POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



Tesi di Laurea Magistrale

Effetto di sistemi di drenaggio urbano sostenibile sulla qualità delle acque di prima pioggia: modellazione della rete di Borgo Dora

Relatore: Prof. Fulvio Boano Candidata: Angela Petruzziello

Correlatore:

Ing. Anacleto Rizzo

Ottobre 2019

A mio padre e

mia madre

INDICE

FRODUZIONE 1

CAPITOLO PRIMO

1 Sistemi di drenag	gio urbano sostenibile (SuDS)	4
1.1 Benefici o	lel SuDS design	6
1.1.1	Quantità dell'acqua	6
1.1.2	Qualità dell'acqua	7
1.1.3	Biodiversità	8
1.1.4	Amenità	9
1.2 Tipologie	di sistemi di drenaggio urbano sostenibile	11
1.2.1	Aree di Bioretention	16
1.2.2	Pavimentazioni Permeabili	18
1.3 Progettaz	ione in ambiente urbano	21
1.4 Meccanis	mi di rimozione degli inquinanti	24

CAPITOLO SECONDO

2 Metodi di analisi		27
2.1 Storm Wa	ter Management Model (SWMM)	27
2.1.1	Modulo idrologico	28
2.1.2	Modulo idraulico	31
2.1.3	LID – Controlli di sviluppo a basso impatto in SWMM	32
2.1.4	Modulo di qualità dell'acqua	35
	2.1.4.1 Stima dei parametri di Build-Up e Wash-Off	42
2.1.5	Rimozione degli inquinanti nelle versioni di SWMM 5.1	.44
2.2 Best Mana	agement Practices (BMPs) Siting Tool	50

CAPITOLO TERZO

3 Caso studio: zona Borgo Dora (Torino)	53
3.1 Inquadramento territoriale	53
3.2 Modellazione idraulica in SWMM	58
3.3 Stato attuale della rete di drenaggio	60
3.4 Individuazione delle LID	62
3.4.1 Proprietà e modellazione in SWMM	69

CAPITOLO QUARTO

75
76
78
83
88
88
90
92
gio
94
94

CONCLUSIONI	100
-------------	-----

ALLEGATI

Allegato 1 – Caratteristiche dei sottobacini A1, A5 e A6	102
Allegato 2 - Report analisi SWMM per il sottobacino di un acro	105
Allegato 3 - Report analisi SWMM per il sottobacino di un acro	
con Bioretention	106
Allegato 4 - Risultati delle simulazioni con TR=2 anni	107
Allegato 5 – Distribuzione dell'altezze di pioggia a San Diego (CA)	113
Allegato 6 - Risultati evento temporalesco del 29/08/2016	113
Allegato 7 - Risultati simulazione continua	117
Allegato 8 – Risultati delle simulazioni con TR= 5 anni	135

BIBLIOGRAFIA	141
--------------	-----

SITOGRAFIA	143
------------	-----

INTRODUZIONE

I processi di urbanizzazione hanno incoraggiato, nel corso degli anni, lo sviluppo di aree impermeabili, alterando il ciclo idrologico attraverso la diminuzione dei fenomeni di infiltrazione, evapotraspirazione e ricarica delle acque di falda, incrementando le acque di dilavamento superficiale. Le attività di carattere civile, industriale e commerciale, che si svolgono in dato territorio, contribuiscono alla produzione di sostanze inquinanti che si accumulano nei periodi di tempo secco sulle superfici drenate e possono essere dilavate in seguito ad un evento meteorico, alterando la qualità dei corpi idrici superficiali e sotterranei. Il cambiamento climatico, che si identifica con l'aumento dell'intensità e della frequenza di eventi meteorici estremi, e la ridotta permeabilità delle aree urbane, hanno determinato una modifica del bilancio idrologico con l'aumento delle portate volumetriche e della velocità delle acque di deflusso. La vulnerabilità delle aree urbane non è connessa solo all'impermeabilizzazione, ma anche alla modalità di gestione delle acque di pioggia. Il tradizionale drenaggio urbano ha lo scopo di drenare e raccogliere l'acqua piovana proveniente dalle superfici impermeabili ed immetterle in fognature miste o separate. Le reti di drenaggio trasportano con sé numerose sostanze solide e vari tipi di inquinanti, che sono destinati ai sistemi di depurazione e ai corpi idrici recettori. In concomitanza con eventi estremi si verificano problemi di sovraccarico delle reti fognarie esistenti, le quali devono essere adeguate alle nuove portate e volumi di deflusso al fine di garantire la salvaguardia idraulica del territorio e la mitigazione del rischio di allagamenti provocati da piene pluviali e fluviali. Di fronte a tali esigenze si fa sempre più strada l'idea di intervenire mediante una moderna gestione delle acque meteoriche, in modo da considerare l'acqua piovana non più come un problema da allontanare il più velocemente possibile, ma come una risorsa.

Il sistema di drenaggio urbano sostenibile (SuDS - Sustainable urban Drainage Systems), noto anche con gli acronimi LID (Low Impact Development) e BMP (Best management practices), si configura come un insieme di misure diffuse sul

territorio, volte a ridurre i fenomeni di allagamento urbano e il degrado qualitativo delle acque di dilavamento superficiale, incoraggiando nel contempo il miglioramento della biodiversità e dell'amenità nelle aree urbane, incrementando spazi verdi multifunzionali. L'adozione di tecnologie a basso impatto non riguarda solo la nuova urbanizzazione ma anche aree urbane esistenti.

Il presente lavoro di tesi ha lo scopo di valutare le potenzialità delle azioni di "retrofitting" urbano per mezzo di sistemi di drenaggio sostenibile in zona Borgo Dora della città metropolitana di Torino, in merito alla gestione qualitativa e quantitativa delle acque di dilavamento superficiale. L'analisi è svolta mediante l'utilizzo del software SWMM (Storm Water Management Model) dell'EPA (Environmental Protection Agency). In particolare, dopo l'introduzione delle principali caratteristiche dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile (Capitolo Primo) e del modello di indagine utilizzato SWMM (Capitolo Secondo), il Capito Terzo riguarda l'inquadramento territoriale dell'area Borgo Dora, analizzando le caratteristiche utili per la modellazione della rete di drenaggio e i problemi connessi all'area per eventi con tempo di ritorno di 2 anni. Di fondamentale importanza per lo svolgimento della presente tesi, è stata la modellazione della rete di drenaggio e le considerazioni idrauliche svolte dal Prof. Fulvio Boano, dall'Ing. Stefano Losero e dal Prof.Luca Ridolfi nel lavoro di ricerca eseguito per SMAT (Società Metropolitana Acque Torino). Di fronte alla vulnerabilità dell'area di indagine per eventi di pioggia intensi, si è scelto di intervenire mediante sistemi di drenaggio sostenibile, attraverso una visione unitaria di bacino. Nel precedente lavoro di tesi svolto presso il Politecnico di Torino da Rosalba Senette, sono stati valutati gli effetti dei sistemi di drenaggio sostenibile posizionati in corrispondenza delle aree drenate in prossimità dei collettori.

