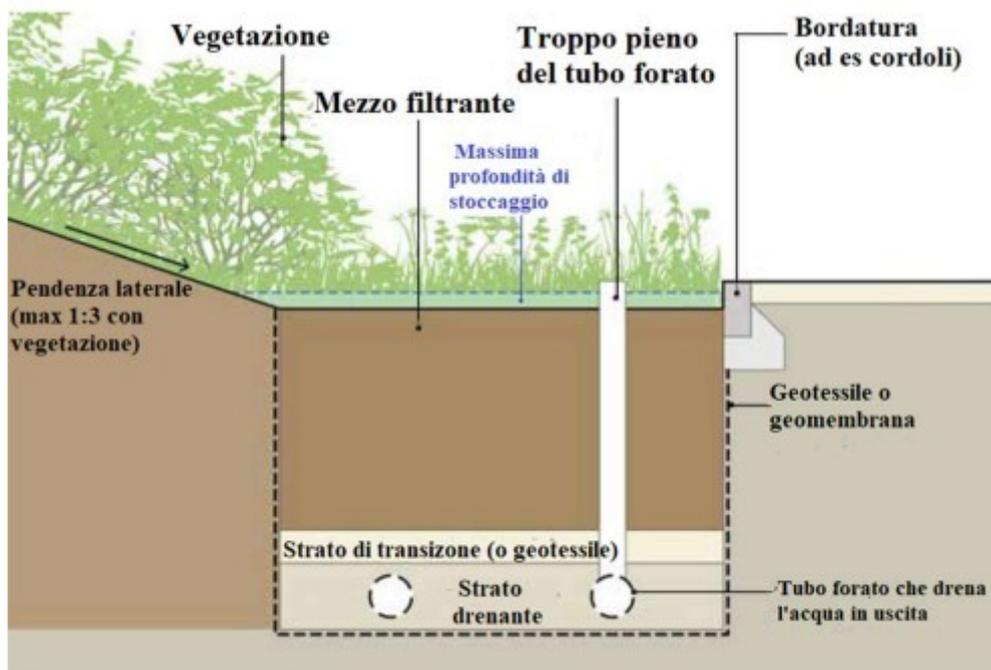


Figura 62: Stratigrafia area di bioritenzione (IRIDRA,2021)

I valori caratteristici di riferimento di questi LID CONTROL, sono stati valutati sulla base dell'articolo pubblicato da "D'Ambrosio et al. (2022)" realizzato per un lavoro molto simile a questo caso studio (*Figura 63*).

Sulla base di questi dati e dei risultati ottenuti, progressivamente sono stati fatti variare alcuni valori fino a trovare quelli che permettevano di avere un comportamento realistico dei vari LID.

a. Bio-Retention cell				
Surface	Blor.cell 1	Blor.cell 2	Blor.cell 3	Blor.cell 4
Berm Height (in or mm)	100.00	200.00	700.00	100.00
Vegetation Volume Fraction	0.20	0.20	0.20	0.00
Soil				
Thickness (in or mm)	250.00	400.00	450.00	250.00
Porosity (volume fraction)	0.35	0.35	0.35	0.35
Field Capacity (volume fraction)	0.11	0.11	0.11	0.11
Wilting Point (volume fraction)	0.01	0.01	0.01	0.01
Conductivity (in/hr or mm/hr)	108.00	108.00	108.00	108.00
Conductivity Slope	-	-	-	-
Suction Head (in or mm)	50.00	50.00	50.00	50.00
Storage				
Thickness (in or mm)	250.00	400.00	450.00	250.00
Void Ratio (voids/solids)	0.35	0.35	0.35	0.35
Seepage Rate (in/hr or mm/hr)	32.00	32.00	32.00	32.00

Figura 63: Valori caratteristici delle aree di bioritenzione (D'Ambrosio et Al,2022)

Nella *Tabella 16* vengono riportate, in maniera dettagliata, le caratteristiche di ogni intervento diffuso collocato nel suo sottobacino. Tenendo conto che una volta inseriti i vari LID nei sottobacini, bisogna ridurre la percentuale di area impermeabile del sottobacino stesso di una quantità pari all'area relativa ai LID inseriti, perché ovviamente queste sono delle aree permeabili.

SOTTOBACINO	INTERVENTO	AREA SUDS ASSUNTA (mq)	WIDTH (m)	% AREA IMP. TRATTATA	UBICAZIONE
57	ID 97 C2	9	5	1,84	Via Vivaldi, lungo strada
57	ID 175 C0	5	5	0,95	Via dell'Alberaccio, lungo strada
57	ID 176 C0	6	6	1,29	Via dell'Alberaccio, lungo strada
57	ID177C0	13	4,33	2,68	Via dell'Alberaccio, lungo strada
57	ID 188 C2	3	2	0,59	Via Vivaldi, lungo strada
57	ID174 C2	3	4	0,61	Via dell'Alberaccio, lungo strada
57	ID 183 C0	19	25	4,10	Via Vivaldi, lungo

					strada
57	ID 30 B	5	3,70	1,52	Via Vivaldi, lungo strada
57	ID 29 B	10	4,00	3,76	Via dell'Alberaccio, lungo strada
4	ID 209 C1	17	6	12,74	Via Vivaldi, lungo strada
4	ID 207 C2	7	3	5,37	Via Mascagni, lungo strada
4	ID 33 B	15	7	11,82	Via Borgioli, lungo strada
38	ID 517 C0	5	2,50	0,77	Via Nuti, lungo strada
38	ID 76 C1	53	6,50	9,05	Via Nuti, corte interna
38	ID 31 B	10	4	1,69	Via Vivaldi, lungo strada
38	ID 32 B	7	4	1,18	Via Vivaldi, lungo strada
39	ID 38 C1	23	6	14,07	Via dell'Alberaccio, lungo strada
39	ID 107 C1	8	2,50	9,75	Via dell'Alberaccio, lungo strada
39	ID 18 B	2	2	2,53	Via dell'Alberaccio, lungo strada
39	ID 19 B	4	2	2,53	Via dell'Alberaccio, lungo strada
41	ID 39 C2	4	4	8,23	Via Paganini, lungo strada
19	ID 70 C3	26	36	5,53	Via Spontini, lungo strada
20	ID 103 C3	8	4	13,68	Via Spontini, lungo strada

20	ID 20 B	12	4,60	4,90	Via dell'Alberaccio, lungo strada
91	ID 104 C3	60	25	17,57	Via Spontini, lungo strada
91	ID 161 C1	10	15	7,41	Via Spontini, lungo strada
36	ID 109 C1	25	6	30,19	Via Boccherini, lungo strada
34	ID 120 C2	120	20	100	Via Spontini, lungo strada
35	ID 123 C3	13	20	7,27	Via Boccherini, lungo strada
75	ID 137 C3	9	4	2,48	Via Mascagni, lungo strada
75	ID 649 C1	16	10	4,33	Via Pier Luigi da Palestina, corte interna
75	ID 655 C0	2	2	1,63	Via Mascagni, lungo strada
87	ID 145 C1	3	2	1,60	Via Mascagni, lungo strada
87	ID 146 C1	8	6	1,62	Via Mascagni, lungo strada
87	ID 657 C1	15	4,50	3,23	Via Mascagni, lungo strada
72	ID 149 C1	202	30	51,72	Via Spontini, lungo strada
72	ID 151 C2	48	6	12,27	Via Mascagni, corte interna
17	ID 159 C1	20	6	13,69	Via Boccherini, lungo strada
17	ID 160 C3	16	6	10,87	Via Boccherini, lungo strada
17	ID 162 C1	3	3	1,75	Via Boccherini, lungo strada
17	ID 26 B	3	3	2,75	Via Leoncavallo, lungo strada
18	ID 163 C1	12	5	4,26	Via Leoncavallo,

					lungo strada
18	ID 195 C3	158	30	54,80	Via Leoncavallo, corte interna
104	ID 181 C3	2	2	0,34	Via Borgioli, lungo strada
90	ID 189 C2	24	24	5,85	Via Vivaldi,lungo strada
90	ID 191 C0	18	18	4,38	Via Vivaldi,lungo strada
90	ID 196 C0	17	20	4,24	Via Vivaldi,lungo strada
98	ID 197 C0	19	24	9,88	Via Vivaldi,lungo strada
98	ID 198 C0	19	24	9,73	Via Vivaldi,lungo strada
71	ID 201 C2	10	9	2,81	Via Mascagni, lungo strada
71	ID 206 C1	2	3	0,47	Via Leoncavallo, lungo strada
71	ID 17 B	7	4	2,20	Via Mascagni, lungo strada
61	ID 316 C2	2	2	4,54	Via Don Ciabatti, lungo strada
14	ID 389 C3	12	12	3,35	Via Clementi, lungo strada
14	ID 391 C3	3	2	0,78	Via Clementi, lungo strada
14	ID 418 C1	8	3,5	2,10	Via Clementi, lungo strada
84	ID 34 B	4	3,60	2,94	Via Don Ciabatti, lungo strada
15	ID 400 C1	106	12,50	29,91	Via Borgioli, lungo strada
63	ID 414 C1	8	8	4,80	Via Pisciolini, lungo strada
56	ID 451 C2	78	12	36,08	Via Stradivari, lungo strada
10	ID 459 C1	8	4,50	3,05	Via Becherini,

					lungo strada
10	ID 15 B	5	3,50	2,28	Via Becherini, lungo strada
10	ID 16 B	4	2,50	1,84	Via Becherini, lungo strada
10	ID 37 B	20	11	8,10	Via dell'Alberaccio, lungo strada
Myj...wcs	ID 510 C3	4	2	12,37	Via dell'Alberaccio, lungo strada
Trmyj...grb	ID 663 C2	31	5	23,39	Via Becherini, lungo strada
8	ID 8 B	4	8	1,45	Via Borgioli, lungo strada
8	ID 9 B	4	4	1,22	Via Borgioli, lungo strada
7	ID 10 B	5	5,20	0,94	Via Borgioli, lungo strada
7	ID 11 B	2	4	0,48	Via Borgioli, lungo strada
76	ID 21 B	32	17	8,53	Via Rinuccini, lungo strada
76	ID 22 B	9	4,80	4,29	Via Rinuccini, lungo strada
73	ID 24 B	12	3,50	6,42	Via Spontini, lungo strada
73	ID 25 B	9	3	5,88	Via Spontini, lungo strada
3	ID 28 B	105	22	100	Via Mascagni, lungo strada
106	ID 35 B	23	12	9,64	Via Don Ciabatti, lungo strada
80	ID 449 C2	23	5	5,64	Via dell'Alberaccio, corte interna
16	ID 239 C2	18	8	7	Via Becherini, lungo strada
wbsvdc	ID 1 B	3	3	1,80	Via dell'Alberaccio,

					lungo strada
--	--	--	--	--	--------------

Tabella 16: Caratteristiche dei 79 interventi diffusi.



Figura 64: Mappatura 79 interventi, quartiere San Paolo (IRIDRA,2021)



Figura 65 :Mappatura 79 interventi, quartiere San Paolo (IRIDRA,2021)

SIMULAZIONI TR 2,5 e 10 anni CON I 79 LID

Attraverso l'applicazione di questi LID CONTROL, e lanciando la simulazione con ietogramma TR2 anni, vengono intercettati e quindi non immessi nella rete, circa **320 m³**.

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	90	10,37	70	8,39	20
4	20	12,78	20	8,51	
38	100	9,86	90	8,44	10
39	30	12,21	20	8,54	10
41	10	11,17	10	10,12	
19	80	8,12	80	7,61	
20	80	10,12	70	9,17	10
91	60	9,93	50	7,42	10
111	10	12,47	10	12,47	
36	20	11,17	10	7,42	10
34	20	11,21	0	0	20
35	30	10,03	30	9,19	
75	70	10,21	60	9,30	10
87	90	9,03	80	8,42	10
72	80	10,22	20	3,34	60
73	50	11,83	40	10,24	10
17	30	9,86	20	6,69	10

18	50	9,12	20	3,42	30
104	100	10,96	100	10,92	
90	70	9,47	60	7,91	10
98	40	9,05	30	7,07	10
71	60	10,52	60	9,86	
61	40	8,04	40	7,98	
81	50	9,59	50	9,59	
14	60	8,53	60	7,93	
100	40	9,69	40	9,69	
15	60	10,23	40	6,84	20
63	60	11,27	50	10,75	10
56	40	9,50	20	5,75	20
10	40	9,80	40	8,15	
Myj...vcs	10	10,28	10	8,85	
Erfqwef	10	7,17	10	7,17	
74	50	9,80	50	9,80	
Trmy...grb	20	11,81	20	8,69	
105	50	9,45	50	9,45	
82	80	9,20	80	9,20	
60	30	7,66	30	7,66	
83	90	9,96	90	9,96	
95	10	9,34	10	9,34	
48	80	10,45	80	10,45	
45	10	10,40	10	10,40	

46	10	9,35	10	9,35	
24	70	10,19	70	10,19	
79	20	12,85	20	12,85	
62	30	12	30	12	
29	90	10,37	90	10,37	
13	30	8,82	30	8,82	
80	70	10,67	70	9,98	
30	30	9,82	30	9,82	
106	40	10,30	40	9,17	
Fred	40	10,02	40	10,02	
77	30	9,82	30	9,82	
64	10	5,88	10	5,88	
101	40	11,22	40	11,22	
86	70	8,78	70	8,78	
23	70	12,63	70	12,63	
112	30	10,77	30	10,77	
16	50	10,65	40	9,80	10
113	30	8,18	30	8,18	
22	50	8,87	50	8,87	
69	20	7,38	20	7,38	
47	10	7,64	10	7,64	
84	60	8,46	60	8,33	
85	20	10,01	20	10,01	
49	30	8,89	30	8,89	

3	10	10,41	0	0,00	10
54	20	9,54	20	9,54	
66	10	9,29	10	9,29	
67	10	9,97	10	9,97	
55	50	9,13	50	9,13	
110	20	9,79	20	9,79	
59	50	10,85	50	10,85	
12	50	10,63	50	10,63	
109	10	9	10	9	
51	30	7,90	30	7,90	
28	10	12,14	10	12,14	
78	70	10,82	70	10,82	
11	20	10,19	20	10,18	
ethnrgbf	60	8,28	60	8,28	
96	50	10,51	50	10,51	
9	50	9,39	50	9,39	
,ujmhng	20	4,53	20	4,53	
103	90	9,96	90	9,96	
6	70	11,43	70	11,43	
107	50	10,14	50	10,14	
102	150	11,18	150	11,18	
33	30	7,21	30	7,21	
50	110	9,23	110	9,23	
Etsyhgdg	40	6,89	40	6,89	

5	30	12,20	30	12,20	
Hmjrbgfv	50	6,67	50	6,67	
Emwtmartbs	20	5,29	20	5,29	
Wyrhatgrf	100	8,92	100	8,92	
44	80	11,84	80	11,84	
dfsvac	70	7,25	70	7,25	
Enbrevfd	70	12,96	70	12,96	
Scdsdsd	20	12,01	20	12,01	
Qhefe	10	8,97	10	8,97	
Rtagbdvf	40	8,34	40	8,34	
43	80	10,78	80	10,78	
Hrtrtht	0	13,18	0	13,18	
89	70	9,85	70	9,85	
Hrthtrt	20	6,52	20	6,52	
Wefvdws	10	12,51	10	12,51	
Wefveas	20	13	20	13	
37	30	11,07	30	11,07	
Nrhtrgb	20	12,75	20	12,75	
8	50	10,24	50	9,93	
32	10	8,13	10	8,13	
4j3y5hwt4gr	10	6,14	10	6,14	
Etnwrbtgfe	20	7,95	20	7,95	
Bwgfvedws	10	11,66	10	11,66	
88	40	9,61	40	9,61	

7	90	8,48	90	8,35	
Fsgbdvfsc	10	13,54	10	13,54	
Fdvceasdc	20	13,02	20	13,02	
dweddwedwe d	10	13,13	10	13,13	
4tnrgbef	20	11,77	20	11,77	
76	70	10,22	60	8,80	10
2	10	11,68	10	11,68	
21	90	8,29	90	8,29	
Erfwefwefwe	50	9,60	50	9,60	
Wbsvdc	30	7,62	30	7,42	
Rweqfvsds	0	13,65	0	13,65	
erwfdwef	50	10,86	50	10,86	
108	70	7,09	70	7,09	
Werqfweqfw	10	12,37	10	12,37	
Bgtrevf	20	11,31	20	11,31	
Wefwefwe	10	12,27	10	12,27	
Werferwefe	30	11,43	30	11,43	
40	80	9,47	80	9,47	
1	10	11,17	10	11,17	
Vasca	80	12,02	80	12,02	
58	10	7,64	10	7,64	
92	60	11,62	60	11,62	
tmrhnbgfww edc	10	10,76	10	10,76	

99	20	10,72	20	10,72	
Gerferf	20	10,91	20	10,91	
93	40	12,11	40	12,11	
42	20	6,96	20	6,96	
26	60	8,68	60	8,68	
Yntebrge	80	10,69	80	10,69	
Regere	50	11,53	50	11,53	
Geqrfw	30	11,32	30	11,32	
tyrmhmtgebf v	30	9,23	30	9,23	
Qefveqrfeqrf	10	8,99	10	8,99	
Bfwveqeve	10	9,52	10	9,52	
Qverffwefe	10	7,17	10	7,17	
94	10	5,84	10	5,84	
25	20	7,61	20	7,61	
P6	10	5,78	10	5,78	
					Vol.tot 320 m³

Tabella 17: Volume intercettato 79 LID, TR 2 anni

Dal punto di vista del volume esondato dalla rete, a fronte dei **1228 m³** (prima dell'inserimento dei LID CONTROL), ora risulta esondare un volume pari a **915 m³** (il 25,49 % in meno).

Lanciando la simulazione con TR 2 anni, si può notare che i nodi più critici in termini di volume esondato, risultano essere: 135, 136, 137 e 139.

Questi nodi si trovano in sequenza su via San Paolo, e i relativi sottobacini non prevedono l'applicazione di LID ad eccezione del sottobacino collegato al nodo 135, nel quale sia ha l'applicazione di un LID non rilevante.

Come analizzato nei primi capitoli, lo studio dell'intero bacino, si basa sulla suddivisione di quest'ultimo in 4 quadranti: NO, NE, SE, SO.

Ipotizzando di lavorare esclusivamente con i LID CONTROL appartenenti ad un solo quadrante e quindi eliminando tutti quelli inseriti negli altri 3, tale che l'obiettivo sia quello di valutare il beneficio che questi interventi possano apportare a livello globale, sempre in termini di volume esondato.

Iniziando a lavorare solo con gli interventi previsti nel quadrante **NO**, ovvero i seguenti 15 interventi:

ID 97 C2	ID 209 C1	ID 35 B	ID 33 B	ID 181 C3
ID 239 C2	ID 34 B	ID 400 C1	ID 389 C3	ID 391 C3
ID 418 C1	ID 15 B	ID 16 B	ID 28 B	ID 316

Lanciando la simulazione con TR 2 anni 30 minuti, con questi interventi, il volume complessivamente esondato risulta pari a **1154** m³ (il 6,03% in meno).

Lavorando solo con gli interventi previsti nel quadrante **NE**, ovvero i seguenti 5 interventi:

ID 414 C1	ID 451 C2	ID 459 C1	ID 37 B	ID 449 C2
-----------	-----------	-----------	---------	-----------

Lanciando la simulazione con TR 2 anni 30 minuti, con questi interventi, il volume complessivamente esondato risulta pari a **1212** m³ (l' 1,63 % in meno).

Lavorando solo con gli interventi previsti nel quadrante **SE**, ovvero i seguenti 16 interventi:

ID 177 C0	ID 30 B	ID 29 B	ID 517 C0	ID 31 B
ID 76 C1	ID 32 B	ID 38 C1	ID 39 C2	ID 70 C3
ID 20 B	ID 510 C3	ID 8 B	ID 9 B	ID 10 B
ID 11 B				

Lanciando la simulazione con TR 2 anni 30 minuti, con questi interventi, il volume complessivamente esondato risulta pari a **1186 m³** (il 3,42 % in meno).

Lavorando solo con gli interventi previsti nel quadrante **SO**, ovvero i seguenti 43 interventi:

ID 175 C0	ID 188 C2	ID 183 C0	ID 107 C1	ID 109 C1	ID 137 C3
ID 176 C0	ID 174 C2	ID 207 C2	ID 18 B	ID 120 C2	ID 649 C1
ID 103 C3	ID 104 C3	ID 161 C1	ID 19 B	ID 123 C3	ID 655 C0
ID 145 C1	ID 146 C1	ID 657 C1	ID 149 C1	ID 151 C2	ID 159 C1
ID 160 C3	ID 162 C1	ID 26 B	ID 163 C1	ID 195 C3	ID 191 C0
ID 196 C0	ID 189 C2	ID 197 C0	ID 198 C0	ID 201 C2	ID 206 C1
ID 17 B	ID 663 C2	ID 21 B	ID 22 B	ID 24 B	ID 25 B
ID 1B					

Lanciando la simulazione con TR 2 anni 30 minuti con questi interventi, il volume complessivamente esondato risulta pari a **1051 m³** (il 14,41 % in meno).

Passando al **TR 5 anni** (43.94 mm/h) il volume intercettato sale a **380 m³**. Mentre il volume esondato passa da **3601 m³** a **3012 m³** (16,36 % in meno).

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	110	13,66	100	11,37	10
4	30	16,60	20	11,39	10
38	140	13,25	120	11,49	20
39	40	16,07	30	11,93	10
41	10	14,66	10	13,39	
19	110	10,91	100	10,28	10
20	110	13,49	100	12,57	10
91	80	13,03	60	10,11	20
111	10	16,74	10	16,74	
36	20	14,46	10	9,91	10
34	20	12,85	0	0	20
35	40	13,40	40	12,37	
75	90	13,54	80	12,47	10
87	120	12,01	110	11,30	10
72	90	12,85	30	4,47	60
73	60	15,74	60	14,07	
17	30	13,05	20	9,14	10
18	70	11,68	30	4,64	40
104	140	14,64	130	14,59	10
90	90	12,69	80	10,77	10

98	50	11,90	40	9,48	10
71	80	14	80	13,19	
61	60	10,92	60	10,87	
81	70	12,83	70	12,83	
14	90	11,42	80	10,68	10
100	50	13	50	13	
15	80	13,38	60	9,22	20
63	70	15,21	70	14,69	
56	50	12,29	30	7,71	20
10	60	13,06	50	10,97	10
Myj...ves	10	13,45	10	11,71	
Erfqwef	10	9,49	10	9,49	
74	60	13,27	60	13,27	
Trmy...grb	30	16,21	20	12,21	10
105	60	12,73	60	12,73	
82	110	12,36	110	12,36	
60	40	10,22	40	10,22	
83	120	13,37	120	13,37	
95	20	12,58	20	12,58	
48	110	14,05	110	14,05	
45	10	13,99	10	13,99	
46	20	12,52	20	12,52	
24	90	13,62	90	13,62	
79	30	17,44	30	17,44	

62	30	16,08	30	16,08	
29	110	13,88	110	13,88	
13	40	11,76	40	11,76	
80	90	14,45	90	14,04	
30	40	13,32	40	13,32	
106	60	13,89	50	12,48	10
Fred	50	13,43	50	13,43	
77	40	13,16	40	13,16	
64	10	7,78	10	7,78	
101	50	15,04	50	15,04	
86	90	11,95	90	11,95	
23	100	16,84	100	16,84	
112	40	14,66	40	14,66	
16	60	14,29	60	13,24	
113	40	11,02	40	11,02	
22	60	12,05	60	12,05	
69	30	9,85	30	9,85	
47	20	10,24	20	10,24	
84	80	11,38	80	11,20	
85	30	13,32	30	13,32	
49	40	11,89	40	11,89	
3	10	11,45	0	0,00	10
54	30	12,76	30	12,76	
66	20	12,53	20	12,53	

67	20	13,55	20	13,55	
55	60	12,37	60	12,37	
110	30	13,04	30	13,04	
59	70	15,24	70	15,24	
52	10	9,41	10	9,41	
12	60	14,63	60	14,63	
109	10	11,95	10	11,95	
51	30	7,90	30	7,90	
28	10	16,30	10	16,30	
78	90	14,56	90	14,56	
11	20	14,32	20	14,32	
ethnrgbf	90	11,10	90	11,10	
96	70	14,06	70	14,06	
9	70	13,20	70	13,20	
,ujmhng	30	6,16	30	6,16	
103	110	13,38	110	13,38	
6	90	15,28	90	15,28	
107	70	13,62	70	13,62	
102	200	15,01	200	15,01	
33	40	9,64	40	9,64	
50	140	12,48	140	12,48	
Etsyhgdf	50	9,32	50	9,32	
5	40	16,41	40	16,41	
Hmjrbgfv	60	8,97	60	8,97	

Emwtmartbs	20	7,14	20	7,14	
Wyrhatgrf	140	12,06	140	12,06	
44	100	15,87	100	15,87	
dfsvac	100	9,83	100	9,83	
Enbrevfd	100	17,30	100	17,30	
Scdsdscd	30	16,11	30	16,11	
Qhefe	10	12,15	10	12,15	
Rtagbdvf	50	11,36	50	11,36	
43	110	14,26	110	14,26	
Hrtrtht	10	17,73	10	17,73	
89	100	13,84	100	13,84	
Hrthtrt	30	8,65	30	8,65	
Wefvdws	20	16,95	20	16,95	
Wefveas	20	17,55	20	17,55	
37	50	14,86	50	14,86	
Nrhtrgb	20	17,25	20	17,25	
8	70	13,90	70	13,51	
32	10	10,86	10	10,86	
4j3y5hwt4gr	10	8,24	10	8,24	
Etnwrbtgfe	20	10,58	20	10,58	
Bwgfvedws	10	15,62	10	15,62	
88	60	12,84	60	12,84	
7	120	11,53	120	11,36	
Fsgbdvfsc	20	17,92	20	17,92	

Fdvceasdc	20	17,56	20	17,56	
dweddwedwe d	10	17,37	10	17,37	
4tnrgbef	20	15,67	20	15,67	
76	90	13,51	80	11,88	10
2	10	15,63	10	15,63	
21	120	11,28	120	11,28	
Erfwefwefwe	70	12,91	70	12,91	
Wbsvdc	40	10,06	40	9,87	
Rweqfvsds	10	18,24	10	18,24	
erwfdwef	60	14,58	60	14,58	
108	100	9,64	100	9,64	
Werqfweqfw	10	16,83	10	16,83	
Bgtrevf	30	15,13	30	15,13	
Wefwefwe	20	16,49	20	16,49	
Werferwefe	40	15,37	40	15,37	
40	110	12,53	110	12,53	
1	10	14,90	10	14,90	
Vasca	110	15,90	110	15,90	
58	20	10,18	20	10,18	
92	80	15,59	80	15,59	
tmrhnbqfwve dc	10	14,42	10	14,42	
99	20	14,35	20	14,35	
Gerferf	20	14,54	20	14,54	

93	60	16,14	60	16,14	
42	30	9,42	30	9,42	
26	80	11,78	80	11,78	
Yntebrge	110	14,35	110	14,35	
Regere	60	15,52	60	15,52	
Geqrfw	30	15,08	30	15,08	
tyrmhmtgebv	40	12,39	40	12,39	
Qefveqrfeqrf	20	12,08	20	12,08	
Bfwveqeve	20	12,68	20	12,68	
Qverffwefe	20	9,76	20	9,76	
94	10	7,79	10	7,79	
25	30	10,16	30	10,16	
P6	10	7,69	10	7,69	
					Vol.tot 380 m³

Tabella 18: Volume intercettato 79 LID, TR 5

In questo caso con la simulazione TR 5 anni, si osserva un aumento del volume esondato e di conseguenza un numero maggiore di nodi critici, perché ai nodi 135, 136, 137 e 139 (che rimangono quelli più esondanti), si aggiungono i nodi **149** (via Boccherini, altezza via S.Paolo, dove il relativo sottobacino prevede l'inserimento di 1 lid) e **70** (via Mascagni, dove il relativo sottobacino ha 2 lid control inseriti).

Inoltre, si evidenzia come l'efficienza dei 79 LID CONTROL applicati, in particolar modo quelli in prossimità dei nodi più critici di via San Paolo, decresce.

Iniziando a lavorare solo con gli interventi previsti nel quadrante **NO**, e lanciando la simulazione con TR 5 anni 30 minuti, il volume complessivamente esondato risulta pari a **3433 m³** (il 4,67% in meno).

Invece, solo con gli interventi previsti nel quadrante **NE**, e lanciando la simulazione con TR 5 anni 30 minuti, il volume complessivamente esondato risulta pari a **3370 m³** (il 6,42% in meno).

Solo con gli interventi previsti nel quadrante **SE**, e lanciando la simulazione con TR 5 anni 30 minuti, il volume complessivamente esondato risulta pari a **3475 m³** (il 3,50% in meno).

Infine solo con gli interventi previsti nel quadrante **SO**, e lanciando la simulazione con TR 5 anni 30 minuti, il volume complessivamente esondato risulta pari a **3161 m³** (il 12,22% in meno).

Infine, eseguendo la simulazione per **TR 10 anni** (52,52 mm/h), il volume esondato passa da **5707 m³** a **4928 m³** (13.65 % in meno). Mentre il volume intercettato sale a **430 m³**.

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	130	16,02	110	13,46	20
4	40	19,46	30	13,44	10
38	160	15,65	140	13,57	20
39	50	18,89	30	14,28	20
41	10	17,10	10	15,72	
19	130	12,85	120	12,13	10

20	120	15,81	120	14,90	
91	100	15,28	80	12,01	20
111	20	19,66	20	19,66	
36	20	16,94	20	11,61	
34	20	15,05	0	0	20
35	50	15,75	40	14,54	10
75	100	15,87	100	14,66	
87	140	14,08	130	13,28	10
72	110	15,07	40	5,24	70
73	70	18,47	70	16,80	
17	40	15,40	30	10,86	10
18	80	13,78	30	5,49	50
104	160	17,16	160	17,09	
90	110	14,98	90	12,71	20
98	60	13,96	50	11,29	10
71	100	16,40	90	15,49	10
61	70	12,89	70	12,84	
81	80	15,05	80	15,05	
14	100	13,42	90	12,56	10
100	60	15,26	60	15,26	
15	100	15,73	70	10,85	30
63	90	17,90	90	17,39	
56	60	14,42	40	9,08	20
10	70	15,35	60	13,01	10

Myj...ves	10	15,69	10	13,82	
Erfqwef	10	11,07	10	11,07	
74	70	15,63	70	15,63	
Trmy...grb	40	19,14	30	14,43	10
105	70	14,96	70	14,96	
82	120	14,52	120	14,52	
60	50	11,96	50	11,96	
83	140	15,69	140	15,69	
95	20	14,80	20	14,80	
48	130	16,51	130	16,51	
45	20	16,43	20	16,43	
46	20	14,68	20	14,68	
24	100	15,96	100	15,96	
79	40	20,57	40	20,57	
62	40	18,87	40	18,87	
29	130	16,26	130	16,26	
13	40	13,77	40	13,77	
80	110	17,06	110	16,64	
30	40	15,71	40	15,71	
106	70	16,40	60	14,78	10
Fred	60	15,75	60	15,75	
77	40	15,43	40	15,43	
64	10	9,07	10	9,07	
101	60	17,65	60	17,65	

86	110	14,56	110	14,56	
23	110	19,71	110	19,71	
112	50	17,32	50	17,32	
16	70	16,83	70	15,62	
113	50	12,96	50	12,96	
22	70	14,22	70	14,22	
69	40	11,53	40	11,53	
47	20	12	20	12	
84	100	13,38	90	13,20	10
85	30	15,57	30	15,57	
49	40	13,93	40	13,93	
3	10	13,43	0	0,00	10
54	40	14,95	40	14,95	
66	20	14,74	20	14,74	
67	20	15,98	20	15,98	
55	70	14,57	70	14,57	
110	40	15,26	40	15,26	
53	10	18,13	10	18,13	
59	80	18,00	80	18,00	
52	10	11,00	10	11,00	
12	80	17,20	80	17,20	
109	10	13,96	10	13,96	
51	50	12,38	50	12,38	
28	10	19,14	10	19,14	

78	100	17,11	100	17,11	
11	30	16,90	30	16,90	
ethnrgbf	100	13,03	100	13,03	
96	80	16,47	80	16,47	
9	80	15,58	80	15,58	
,ujmhng	40	7,28	40	7,28	
103	130	15,70	130	15,70	
6	110	17,91	110	17,91	
107	80	15,99	80	15,99	
102	230	17,62	230	17,62	
33	50	11,29	50	11,29	
50	170	14,70	170	14,70	
Etsyhgdf	60	10,97	60	10,97	
5	50	19,28	50	19,28	
Hmjrbgfv	70	10,55	70	10,55	
Emwtmartbs	30	8,40	30	8,40	
Wyrhatgrf	170	14,21	170	14,21	
44	120	18,61	120	18,61	
dfsvac	120	11,59	120	11,59	
Enbrevfd	110	20,26	110	20,26	
Scdsdsed	30	18,91	30	18,91	
Qhefe	20	14,32	20	14,32	
Rtagbdvf	60	13,41	60	13,41	
43	120	16,63	120	16,63	

Hrtrtht	10	20,83	10	20,83	
89	120	16,34	120	16,34	
Hrthtrt	30	10,11	30	10,11	
Wefvdws	20	19,97	20	19,97	
Wefveas	30	20,65	30	20,65	
37	50	17,44	50	17,44	
Nrhtrgb	20	20,31	20	20,31	
8	80	16,41	80	15,97	
32	20	12,71	20	12,71	
4j3y5hwt4gr	10	9,66	10	9,66	
Etnwrbtgfe	30	12,37	30	12,37	
Bwgfvedws	10	18,31	10	18,31	
88	70	15,04	70	15,04	
7	150	13,62	150	13,43	
Fsgbdvfsc	20	20,90	20	20,90	
Fdvceasdc	20	20,65	20	20,65	
dweddwedwe d	10	20,26	10	20,26	
4tnrgbef	30	18,33	30	18,33	
76	110	15,82	100	14,03	10
2	10	18,32	10	18,32	
21	150	13,31	150	13,31	
Erfwefwefwe	80	15,17	80	15,71	
Wbsvdc	40	11,74	40	11,74	

Rweqfvsds	10	21,37	10	21,37	
erwfdwef	70	17,11	70	17,11	
108	120	11,38	120	11,38	
Werqfweqfw	10	19,87	10	19,87	
Bgtrevf	40	17,73	40	17,73	
Wefwefwe	20	19,37	20	19,37	
Werferwefe	40	18,06	40	18,06	
40	130	14,61	130	14,61	
1	10	17,44	10	17,44	
Vasca	120	18,54	120	18,54	
58	20	11,91	20	11,91	
92	90	18,92	90	18,29	
tmrhnbqfwve dc	20	16,91	20	16,91	
99	30	16,83	30	16,83	
Gerferf	30	17,02	30	17,02	
93	70	18,90	70	18,90	
42	40	11,11	40	11,11	
26	100	13,90	100	13,90	
Yntebrge	130	16,84	130	16,84	
Regere	70	18,24	70	18,24	
Geqrfw	40	17,64	40	17,64	
tyrmhmtgeb v	50	14,54	50	14,54	
Qefveqrfqrf	20	14,19	20	14,19	

Bfwveqeve	20	14,83	20	14,83	
Qverffwefe	20	11,90	20	11,90	
94	20	9,11	20	9,11	
25	40	11,90	40	11,90	
P6	20	9,00	20	9,00	
					Vol.tot 430 m³

Tabella 19: Volume intercettato 79 LID, TR 10

Infine, analizzando la simulazione con **TR 10 anni**, si può notare che l'efficienza dei LID applicati, relativamente ai nodi critici sopracitati, in termini di volume esondato, è ormai ridotta attorno al 10% circa, risultando quasi irrilevante.

Inserendo solo gli interventi previsti nel quadrante **NO**, e lanciando la simulazione con TR 10 anni 30 minuti, il volume complessivamente esondato risulta pari a **5378 m³** (il 5,77 % in meno).

Lavorando solo con gli interventi previsti nel quadrante **NE**, e lanciando la simulazione con TR 10 anni 30 minuti, il volume complessivamente esondato risulta pari a **5439 m³** (il 4,70 % in meno).

Solo con gli interventi previsti nel quadrante **SE**, e lanciando la simulazione con TR 10 anni 30 minuti, il volume complessivamente esondato risulta pari a **5488 m³** (il 3,84% in meno).

Infine solo con gli interventi previsti nel quadrante **SO**, lanciando la simulazione con TR 10 anni 30 minuti, il volume complessivamente esondato risulta pari a **5017 m³** (il 12,09% in meno).

		TR2 31.92 mm/h (30min.)	TR5 43.94 mm/h (30min.)	TR10 52.52 mm/h (30min.)
	vol.esondato senza LID	1228 m3	3601 m3	5707 m3
	vol.esondato con tutti i LID	915 m3 (25,49% in meno)	3012 m3 (16,36% in meno)	4928 m3 (13,65% in meno)
	vol.intercettato con tutti i LID	320 m3	380 m3	430 m3
15 interventi	solo LID NO	1154 m3 (6,03%)	3433 m3 (4,67%)	5378 m3 (5,77%)
5 interventi	solo LID NE	1212 m3 (1,63%)	3370 m3 (6,42%)	5439 m3 (4,70%)
16 interventi	solo LID SE	1186 m3 (3,42%)	3475 m3 (3,50%)	5488 m3 (3,84%)
43 interventi	solo LID SO	1051 m3 (14,41%)	3161 m3 (12,22%)	5017 m3 (12,09%)

Tabella 20: Sintesi dei risultati ottenuti con 79 LID

SIMULAZIONI CON CONDUCIBILITA' IDRAULICA A 1000 mm/h E DESCRIZIONE DELL'ESONDAZIONE

Alla luce dei risultati ottenuti, soprattutto in termini di volume intercettato, si è verificata la possibilità di migliorare questi ultimi risultati attraverso l'utilizzo di un substrato ghiaioso, più drenante anche se meno adatto allo sviluppo di vegetazione. Questo si ottiene assumendo come conducibilità idraulica del "soil layer" dei 79 lid control, un valore pari a 1000 mm/h.