Con il presente lavoro si è scelto di integrare la precedente modellazione con sistemi di drenaggio sostenibile collocati in corrispondenza delle aree drenate di monte, e di valutare la qualità delle acque e la riduzione del deflusso su scala di sottobacino e di area complessiva. Nel Capitolo Quarto sono riportate le simulazioni eseguite con l'ausilio del modello di calcolo SWMM, che ha permesso di valutare gli effetti quali-quantitativi sulle acque di dilavamento superficiale, per eventi con tempo di ritorno 2 anni e di minore intensità, per mezzo di una simulazione continua con dati di pioggia giornalieri annuali. Infine è stato valutato l'effetto combinato delle LID con ipotesi di intervento strutturale della rete di drenaggio esistente proposte nel lavoro svolto per SMATT precedentemente citato, per eventi con tempo di ritorno di 5 anni.

CAPITOLO PRIMO

1 Sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SuDS)

I sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SuDS – Sustainable urban Drainage Systems) si identificano in un insieme di strategie e tecnologie diffuse sul territorio, per la gestione delle acque meteoriche ricadenti in aree urbane. Noti in letteratura scientifica con diversi acronimi come LID (Low Impact Development), BMP (BMP Best Management Practices) e WSUD (Water Sensitive Urban Design) [18], gli obiettivi principali del drenaggio urbano sostenibile sono la riduzione del volume delle acque di dilavamento superficiale, incrementando l'infiltrazione e l'attivazione di meccanismi di rimozione degli inquinanti per proteggere i corpi idrici superficiali e sotterranei, riequilibrando nel contempo il bilancio idrologico. Questo moderno approccio di gestione qualitativo e quantitativo delle acque piovane, consente alle città di comportarsi come le così dette "sponge cities" e di sfruttare tutti i benefici forniti dai servizi ecosistemici per mezzo della realizzazione di infrastrutture verdi [29].

Il funzionamento delle tecnologie a basso impatto imita i processi idrologici di un sito naturale incoraggiando la biodiversità e il miglioramento dell'amenità nel contesto urbano, per mezzo di spazi verdi multifunzionali. L'acqua piovana non è più considerata come un problema da allontanare, ma come una risorsa, diventando parte visibile e tangibile nelle aree urbane, in modo da massimizzare i benefici e minimizzare gli effetti negativi del deflusso delle acque superficiali [7]. Esistono numerose opportunità di integrazione nel contesto urbano dei sistemi di drenaggio sostenibile, che non riguardano solo ed esclusivamente la nuova urbanizzazione, ma anche aree esistenti per mezzo di azioni di *"retrofitting"* urbano diffuso [21]. Per valorizzare l'acqua piovana dal punto in cui essa precipita fino al punto di scarico nel corpo idrico recettore, sotto forma di acqua di dilavamento superficiale, bisogna considerare i sistemi di drenaggio sostenibile come un sistema di componenti interconnessi tra di loro. Tale approccio è noto come *"SuDS Management Train"*, che descrive l'uso di una serie di tecnologie, ognuna con

strategie di drenaggio specifiche, che lavorano in serie per trattare il deflusso superficiale e migliorare la qualità dell'acqua in loco [22]. A tale scopo i componenti SuDS forniscono sei funzioni specifiche e a seconda della funzione svolta si classificano in:

- Sistemi di raccolta dell'acqua piovana con lo scopo di catturare le acque meteoriche e consentirne l'utilizzo in ambito pubblico e privato a seconda delle esigenze;
- **Sistemi di superfici permeabili**, che permettono l'infiltrazione dell'acqua all'interno di superfici strutturali, riducendo così il deflusso che viene convogliato alla rete di drenaggio;
- Sistemi di infiltrazione, che hanno lo scopo di facilitare l'infiltrazione dell'acqua nel terreno sottostante e spesso presentano aree di stoccaggio per l'accumulo temporaneo dell'acqua prima che avvenga l'infiltrazione;
- Sistemi di trasporto, che convogliano i flussi verso i sistemi di stoccaggio di valle;
- Sistemi di stoccaggio che controllano il deflusso superficiale memorizzando l'acqua e rilasciandola lentamente (processo di attenuazione);
- Sistemi di trattamento che favoriscono il miglioramento della qualità dell'acque superficiali per mezzo di processi di trattamento e riduzione dei sedimenti e di sostanze inquinanti.

Per mezzo delle funzioni sopra citate, i SuDS favoriscono la riduzione della vulnerabilità complessiva di un'area, migliorando il design del verde urbano e il microclima.

1.1 Benefici del SuDS design

La filosofia dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile si identifica nel massimizzare quattro categorie principali di benefici: quantità dell'acqua, qualità dell'acqua, amenità e biodiversità, definiti come i quattro "pilastri" del *SuDS design* [22].

1.1.1 Quantità dell'acqua

L'urbanizzazione e l'impermeabilizzazione dei suoli hanno favorito l'incremento delle acque superficiali ai danni dei fenomeni di infiltrazione, evapotraspirazione e ricarica delle acque di falda. In Figura 1.1 si nota come la portata volumetrica delle acque di dilavamento superficiale, proveniente da un sito naturale (linea verde), risulti notevolmente inferiore rispetto al deflusso proveniente da aree urbane (linea blu). Ciò è principalmente dovuto all'elevata permeabilità dei suoli incontaminati e dalla presenza della vegetazione, che ostacola il deflusso, riducendone la velocità e favorendo i processi di infiltrazione ed evapotraspirazione.

Lo scopo del sistema di drenaggio sostenibile è di rallentare ed attenuare le acque di dilavamento superficiale provenienti da un sito urbano, in modo scongiurare il rischio di fenomeni di allagamento provocati da piene pluviali e fluviali. Imitando i processi idrologici di un sito naturale, i componenti SuDS riducono il picco di deflusso mediante il processo di attenuazione: immagazzinamento temporaneo in loco dei volumi d'acqua durante un evento di pioggia, per poi essere rilasciati con velocità controllata nella rete di drenaggio. Si denota un aumento della durata dell'evento (linea rossa), ma c'ò permette di gestire i flussi di piena durante fenomeni di pioggia intensa e frequenti.



Figura 1.1: Esempio della variazione di deflusso [22]

1.1.2 Qualità dell'acqua

Le attività antropiche che si svolgono in dato territorio, contribuiscono alla produzione di sostanze inquinanti, sedimenti e rifiuti di varia natura, che si depositano sulle superfici drenate nei periodi di tempo secco e sono dilavati durante un evento meteorico. La concentrazione e la tipologia delle sostanze inquinanti presenti nelle acque di dilavamento, dipendono da molti fattori come ad esempio dalla durata del tempo secco che precede un evento di pioggia, dall'intensità, durata e composizione chimica delle precipitazioni e dalle attività previste sul suolo urbano. Ciò contribuisce al degrado qualitativo delle acque superficiali, alterando la qualità dei corpi idrici, con effetti negativi sugli ecosistemi e sulla biodiversità. Non sono coinvolte soltanto le acque superficiali, ma anche le acque sotterranee. Un possibile inquinamento di quest'ultime tende ad essere irreversibile e permanente.

In Figura 1.2 è rappresentato un esempio tipico di concentrazione di inquinanti dilavati durante un evento di pioggia in ambiente urbano [22]. Durante un evento meteorico, la concentrazione massima di inquinanti si verifica nelle prime fasi

dell'evento di pioggia, a causa del dilavamento iniziale di sedimenti e sostanze inquinanti presenti dalla superficie drenata.



Figura 1.2: Esempio di deflusso, concentrazione degli inquinanti e carico inquinante cumulativo durante un evento di pioggia [22]

Anche se siamo in presenza di un evento di pioggia di bassa intensità (linea blu), si riscontra una concentrazione di inquinati iniziale elevato (linea rossa).