Quindi in tali condizioni, provando a lanciare nuovamente le simulazioni, si ottiene:

Per **TR 2** anni:

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	90	10,37	70	8,37	20
4	20	12,78	20	8,51	
38	100	9,86	90	8,44	10
39	30	12,21	20	8,36	10

41	10	11,17	10	10,12	
19	80	8,12	80	7,61	
20	80	10,12	70	9,14	10
91	60	9,93	50	7,28	10
111	10	12,47	10	12,47	
36	20	11,17	10	7,42	10
34	20	11,21	0	0	20
35	30	10,03	30	9,19	
75	70	10,21	60	9,28	10
87	90	9,03	80	8,39	10
72	80	10,22	20	3,34	60
73	50	11,83	40	10,23	10
17	30	9,86	20	6,69	10
18	50	9,12	20	3,42	30
104	100	10,96	100	10,92	
90	70	9,47	60	7,91	10
98	40	9,05	30	7,07	10
71	60	10,52	60	9,86	
61	40	8,04	40	7,87	
81	50	9,59	50	9,59	
14	60	8,53	60	7,93	
100	40	9,69	40	9,69	
15	60	10,23	40	6,84	20
63	60	11,27	50	10,69	10

56	40	9,50	20	5,75	20
10	40	9,84	40	8,15	
Myj...ves	10	10,28	10	8,85	
Erfqwef	10	7,17	10	7,17	
74	50	9,80	50	9,80	
Trmy...grb	20	11,81	20	8,69	
105	50	9,45	50	9,45	
82	80	9,20	80	9,20	
60	30	7,66	30	7,66	
83	90	9,96	90	9,96	
95	10	9,34	10	9,34	
48	80	10,45	80	10,45	
45	10	10,40	10	10,40	
46	10	9,35	10	9,35	
24	70	10,19	70	10,19	
79	20	12,85	20	12,85	
62	30	12	30	12	
29	90	10,37	90	10,37	
13	30	8,82	30	8,82	
80	70	10,67	70	9,98	
30	30	9,82	30	9,82	
106	40	10,30	40	9,17	
Fred	40	10,02	40	10,02	
77	30	9,88	30	9,82	

64	10	5,88	10	5,88	
101	40	11,22	40	11,22	
86	70	8,78	70	8,78	
23	70	12,63	70	12,63	
112	30	10,77	30	10,77	
16	50	10,65	40	9,80	10
113	30	8,18	30	8,18	
22	50	8,87	50	8,87	
69	20	7,38	20	7,38	
47	10	7,64	10	7,64	
84	60	8,46	60	8,22	
85	20	10,01	20	10,01	
49	30	8,89	30	8,89	
3	10	10,41	0	0,00	10
54	20	9,54	20	9,54	
66	10	9,29	10	9,29	
67	10	9,97	10	9,97	
55	50	9,13	50	9,13	
110	20	9,79	20	9,79	
59	50	10,85	50	10,85	
12	50	10,85	50	10,85	
109	10	9	10	9	
51	30	7,90	30	7,90	
28	10	12,14	10	12,14	

78	70	10,82	70	10,82	
11	20	10,19	20	10,19	
ethnrgbf	60	8,28	60	8,28	
96	50	10,51	50	10,51	
9	50	9,39	50	9,39	
,ujmhng	20	4,53	20	4,53	
103	90	9,96	90	9,96	
6	70	11,43	70	11,43	
107	50	10,14	50	10,14	
102	150	11,18	150	11,18	
33	30	7,21	30	7,21	
50	110	9,23	110	9,23	
Etsyhgdf	40	6,89	40	6,89	
5	30	12,20	30	12,20	
Hmjrbgfv	50	6,67	50	6,67	
Emwtmartbs	20	5,29	20	5,29	
Wyrhatgrf	100	8,92	100	8,92	
44	80	11,84	80	11,84	
dfsvac	70	7,25	70	7,25	
Enbrevfd	70	12,96	70	12,96	
Scdsdsed	20	12,01	20	12,01	
Qhefe	10	8,97	10	8,97	
Rtagbdvf	40	8,34	40	8,34	
43	80	10,78	80	10,78	

Hrtrtht	0	13,18	0	13,18	
89	70	9,85	70	9,85	
Hrthtrt	20	6,52	20	6,52	
Wefvdws	10	12,51	10	12,51	
Wefveas	20	13	20	13	
37	30	11,07	30	11,07	
Nrhtrgb	20	12,75	20	12,75	
8	50	10,24	50	9,93	
32	10	8,13	10	8,13	
4j3y5hwt4gr	10	6,14	10	6,14	
Etnwrbtgfe	20	7,95	20	7,95	
Bwgfvedws	10	11,66	10	11,66	
88	40	9,61	40	9,61	
7	90	8,48	90	8,35	
Fsgbdvfsc	10	13,54	10	13,54	
Fdvceasdc	20	13,02	20	13,02	
dweddwedwe d	10	13,13	10	13,13	
4tnrgbef	20	11,77	20	11,77	
76	70	10,22	60	8,77	10
2	10	11,68	10	11,68	
21	90	8,29	90	8,29	
Erfwefwefwe	50	9,60	50	9,60	
Wbsvdc	30	7,62	30	7,46	

Rweqfvsds	0	13,65	0	13,65	
erwfdwef	50	10,86	50	10,86	
108	70	7,09	70	7,09	
Werqfweqfw	10	12,37	10	12,37	
Bgtrevf	20	11,31	20	11,31	
Wefwefwe	10	12,27	10	12,27	
Werferwefe	30	11,43	30	11,43	
40	80	9,47	80	9,47	
1	10	11,17	10	11,17	
Vasca	80	12,02	80	12,02	
58	10	7,64	10	7,64	
92	60	11,62	60	11,62	
tmrhnbqfw edc	10	10,76	10	10,76	
99	20	10,72	20	10,72	
Gerferf	20	10,91	20	10,91	
93	40	12,11	40	12,11	
42	20	6,96	20	6,96	
26	60	8,68	60	8,68	
Yntebrge	80	10,69	80	10,69	
Regere	50	11,53	50	11,53	
Geqrfw	30	11,32	30	11,32	
tyrmhmtgeb v	30	9,23	30	9,23	
Qefveqrfqrf	10	8,99	10	8,99	

Bfwveqeve	10	9,52	10	9,52	
Qverffwefe	10	7,17	10	7,17	
94	10	5,84	10	5,84	
25	20	7,61	20	7,61	
P6	10	5,78	10	5,78	
					Vol.tot 320 m³

Tabella 21: Volume intercettato 79 lid, TR 2, cond.idraulica 1000 mm/h

Da questa simulazione si può notare che, nonostante l'aumento della conducibilità idraulica a 1000 mm/h per tutti i 79 lid control, non si osserva un maggior volume di runoff intercettato anzi non cambia sostanzialmente nulla, perché vengono intercettati come in precedenza, **320 m³**.

Anche dal punto di vista del volume esondato complessivamente dalla rete, non cambia nulla, in quanto questo risulta pari a **915 m³**.

Questo è dovuto a diverse ragioni, tra cui:

- il terreno al disotto dei lid ha comunque sia bassa capacità di infiltrazione (infatti il seepege rate dello “*storage layer*” è 6,3 mm/h o 12,7 mm/h) e di conseguenza questi, si riempiono velocemente fino a esaurire la loro capacità di invaso;
- Inoltre, analizzando dettagliatamente le performance dei vari LID, in realtà vi è una differenza tra la conducibilità a 300 mm/h e quella a 1000 mm/h. Infatti, con 300 mm/h si ottiene un ***surface outflow*** (mm) maggiore rispetto a 1000 mm/h, e di conseguenza diminuisce il ***final storage*** dei vari lid, che quindi trattengono un volume minore di acqua.

Questo maggior *surface outflow*, in parte si infiltra nel restante terreno permeabile e in parte contribuisce all'aumento del volume di runoff (mm). Ma in realtà, tale aumento di volume di runoff (mm) è irrisorio, perché al più risulta pari, per TR 10 anni, a **0,62 mm** (rispetto al corrispettivo con 1000 mm/h).

Quindi se tale incremento viene spalmato sull'intera area, dal punto di vista del volume di runoff in m^3 non cambia assolutamente nulla.

A questo punto, facendo riferimento alla simulazione corrente (TR 2 anni) e ai 79 lid control inseriti con le caratteristiche definite in precedenza, si vogliono illustrare quali sono i punti critici di tale esondazione.

Tenendo conto che l'intero evento meteorico simulato dura 12 ore, in cui solo per 30 minuti (da 6:00 a 6:30) si ha un'intensità pari a 31,92 mm/h:

- Al tempo **04:12**, l'unico nodo che esonda è il **PO_VASCA**, ovvero il nodo relativo al sottopassaggio di viale Nam Dhin, per il quale vengono utilizzate 3 pompe (*Figura 66*).

Questo continuerà ad esondare fino al tempo 07:29, esondando complessivamente $78 m^3$.

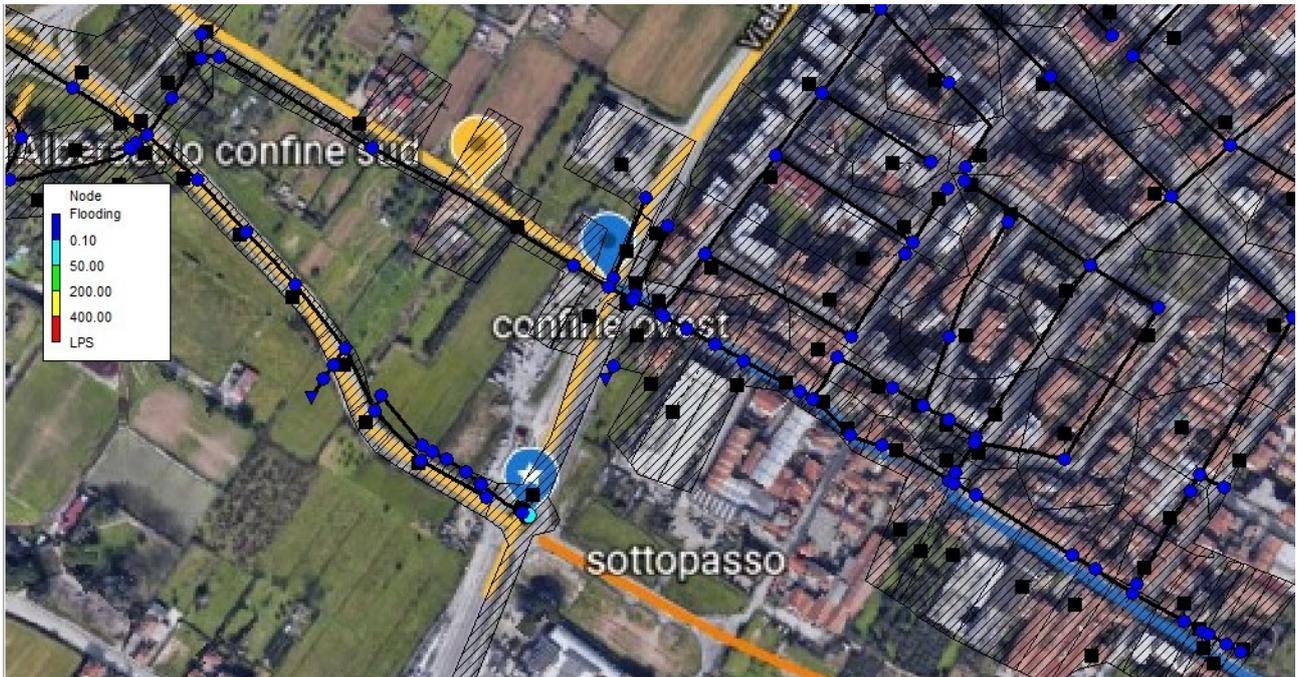


Figura 66: Mappa esondazione iniziale PO_Vasca, SWMM

- Al tempo **06:15**, inizia ad esondare il nodo **5** (via Borgioli, sottobacino 7) che esonderà in totale 10 m³.
- Dopo due minuti, il primo nodo che va in crisi su via San Paolo è il **139**, che esonderà in totale 191 m³ creando in quella zona un allegamento che raggiungerà un'altezza massima di circa 20 cm, come mostrato in *figura 67*.

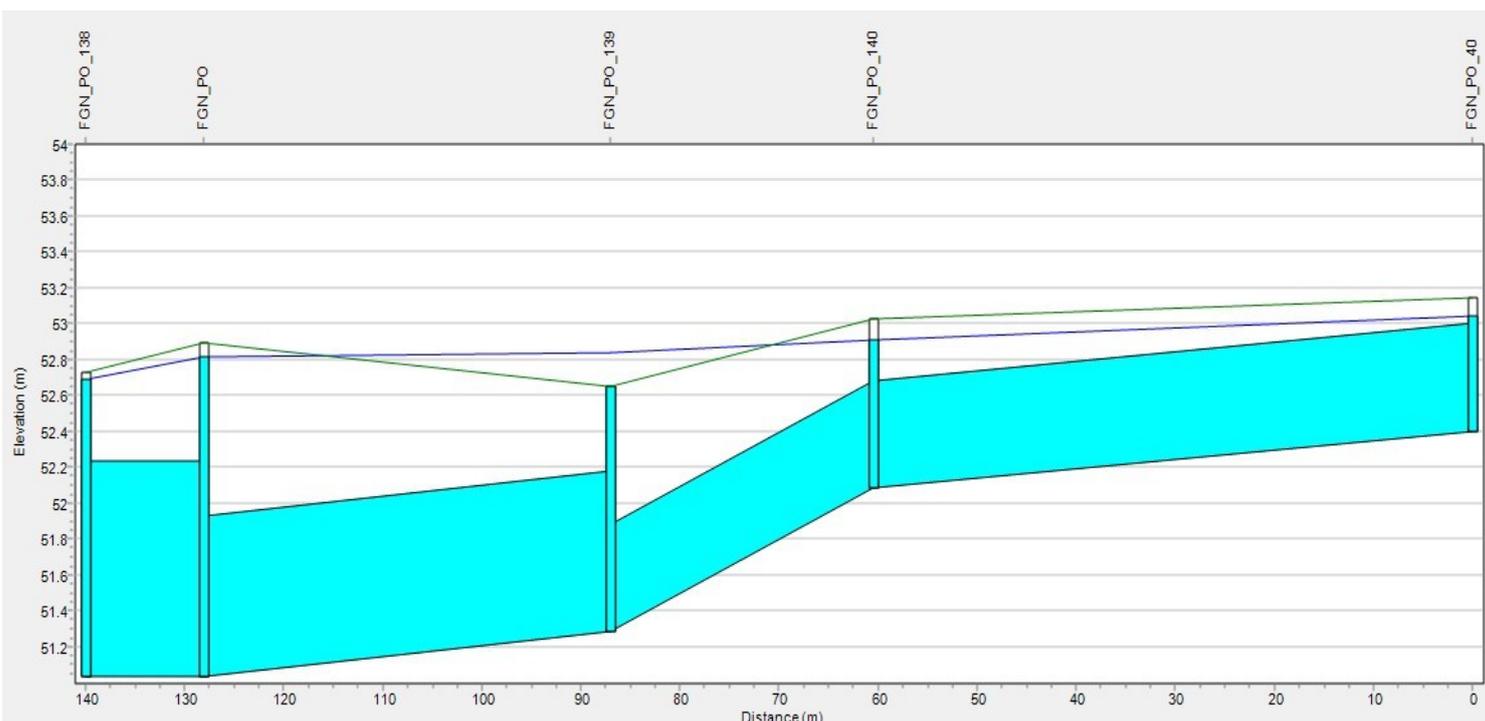


Figura 67: Esondazione nodo 139 TR 2

- Dopo due minuti, più a ovest su via San Paolo inizia ad esondare il nodo **135** che in totale esonderà 268 m³, creando un allagamento che in quella zona raggiungerà un'altezza massima di 10 cm circa, come mostrato in *figura 68*.

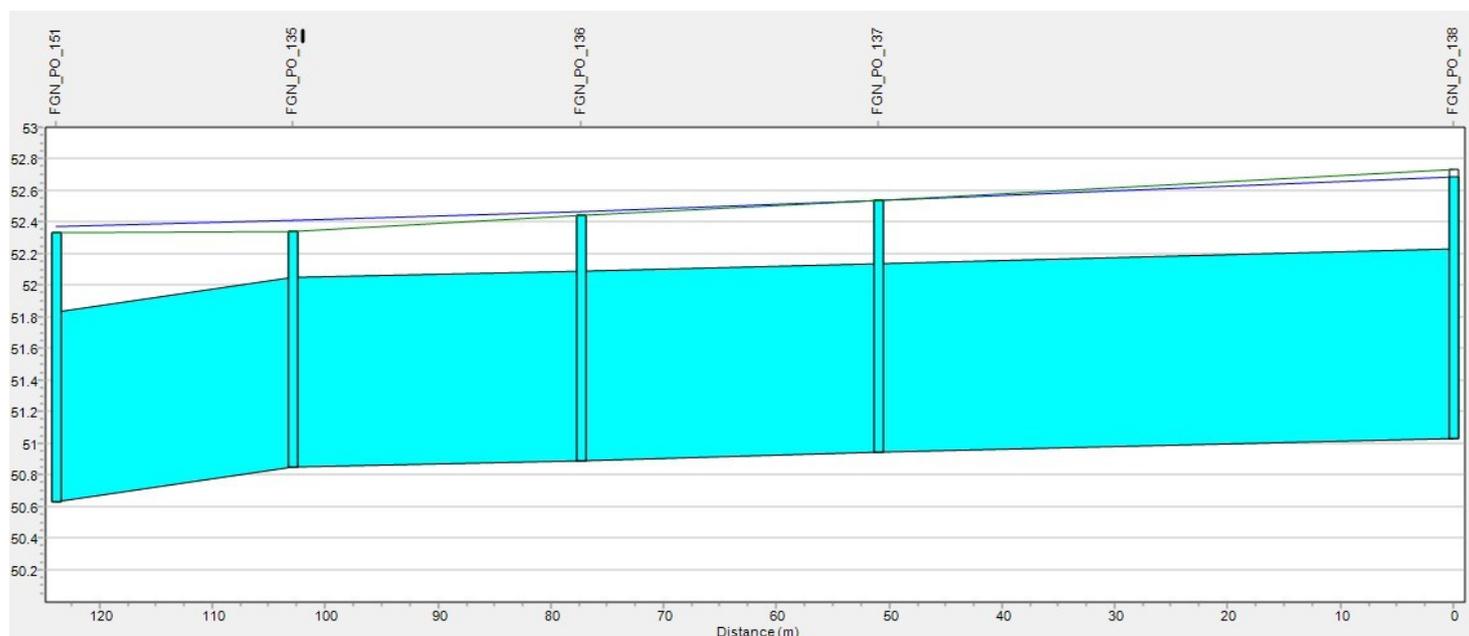


Figura 68: Esondazione nodo 135 TR 2, SWMM

- Nei minuti successivi (6:23) iniziano ad esondare i nodi **172** e **113** che si trovano in prossimità dell'incrocio con via Nam Dinh e i nodi **161** (via suor Nicolina) e **24** (via san Paolo, andando verso est).
- Andando avanti nel tempo, i nodi critici di via San Paolo continueranno ad esondare, ma andranno anche in crisi dei nodi più a ovest del sottopassaggio.

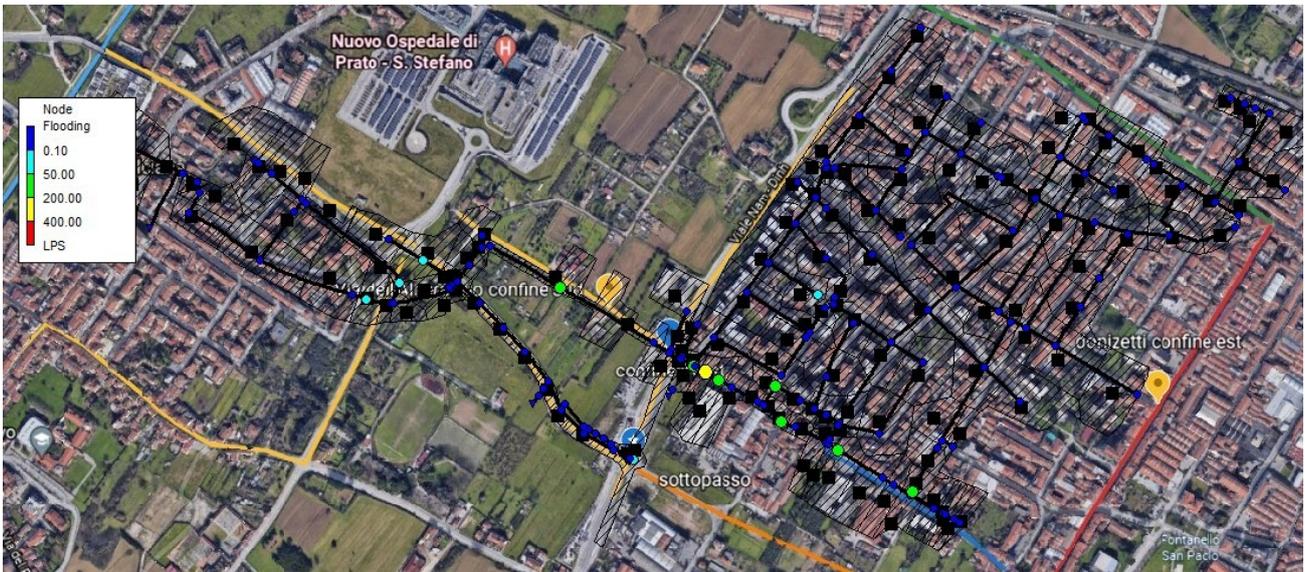


Figura 69: Mappa esondazione TR 2 anni, con lid, SWMM



Figura 70: Mappa esondazione TR 2 anni, senza lid, SWMM

- Progressivamente, con il passare del tempo, gli unici nodi che continueranno ad esondare sono i nodi critici di via San Paolo: 139,137,136 e 135 fino a 06:51, dopo di che ci sarà solo il nodo PO_VASCA ad esondare.