Alcuni sistemi di drenaggio sostenibile contribuiscono al miglioramento della qualità delle acque di deflusso superficiali, intercettando e trattenendo sedimenti e sostanze inquinanti, favorendo la protezione delle acque superficiali e sotterranee.

1.1.3 Biodiversità

I sistemi di drenaggio urbano sostenibile offrono opportunità di ripristino di *habitat* e di migliorare la qualità della salute degli ecosistemi, che a sua volta avrà un impatto positivo sul benessere dell'uomo. Si fa sempre più spazio la consapevolezza di salvaguardare la biodiversità e le specie animali, sempre più minacciate da un continuo mutamento dei loro *habitat*. L'approccio di drenaggio sostenibile fornisce la possibilità di valorizzare ed incrementare lo spazio verde nel contesto urbano, favorendo così lo sviluppo di una differente varietà di fauna selvatica tra cui: anfibi, invertebrati, uccelli ed altri mammiferi. Le infrastrutture verdi e l'acqua gestita in superficie, offrono uno ambiente stabile per lo sviluppo della flora e della fauna, caratterizzando il paesaggio urbano di un valore aggiunto [22].

1.1.4 Amenità

Con il drenaggio sostenibile si cerca di creare ambienti urbani sempre più vivibili, piacevoli e funzionali, al fine di migliorare la qualità della vita in ambito urbano. Gestire l'acqua in superficie contribuisce a: ridurre le temperature estive, fornire habitat per flora e fauna ed essere una risorsa per l'educazione ambientale, influenzando positivamente il senso di comunità e di appartenenza al luogo. In seguito sono riportati i principali benefici che il sistema di drenaggio sostenibile è in grado di fornire se integrato nel contesto urbano [6] [22]:

- Miglioramento della qualità dell'aria. Infrastrutture verdi come Bioretention, tetti verdi, zone umide ed alberi, possono avere un effetto positivo sulla qualità dell'aria ed in particolare in zone dove l'inquinamento atmosferico è particolarmente rilevante. Esse favoriscono l'assorbimento di alcuni inquinanti come biossido di azoto, biossido di zolfo ed ozono;
- **Regolazione della temperatura degli edifici.** Alcune tecnologie a basso impatto, come tetti verdi ed alberi, possono moderare la temperatura degli edifici contribuendo al confort termico, offrendo ombreggiatura in estate ed isolamento termico in inverno;
- **Riduzione dell'emissione di carbonio.** La presenza di aree verdi contribuisce all'assorbimento di anidrite carbonica e di altri gas serra;
- **Crescita economica.** Gestire l'acqua in superficie crea luoghi interessanti e piacevoli che conferisco un valore aggiunto al territorio, incrementando l'attrazione turistica e la produttività del luogo;
- Formazione scolastica. Utilizzando spazi verdi per la gestione del ciclo idrologico, si offre l'opportunità di sostenere l'istruzione sia nelle scuole che nella comunità;

- Salute e benessere. Le infrastrutture verdi possono fornire luoghi di svago e relax, svolgendo un ruolo significativo per la salute psicofisica della comunità;
- **Riduzione del rumore.** L'incremento della vegetazione ha un effetto positivo sull'attenuazione del rumore locale, come ad esempio tetti verdi, che forniscono isolamento acustico agli edifici;
- **Ricreazione.** Con l'introduzione di una vasta gamma di infrastrutture verdi è possibile creare aree verdi multifunzionali in cui poter svolgere attività ricreative;
- **Raccolta di acqua.** Quando è prevista la raccolta dell'acqua piovana, essa può fungere da riserva d'acqua per usi pubblici e privati.

1.2 Tipologie di sistemi di drenaggio urbano sostenibile

Il drenaggio urbano sostenibile può essere integrato in ambiente urbano per mezzo di una vasta gamma di interventi, che possono essere utilizzati singolarmente o in combinazione tra loro. In seguito sono riportati le principali tipologie di interventi, ognuno con caratteristiche e funzioni specifiche [22]:

• Sistemi di raccolta delle acque piovane: sono sistemi di recupero dell'acqua piovana, dove il deflusso proveniente da tetti o altre zone impermeabili viene immagazzinato ed utilizzato come sorgente di acqua per uso domestico, commerciale o industriale (Figura 1.3);



Figura 1.3: Serbatoi di raccolta dell'acqua piovana (courtesy Stormsaver) [22]

• **Tetti verdi:** sono tetti con superficie vegetata che forniscono un grado di attenuazione e trattamento delle acque piovane, promuovendo l'evapotraspirazione (Figura 1.4);



Figura 1.4: Tetto verde accessibile con piantagione intensiva ed estensiva – Bishops Square London [22]

• **Sistemi di infiltrazione**: sono sistemi progettati per promuovere l'infiltrazione del deflusso superficiale nel sottosuolo (Figura 1.5);



Figura 1.5: Esempi di bacino di infiltrazione – Figura 1.5A Grande bacino di infiltrazione – Ipswich (courtesy Graham Fairhurst) [22]; Figura 1.5B Piccolo bacino di infiltrazione – Cambourne (courtesy Illman Young) [22]

- Fasce filtranti: sono aree vegetate a leggera pendenza, progettate per trattare il deflusso proveniente da aree adiacenti impermeabili, promuovendo la sedimentazione, l'infiltrazione e la filtrazione (Figura 1.6A);
- **Stagni e zone umide:** sono caratterizzati da uno stagno permanente di acqua che fornisce attenuazione e trattamento del deflusso superficiale, mediante sedimentazione dei solidi sospesi e rimozione biologica degli inquinanti (Figura 1.6B);



Figura 1.6A: Fascia filtrante Hopwood (courtesy Illman Young) [22]; Figura 1.16B: Stagno urbano Western Harbour, Malmö, Sweden (courtesy Essex County Council) [22]

• **Dreni filtranti:** sono trincee poco profonde riempite con materiale permeabile, che creano uno stoccaggio temporaneo e favoriscono il trasporto delle acque superficiali (Figura 1.7);



Figura 1.7: Esempi di filtro drenante: Figura 1.7A courtesy Hydro International [22]; Figura 1.7B courtesy Illman Young [22]

• **Canali vegetati:** sono canali vegetati poco profondi, progettati per convogliare e trattare il deflusso. Il canale può essere progettato in modo che il deflusso rimanga permanentemente alla base del canale o che possa essere presente solo dopo un evento di pioggia (Figura 1.8);



Figura 1.8: Esempi di canali vegetati - Figura 1.8A courtesy Illman Young [22]; Figura 1.8B courtesy Terra Firma [22]

• **Pavimentazioni permeabili:** sono pavimentazioni che consentono all'acqua piovana di infiltrarsi attraverso la superficie e in strati sottostanti (Figura 1.9);



Figura 1.9: Esempi di pavimentazioni permeabili – Figura 1.9A Pavimentazione permeabile modulare (courtesy EPG Limited) [22]; Figura 1.9B Pavimentazione modulare con strato geocellulare (da Interpave, 2013) [22]

• **Bioretention:** sono depressioni paesaggistiche poco profonde che favoriscono lo stoccaggio temporaneo in superficie dell'acqua prima dell'infiltrazione, attraverso la vegetazione e i terreni sottostanti (Figura 1.10);



Figura 1.10: Esempio di sistema Bioretention - Portland, Oregon (courtesy Illman Young)
[22]

• Alberi: per migliorare la prestazione di una vasta serie di componenti SuDS, è possibile introdurre gli alberi, che migliorano la capacità di infiltrazione del suolo (Figura 1.11);



Figura 1.11: Esempi di alberi utilizzati per migliorare gli swales – Figura 1.11A Oxfordshire (courtesy Leicester City Council) [22]; Figura 1.11B Upton [22]

- Serbatoi di attenuazione: sono strutture che creano uno spazio vuoto al di sotto del terreno per l'accumulo temporaneo dell'acqua superficiale (Figura 1.12A);
- **Bacini di detenzione:** sono depressioni normalmente asciutte prima di un evento meteorico. In seguito all'evento di pioggia il bacino si riempie, permettendo la riduzione del deflusso (Figura 1.12B).



Figura 1.12A: Sistema di stoccaggio Geocellulare in costruzione (courtesy Polypipe Limited) [22]; Figura 1.12B: Bacino di detenzione - Hamilton, Leicester [22]

Nel presente lavoro di tesi sono analizzate due tipologie di sistemi di drenaggio urbano sostenibile:

- Aree di Bioretention;
- Pavimentazioni permeabili.

Le caratteristiche principali dei sistemi appena citati, sono presentate nei seguenti paragrafi.

1.2.1 Aree di Bioretention

Le aree di Bioretention sono depressioni paesaggistiche poco profonde, utilizzate per la gestione e il trattamento del deflusso superficiale proveniente da precipitazioni frequenti [22]. La riduzione del deflusso avviene per mezzo di un accumulo temporaneo dell'acqua in superficie, per poi favorirne l'infiltrazione attraverso la vegetazione e i terreni sottostanti. I terreni ingegnerizzati fungono da filtro che permettono il trattamento delle acque e la rimozione degli inquinanti. Una porzione del deflusso intercettato viene rimosso per evaporazione e traspirazione delle piante, l'altra per mezzo di una parziale o completa infiltrazione nel sottosuolo, se consentito dalle condizioni del sito locale. Il deflusso filtrato può anche essere intercettato ed inviato verso la rete di drenaggio urbano esistente.

Strutturalmente, le aree di Bioretention sono caratterizzate da strati orizzontali sovrapposti (Figura 1.13), ognuno con proprietà e funzioni specifiche. Tipicamente in sommità è caratterizzato da un invito, opportunamente progettato, che favorisce l'ingresso del deflusso nell'area di Bioretention, con lo scopo di favorire una distribuzione uniforme dell'acqua sulla superficie. L'acqua convogliata, si deposita temporaneamente in superficie e tale strato presenta uno spessore medio dai 150-300 mm [22]. La vegetazione presente influenza le prestazioni del sistema attraverso l'assorbimento diretto degli inquinanti ed aiuta a mantenere costante la permeabilità del mezzo filtrante.



Figura 1.13: Sistema Bioretention [22]

L'acqua accumulata in sommità si infiltra lentamente nello strato sottostante, che presenta uno spessore dai 750-1000 mm. Il materiale che compone tale strato è tipicamente a base di sabbia ed ha la funzione di filtrare le sostanze inquinanti e controllare la velocità di infiltrazione dell'acqua nel sistema. L'efficacia di rimozione tipica degli inquinanti per le aree di Bioretention è indicato in Tabella 1.1.

Inquinante	Efficacia di rimozione
TSS	>90%
Fosforo Totale	>80%
Azoto	50% in media
Metalli (Zinco, Piombo, Cadmio)	>90%
Metalli (Rame)	fino a 60%

Tabella 1.1: Efficacia di rimozione degli inquinanti dell'area di Bioretention, da FAWBguidelines (after FAWB, 2009) [22]

Uno strato di transizione separa il mezzo filtrante dallo strato di drenaggio sottostante e in alternativa può essere sostituito con uno strato di geotessile. Lo strato di drenaggio è realizzato in materiale ghiaioso e ha lo scopo di raccogliere l'acqua, per poi convogliarla in tubi forati. Quest'ultimi sono opzionali, in quanto non necessari se il sistema è progettato per garantire una totale infiltrazione nel terreno sottostante. Se l'infiltrazione è consentita, il livello massimo della falda deve essere almeno ad 1 metro al di sotto della base del sistema di Bioretention [22].

1.3.2 Pavimentazioni Permeabili

Le pavimentazioni permeabili [22] sono strutture adatte per il traffico veicolare e pedonale ma nel contempo consentono all'acqua piovana di infiltrarsi attraverso la superficie. Sono generalmente progettate per gestire il quantitativo di pioggia che ricade direttamente sulla superficie permeabile, ma sono spesso utilizzati per gestire il deflusso proveniente da tetti o aree impermeabili adiacenti. In quest'ultimo caso bisogna garantire un rapporto 2:1 (impermeabile: permeabile) in modo da minimizzare il rischio di intasamento della pavimentazione permeabile. Sono tipicamente costruite come alternativa alle pavimentazioni impermeabili e quindi non richiedono uno spazio aggiuntivo per la loro realizzazione; ma bisogna evitare di ubicarle in zone dove vi è un elevato rischio di carichi di limo in superficie. Tendono ad essere utilizzati per autostrade con bassi volumi di traffico e velocità, aree di parcheggio ed altre superfici poco trafficate o pedonali. Per assolvere la loro funzione, le pavimentazioni permeabili devono fornire sufficiente resistenza strutturale per sopportare i carichi imposti dai veicoli e devono essere in grado di catturare in modo efficace l'acqua piovana, per poi convogliarla, in modo controllato, al sistema di drenaggio o al terreno di sottofondo.

In base al materiale di rivestimento della superficie, possono essere classificate in pavimentazioni porose, quando l'infiltrazione dell'acqua avviene su tutta la superficie della pavimentazione e in pavimentazioni permeabili, nel caso in cui la superficie viene progettata per favorire l'infiltrazione dell'acqua attraverso gli spazi compresi tra gli elementi modulari impermeabili che compongono la superficie. Le superfici delle pavimentazioni permeabili possono essere realizzate in:

- Asfalto poroso: usato per fornire una migliore stabilità strutturale ai blocchi di calcestruzzo delle pavimentazioni permeabili frequentemente trafficate da mezzi pesanti o come superficie indipendente. Oltre a favorire l'infiltrazione dell'acqua piovana e superficiale, riduce il rumore provocato dal traffico veicolare (Figura 1.14A);
- Cemento poroso: può essere utilizzato come materiale di rivestimento o per fornire una migliore stabilità alla base dei blocchi in calcestruzzo (Figura 1.14B);

- Elementi modulari: la superficie è realizzata in blocchi di calcestruzzo con spazi ben definiti interposti tra gli elementi modulari, i quali sono riempiti di materiale permeabile per consentire all'acqua di infiltrarsi negli strati sottostanti. Sono utilizzate principalmente per aree pedonali, parcheggi e strade leggermente trafficate (Figura 1.14C);
- **Superfici rinforzate:** sono costituite da sistemi grigliati in plastica o cemento riempite con vegetazione o ghiaia. Questo tipo di pavimentazione è maggiormente adatto per aree poco trafficati (Figura 1.14D).



Figura 1.14: Esempi di pavimentazioni permeabili – Figura 1.14A Parcheggio in asfalto poroso East Midlands Airport (courtesy EPG Limited) [22]; Figura 1.14B Parcheggio in calcestruzzo poroso High Wycombe (courtesy EPG Limited) [22]; Figura 1.14C Strada in pavimentazione permeabile modulare (courtesy Interpave) [22]; Figura 1.14D Parcheggio in superficie rinforzata con griglia in plastica Lago di Garda, Italia (courtesy EPG Limited) [22]

Il tasso di infiltrazione superficiale deve essere significativamente maggiore rispetto all'intensità di pioggia di progetto, in modo da evitare che l'acqua ristagni in superficie. Un valore minimo è di 250 mm/h [22].