Ricapitolando, in breve, i problemi relativi all'esondazione di tale rete nascono sostanzialmente in via San Paolo con i nodi **135** e **139**, non distanti tra di loro.

Andando avanti con il tempo, il problema inizia ad interessare i nodi più ad est e ad ovest di questa zona, restando comunque non distanti da via San Paolo. Infine, nella parte conclusiva dell'evento meteorico, il problema rientra, come già detto, sui nodi critici.

Tutto questo è relativo alla simulazione TR 2 anni, quindi a questo punto si andrà avanti con l'analisi dello scenario relativo a **TR 5 anni**.

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	110	13,66	90	11,22	20
4	30	16,60	20	11,39	10
38	140	13,25	120	11,49	20
39	40	16,07	30	11,51	10
41	10	14,66	10	13,39	
19	110	10,91	100	10,28	10
20	110	13,49	100	12,42	10
91	80	13,03	60	9,98	20
111	10	16,74	10	16,74	
36	20	14,46	10	9,91	10

34	20	12,85	0	0	20
35	40	13,40	40	12,37	
75	90	13,54	80	12,44	10
87	120	12,01	110	11,27	10
72	90	12,85	30	4,47	60
73	60	15,74	50	13,73	10
17	30	13,05	20	9,11	10
18	70	11,68	30	4,64	40
104	140	14,64	130	14,59	10
90	90	12,69	80	10,77	10
98	50	11,90	40	9,48	10
71	80	14	80	13,19	
61	60	10,92	60	10,77	
81	70	12,83	70	12,83	
14	90	11,42	80	10,68	10
100	50	13	50	13	
15	80	13,38	60	9,22	20
63	70	15,21	70	14,52	
56	50	12,29	30	7,71	20
10	60	13,06	50	10,97	10
Myj...ves	10	13,45	10	11,71	
Erfqwef	10	9,49	10	9,49	
74	60	13,27	60	13,27	
Trmy...grb	30	16,21	20	12,21	10

105	60	12,73	60	12,73	
82	110	12,36	110	12,36	
60	40	10,22	40	10,22	
83	120	13,37	120	13,37	
95	20	12,58	20	12,58	
48	110	14,05	110	14,05	
45	10	13,99	10	13,99	
46	20	12,52	20	12,52	
24	90	13,62	90	13,62	
79	30	17,44	30	17,44	
62	30	16,08	30	16,08	
29	110	13,88	110	13,88	
13	40	11,76	40	11,76	
80	90	14,45	90	13,58	
30	40	13,32	40	13,32	
106	60	13,89	50	12,48	10
Fred	50	13,43	50	13,43	
77	40	13,16	40	13,16	
64	10	7,78	10	7,78	
101	50	15,04	50	15,04	
86	90	11,95	90	11,95	
23	100	16,84	100	16,84	
112	40	14,66	40	14,66	
16	60	14,29	60	13,24	

113	40	11,02	40	11,02	
22	60	12,05	60	12,05	
69	30	9,85	30	9,85	
47	20	10,24	20	10,24	
84	80	11,38	80	11,15	
85	30	13,32	30	13,32	
49	40	11,89	40	11,89	
3	10	11,45	0	0,00	10
54	30	12,76	30	12,76	
66	20	12,53	20	12,53	
67	20	13,55	20	13,55	
55	60	12,37	60	12,37	
110	30	13,04	30	13,04	
59	70	15,24	70	15,24	
52	10	9,41	10	9,41	
12	60	14,63	60	14,63	
109	10	11,95	10	11,95	
51	40	10,56	40	10,56	
28	10	16,30	10	16,30	
78	90	14,56	90	14,56	
11	20	14,32	20	14,32	
ethnrgbf	90	11,10	90	11,10	
96	70	14,06	70	14,06	
9	70	13,20	70	13,20	

,ujmhng	30	6,16	30	6,16	
103	110	13,38	110	13,38	
6	90	15,28	90	15,28	
107	70	13,62	70	13,62	
102	200	15,01	200	15,01	
33	40	9,64	40	9,64	
50	140	12,48	140	12,48	
Etsyhgdf	50	9,32	50	9,32	
5	40	16,41	40	16,41	
Hmjrbgfv	60	8,97	60	8,97	
Emwtmartbs	20	7,14	20	7,14	
Wyrhatgrf	140	12,06	140	12,06	
44	100	15,87	100	15,87	
dfsvac	100	9,83	100	9,83	
Enbrevfd	100	17,30	100	17,30	
Sedsdscd	30	16,11	30	16,11	
Qhefe	10	12,15	10	12,15	
Rtagbdvf	50	11,36	50	11,36	
43	110	14,26	110	14,26	
Hrtrtht	10	17,73	10	17,73	
89	100	13,84	100	13,84	
Hrthtrt	30	8,65	30	8,65	
Wefvdws	20	16,95	20	16,95	
Wefveas	20	17,55	20	17,55	

37	50	14,86	50	14,86	
Nrhtrgb	20	17,25	20	17,25	
8	70	13,90	70	13,51	
32	10	10,86	10	10,86	
4j3y5hwt4gr	10	8,24	10	8,24	
Etnwrbtgfe	20	10,58	20	10,58	
Bwgfvedws	10	15,62	10	15,62	
88	60	12,84	60	12,84	
7	120	11,53	120	11,36	
Fsgbdvfsc	20	17,92	20	17,92	
Fdvceasdc	20	17,56	20	17,56	
dweddwedwe d	10	17,37	10	17,37	
4tnrgbef	20	15,67	20	15,67	
76	90	13,51	80	11,75	10
2	10	15,63	10	15,63	
21	120	11,28	120	11,28	
Erfwefwefwe	70	12,91	70	12,91	
Wbsvdc	40	10,06	40	9,87	
Rweqfvsds	10	18,24	10	18,24	
erwfdwef	60	14,58	60	14,58	
108	100	9,64	100	9,64	
Werqfweqfw	10	16,83	10	16,83	
Bgtrevf	30	15,13	30	15,13	

Wefwefwe	20	16,49	20	16,49	
Werferwefe	40	15,37	40	15,37	
40	110	12,53	110	12,53	
1	10	14,90	10	14,90	
Vasca	110	15,90	110	15,90	
58	20	10,18	20	10,18	
92	80	15,59	80	15,59	
tmrhnbqfwve dc	10	14,42	10	14,42	
99	20	14,35	20	14,35	
Gerferf	20	14,54	20	14,54	
93	60	16,14	60	16,14	
42	30	9,42	30	9,42	
26	80	11,78	80	11,78	
Yntebrge	110	14,35	110	14,35	
Regere	60	15,52	60	15,52	
Geqrfw	30	15,08	30	15,08	
tyrmhmtgeb v	40	12,39	40	12,39	
Qefveqrfqrf	20	12,08	20	12,08	
Bfwveqeve	20	12,68	20	12,68	
Qverffwefe	20	9,76	20	9,76	
94	10	7,79	10	7,79	
25	30	10,16	30	10,16	
P6	10	7,69	10	7,69	

					Vol.tot 400 m³

Tabella 23: Volume intercettato , 79 LID, TR 5 cond. Idraulica 1000 mm/h

Anche con questa simulazione, sia dal punto di vista del volume esondato che del volume intercettato, sostanzialmente non si ha nessun miglioramento.

Analogamente a quanto fatto in precedenza vengono analizzati i punti critici dell'esondazione.

A livello generale, le modalità con cui vanno in crisi i nodi sono analoghe a quanto osservato per il TR 2 anni. In questo caso, aumentando l'intensità di pioggia, le esondazioni sono anticipate nel tempo e ovviamente comportano dei volumi esondati maggiori.

Quindi, il primo nodo ad esondare è il PO_Vasca che complessivamente in poco più di 3 ore esonderà circa 104 m³.

Successivamente, ad esondare sono quelli su Via Borgioli (come anche per il TR 2) mentre, il primo nodo che va in crisi su via San Paolo è ancora una volta il 139 che in questo caso esonderà in totale 242 m³, creando in quella zona un allagamento che questa volta raggiungerà i 25 cm di altezza circa (*Figura 71*).

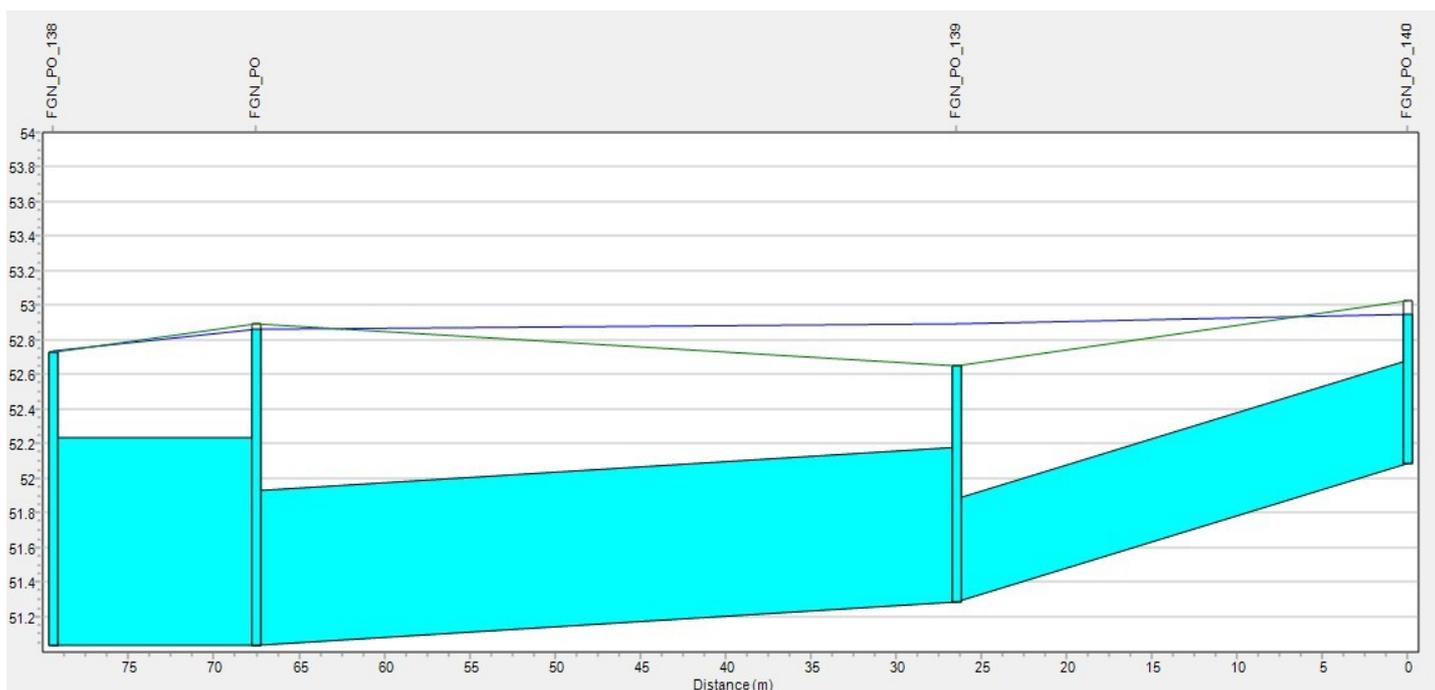


Figura 71: Esondazione nodo 139 TR 5, SWMM

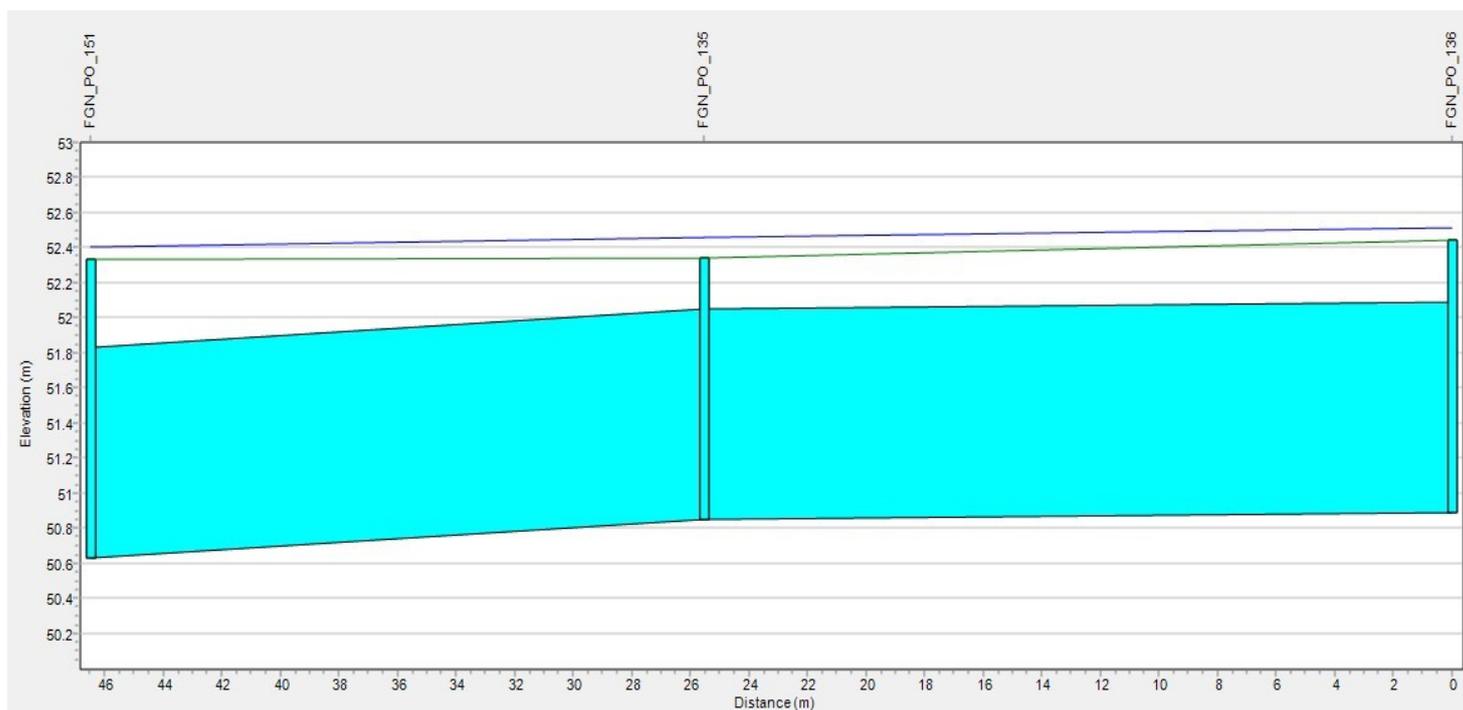


Figura 72: Esondazione nodo 135 TR 5, SWMM

Dopo di che, l'esonazione inizierà a coinvolgere gli altri nodi su via San Paolo (ad est del sottopassaggio) ma anche quelli su via Nuti, via Mascagni e via dell'Alberaccio.

Andando avanti nel tempo, a differenza della simulazione con TR 2, vengono anche interessati i nodi più distanti da via San Paolo, ovvero i nodi del quadrante NE (via Cherubini, via Vivaldi e via Becherini), oltre a quelli su via Paisiello e via suor Nicolina, i quali contribuiscono a far lievitare il volume complessivamente esondato.



Figura 75: Mappa esondazione TR 5, con lid, SWMM



Figura 76: Mappa esondazione TR 5, senza lid, SWMM

Infine, come nella precedente simulazione, nella parte terminale dell'evento, l'esondazione riguarderà principalmente i nodi critici di via San Paolo che progressivamente cesseranno di esondare.

Infine, con **TR 10 anni**:

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	130	16,02	110	13,24	20
4	40	19,46	30	13,35	10
38	160	15,65	140	13,57	20
39	50	18,89	30	13,84	20
41	10	17,10	10	15,62	
19	130	12,85	120	12,11	10
20	120	15,81	120	14,75	
91	100	15,28	70	11,83	30
111	20	19,66	20	19,66	
36	20	16,94	20	11,61	
34	20	15,05	0	0	20
35	50	15,75	40	14,54	10
75	100	15,87	100	14,60	
87	140	14,08	130	13,23	10
72	110	15,07	40	5,24	70
73	70	18,47	60	16,25	10
17	40	15,40	30	10,75	10

18	80	13,78	30	5,47	50
104	160	17,16	160	17,09	
90	110	14,98	90	12,71	20
98	60	13,96	50	11,12	10
71	100	16,40	90	15,46	10
61	70	12,89	70	12,74	
81	80	15,05	80	15,05	
14	100	13,42	90	12,55	10
100	60	15,26	60	15,26	
15	100	15,73	70	10,84	30
63	90	17,90	80	17,22	10
56	60	14,42	40	9,05	20
10	70	15,35	60	12,90	10
Myj...vcs	10	15,69	10	13,66	
Erfqwef	10	11,07	10	11,07	
74	70	15,63	70	15,63	
Trmy...grb	40	19,14	30	14,42	10
105	70	14,96	70	14,96	
82	120	14,52	120	14,52	
60	50	11,96	50	11,96	
83	140	15,69	140	15,69	
95	20	14,80	20	14,80	
48	130	16,51	130	16,51	
45	20	16,43	20	16,43	

46	20	14,68	20	14,68	
24	100	15,96	100	15,96	
79	40	20,57	40	20,57	
62	40	18,87	40	18,87	
29	130	16,26	130	16,26	
13	40	13,77	40	13,77	
80	110	17,06	100	16,04	10
30	40	15,71	40	15,71	
106	70	16,40	60	14,74	10
Fred	60	15,75	60	15,75	
77	40	15,43	40	15,43	
64	10	9,07	10	9,07	
101	60	17,65	60	17,65	
86	110	14,56	110	14,56	
23	110	19,71	110	19,71	
112	50	17,32	50	17,32	
16	70	16,83	70	15,58	
113	50	12,96	50	12,96	
22	70	14,22	70	14,22	
69	40	11,53	40	11,53	
47	20	12	20	12	
84	100	13,38	90	13,15	10
85	30	15,57	30	15,57	
49	40	13,93	40	13,93	

3	10	13,43	0	0,00	10
54	40	14,95	40	14,95	
66	20	14,74	20	14,74	
67	20	15,98	20	15,98	
55	70	14,57	70	14,57	
110	40	15,26	40	15,26	
53	10	18,13	10	18,13	
59	80	18,00	80	18,00	
52	10	11,00	10	11,00	
12	80	17,20	80	17,20	
109	10	13,96	10	13,96	
51	50	12,38	50	12,38	
28	10	19,14	10	19,14	
78	100	17,11	100	17,11	
11	30	16,90	30	16,90	
ethnrgbf	100	13,03	100	13,03	
96	80	16,47	80	16,47	
9	80	15,58	80	15,58	
,ujmhng	40	7,28	40	7,28	
103	130	15,70	130	15,70	
6	110	17,91	110	17,91	
107	80	15,99	80	15,99	
102	230	17,62	230	17,62	
33	50	11,29	50	11,29	

50	170	14,70	170	14,70	
Etsyhgdf	60	10,97	60	10,97	
5	50	19,28	50	19,28	
Hmjrbgfv	70	10,55	70	10,55	
Emwtmartbs	30	8,40	30	8,40	
Wyrhatgrf	170	14,21	170	14,21	
44	120	18,61	120	18,61	
dfsvac	120	11,59	120	11,59	
Enbrevfd	110	20,26	110	20,26	
Scdsdscd	30	18,91	30	18,91	
Qhefe	20	14,32	20	14,32	
Rtagbdvf	60	13,41	60	13,41	
43	120	16,63	120	16,63	
Hrtrtht	10	20,83	10	20,83	
89	120	16,34	120	16,34	
Hrthtrt	30	10,11	30	10,11	
Wefvdws	20	19,97	20	19,97	
Wefveas	30	20,65	30	20,65	
37	50	17,44	50	17,44	
Nrhtrgb	20	20,31	20	20,31	
8	80	16,41	80	15,95	
32	20	12,71	20	12,71	
4j3y5hwt4gr	10	9,66	10	9,66	
Etnwrbtgfe	30	12,37	30	12,37	

Bwgfvedws	10	18,31	10	18,31	
88	70	15,04	70	15,04	
7	150	13,62	150	13,41	
Fsgbdvfsc	20	20,90	20	20,90	
Fdvceasdc	20	20,65	20	20,65	
dweddwedwe d	10	20,26	10	20,26	
4tnrgbef	30	18,33	30	18,33	
76	110	15,82	100	13,86	10
2	10	18,32	10	18,32	
21	150	13,31	150	13,31	
Erfwefwefwe	80	15,17	80	15,71	
Wbsvdc	40	11,74	40	11,52	
Rweqfvsds	10	21,37	10	21,37	
erwfdwef	70	17,11	70	17,11	
108	120	11,38	120	11,38	
Werqfweqfw	10	19,87	10	19,87	
Bgtrevf	40	17,73	40	17,73	
Wefwefwe	20	19,37	20	19,37	
Werferwefe	40	18,06	40	18,06	
40	130	14,61	130	14,61	
1	10	17,44	10	17,44	
Vasca	120	18,54	120	18,54	
58	20	11,91	20	11,91	

92	90	18,92	90	18,29	
tmrhnbgrfwve dc	20	16,91	20	16,91	
99	30	16,83	30	16,83	
Gerferf	30	17,02	30	17,02	
93	70	18,90	70	18,90	
42	40	11,11	40	11,11	
26	100	13,90	100	13,90	
Yntebrge	130	16,84	130	16,84	
Regere	70	18,24	70	18,24	
Geqrfw	40	17,64	40	17,64	
tyrmhmtgebv	50	14,54	50	14,54	
Qefveqrfqrf	20	14,19	20	14,19	
Bfwveqeve	20	14,83	20	14,83	
Qverffwefe	20	11,90	20	11,90	
94	20	9,11	20	9,11	
25	40	11,90	40	11,90	
P6	20	9,00	20	9,00	
					Vol.tot 470 m³

Tabella 24: Volume intercettato, 79 LID, TR 10, cond. idraulica 1000 mm/h

Con quest'ultima simulazione, TR 10 anni, si può osservare un leggero miglioramento in termini sia di volume intercettato che passa da **430 m³** a **470 m³**, che di volume esondato, passando da **4928 m³** a **4745 m³**.



Figura 75: Mappa esondazione TR 10 anni, con lid, SWMM



Figura 76: Mappa esondazione TR 10 anni, senza lid, SWMM

Analogamente a quanto fatto fin'ora, viene realizzato un breve riepilogo sulle fasi temporali più importanti relative all'esondazione della corrente simulazione.

Anche in questo caso, il processo di esondazione che interessa la rete fognaria è molto simile a quanto osservato fin'ora:

- L'esondazione interessa inizialmente il nodo PO_Vasca, che in questo caso, esonderà in circa 3 ore 121 m³.

- Dopo circa 2 ore, inizia ad esondare il nodo 5 in via Borgioli e successivamente in via San Paolo andrà in crisi il nodo 139 il quale comporterà un allagamento nella zona che raggiungerà un'altezza di 25 cm circa (*Figura 77*).

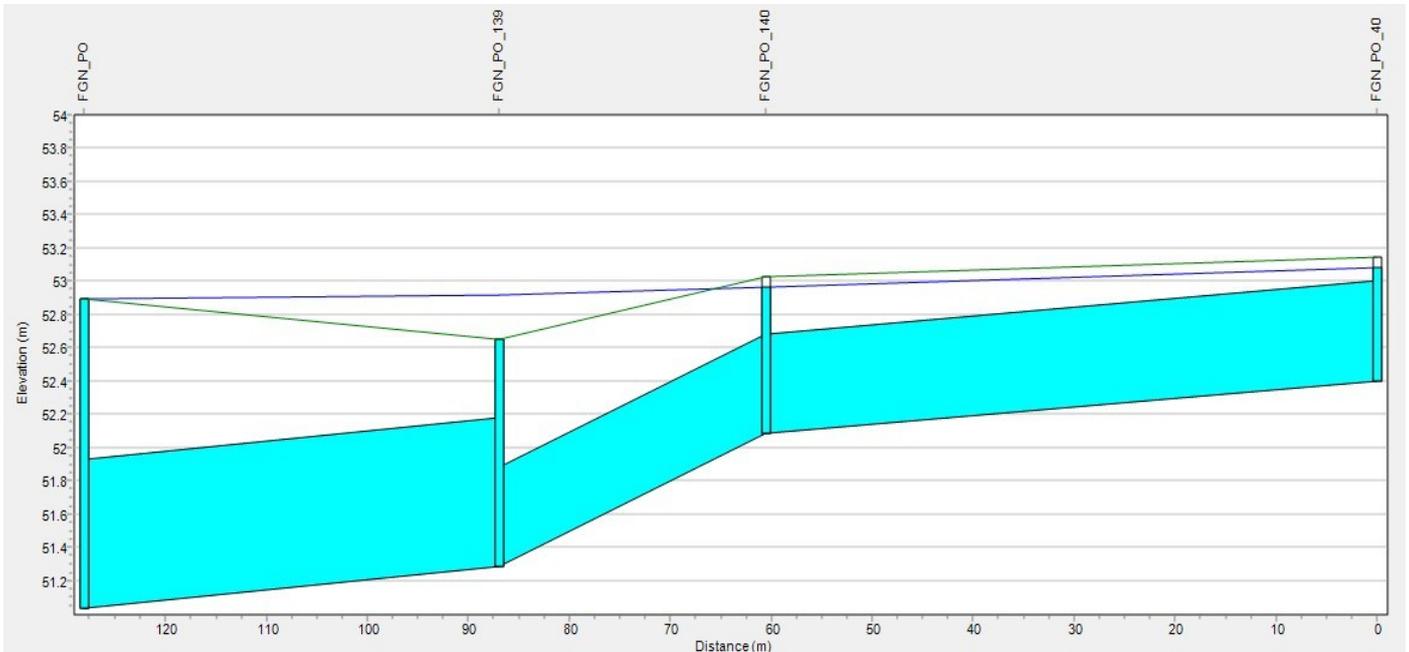


Figura 77: Esondazione nodo 139 TR10, SWMM

- Progressivamente, tale problematica si espanderà sugli altri nodi in via San Paolo e altri nodi situati a nord di quest'ultima. A differenza della simulazione TR2, i nodi coinvolti sono maggiori anche se le zone interessate sono le medesime.
- Giungendo al termine dell'evento, l'esonazione si concentrerà sui nodi critici di via San Paolo.

INSERIMENTO DEI NUOVI LID E LANCIAMENTO SIMULAZIONI

Tornando, quindi, ad utilizzare un parametro più realistico di conducibilità idraulica, ovvero 300 mm/h, e con l'obiettivo di aumentare il volume complessivamente intercettato dai vari LID, una soluzione potrebbe essere l'inserimento di nuovi LID CONTROL in aggiunta ai 79 interventi diffusi

prioritari già presenti, da dislocare in determinate zone del bacino, dettagliatamente studiate, dove la loro applicazione possa risultare efficace ai fini dell'intercettazione di un volume di runoff maggiore.

Pertanto, con tale esigenza, il primo passo è stato quello di avviare una dettagliata analisi sulle aree più interessate dalle esondazioni, per poi individuare dei nuovi interventi diffusi che ad eccezione di pochissimi, appartengono ancora a particelle pubbliche e quindi accessibili al Comune.

Da questo studio, sono emersi **73** nuovi interventi diffusi, senza considerare eventuali interventi puntuali riguardanti i parchi.

Quindi in totale, sono stati inseriti **152 LID**.

Ricapitolando le caratteristiche di questi:

la conducibilità idraulica è stata riportata a 300 mm/h mentre la velocità di infiltrazione varia a seconda della zona (classe B = 6,3 mm/h e classe C = 12,70 mm/h).

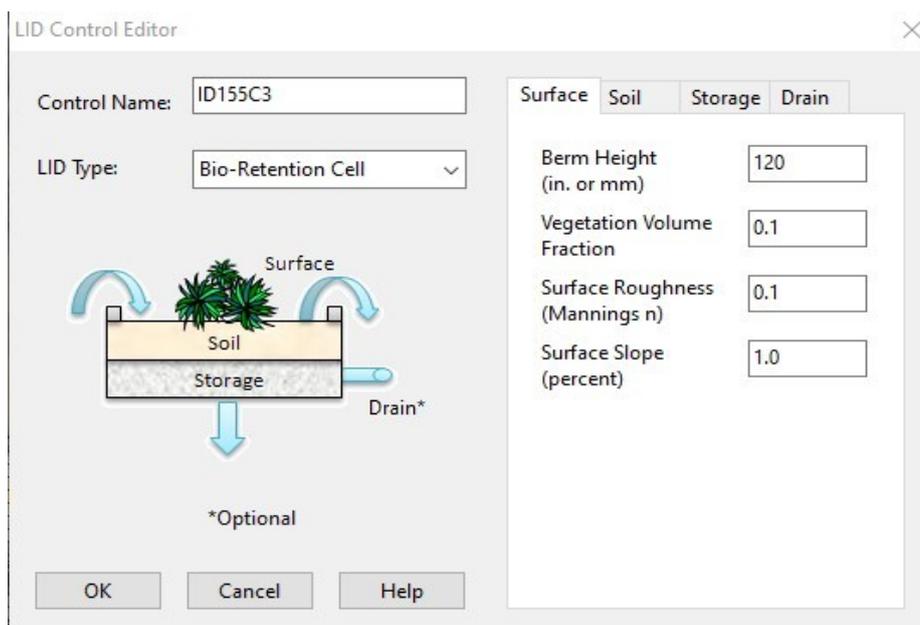


Figura 78: Pannello LID CONTROL Editor – Surface, SWMM

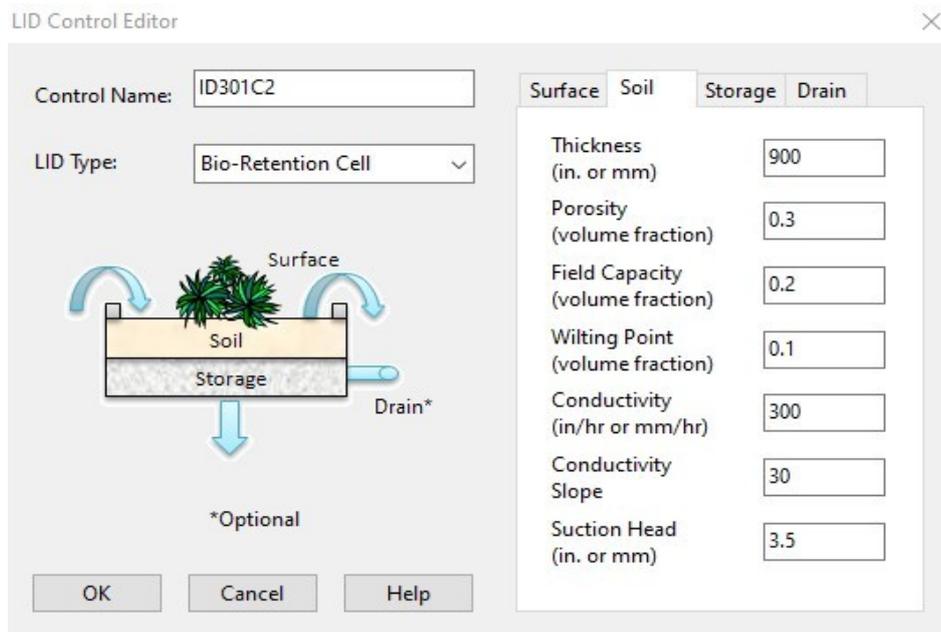


Figura 79: Pannello LID CONTROL Editor – Soil, SWMM

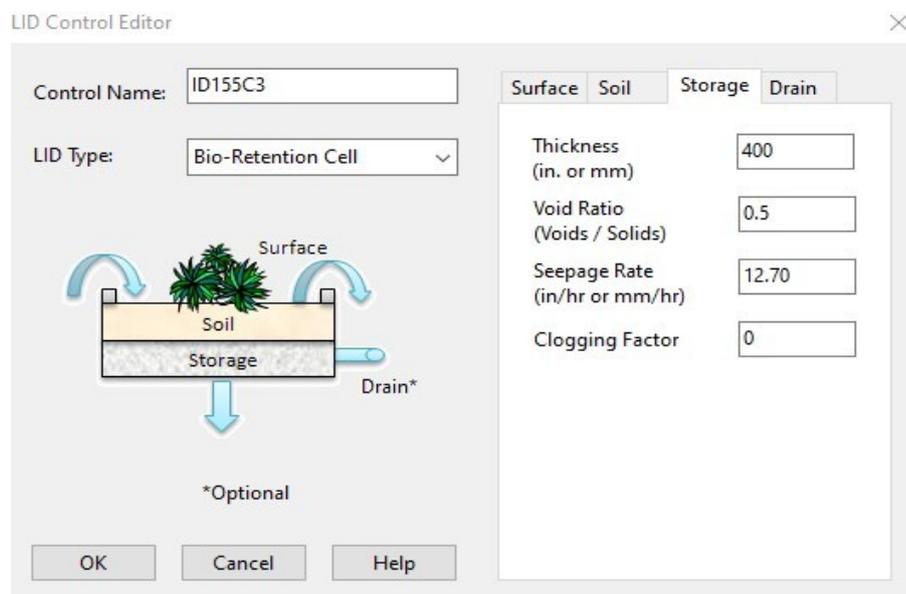


Figura 80: Pannello LID CONTROL Editor – Storage, SWMM

Nella Tabella 25, vengono riportate le principali caratteristiche dei nuovi interventi previsti.

SOTTOBACINO	ID	AREA ASSUNTA (mq)	WIDTH (m)	%AREA IMP. TRATTATA	UBICAZIONE
16	218 C1	28	3,60	11,29	Via Beccherini, prop. privata
54	210 C3	35	10	26,94	Via Mascagni, lungo strada
54	208 C3	13	8,50	9,78	Via Vivaldi, lungo strada
83	260 C3	125	27	26,34	Via Cherubini
15	231 C1	80	10	23,25	Via Cherubini, prop.privata
15	233 C2	31	12	9,15	Via Cherubini, prop.privata
106	405 C2	6	2,70	2,44	Via Beccherini, lungo strada
103	398 C2	12	5	7,20	Via Muzio Clementi, lungo strada
10	427 C1	823	40	77,23	Via Dell'Alberaccio, prop.privata
63	446 C2	75	18	24,23	Via Pistoiese
57	98 C2	27	9,70	5,89	Via Vivaldi
57	99 C1	19	3,50	4,07	Via Dell'Alberaccio
57	173 C1	13	2,70	2,79	Via Dell'Alberaccio
91	185 C0	7	6,50	2,11	Via Spontini
91	119 C1	54	8,41	16,44	Via Rinuccini
91	118 C2	37	6,72	11,21	Via Rinuccini
91	117 C2	8	4,20	2,57	Via Rinuccini
17	164 C3	71	7,50	50,19	Via Boccherini
Wbsvdc	2 C1	24	4	17,36	Via S.Paolo/Alberaccio

Wbsvdc	3 C1	24	5	17,36	Via S.Paolo/Alberaccio
Erfwefwefwe	8 C2	32	6,80	13,20	Via S.Paolo prop.privata
75	652 C0	18	4	5,01	Via Mascagni
75	653 C0	49	8,20	13,69	Via Mascagni
87	143 C1	17	4,30	3,75	Via Mascagni, prop. privata
87	144 C1	57	13,90	12,27	Via Mascagni, prop.privata
87	654 C0	35	6,40	7,54	Via Mascagni
87	147 C1	11	5	2,48	Via Mascagni
73	155 C3	18	6	7,21	Via Spontini
71	203 C1	6	2,50	1,61	Via Leoncavallo
98	199 C1	41	15	20,37	Via Vivaldi
4	211 C1	36	6,20	28,41	Via Vivaldi
92	630 C0	7	3	2,32	Via Nuti
38	520 C1	5	3,80	0,85	Via Vivaldi
108	78 C3	56	15	30,75	Via Vivaldi
7	659 C1	10	5	3,25	Via Borgioli
7	660 C1	15	6	2,79	Via Borgioli
21	661 C2	8	4,20	1,45	Via Borgioli
21	662 C2	10	4,60	1,82	Via Borgioli
21	85 C3	16	5	2,94	Via Borgioli
6	563 C2	10	4,80	2,67	Via Beccherini
6	564 C2	14	5,20	3,87	Via Beccherini
56	582 C0	19	8,50	8,94	Via Pesciolini, prop. privata
80	450 C1	20	4	4,86	Via Stradivari,

					prop. privata
103	397 C1	17	10	3,67	Via Muzio Clementi
103	396 C1	3	2	0,61	Via Muzio Clementi
103	392 C1	38	42	8,16	Via Muzio Clementi
102	390 C0	11	6	1,35	Via Muzio Clementi
16	222 C1	39	12	15,73	Via Borgioli
16	221 C1	1	1	0,52	Via Borgioli
53	220 C1	8	8	47,92	Via Borgioli
53	219 C1	12	6	52,08	Via Borgioli
16	223 C1	4	2	1,72	Via Borgioli
16	359 C1	16	8	6,20	Via Borgioli
16	240 C2	13	10	5,16	Via Boccherini
84	404 C2	2	1,80	0,50	Via Boccherini
106	258 C1	7	5,20	3,02	Via Cherubini
60	301 C2	3	3,00	1,55	Via Ciabatti
60	300 C2	2	2	2,68	Via Ciabatti
Erqwef	635 C1	6	6	14,04	Via San Paolo
Wefwefwe	2 B	10	4	14,05	Via San Paolo
Wefwefwe	3 B	8	4	11,24	Via San Paolo
Wefwefwe	4 B	9	3,50	13,07	Via San Paolo
26	5 B	61	20	13,10	Via San Paolo, prop.privata
26	6 B	29	12	6,23	Via S.Paolo, prop.privata
92	7 B	10	5	3,49	Via Nuti, prop.privata

22	13 B	56	14	9,98	Via Filzi
22	14 B	61	15	10,88	Via Filzi
22	610 C0	85	13	34,85	Via Filzi
22	611 C0	43	9	1,56	Via Filzi
23	613 C1	7	3	1,80	Via Goito
88	23 B	39	15	17,32	Via Carissimi
57	27 B	6	4	1,23	Via dell'Alberaccio
113	36 B	14	6,50	7,70	Via Beccherini, prop.privata

Tabella 25: Caratteristiche dei nuovi LID CONTROL



Figura 81 : Mappatura 152 interventi, quartiere San Paolo (IRIDRA,2021)



Figura 82 :Mappatura 152 interventi, quartiere San Paolo (IRIDRA,2021)



Figura 83 :Mappa 152 interventi, quartiere San Paolo (IRIDRA,2021)

Partendo dalla simulazione **TR 2** anni:

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	90	10,37	60	6,78	30
4	20	12,78	10	4,73	10

38	100	9,86	90	8,34	10
39	30	12,21	20	8,36	10
41	10	11,17	10	10,12	
19	80	8,12	80	7,61	
20	80	10,12	70	9,14	10
91	60	9,93	30	4,03	30
111	10	12,47	10	12,47	
36	20	11,17	10	7,42	10
34	20	11,21	0	0	20
35	30	10,03	30	9,19	
75	70	10,21	50	7,17	20
87	90	9,03	60	5,81	30
72	80	10,22	20	3,34	60
73	50	11,83	40	9,27	10
17	30	9,86	0	1,68	30
18	50	9,12	20	3,42	30
104	100	10,96	100	10,92	
90	70	9,47	60	7,91	10
98	40	9,05	20	5,11	20
71	60	10,52	60	9,66	
61	40	8,04	40	7,87	
81	50	9,59	50	9,59	
14	60	8,53	60	7,93	
100	40	9,69	40	9,69	