Successivamente l'acqua viene immagazzinata temporaneamente nello strato sottostante la superficie, per poi infiltrarsi completamente nel sottosuolo (Figura

1.15). È previsto anche un sistema con parziale infiltrazione del deflusso; in questo caso il quantitativo di acqua che supera la capacità di infiltrazione del terreno sottostante viene convogliata, per mezzo di tubazioni forate, alla rete di drenaggio esistente.



Figura 1.15: Pavimentazione permeabile con infiltrazione totale [22]

Quando è necessario impedire l'infiltrazione nel sottosuolo, è possibile munire le pavimentazioni di una membrana impermeabile. In questo caso l'acqua infiltrata nel sistema, viene convogliata a valle tramite tubazioni forate. È importante definire le caratteristiche del sito in cui sarà ubicata la pavimentazione permeabile e in particolare le caratteristiche di portanza e di resistenza del terreno per mezzo della prova CBR (*California Bearing Ratio*). In alternativa l'indice CBR di progetto può essere stimato, in fase preliminare, in base all'indice di plasticità e classificazione del terreno di fondazione. Terreni con CBR minore del 2,5%, sono considerati inadatti e in questi casi deve essere previsto un miglioramento della capacità portante del sottofondo [22].

Poiché le pavimentazioni permeabili possono essere progettate in aree soggette a carico veicolare, è necessario determinare la categoria di traffico ad esse associata. In base al valore dell'indice CBR del sottofondo e alla categoria di traffico, è possibile reperire dal "*The SuDS Manual*, CIRIA" [22] spessori tipici degli strati che compongono i vari tipi di pavimentazioni permeabili.

1.3 Progettazione in ambiente urbano

Il processo insediativo ha contribuito alla comparsa di edifici ed infrastrutture con il conseguente incremento di aree impermeabili che riducono il processo di infiltrazione e l'aumento delle acque di deflusso superficiale. Nelle aree urbane si tende ad avere sempre meno aree permeabili e meno vegetazione per favorire l'evapotraspirazione, l'intercettazione, il rallentamento e la riduzione delle acque di dilavamento. L'acqua piovana, che precipita su superfici impermeabili, si tramuta in deflusso superficiale (Figura 1.16), causando problemi di sovraccarico della rete di drenaggio urbano con conseguenti allagamenti.



Figura 1.16: L'urbanizzazione e il ciclo idrologico [4]

Il tradizionale drenaggio urbano è rappresentato da opere idrauliche con lo scopo di raccogliere, convogliare e allontanare acque reflue e meteoriche il più rapidamente possibile per la salvaguardia della salute pubblica e prevenire inondazioni nelle aree urbane. Tale approccio, definito anche come *"Hard Engineering"* [2], trasporta portate volumetriche con concentrazioni elevate di sostanze inquinanti, che sono destinate ai sistemi di depurazione per subire opportuni processi di trattamento, prima di essere reimmesse nell'ambiente. In aggiunta al cambiamento climatico, che si identifica con un aumento dell'intensità e della frequenza di eventi meteorici estremi, si verificano problemi di sovraccarico della rete fognaria, non più in grado di smaltire il nuovo quantitativo di volume di deflusso.

Si fa sempre più strada l'idea di intervenire per mezzo della così detta "Soft Engineering"; un approccio multidisciplinare di gestione delle acque in ambito urbano, con lo scopo di ottenere benefici in merito alla qualità delle acque e alla biodiversità [2]. L'integrazione di tecniche di drenaggio sostenibile in nuove aree urbane, ma anche in siti urbani esistenti, permette la gestione e il trattamento delle acque meteoriche in sito, evitando di trasferirle a valle per mezzo della rete di drenaggio. Mediante azioni di *"retrofitting"* urbano è possibile arricchire aree urbane esistenti con tecniche di drenaggio sostenibile, con lo scopo di fornire soluzioni più efficaci e sostenibili per la gestione delle acque meteoriche.

Il termine "*retrofitting*" indica il processo di sostituzione di aree esistenti di un bacino idrografico sviluppato, con sistemi di drenaggio sostenibile, senza cambiare la destinazione d'uso dell'area. La scelta della tipologia di sistemi di drenaggio da inserire in un contesto urbano si basa su criteri specifici di un'area, tenendo in considerazione i servizi e i benefici ambientali richiesti da un punto di vista ecologico, estetico e culturale. Considerare il deflusso superficiale come una risorsa, incoraggia il miglioramento delle condizioni di vivibilità delle aree urbane, creando alternative di habitat per il miglioramento della biodiversità. Simultaneamente, forniscono l'occasione di introdurre spazi verdi multifunzionali per attività ricreative, creando spazi unici che promuovono un forte senso di appartenenza al luogo.

Le città esistenti presentano aree pubbliche e private molto spesso limitate e confinate e l'intervento con sistemi di drenaggio sostenibile può risultare difficoltosa ed impegnativa. Spesso la scelta per il posizionamento delle tecnologie a basso impatto ricade in zone urbane poco utilizzate, in particolare al confine tra aree pubbliche e private [22]. Tenendo in considerazione la conformazione del luogo e le esigenze della comunità, il drenaggio sostenibile può essere inserito con successo in ambiente urbano, senza stravolgere o impattare negativamente sulla sua funzione primaria.

L'approccio di *"Soft Engineering"* può essere applicato in vari tipi di contesti come: singoli edifici, spazi pubblici, strade, parcheggi esistenti, ma anche in un'intera area urbana e sub-urbana. Componenti SuDS particolarmente frequenti nelle aree urbane sono le superfici permeabili, che possono sostituire aree adibite a parcheggio e zone pedonali, favorendo l'infiltrazione del deflusso proveniente da

aree circostanti. I sistemi di bioretention si identificano in spazi verdi e fioriere sollevate, che possono essere comodamente allocate tra le strade e gli edifici, in corrispondenza di incroci ed isole di traffico esistenti. I tetti verdi ed alberi possono moderare la temperatura degli edifici, offrendo ombreggiatura in estate ed isolamento termico in inverno. Incrementare aree verdi in ambienti urbani favorisce il miglioramento della qualità dell'aria, riducendo in modo rilevante inquinanti come biossido di azoto, biossido di zolfo ed ozono.

1.3 Meccanismi di rimozione degli inquinanti

Le acque meteoriche rappresentano il principale mezzo di trasporto di sostanze inquinanti, organiche e inorganiche, che si accumulano sulle superfici drenate. Le acque di prima pioggia corrispondono alla precipitazione iniziale di un evento meteorico di 5 millimetri, che si distribuisce in maniera uniforme in un'area e convogliate nella rete di drenaggio urbano. Questo primo volume di pioggia è caratterizzato da una concentrazione di inquinanti elevata, dovuta principalmente al dilavaggio delle sostanze contaminanti che si accumulano sulla superficie durante il periodo di tempo secco che precede un evento meteorico. La gestione delle acque di prima pioggia risulta quindi fondamentale per la salvaguardia e la tutela dell'ecosistema.