15	60	10,23	20	3,41	40
63	60	11,27	40	7,65	20
56	40	9,50	20	4,85	20
10	40	9,84	0	0	40
Myj...vcs	10	10,28	10	8,85	
Erfqwef	10	7,17	10	6,04	
74	50	9,80	50	9,80	
Trmy...grb	20	11,81	20	8,69	
105	50	9,45	50	9,45	
82	80	9,20	80	9,20	
60	30	7,66	30	7,30	
83	90	9,96	60	7,05	30
95	10	9,34	10	9,34	
48	80	10,45	80	10,45	
45	10	10,40	10	10,40	
46	10	9,35	10	9,35	
24	70	10,19	70	10,19	
79	20	12,85	20	12,85	
62	30	12	30	12	
29	90	10,37	90	10,37	
13	30	8,82	30	8,82	
80	70	10,67	60	9,39	10
30	30	9,82	30	9,82	
106	40	10,30	30	8,54	10

Fred	40	10,02	40	10,02	
77	30	9,88	30	9,82	
64	10	5,88	10	5,88	
101	40	11,22	40	11,22	
86	70	8,78	70	8,78	
23	70	12,63	70	12,36	
112	30	10,77	30	10,77	
16	50	10,65	20	5,15	30
113	30	8,18	30	7,46	
22	50	8,87	20	3,28	30
69	20	7,38	20	7,38	
47	10	7,64	10	7,64	
84	60	8,46	60	8,17	
85	20	10,01	20	10,01	
49	30	8,89	30	8,83	
3	10	10,41	0	0,00	10
54	20	9,54	10	5,71	10
66	10	9,29	10	9,29	
67	10	9,97	10	9,97	
55	50	9,13	50	9,13	
110	20	9,79	20	9,79	
59	50	10,85	50	10,85	
12	50	10,85	50	10,85	
109	10	9	10	9	

51	30	7,90	30	7,90	
28	10	12,14	10	12,14	
78	70	10,82	70	10,82	
11	20	10,19	20	10,19	
ethnrgbf	60	8,28	60	8,28	
96	50	10,51	50	10,51	
9	50	9,39	50	9,39	
,ujmhng	20	4,53	20	4,53	
103	90	9,96	70	7,95	20
6	70	11,43	60	10,57	10
107	50	10,14	50	10,14	
102	150	11,18	140	11,01	10
33	30	7,21	30	7,21	
50	110	9,23	110	9,23	
Etsyhgdf	40	6,89	40	6,89	
5	30	12,20	30	12,20	
Hmjrbgfv	50	6,67	50	6,67	
Emwtmartbs	20	5,29	20	5,29	
Wyrhatgrf	100	8,92	100	8,92	
44	80	11,84	80	11,84	
dfsvac	70	7,25	70	7,25	
Enbrevfd	70	12,96	70	12,96	
Scdsdscd	20	12,01	20	12,01	
Qhefe	10	8,97	10	8,97	

Rtagbdvf	40	8,34	40	8,34	
43	80	10,78	80	10,78	
Hrtrtht	0	13,18	0	13,18	
89	70	9,85	70	9,85	
Hrthtrt	20	6,52	20	6,52	
Wefvdws	10	12,51	10	12,51	
Wefveas	20	13	20	13	
37	30	11,07	30	11,07	
Nrhtrgb	20	12,75	20	12,75	
8	50	10,24	50	9,93	
32	10	8,13	10	8,13	
4j3y5hwt4gr	10	6,14	10	6,14	
Etnwrbtgfe	20	7,95	20	7,95	
Bwgfvedws	10	11,66	10	11,66	
88	40	9,61	30	7,74	10
7	90	8,48	80	7,78	10
Fsgbdvfsc	10	13,54	10	13,54	
Fdvceasdc	20	13,02	20	13,02	
dweddwedwe d	10	13,13	10	13,13	
4tnrgbef	20	11,77	20	11,77	
76	70	10,22	60	8,77	10
2	10	11,68	10	11,68	
21	90	8,29	80	7,70	10
Erfwefwefwe	50	9,60	40	7,31	10

Wbsvdc	30	7,62	20	4,60	10
Rweqfvsds	0	13,65	0	13,65	
erwfdwef	50	10,86	50	10,86	
108	70	7,09	50	4,82	20
Werqfweqfw	10	12,37	10	12,37	
Bgtrevf	20	11,31	20	11,31	
Wefwefwe	10	12,27	10	12,27	
Werferwefe	30	11,43	30	11,43	
40	80	9,47	80	9,47	
1	10	11,17	10	11,17	
Vasca	80	12,02	80	12,02	
58	10	7,64	10	7,64	
92	60	11,62	50	10,85	10
tmrhnbqfw edc	10	10,76	10	10,76	
99	20	10,72	20	10,72	
Gerferf	20	10,91	20	10,91	
93	40	12,11	40	12,11	
42	20	6,96	20	6,96	
26	60	8,68	50	6,74	10
Yntebrge	80	10,69	80	10,69	
Regere	50	11,53	50	11,53	
Geqrfw	30	11,32	30	11,32	

tyrmhmtgebf v	30	9,23	30	9,23	
Qefveqrfeqrf	10	8,99	10	8,99	
Bfwveqeve	10	9,52	10	9,52	
Qverffwefe	10	7,17	10	7,17	
94	10	5,84	10	5,84	
25	20	7,61	20	7,61	
P6	10	5,78	10	5,78	
					Vol.tot 730 m³

Tabella 26: Volume intercettato 152 LID CONTROL, TR 2

Così facendo, il volume intercettato sale a **730 m³** (rispetto ai 320 m³ nel caso con 79 lid), mentre il volume esondato in queste nuove condizioni è **629 m³** anziché i 1228 m³ che si avevano senza lid.

Lanciando la simulazione per **TR 5** anni:

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	120	13,87	80	9,09	40
4	30	17,10	10	6,33	20
38	140	13,42	120	11,36	20
39	40	16,44	30	11,51	10

41	10	14,78	10	13,39	
19	110	10,97	100	10,28	10
20	110	13,55	100	12,42	10
91	80	13,30	40	5,57	40
111	10	16,74	10	16,74	
36	20	14,91	10	9,91	10
34	20	14,98	0	0	20
35	40	13,50	40	12,37	
75	90	13,64	60	9,62	30
87	120	12,08	80	7,82	40
72	100	13,68	30	4,47	70
73	60	15,86	50	12,44	10
17	30	13,42	10	2,29	20
18	70	12,37	30	4,64	40
104	140	14,65	130	14,59	10
90	90	12,88	80	10,77	10
98	50	12,12	30	6,85	20
71	80	14,07	80	12,93	
61	60	10,93	60	10,77	
81	70	12,83	70	12,83	
14	90	11,49	80	10,68	10
100	50	13	50	13	
15	90	13,78	30	4,59	60
63	70	15,24	50	10,39	20

56	50	12,73	30	6,51	20
10	60	13,25	0	0	60
Myj...ves	10	13,60	10	11,71	
Erfqwef	10	9,49	10	8	
74	60	13,27	60	13,27	
Trmy...grb	30	16,59	20	12,21	10
105	60	12,73	60	12,73	
82	110	12,36	110	12,36	
60	40	10,22	40	9,81	
83	120	13,37	80	9,46	40
95	20	12,58	20	12,58	
48	110	14,05	110	14,05	
45	10	13,99	10	13,99	
46	20	12,52	20	12,52	
24	90	13,62	90	13,62	
79	30	17,44	30	17,44	
62	30	16,08	30	16,08	
29	110	13,88	110	13,88	
13	40	11,76	40	11,76	
80	100	14,53	80	12,78	20
30	40	13,32	40	13,32	
106	60	14,02	50	11,62	10
Fred	50	13,43	50	13,43	
77	40	13,16	40	13,16	

64	10	7,78	10	7,78	
101	50	15,04	50	15,04	
86	90	11,95	90	11,95	
23	100	16,84	90	16,49	10
112	40	14,66	40	14,66	
16	60	14,39	30	6,96	30
113	40	11,02	40	10,06	
22	60	12,05	20	4,46	40
69	30	9,85	30	9,85	
47	20	10,24	20	10,24	
84	80	11,40	80	11,09	
85	30	13,32	30	13,32	
49	40	11,80	40	11,80	
3	10	13,96	0	0,00	10
54	30	12,76	20	7,64	10
66	20	12,53	20	12,53	
67	20	13,55	20	13,55	
55	60	12,37	60	12,37	
110	30	13,04	30	13,04	
59	70	15,24	70	15,24	
52	10	9,41	10	9,41	
12	60	14,63	60	14,63	
109	10	11,95	10	11,95	
51	40	10,56	40	10,56	

28	10	16,30	10	16,30	
78	90	14,56	90	14,56	
11	20	14,32	20	14,32	
ethnrgbf	90	11,10	90	11,10	
96	70	14,06	70	14,06	
9	70	13,20	70	13,20	
,ujmhng	30	6,16	30	6,16	
103	110	13,38	90	10,88	20
6	90	15,28	80	14,13	10
107	70	13,62	70	13,62	
102	200	15,01	190	14,78	10
33	40	9,64	40	9,64	
50	140	12,48	140	12,48	
Etsyhgdf	50	9,32	50	9,32	
5	40	16,41	40	16,41	
Hmjrbgfv	60	8,97	60	8,97	
Emwtmartbs	20	7,14	20	7,14	
Wyrhatgrf	140	12,06	140	12,06	
44	100	15,87	100	15,87	
dfsvac	100	9,83	100	9,83	
Enbrevfd	100	17,30	100	17,30	
Scdsdscd	30	16,11	30	16,11	
Qhefe	10	12,15	10	12,15	
Rtagbdvf	50	11,36	50	11,36	

43	110	14,26	110	14,26	
Hrtrtht	10	17,73	10	17,73	
89	100	13,84	100	13,84	
Hrthtrt	30	8,65	30	8,65	
Wefvdws	20	16,95	20	16,95	
Wefveas	20	17,55	20	17,55	
37	50	14,86	50	14,86	
Nrhtrgb	20	17,25	20	17,25	
8	70	13,93	70	13,51	
32	10	10,86	10	10,86	
4j3y5hwt4gr	10	8,24	10	8,24	
Etnwrbtgfe	20	10,58	20	10,58	
Bwgfvedws	10	15,62	10	15,62	
88	60	12,84	50	10,35	10
7	120	11,55	120	10,69	
Fsgbdvfsc	20	17,92	20	17,92	
Fdvceasdc	20	17,56	20	17,56	
dweddwedwe d	10	17,37	10	17,37	
4tnrgbef	20	15,67	20	15,67	
76	90	13,65	80	11,75	10
2	10	15,63	10	15,63	
21	120	11,28	120	10,48	
Erfwefwefwe	70	12,91	50	9,83	20
Wbsvdc	40	10,08	20	6,08	20

Rweqfvsds	10	18,24	10	18,24	
erwfdwef	60	14,58	60	14,58	
108	100	9,64	80	7,83	20
Werqfweqfw	10	16,83	10	16,83	
Bgtrevf	30	15,13	30	15,13	
Wefwefwe	20	16,49	10	9,55	10
Werferwefe	40	15,37	40	15,37	
40	110	12,53	110	12,53	
1	10	14,90	10	14,90	
Vasca	110	15,90	110	15,90	
58	20	10,18	20	10,18	
92	80	15,59	70	14,55	10
tmrhnbqfwve dc	10	14,42	10	14,42	
99	20	14,35	20	14,35	
Gerferf	20	14,54	20	14,54	
93	60	16,14	60	16,14	
42	30	9,42	30	9,42	
26	80	11,78	60	9,15	20
Yntebrge	110	14,35	110	14,35	
Regere	60	15,52	60	15,52	
Geqrfw	30	15,08	30	15,08	
tyrmhmtgebf v	40	12,39	40	12,39	

Qefveqrfqrf	20	12,08	20	12,08	
Bfwveqeve	20	12,68	20	12,68	
Qverffwefe	20	9,76	20	9,76	
94	10	7,79	10	7,79	
25	30	10,16	30	10,16	
P6	10	7,69	10	7,69	
					Vol.tot 940 m³

Tabella 27: Volume intercettato 152 LID CONTROL , TR 5

In queste condizioni, il volume intercettato risulta pari a **940 m³** (rispetto ai 380 m³ con 79 lid), mentre il volume esondato è pari a **2182 m³** a fronte dei 3601 m³ senza lid.

Lanciando la simulazione con **TR 10** anni:

PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL			DOPO L'APPLICAZIONE DEI LID CONTROL		
SOTTOBACINO	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOL.RUNOFF (m ³)	VOL.RUNOFF (mm)	VOLUME INTERCETTATO (m ³)
57	140	16,26	90	10,75	50
4	40	20,04	10	7,42	30
38	160	15,85	140	13,41	20
39	50	19,32	30	13,84	20
41	20	17,24	10	15,62	10
19	130	12,92	120	12,11	10
20	130	15,88	120	14,75	10
91	100	15,60	40	6,50	60

111	20	19,66	20	19,66	
36	20	17,46	20	11,61	
34	20	17,55	0	0	20
35	50	15,86	40	14,54	10
75	110	15,98	80	11,38	30
87	140	14,16	90	9,19	50
72	120	16,03	40	5,24	80
73	70	18,62	60	14,73	10
17	40	15,84	10	2,70	30
18	80	14,59	30	5,47	50
104	160	17,16	160	17,09	
90	110	15,20	90	12,71	20
98	60	14,22	30	8,03	30
71	100	16,50	90	15,15	10
61	70	12,90	70	12,74	
81	80	15,05	80	15,05	
14	100	13,51	90	12,55	10
100	60	15,26	60	15,26	
15	100	16,20	30	5,40	70
63	90	17,90	60	12,36	30
56	60	14,94	30	7,63	30
10	70	15,57	0	0	70
Myj...ves	10	15,87	10	13,66	

Erfqwef	10	11,07	10	9,33	
74	70	15,63	70	15,63	
Trmy...grb	40	19,58	30	14,42	10
105	70	14,96	70	14,96	
82	120	14,52	120	14,52	
60	50	11,96	50	11,52	
83	140	15,69	100	11,10	40
95	20	14,80	20	14,80	
48	130	16,51	130	16,51	
45	20	16,43	20	16,43	
46	20	14,68	20	14,68	
24	100	15,96	100	15,96	
79	40	20,57	40	20,57	
62	40	18,87	40	18,87	
29	130	16,26	130	16,26	
13	40	13,77	40	13,77	
80	110	17,15	100	15,09	10
30	40	15,71	40	15,71	
106	70	16,56	60	13,72	10
Fred	60	15,75	60	15,75	
77	40	15,43	40	15,43	
64	10	9,07	10	9,07	
101	60	17,65	60	17,65	
86	110	14,56	110	14,56	

23	110	19,71	110	19,30	
112	50	17,32	50	17,32	
16	70	16,94	40	8,19	30
113	50	12,96	50	11,83	
22	70	14,22	30	5,26	40
69	40	11,53	40	11,53	
47	20	12	20	12	
84	100	13,40	90	13,07	10
85	30	15,57	30	15,57	
49	40	13,83	40	13,83	
3	20	16,38	0	0,00	20
54	40	14,95	20	8,95	20
66	20	14,74	20	14,74	
67	20	15,98	20	15,98	
55	70	14,57	70	14,57	
110	40	15,26	40	15,26	
53	10	18,13	0	0	10
59	80	18,00	80	18,00	
52	10	11,00	10	11,00	
12	80	17,20	80	17,20	
109	10	13,96	10	13,96	
51	50	12,38	50	12,38	
28	10	19,14	10	19,14	
78	100	17,11	100	17,11	

11	30	16,90	30	16,90	
ethnrgbf	100	13,03	100	13,03	
96	80	16,47	80	16,47	
9	80	15,58	80	15,58	
,ujmhng	40	7,28	40	7,28	
103	130	15,70	110	12,88	20
6	110	17,91	100	16,56	10
107	80	15,99	80	15,99	
102	230	17,62	230	17,35	
33	50	11,29	50	11,29	
50	170	14,70	170	14,70	
Etsyhgdf	60	10,97	60	10,97	
5	50	19,28	50	19,28	
Hmjrbgfv	70	10,55	70	10,55	
Emwtmartbs	30	8,40	30	8,40	
Wyrhatgrf	170	14,21	170	14,21	
44	120	18,61	120	18,61	
dfsvac	120	11,59	120	11,59	
Enbrevfd	110	20,26	110	20,26	
Scdsdscd	30	18,91	30	18,91	
Qhefe	20	14,32	20	14,32	
Rtagbdvf	60	13,41	60	13,41	
43	120	16,63	120	16,63	
Hrtrtht	10	20,83	10	20,83	

89	120	16,34	120	16,34	
Hrthtrt	30	10,11	30	10,11	
Wefvdws	20	19,97	20	19,97	
Wefveas	30	20,65	30	20,65	
37	50	17,44	50	17,44	
Nrhtrgb	20	20,31	20	20,31	
8	90	16,45	80	15,95	10
32	20	12,71	20	12,71	
4j3y5hwt4gr	10	9,66	10	9,66	
Etnwrbtgfe	30	12,37	30	12,37	
Bwgfvedws	10	18,31	10	18,31	
88	70	15,04	50	12,12	20
7	150	13,62	140	12,56	10
Fsgbdvfsc	20	20,90	20	20,90	
Fdvceasdc	30	20,65	30	20,65	
dweddwedwe d	10	20,26	10	20,26	
4tnrgbef	30	18,33	30	18,33	
76	110	15,99	100	13,86	10
2	10	18,32	10	18,32	
21	150	13,31	140	12,37	10
Erfwefwefwe	80	15,17	60	11,55	20
Wbsvdc	40	11,76	30	7,10	10
Rweqfvdsd	10	21,37	10	21,37	

erwfdwef	70	17,11	70	17,11	
108	120	11,38	100	9,56	20
Werqfweqfw	10	19,87	10	19,87	
Bgtrevf	40	17,73	40	17,73	
Wefwefwe	20	19,37	10	11,21	10
Werferwefe	40	18,06	40	18,06	
40	130	14,61	130	14,61	
1	10	17,44	10	17,44	
Vasca	120	18,54	120	18,54	
58	20	11,91	20	11,91	
92	90	18,29	90	17,08	
tmrhnbqfwve dc	20	16,91	20	16,91	
99	30	16,83	30	16,83	
Gerferf	30	17,02	30	17,02	
93	70	18,90	70	18,90	
42	40	11,11	40	11,11	
26	100	13,90	80	10,79	20
Yntebrge	130	16,84	130	16,84	
Regere	70	18,24	70	18,24	
Geqrfw	40	17,64	40	17,64	
tyrmhmtgeb v	50	14,54	50	14,54	
Qefveqrfeqrf	20	14,19	20	14,19	
Bfwveqeve	20	14,83	20	14,83	

Qverffwefe	20	11,90	20	11,90	
94	20	9,11	20	9,11	
25	40	11,90	40	11,90	
P6	20	9,00	20	9,00	
					Vol.tot 1130 m³

Tabella 28: Volume intercettato 152 LID CONTROL, TR 10

Il volume intercettato è pari a **1130 m³** (rispetto ai 430 m³ con i 79 lid), mentre il volume esondato in queste condizioni è pari a **3865 m³** a fronte dei 5707 m³ senza lid.

Riassumendo i risultati ottenuti con queste nuove condizioni:

		TR 2 31,92 mm/h	TR 5 43,94 mm/h	TR 10 52,52 mm/h
	Vol.esondato senza lid	1228 m³	3601 m³	5707 m³
	Vol.esondato con 152 lid	629 m³ (-49%)	2182 m³ (-40%)	3865 m³ (-32%)
	Vol.intercettato con 152 lid	730 m³	940 m³	1130 m³
40 interventi	Vol. esondato solo lid NO	1076 m³	2957 m³	5134 m³
15 interventi	Vol. esondato solo lid NE	1165 m³	3422 m³	5311 m³
27 interventi	Vol. esondato solo lid SE	1153 m³	3527 m³	5260 m³
70 interventi	Vol. esondato solo lid SO	879 m³	3017 m³	4906 m³

Tabella 29: Risultati sintetici per TR 2,5 e 10 anni

VALUTAZIONE DELL'ALTERNATIVA *END OF PIPE*

Infine, si valuta la proposta *end of pipe*, per la quale vengono individuati 3 rami principali su via S. Paolo A, B e C (Figura 84).