Le principali fonti di inquinamento in area urbana si identificano nell'accumulo degli inquinanti nel periodo di tempo secco, nel processo di dilavamento degli stessi durante l'evento di pioggia, dall' immissioni di inquinanti da attività antropiche e dall'erosione urbana. Non di minore importanza è la composizione chimica delle precipitazioni che ha un notevole impatto diretto sull'equilibrio ecologico dei corpi idrici. Numerose sono le normative che regolano le immissioni nell'ambiente delle acque di prima pioggia, come l'art. 113 del Decreto Legislativo 03 Aprile 2006 n°152 parte III (Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento), le direttive comunitarie n°91/271/CEE (Trattamento delle acque reflue urbane) e $n^{\circ}91/676/CEE$ (Acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia). La Regione Piemonte, nell'abito della tutela delle risorse idriche, ha emanano il Regolamento Regionale n. 1/R del 20/02/2006, in attuazione della Legge Regionale n. 61/2000. Tale regolamento contempla la "Disciplina delle acque meteoriche di dilavamento e delle acque di lavaggio di aree esterne (L.R. 29/12/2000 n. 61)" in seguito modificato ed integrato dal Decreto della Presidente della Giunta Regionale n. 7/R del 02/08/2006. Identificato come la prima attuazione dell'art. 113 del D.Lgs. 152/06, disciplina lo scarico delle acque meteoriche di dilavamento provenienti da reti fognarie separate e da opere ed interventi soggetti

a procedure di valutazione di impatto ambientale. Inoltre regola le immissioni delle acque meteoriche di prima pioggia e di lavaggio da aree esterne [24].

I sistemi di drenaggio urbano sostenibile contribuiscono al miglioramento qualitativo delle acque di dilavamento superficiale, mediante l'attenuazione di solidi sospesi, nutrienti e metalli pesanti che si depositano sulla superficie drenata e che sono dilavati durante un evento meteorico. La caratteristica stratigrafica dei componenti di drenaggio sostenibile, favorisce la messa in atto di vari meccanismi di controllo degli inquinanti come assorbimento, precipitazione, filtrazione, degradazione chimica e batterica [3].



Figura 1.17: Processi di riduzione dei carichi inquinanti in *"Hard Engineering"* e *"Soft Engineering"* - Fonte: Huber, J., 2010. Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas

La sedimentazione è uno dei meccanismi di rimozione degli inquinanti particolarmente diffuso nelle pratiche di drenaggio sostenibile, che si ottiene riducendo la velocità del deflusso in modo da permettere il deposito delle particelle. Si tratta di un processo di rimozione per separazione gravitazionale in sospensione. La vegetazione, che caratterizza la maggior parte delle tecnologie a basso impatto, fornisce stabilità al suolo, ma nel contempo partecipa all'azione di trattamento degli inquinanti per mezzo del processo di assorbimento, principalmente di nutrienti come fosforo e azoto. Il deflusso che viene convogliato nei sistemi di drenaggio

sostenibile, può subire un processo di filtrazione. I sedimenti associati a tale deflusso possono essere filtrati attraverso la matrice di suolo ingegnerizzato, dalle piante e dagli strati di geotessile che compongono il sistema di drenaggio sostenibile. All'interno di un componente SuDS possono verificarsi processi fisici e chimici per la degradazione di inquinanti organici come oli e grassi.

In Tabella 1.2 sono riportati i dati provenienti dal *Stormwater BMP International database (WERF. 2014)* [22], in cui sono indicate le percentuali di rimozione di vari tipi di inquinanti, dai diversi componenti di drenaggio sostenibile.

		Concentration ranges: 25%ile – 75%ile				
		TSS (mg/l)	Total cadmium (µg/l)	Total copper (µg/l)	Total zinc (µg/l)	Total nickel (µg/l)
Inflow from urbar	surface (average values) ¹	20-114	0.2-0.6	6–22	29–112	3–8
Selected environ	mental standards (Tables 26	.1 to 26.5):				
Surface water⁵		25	0.6	6ª	50°	20 ⁶
Groundwater⁵			0.1	1.5	5	15
Outflows from SuDS components:						
	Filter strips	10-35	0.1-0.3	5–12	11–53	2-4
	Bioretention	5–20	0.04-0.1	4–10	5–29	3–8
Vegetated/	Swales	10-43	0.2-0.3	4–15	18-55	2–5
surface SuDS components ¹	Detention basins	10-47	0.1-0.4	2–12	6-58	2-4
	Retention ponds	4–28	0.1-0.4	3–7	11-39	2-6
	Wetland basins	4-21	0.1-0.4	2–6	11-33	
	Permeable pavements	14-44	0.3-0.5	4–11	2–29	1–3
	Biological filtration	2–5		N/A⁴	38-221	
Manufactured treatment components ²	Filtration	7–26		3–10	19-59	
	Hydrodynamic or vortex separators ³	10–71		6–17	34–107	
	Oil separators	16-87		6–18	60-121	
	Multi-process	2-8		3–16	9–27	

 Tabella 1.2: Percentuale di riduzione degli inquinanti dei sistemi di drenaggio sostenibile (Fonte: Stormwater BMP International database) [22]

CAPITOLO SECONDO

2 Metodi di analisi

Nel presente lavoro di tesi, la valutazione delle potenzialità dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile, in merito alla gestione qualitativa e quantitativa delle acque di dilavamento superficiale, è eseguita per mezzo del modello di simulazione dinamica afflussi-deflussi Storm Water Management Model (SWMM), sviluppato dal *Water Supply and Water Resources Division of the Environmental Protection Agency* degli Stati Uniti. L'inquadramento territoriale dell'area oggetto di studio è stato possibile per mezzo di mappe GIS reperite presso il Geoportale della Regione Piemonte, del Comune di Torino e di Arpa Piemonte e visualizzate con l'ausilio del software ArcGis 10.6.1.

2.1 Storm Water Management Model (SWMM)

Il modello di gestione delle acque piovane (SWMM) è un modello dinamico di simulazione della quantità e della qualità del deflusso proveniente principalmente da aree urbane, per singoli eventi o continui, sviluppato dall'EPA nel 1969-71 [10]. È un software *open source* in continuo aggiornamento, la cui ultima versione è disponibile sul sito ufficiale dell'EPA all'indirizzo: <u>https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm</u>. EPA SWMM versione 5 è progettato per funzionare con tutte le versioni del sistema operativo Microsoft Windows. Versioni precedenti di SWMM 5.1 sono disponibili all'indirizzo: <u>https://www.pcswmm.com/Downloads/USEPASWMM</u>, mentre è possibile confrontare i codici di calcolo delle varie versioni presso il sito internet: https://www.openswmm.org/Code/Home.

SWMM tiene conto dei vari processi idrologici che producono il deflusso superficiale, dividendo l'area in sottobacini, che ricevono precipitazioni sotto forma di pioggia o neve. Il deflusso generato per ogni sottobacino, in parte può infiltrarsi e in parte può scorrere in superficie e convogliato verso la rete di drenaggio. Oltre a modellare la generazione e il trasporto del deflusso, SWMM consente di stimare la concentrazione di contaminanti presenti nelle acque di deflusso superficiale, e tale processo può essere modellato per uno svariato numero di sostanze inquinanti [8]. In seguito allo sviluppo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile, denominati in SWMM con l'acronimo LID (*Low Impact Development Controls* – Controlli di sviluppo a basso impatto), SWMM permette di valutare l'efficacia delle LID in ambito urbano, in termini di qualità e quantità del deflusso superficiale.

Il modello EPA SWMM presenta una struttura a "moduli": modulo idrologico, modulo idraulico e modulo di qualità dell'acqua, definiti nel dettaglio nei prossimi paragrafi.

2.1.1 Modulo idrologico

La quantità del deflusso delle acque superficiali dipende in maniera diretta dalle serie temporali delle precipitazioni. In SWMM viene utilizzato il "*Rain Gage object*" per rappresentare la fonte dei dati di input di un evento meteorico [9] e possono essere simulati sia singoli eventi di pioggia che serie storiche a lungo termine. L'area oggetto di studio viene suddivisa in sottobacini. Di solito, le tipologie di superfici che costituiscono le aree urbane possono essere schematizzate secondo due categorie principali: aree permeabili, che consentono alle precipitazioni di infiltrarsi nel terreno e aree impermeabili dove non si verifica l'infiltrazione. SWMM suddivide ogni sottobacino in zone permeabili ed impermeabili (Figura 2.1); quest'ultime, a sua volta, sono suddivise in area impermeabile con e senza profondità di stoccaggio, impostando la "%Zero_Imp". Tutte le sottozone che compongono il sottobacino convogliano il loro deflusso nello stesso nodo di uscita.



Figura 2.1: Ripartizione del sottobacino per il deflusso superficiale [9]

Per stimare il deflusso superficiale prodotto dalle precipitazioni su ogni sottobacino, SWMM utilizza il modello di serbatoio non lineare (Figura 2.2), concettualizzando ogni sottobacino come una superficie rettangolare con pendenza uniforme e larghezza "*Width*".



Figura 2.2: Modello di serbatoio non lineare [9]

L'acqua che eccede la profondità di accumulo di un sottobacino (d_s) diviene deflusso superficiale. La portata volumetrica del deflusso (Q) è ricavata tramite l'equazione di Manning (2.1), dove "W" è la larghezza del sottobacino, "n" il coefficiente di scabrezza di Manning, "d" livello d'acqua, " d_s " altezza di stoccaggio di ogni singola area, "S" pendenza del sottobacino.

$$Q = \frac{1.49}{n} W S^{\frac{1}{2}} (d - ds)^{5/3} \qquad (2.1)$$

L'infiltrazione è il processo attraverso il quale la pioggia penetra nella superficie del terreno e rappresenta la maggior parte delle perdite di pioggia per le aree permeabili. In SWMM sono presenti quattro modelli di infiltrazione: il metodo di Horton, il metodo di Horton modificato, il metodo Green-Ampt e il metodo del Curve Number. Nel presente lavoro di tesi, il metodo di infiltrazione utilizzato è il metodo del Curve Number. L'equazione 2.2 permette di correlare il deflusso totale superficiale (Q) con le precipitazioni totali di un evento (P), in cui S_{max} è la massima capacità idrica del suolo, funzione del CN *(Curve Number)*, un parametro tabellato adimensionale che rappresenta la tendenza di un'area a generare deflusso superficiale.

$$Q = \frac{P^2}{P + Smax} \qquad (2.2)$$

Il tasso di infiltrazione per ogni passo temporale di analisi, si ottiene risolvendo l'equazione 2.3 in modo incrementale [9].

$$\mathbf{F} = \mathbf{P} - \frac{P^2}{P + Smax} \quad (2.3)$$

2.1.2 Modulo idraulico

Il trasporto delle portate avviene tramite la rete di drenaggio, schematizzata per mezzo di condotte (*link*), elementi di collegamento (*junction*) ed altri elementi come pompe, scaricatori e paratoie. I flussi esterni entrano nella rete di drenaggio in corrispondenza di nodi specifici e vengono trasportati per mezzo dei collettori [10]. Per il calcolo delle portate nelle condotte, SWMM adotta due differenti equazioni. Quando il collettore non è in pressione viene utilizzata l'equazione di Manning:

$$Q = \frac{1.49}{n} A R^{\frac{3}{2}} S^{1/2} \qquad (2.4)$$

in cui: "A" è l'area della sezione del collettore, "R" è il raggio idraulico, "S" è la pendenza del collettore, "g" è l'accelerazione di gravità ed "n" è pari a $1/k_s$. In caso in cui il collettore risulti in pressione, per il calcolo della portata volumetrica viene usata la relazione 2.4, con l'aggiunta di un coefficiente per tener conto dell'aumento della cadente piezometrica [16].

In SWMM è possibile utilizzare tre modelli di calcolo per svolgere le simulazioni: modello del flusso costante, dell'onda cinematica e dell'onda dinamica. Il modello utilizzato nel presente lavoro è il modello dell'onda dinamica (*Dynamic Wave*), che integra le equazioni di conservazione della massa (2.5) e della quantità di moto (2.6), note come equazioni monodimensionali di de Saint Venant:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \qquad (2.5)$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} + gAS = 0 \qquad (2.6)$$
2.1.3 LID - Controlli di sviluppo a basso impatto in SWMM

SWMM permette di modellare otto diversi tipi di controlli di sviluppo a basso impatto LID, che sono considerati come proprietà di un determinato sottobacino e rappresentati mediante strati orizzontali sovrapposti (Figura 2.3), ognuno con funzioni e proprietà specifiche definite in unità di area. Essi sono:

- Aree di Bioretention (*Bioretention*);
- Giardini piovosi (Rain Gardens);
- Tetti verdi (Green Roof);
- Trincee filtranti (Infiltration Trenches);
- Pavimentazioni permeabili (Continuous Permeable Pavement);
- Barili di pioggia o cisterne (Rain barrels o Cisterns);
- Rooftop Disconnection;
- Canali Vegetati (Vegetative Swales).

Il *design* delle LID viene definito tramite il LID Control Editor. A seconda della tipologia delle LID scelta, è possibile inserire le proprietà per ogni singolo strato che caratterizza il sistema di drenaggio.



Figura 2.3: Esempio di modellazione dell'area di Bioretention [8]

Gli strati che permettono di modellare le LID sono [8]:

• **Surface layer:** è lo strato superficiale delle LID che riceve pioggia diretta e deflusso dalle aree circostanti;

- **Pavement Layer:** è lo strato presente solo per la modellazione delle pavimentazioni permeabili continue o modulari, realizzato in calcestruzzo poroso, asfalto o elementi modulari. In quest'ultimo caso i dati di input da fornire riguardano il materiale drenante presente negli spazi tra gli elementi modulari;
- Soil Layer: è la miscela di suolo ingegnerizzato nelle aree di bioretention per sostenere la crescita della vegetazione o può indicare lo strato opzionale di sabbia posto al di sotto del *pavement layer* nelle pavimentazioni permeabili;
- **Storage Layer:** è lo strato di stoccaggio in pietrisco o ghiaia presente nei sistemi di bioretention, pavimentazioni permeabili e trincee filtranti, ma viene anche utilizzato per descrivere l'altezza delle cisterne;
- **Drain Sistem:** è il sistema di drenaggio opzionale che raccoglie l'acqua che si infiltrata nel sistema e la trasporta alla rete di drenaggio;
- Drainage Mat Layer: è un tappetino di drenaggio o una piastra compresa tra la struttura del tetto e il terreno, presente solo nei tetti verdi.

La modellazione delle LID avviene secondo due approcci. Il primo approccio consente di modellare uno o più controlli LID in un sottobacino esistente. SWMM suddivide ulteriormente il sottobacino in nuova sottozona occupata dal sistema LID (Figura 2.4). Ciascun elemento LID tratta una porzione diversa di deflusso generato dalla rimanente area non-LID e possono agire solo in parallelo. Dopo il posizionamento delle LID è necessario modificare le proprietà di *"Width"* e *"Percent Impervious"* del sottobacino per compensare la quantità di area originale del sottobacino sostituita dalle LID. I nuovi valori di *"Width"* e *"Percent Impervious"* si riferiscono alla porzione di area non-LID del sottobacino e la percentuale impermeabile è definita dal rapporto tra l'area impermeabile della sottozona non-LID e l'area del sottobacino non occupata dalle LID [8], [31].