Figura 84: Soluzione *end of pipe* (IRIDRA,2021)

Pertanto in corrispondenza dei rami A e B, ovvero il nodo **23** e il nodo **139**, si simula l'inserimento di **vasche volano** da posizionare all'interno delle aree dedicate al futuro Parco S. Paolo.

In SWMM, queste vengono rappresentate per mezzo delle *storage unit* che necessitano di essere definite attraverso alcuni parametri caratteristici:

- *Invert elevation*: la quota del fondo vasca;
- *Max depth*: l'altezza della vasca;
- *Initial depth*: il livello iniziale dell'acqua all'interno della vasca;
- *Evap. Factor*: tasso di evaporazione;
- *Storage Curve*: Functional, quindi bisogna definire il *coefficient (A)*, l'*exponent (B)* e *constant (C)*:

$$\text{Area Vasca} = A * (\text{depth})^B + C$$

Il primo passo è stato quello di individuare le aree messe a disposizione per il futuro parco S. Paolo.



Figura 85: Planimetria generale del futuro parco San Paolo (IRIDRA, 2021)

Per il ramo A:



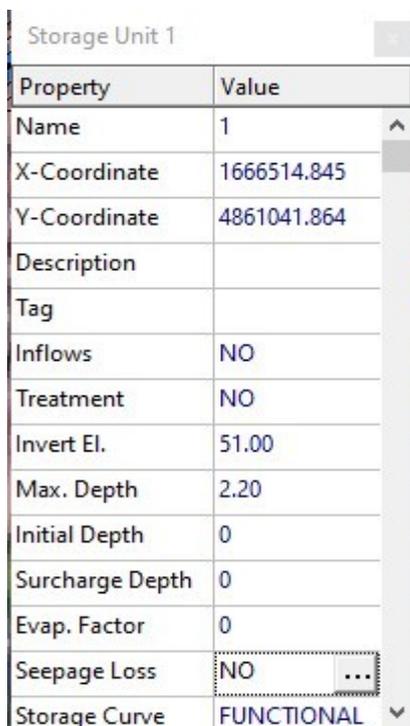
Figura 86: Proposta intercettazione ramo A (IRIDRA, 2021)

Al fine di convogliare le acque miste presso l'area dedicata alla realizzazione del futuro parco S. Paolo, si prevede di realizzare un nuovo collettore di bypass, dal nodo **23** proseguendo verso sud su via **Nuti** fino ad arrivare all'area verde destinata al futuro parco, evitando così che il collettore su via S. Paolo/via dell'Alberaccio vada in crisi.

Tale collettore ha una sezione circolare, DN 600 ed una lunghezza pari a 108 m.

Dato che i collettori confluenti nel nodo 23 hanno un DN 600, è apparso conveniente optare anche in questo caso per lo stesso diametro.

Inoltre sulla base delle caratteristiche altimetriche e planimetriche della vasca, si è stabilita una pendenza del nuovo collettore pari a 1,6 %.



The image shows a screenshot of a software interface for a storage unit. The title bar reads 'Storage Unit 1'. Below it is a table with two columns: 'Property' and 'Value'. The table contains the following data:

Property	Value
Name	1
X-Coordinate	1666514.845
Y-Coordinate	4861041.864
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	51.00
Max. Depth	2.20
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Evap. Factor	0
Seepage Loss	NO
Storage Curve	FUNCTIONAL

Figura 87: Caratteristiche Vasca Volano via Nuti, SWMM

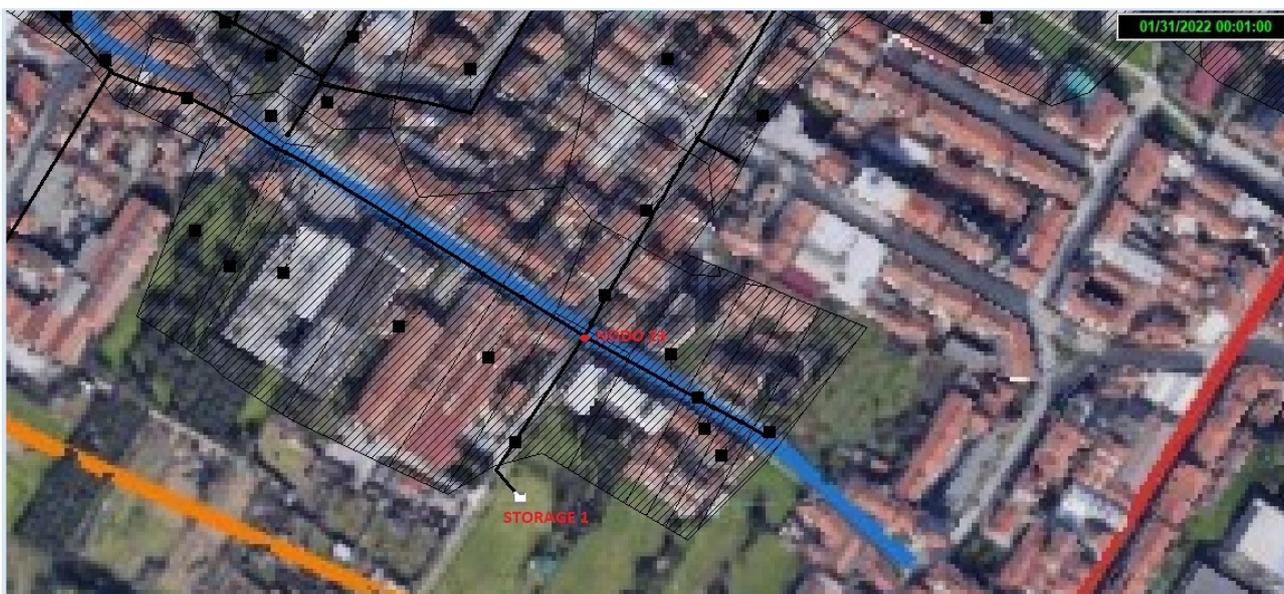


Figura 88: SWMM, rappresentazione del nuovo collettore che collega il nodo 23 con la vasca

Il dimensionamento delle vasche è stato realizzato in modo semplice e speditivo, ipotizzando lo scenario peggiore, ovvero: ipotesi di scarico non funzionante ed evento meteorico relativo a TR 10 anni.

In queste condizioni, la vasca volano relativa al ramo A (via Nuti) ha le seguenti dimensioni:

VASCA VOLANO “via Nuti”	
VOLUME	607 m³
MAX DEPTH	2,20 m
AREA	276 m²
GRADO DI RIEMPIMENTO TR 2 ANNI	51% (depth = 1,79 m)
GRADO DI RIEMPIMENTO TR 5 ANNI	74% (depth = 2,02 m)
GRADO DI RIEMPIMENTO TR 10 ANNI	82% (depth = 2,09 m)

Tabella 30: Caratteristiche vasca volano “Via Nuti”

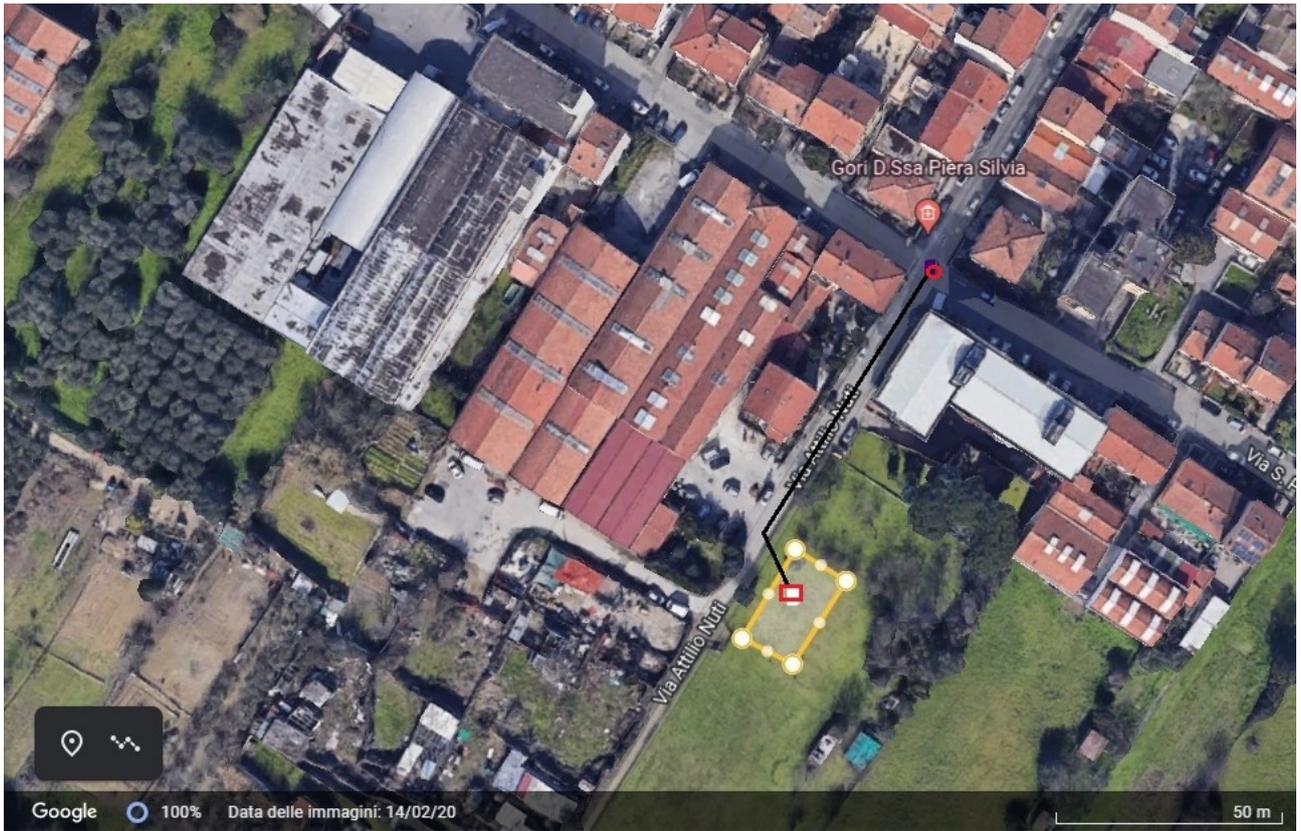


Figura 89: (Google Earth) inquadramento della vasca volano nell'area verde

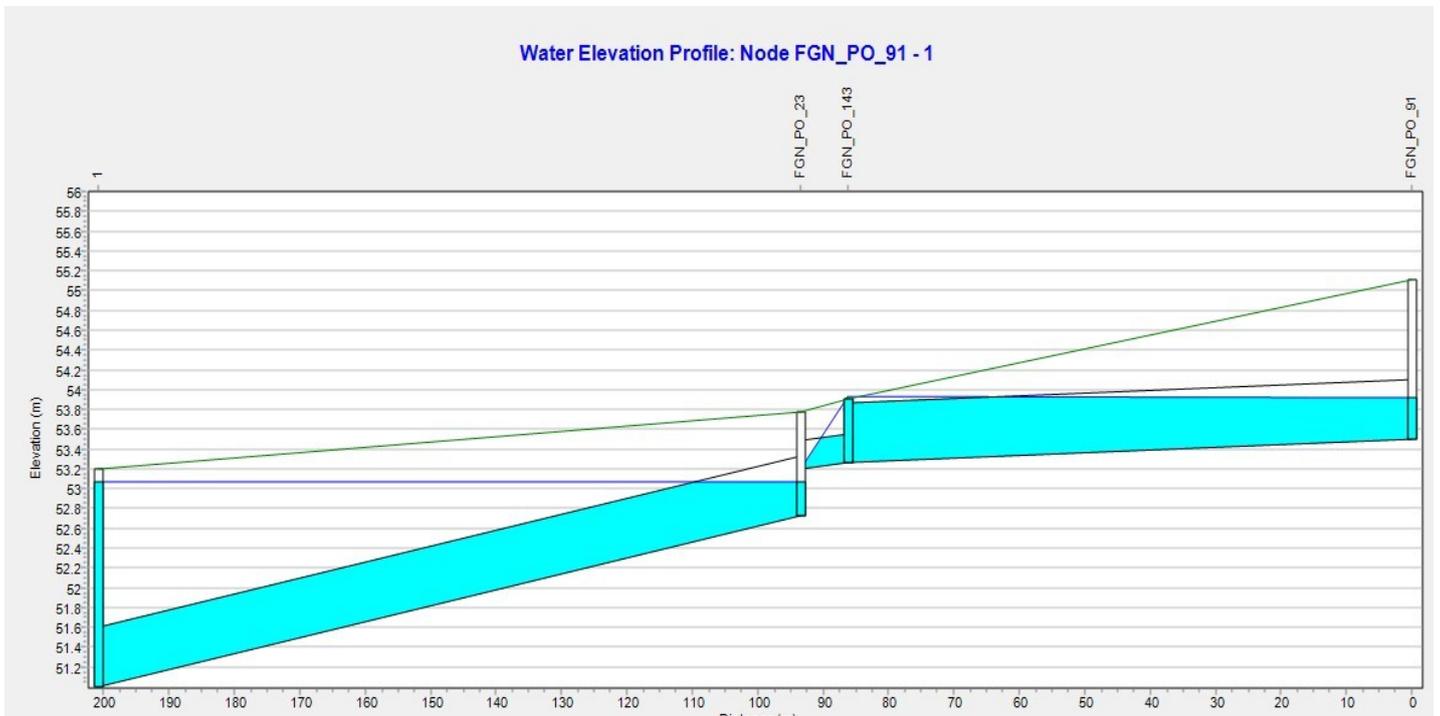


Figura 90: SWMM, profilo del nuovo collettore e conseguente riempimento della vasca (TR10)

Per il ramo **B** (Via S. Paolo, nodo **139**):

Anche in questo caso, al fine di intercettare il ramo B, è necessaria la realizzazione di un nuovo collettore che dal nodo 139 continui su via San Paolo verso sud fino ad arrivare all'area verde dedicata alla realizzazione del futuro parco San Paolo (*Figura 91*).

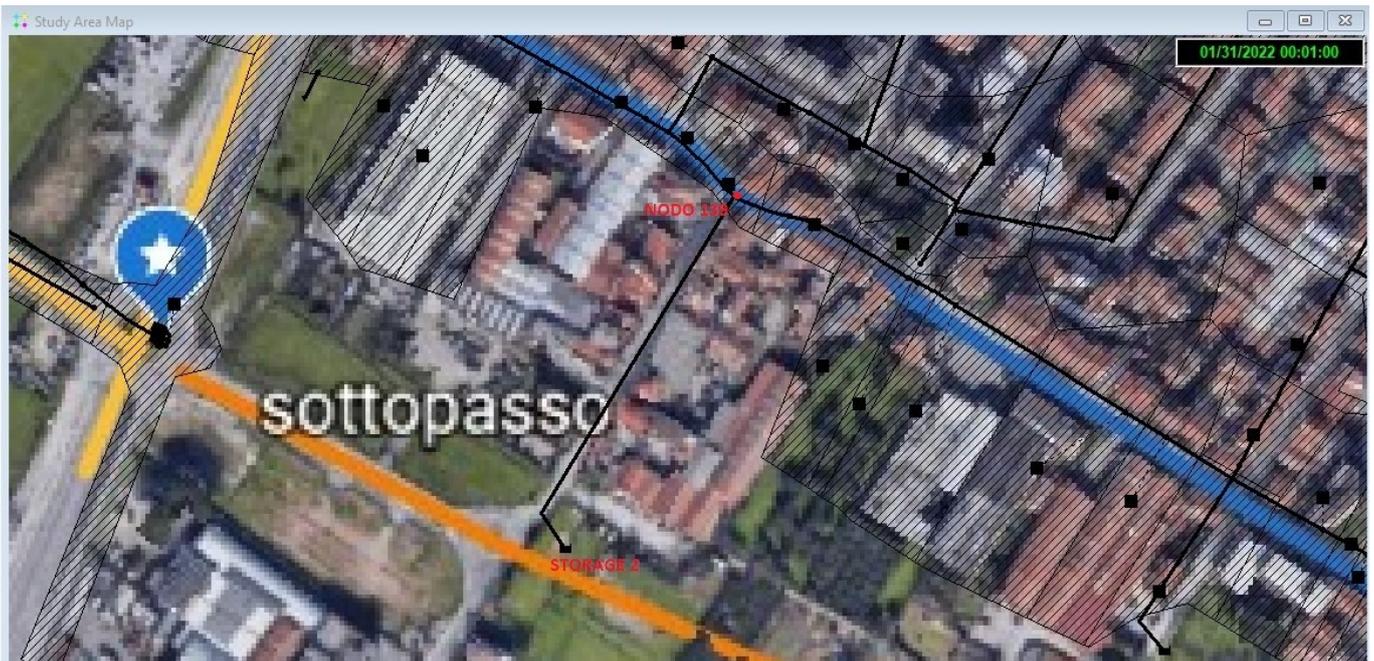


Figura 91: SWMM, rappresentazione del nuovo collettore che collega il nodo 139 con la vasca



Figura 92: Proposta intercettazione ramo B (IRIDRA,2021)

Tale collettore con sezione circolare e DN 600, ha una lunghezza pari a 186 m e note le caratteristiche altimetriche e planimetriche della vasca, il collettore assume una pendenza del 0,74%.

Pertanto, le dimensioni della Vasca Volano relativa al ramo B, Via San Paolo:

VASCA VOLANO “via San Paolo”	
VOLUME	2374 m3
MAX DEPTH	2,50 m
AREA	950 m2
GRADO DI RIEMPIMENTO TR 2 ANNI	39% (depth = 1,94 m)
GRADO DI RIEMPIMENTO TR 5 ANNI	60% (depth = 2,20 m)
GRADO DI RIEMPIMENTO TR 10 ANNI	72% (depth = 2,30 m)

Tabella 31: Caratteristiche vasca volano “via San Paolo”



Figura 93: (Google Earth) inquadramento della vasca volano nell'area verde

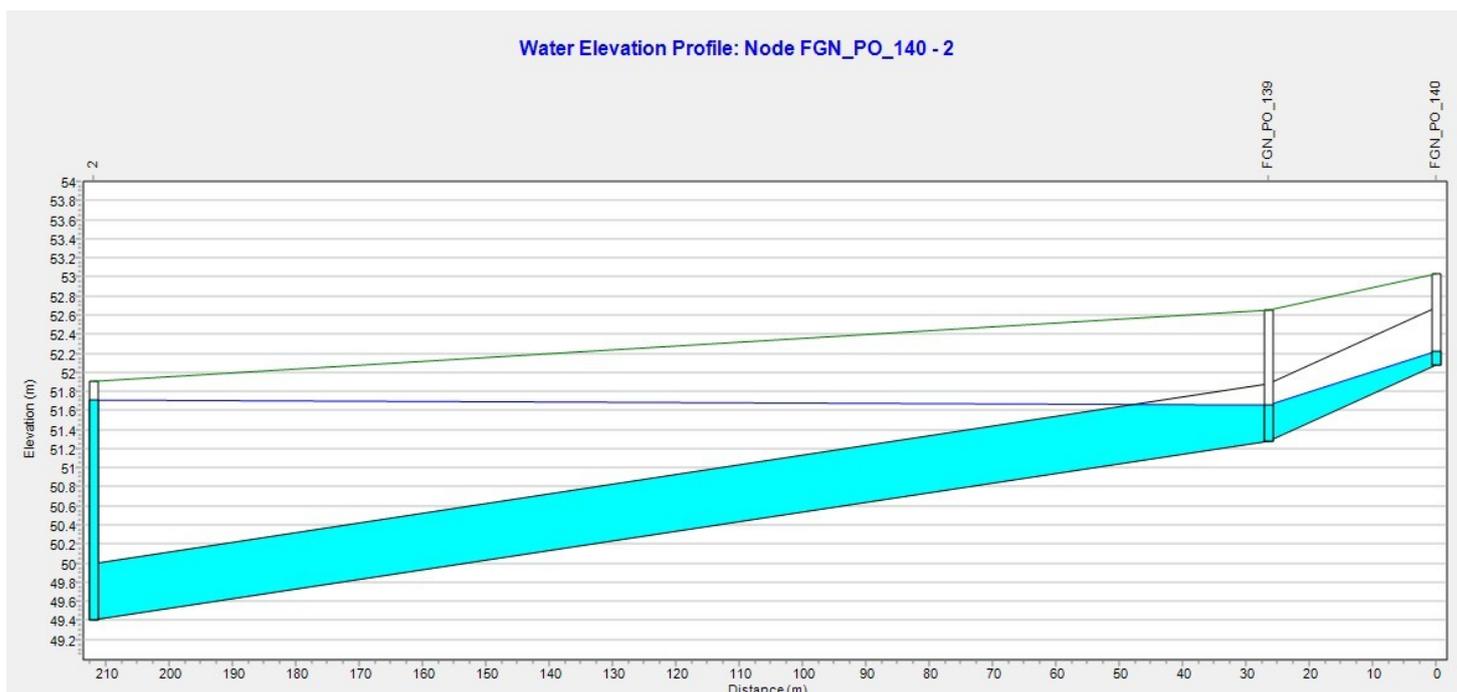


Figura 94: SWMM, profilo del nuovo collettore e conseguente riempimento della vasca (TR10)

CONCLUSIONI

In breve, è stata realizzata una tabella sintetica (*Tabella 32*) per valutare i benefici apportati, in termini di volume esondato, con l'introduzione prima dei 79 lid, poi dei 152 lid ed infine con l'inserimento delle due vasche volano.

	SENZA LID	CON 79 LID	CON 152 LID	CON 152 LID + 2 VASCHE VOLANO
VOL. ESONDATO TR 2	1228 m³	915 m³	629 m³	86 m³
VOL. ESONDATO TR 5	3601 m³	3012 m³	2182 m³	694 m³
VOL. ESONDATO TR 10	5707 m³	4928 m³	3865 m³	1884 m³

Tabella 32

In conclusione, con questo lavoro, seppur partendo da risultati differenti rispetto a quelli ottenuti in IW, si è dimostrato (attraverso il software SWMM) che attraverso l'applicazione delle soluzioni NBS, alternative agli approcci dell'ingegneria classica, all'interno del quartiere San Paolo di Prato, seguendo l'approccio esclusivamente relativo all'alternativa 1 (*before pipe*) e la successiva integrazione con l'alternativa 3 (*end of pipe*) concorrono a migliorare il comportamento idrologico ed idraulico dell'intero bacino giungendo a dei buoni risultati ai fini della mitigazione del rischio allagamenti per TR 2,5 e 10 anni.

Infatti, per TR 2 anni, si passa da un volume esondato di 1228 m³ a 629 m³ (-49% con 152 lid). Per TR 5 anni, si passa da un volume esondato di 3601 m³ a 2182 m³ (-40% con 152 lid). Infine, per TR 10 anni, si passa da 5707 m³ a 3865 m³ (-32% con 152 lid).

Precisando che tali risultati sono stati ottenuti per mezzo dell'applicazione di interventi di retrofitting SuDS fattibili e posizionati all'interno di particelle pubbliche, in modo tale da rendere ancora più realizzabile questo progetto da parte del Comune.

Inoltre, questo studio ha portato alla luce i benefici conseguenti all'applicazione di queste strategie, permettendo di aumentare il livello di conoscenza iniziale su queste tematiche tale da fornire tutti gli elementi necessari al Comune per pianificare e decidere quale strada percorrere per risolvere questa annosa questione.

Infine, si sottolinea che le alternative progettuali proposte non debbano essere viste in totale antitesi tra di loro, ma realizzare parallelamente una o più soluzioni non sarebbe che benefico per l'intero quartiere, aumentandone la resilienza nel lungo periodo, in un contesto dove i cambiamenti climatici ci metteranno di fronte a sfide tecniche sempre più probanti in confronto all'attuale sviluppo urbano.

BIBLIOGRAFIA

Figura 1: Planimetria rete fognaria del quartiere San Paolo di Prato, esplicitando la dorsale principale (in rosso) - Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 1: Volume esondato complessivo (m³) – Fonte: PubliAcqua Spa.

Figura 2: Ipotesi di progetto, realizzazione di una nuova condotta con diametro variabile, simulata attraverso l'utilizzo del software InfoWorks da Ingegnerie Toscane Srl – Fonte: PubliAcqua Spa.

Figura 3: Ubicazione pluviometro di Calenzano TOSO1004784 del SIR Toscana. Fonte : SIR Toscana, <https://www.sir.toscana.it/pluviometria-pub>.

Figura 4: Linee di segnalazione di possibilità pluviometrica per la stazione di Calenzano – Fonte: SIR Toscana, aggiornamento 2012, <https://www.sir.toscana.it/lsp-2012>.

Tabella 2: Altezze di pioggia e coeff. “a” e “n” delle LSPP per la stazione di Calenzano – Fonte: SIR Toscana, aggiornamento 2012,

Figura 5: LSPP con durata minore di 1h per la stazione di Calenzano – Fonte: SIR Toscana, aggiornamento 2012, <https://www.sir.toscana.it/lsp-2012>.

Tabella 3: Altezze di pioggia delle LSPP di durata minore di 1h – Fonte: SIR Toscana, aggiornamento 2012.

Figura 6: Serie storica delle altezze di pioggia giornaliere della stazione pluviometrica di Calenzano – Fonte: SIR Toscana, <https://www.sir.toscana.it/report-idrologici>.

Figura 7: Distribuzione delle altezze di pioggia giornaliere registrate dalla stazione pluviometrica di Calenzano (2016 – 2020) – Fonte: SIR Toscana, <https://www.sir.toscana.it/report-idrologici>.

Figura 8: Distribuzione dei volumi di pioggia cumulati per la stazione pluviometrica di Calenzano (2016 -2020) – Fonte: SIR Toscana, <https://www.sir.toscana.it/report-idrologici>.

Figura 9: Confronto tra Hard e Soft Engineering – Fonte: Huber, J., 2010. Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas.

Figura 10: Scale di applicazione d’interesse per gli interventi di retrofitting per Prato San Paolo – Fonte: Relazione illustrativa IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 11: Esempi di interventi SuDS lungo carreggiate stradali durante eventi di pioggia – Fonte: Relazione illustrativa IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 12: Carta Idrogeologica del “Piano Strutturale” del comune di Prato. - Fonte: Web Map Service Prato, <https://psonline.comune.prato.it/>.

Figura 13: PGRA, Pericolosità alluvionali fluviali a Rischio Idraulico, Bacino Drenato Prato San Paolo. Fonte – OPEN DATA, Autorità di Bacino del fiume Arno, Giugno 2020.

Figura 14: Piano Strutturale del comune di Prato, “Infrastrutture acqua”- Fonte: Web Map Service Prato, <https://psonline.comune.prato.it/>.

Figura 15: Ortofoto Generale – Fonte: Geoportale Regione Toscana.

Figura 16: Quadro conoscitivo Quadrante NE del bacino drenato Prato San Paolo – Fonte: Web Map Service Prato, Giugno 2020.

Figura 17: Quadro conoscitivo Quadrante NO del bacino drenato Prato San Paolo – Fonte: Web Map Service Prato, Giugno 2020.

Figura 18: Quadro conoscitivo Quadrante SO del bacino drenato Prato San Paolo – Fonte: Web Map Service Prato, Giugno 2020.

Figura 19: Quadro conoscitivo Quadrante SE del bacino drenato Prato San Paolo – Fonte: Web Map Service Prato, Giugno 2020.

Figura 20: : Pollution removal for bioretention systems designed to FAWB guidelines - Fonte: “ The SuDS Manual” B Woods Ballard et all. Cap. 18, 2015.

Figura 21: A sinistra: esempio di area di bioritenzione - Fonte: The SuDS Manual” B Woods Ballard et all. A destra: tipologico stratigrafia area di bioritenzione Fonte: Scheda Tecnica per Comune di Bologna – IRIDRA, 2018).

Figura 22: Esempio di area verde soggetta a retrofitting in ottica SuDS, trasformandola in un’area di bioritenzione Fonte: “ The SuDS Manual” 2015 .

Figura 23: Esempio di retrofitting stradale con creazione di una area di bioritenzione con al suo interno il pozzetto stradale esistente, recuperato con funzione di troppo pieno. Alma Road Rain Garden di Londra – Fonte: www.susdrain.org.

Figura 24: Rappresentazione in formato shapefile delle aree parcheggio campionate – Fonte: IRIDRA Srl, 2021.

Figura 25: Parametro di classificazione area verde. Da sinistra verso destra: CAT. 0 assenza di alberi, CAT.1 aiuole, CAT.2 alberi di media altezza, CAT.3 alberi di elevata altezza - Fonte: Google Earth.

Figura 26: Rappresentazione in formato shapefile delle aree verdi campionate
Fonte: www.opendata network.it/dataset/alberi-prato.

Figura 27: Distribuzione aree verdi rispetto alla classificazione legata alla tipologia (parco o non parco) e alla posizione (corte interna o lungo strada) – Fonte: IRIDRA Srl, 2021

Figura 28: A sinistra: rappresentazione aree tetti in formato .shp A destra: rappresentazione aree strade in formato .shp – Fonte: IRIDRA Srl, 2021.

Tabella 4: Aree rappresentative del bacino drenato – Fonte: IRIDRA Srl, 2021.

Figura 29: Esempi di aree adeguate a interventi di retrofitting SuDS di tipo A (sinistra) e tipo B (a destra) – Fonte: IRIDRA Srl, 2021.

Figura 30: Esempi di aree adeguate a interventi di retrofitting SuDS di tipo C0, C1, C2 e C3 nel quartiere San Paolo Prato – Fonte: IRIDRA Srl, 2021.

Figura 31: Esempio elaborato grafico progettuale per tipologico – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 32: A sinistra – Completa infiltrazione nel sottosuolo. A destra – Parziale infiltrazione nel sottosuolo – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 5: Analisi di dettaglio, parametri tecnici per interventi SuDS tipologici – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 6: Sintesi stima volumi di laminazione potenzialmente a disposizione per gli interventi di retrofitting diffusi che drenino le acque di pioggia ricadenti su strade (.s) o parcheggi (.p) – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 33: Tracciato planimetrico del rilievo fornito da PubliAcqua del collettore di via San Paolo e curve di livello equidistanziate di 0,5 m estrapolate dal DTM1x1 m della Regione Toscana – Fonte: Publiacqua Spa.

Figura 34: Individuazione dei nodi di confluenza della rete fognaria lungo il collettore di via San Paolo – Fonte: Publiacqua Spa.

Tabella 7: Range dei volumi drenati nei nodi A,B e C – Fonte: : *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 35: Proposta progettuale end of pipe, presso il futuro Parco San Paolo, a) posizione degli interventi NBS b) tipologico NBS c) esempio di bacino asciutto inserito in area parco – Fonte: *Liberare il suolo, Regione Emilia Romagna*. d) stadio di fitodepurazione a flusso subsuperficiale (progettato da IRIDRA Srl) e) tipologico modulo geocellulare Hidrobox.

Tabella 8: Volumi di accumulo soluzione end of pipe per fognatura mista – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 9: Costi di investimento preliminari per i tipologici di dettaglio. Opzione 1: terreno ad alta infiltrazione, Opzione 2: terreno a bassa infiltrazione con presenza di bocca tarata – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 10: Valori parametri e assunzione per la stima dei costi di gestione per l'Alternativa 1 – Fonte: Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 11: Computo preliminare per le soluzioni end of pipes NBS (alternativa 2) - Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 36: Alternativa 1, target evento con TR 2 anni. Occupazione area retrofitting SuDS 0,9 % del bacino drenato – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 37: Alternativa 1, target evento con TR 5 anni. Occupazione area retrofitting SuDS 2,8 % del bacino drenato – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 38: Alternativa 1, target evento con TR 10 anni. Occupazione area retrofitting SuDS 4,2 % del bacino drenato – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 12: Riepilogo costi di investimento e manutenzione ordinaria stimati per le alternative progettuali considerate – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 13: Riepilogo analisi multicriteriale delle alternative progettuali proposte. Gradazioni di verde: effetto positivo. Gradazione di arancio: effetto negativo. Giallo : neutro – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 39: Bilancio Idrologico – Fonte: Giugni M. 2018.

Figura 40: Differenza del picco di piena tra un suolo urbanizzato (linea blu) e uno naturale (linea rossa) – Fonte: Dalla Fontana G.C. 2013.

Figura 41: Ciclo Idrologico Urbano – Fonte: EPA SWMM, 2015.

Figura 42: Relazione tra i 4 comparti “layer” del software – Fonte: EPA SWMM, 2015.

Figura 43: Interfaccia iniziale – Fonte: EPA SWMM, 2015.

Figura 44: I moduli di progetto – Fonte: EPA SWMM, 2015.

Figura 45: Pannello Rain Gage e Subcatchment – Fonte: EPA SWMM,2015.

Figura 46: Pannello setting condotte- Fonte: EPA SWMM,2015.

Figura 47: La geometria delle condotte – Fonte: EPA SWMM, 2015.

Figura 48: Pannello settaggio opzioni di simulazione – Fonte: EPA SWMM, 2015.

Figura 49: Modello serbatoio non lineare di un sottobacino – Fonte: EPA SWMM, 2015.

Figura 50: Partizionamento idealizzato del sottobacino per il deflusso superficiale – Fonte: EPA SWMM, 2015.

Figura 51: Modello rete fognaria Prato San Paolo in formato .inp

Figura 52: Ietogramma TR 2 anni IW – SWMM.

Tabella 14: Differenza di volume di Runoff (m3) SWMM – IW.

Figura 53: Differenza Runoff (l/s) sottobacino 57 SWMM – IW.

Figura 54: Differenza Runoff (l/s) sottobacino 39 SWMM – IW.

Figura 55: Differenza Runoff (l/s) sottobacino 20 SWMM – IW.

Figura 56: Differenza Runoff (l/s) sottobacino 1 SWMM – IW.

Tabella 15: Definizione e collocazione dei 79 interventi nei sottobacini.

Figura 57: Pannello “LID CONTROL EDITOR SWMM” – surface.

Figura 58: Pannello “LID CONTROL EDITOR SWMM” – soil.

Figura 59: Pannello “LID CONTROL EDITOR SWMM” – storage.

Figura 60: Classificazione terreno in funzione dell’infiltrazione da “*Il Manuale del Geologo*” – Fonte: Simone Vantaggiato (Giugno 2010).

Figura 61: Schema dell’area di bioritenzione, zona di accumulo dell’acqua abbassata di 15 cm rispetto alla cordolatura perimetrale, sistemi di ingresso dell’acqua realizzati con canaletta in CLS e bocche d’ingresso in PVC – Fonte: S. Giraud, PoliTo 2019.

Figura 62: Stratigrafia area di bioritenzione, Fonte: Scheda Tecnica SuDS per comune di Bologna – IRIDRA, 2021).

Figura 63: Parametrizzazione in SWMM delle aree di bioritenzione secondo i range definiti dal Manuale e dalla letteratura – Fonte: “R. D’Ambrosio”, “A. Rizzo” et all “Re think urban drainage following a SuDS retrofitting approach against urban flooding: A modelling investigation for an Italian case study”, 2022.

Tabella 16: Descrizione caratteristiche dei 79 interventi diffusi prioritari.

Figura 64: Mappatura 79 interventi, quartiere San Paolo – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 65: Mappatura 79 interventi, quartiere San Paolo - Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 17: Volume intercettato TR 2 anni con 79 LID e con conducibilità idraulica 300 mm/h.

Tabella 18: Volume intercettato TR 5 anni con 79 LID e con conducibilità idraulica 300 mm/h.

Tabella 19: Volume intercettato TR 10 anni con 79 LID e con conducibilità idraulica 300 mm/h.

Tabella 20: Riepilogo dei risultati ottenuti con 79 LID per TR 2,5 e 10 anni.

Tabella 21: Volume intercettato TR 2 anni con 79 LID e con conducibilità idraulica 1000 mm/h.

Figura 66: Mappa esondazione iniziale PO_VASCA TR2, EPA SWMM.

Figura 67: Esondazione nodo 139, TR2, EPA SWMM.

Figura 68: Esondazione nodo 135, TR2, EPA SWMM.

Figura 69: Mappa esondazione, TR2 con LID, EPA SWMM

Figura 70: Mappa esondazione, TR2 senza LID, EPA SWMM.

Tabella 23: Volume intercettato TR 5 anni con 79 LID conducibilità idraulica 1000 mm/h.

Figura 71: Esondazione nodo 139, TR5, EPA SWMM.

Figura 72: Esondazione nodo 135, TR5, EPA SWMM.

Figura 73: Mappa esondazione TR5, con LID, EPA SWMM.

Figura 74: Mappa esondazione TR5, senza LID, EPA SWMM.

Tabella 24: Volume intercettato TR 10 anni con 79 LID conducibilità idraulica 1000 mm/h.

Figura 75: Mappa esondazione TR10, con LID, EPA SWMM.

Figura 76: Mappa esondazione TR10, senza LID, EPA SWMM

Figura 77: Esondazione nodo 139, TR10, EPA SWMM.

Figura 78: Pannello “LID CONTROL EDITOR SWMM” – Surface, EPA SWMM.

Figura 79: Pannello “LID CONTROL EDITOR SWMM” – Soil, EPA SWMM.

Figura 80: Pannello “LID CONTROL EDITOR SWMM” – Storage, EPA SWMM.

Tabella 25: Descrizione caratteristiche dei nuovi interventi.

Figura 81: Mappatura 152 interventi, quartiere San Paolo – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 82: Mappatura 152 interventi, quartiere San Paolo – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 83: Mappatura 152 interventi, quartiere San Paolo – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 26: Volume intercettato TR 2 anni con 152 LID conducibilità idraulica 300 mm/h.

Tabella 27: Volume intercettato TR 5 anni con 152 LID conducibilità idraulica 300 mm/h.

Tabella 28: Volume intercettato TR 10 anni con 152 LID conducibilità idraulica 300 mm/h.

Tabella 29: Riepilogo dei risultati ottenuti con 152 LID per TR 2,5 e 10 anni.

Figura 84: soluzione *end of pipe*, definizione dei nodi A e B – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 85: Planimetria generale del futuro parco San Paolo – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 86: Proposta intercettazione ramo A – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Figura 87: Caratteristiche vasca volano Via Nuti, EPA SWMM

Figura 88: rappresentazione del nuovo collettore su Via Nuti che collega il nodo 23 con la vasca, EPA SWMM.

Tabella 30: Caratteristiche vasca volano “Via Nuti”

Figura 89: inquadramento approssimativo della vasca volano nell’area verde destinata al futuro parco – Fonte: Google Earth.

Figura 90: profilo del nuovo collettore e conseguente riempimento della vasca TR 10.

Figura 91: rappresentazione del nuovo collettore su Via San Paolo che collega il nodo 139 con la vasca, EPA SWMM.

Figura 92: Proposta intercettazione ramo B – Fonte: *Relazione illustrativa* IRIDRA Srl, Ing. Rizzo e Ing. Martinuzzi, Marzo 2021.

Tabella 31: definizione delle dimensioni della vasca volano “Via San Paolo”.

Figura 93: inquadramento approssimativo della vasca volano nell’area verde destinata al futuro parco, Google Earth.

Figura 94: profilo del nuovo collettore e conseguente riempimento della vasca, TR 10, EPA SWMM.

Tabella 32: Riepilogo conclusivo dei risultati ottenuti.

A conclusione di questo bellissimo ed estenuante percorso, vorrei ringraziare ancora una volta tutti coloro che da SEMPRE mi sono stati vicino.

Inoltre, colgo l'occasione per esprimere la mia immensa gratitudine nei confronti dei miei relatori, il Professor Fulvio Boano e l'ingegnere Anacleto Rizzo di IRIDRA Srl, per avermi pazientemente supportato nella realizzazione di questo lavoro di tesi.

Infine, un infinito ringraziamento va a i miei genitori, a mio fratello e a tutta la mia grande famiglia, per esserci sempre stati in qualsiasi momento della mia vita.

Infinitamente Grazie.

Antonio