Figura 2.4: Modifica delle caratteristiche del sottobacino dopo l'introduzione delle LID [8]

Un secondo approccio per la modellazione delle LID consiste nel creare un nuovo sottobacino dedicato interamente alla pratica LID. In questo caso i sistemi LID possono essere collegati in serie. Per mezzo del LID Usage Editor (Figura 2.5), è possibile specificare l'approccio utilizzato per la modellazione delle LID e la percentuale di area impermeabile trattata.

LID Control Name	RainBarrels		LID Occupies Full Subcatchment	
_	_		Area of Each Unit (sq ft or sq m)	5
			Number of Units	32
2	L N		% of Subcatchment Occupied	0.081
L	ID Area		Surface Width per Unit (ft or m)	0
			% Initially Saturated	0
			% of Impervious Area Treated	17
	S		Send Drain Flow To: (Leave blank to use outlet of curren	t subcatchment)
Detailed Report File (0	Optional)	X		
			Return all Outflow to Pervious A	rea

Figura 2.5: LID Usage Editor – Esempio proposto dal Manuale SWMM 5.1 [8]

Il LID Group Editor permette di visualizzare il numero delle LID inserite in ogni sottobacino e la percentuale di superficie impermeabile non-LID trattata da ogni singolo controllo LID definito in precedenza.

2.1.4 Modulo di qualità dell'acqua

Le prime fasi di un evento meteorico dilavano un maggior numero di inquinati accumulati sull'area drenata durante il periodo di tempo secco, generando acque reflue che presentano una quantità maggiore di concentrazione di inquinanti. Il deflusso proveniente da superfici urbane trasporta, nella rete di drenaggio, inquinanti come solidi organici e inorganici, nutrienti, batteri, oli, grassi e metalli pesanti in concentrazioni differenti a seconda dell'uso del suolo. Questa portata contaminata, se immessa nell'ambiente senza opportuni processi di trattamento, è una delle principali cause di deterioramento dei corpi idrici superficiali e sotterranei [12].

SWMM consente di simulare i processi di accumulo (*Build-Up*) e dilavamento (*Wash-Off*) per valutare la qualità delle acque di deflusso superficiale. Per mezzo del *Pollutant Editor* è possibile definire un diverso numero di inquinati da analizzare e la loro concentrazione in mg/L che può essere presente nelle precipitazioni e in altre fonti di inquinanti. Alcune tipologie di contaminanti possono presentarsi in forma disciolta o solida, o possono essere absorbiti da altri. Questa categoria può essere considerata in SWMM per mezzo della definizione di un co-inquinante per ogni tipologia di inquinante analizzato. Fondamentale per l'analisi di qualità dell'acqua è l'attribuzione, ad ogni sottobacino, di una categoria specifica di uso di suolo, attraverso il Land Uses. L'uso del suolo è una tipologia di attività che si svolge in una determinata area, classificabile come: zona residenziale, commerciale, industriale e non sviluppata. Ad ogni categoria di uso del suolo sono associati i processi di accumulo e dilavaggio, definiti mediante specifici coefficienti che tengono conto della variazione spaziale di tali processi.

L'accumulo di inquinanti, per ogni categoria di uso di suolo, è fornita in massa per unità di area o di lunghezza e ed ottenuto per mezzo di formule empiriche. Il quantitativo di contaminanti, accumulati sulla superficie drenata, dipende dal numero di giorni di tempo secco che precedono l'evento meteorico, e può essere valutato secondo tre funzioni: funzione di potenza (*Power*), esponenziale (*Exponential*) e di saturazione (*Saturation*) [11]. • Funzione di potenza. L'accumulo di inquinanti (B) è proporzionale al tempo (t) elevato alla potenza C₃, fino al raggiungimento di un limite massimo C₁, secondo la formula 2.7:

B = Minimo (C_1 ; $C_2 t^{C_3}$) (2.7)

dove:

"B" è l'accumulo di inquinante espresso in massa per unità di area;

" C_1 " è il massimo accumulo possibile espresso in massa per unità di area;

" C_2 " è il tasso di accumulo costante espresso in [B]*days- C_3 ;

"t" è l'intervallo di tempo secco espresso in giorni;

" C_3 " è l'esponente tempo adimensionale.

• **Funzione esponenziale.** L'accumulo esponenziale segue una curva con crescita esponenziale, che si avvicina asintoticamente al limite massimo.

$$B = C_1 (1 - e^{-C2t}) \quad (2.8)$$

dove:

" C_1 " è il massimo accumulo possibile espresso in massa per unità di area; " C_2 " è il tasso di accumulo costante espresso in days⁻¹.

• Funzione di saturazione. L'accumulo, simulato per mezzo della funzione di saturazione, comincia a velocità lineare per poi raggiungere il limite di saturazione, secondo l'equazione 2.9, in cui " C_2 " è il tasso di saturazione.

$$B = C_1 t / (C_2 + t)$$
 (2.9)

In Figura 2.6 è rappresentato il confronto tra le tre funzioni utilizzate in SWMM per un generico inquinate. Nel caso in cui l'esponenziale tempo nella formula di potenza è pari all'unità, si ottiene una funzione lineare.



Figura 2.6: Confronto delle equazioni di accumulo per un ipotetico inquinante [11]

Il processo di *Wash-Off* è il fenomeno di dilavamento dei costituenti da una superficie di un sottobacino durante un evento meteorico, che può essere simulato in SWMM per mezzo di tre funzioni empiriche: funzione esponenziale *(Exponential), Rating curve* e EMC *(Event Mean Concentration)* [11].

• Funzione esponenziale. Nella funzione esponenziale la massa di inquinante dilavata (W), espressa in unità di massa all'ora, è proporzionale al tasso di deflusso (q) e all'accumulo di inquinante (B) durante il periodo di tempo asciutto.

$$\mathbf{W} = \mathbf{C}_1 \mathbf{q}^{\mathbf{C}2} \mathbf{B} \quad (2.10)$$

dove:

"*C*₁" è il coefficiente di *wash-off* in [mm/hr] $^{-C}_{2}$ /hr o in [in/hr] $^{-C}_{2}$ /hr;

" C_2 " è l'esponente di *wash-off* adimensionale;

"B" è l'accumulo di inquinate espresso in kg o Lbs e calcolato secondo la funzione di accumulo definita in precedenza;

"q" è il tasso di deflusso per unità di area, espresso in pollici all'ora o millimetri all'ora.

• *Rating curve*. La massa di inquinante dilavata (W), definita in termini di massa al secondo, è proporzionale alla portata volumetrica (Q) elevata alla potenza (C₂).

$$W = C_1 Q^{C2}$$
 (2.11)

dove:

" C_1 " è il coefficiente di *wash-off* in [mg/s] /cfs^{-C2} o in [mg/s]⁻/cms^{-C2};

" C_2 " è l'esponente di *wash-off* adimensionale;

"Q" è la portata volumetrica.

 EMC (*Event Mean Concentration*). Per numerosi eventi meteorici locali sono noti le concentrazioni EMC di inquinanti nelle acque piovane, ottenuti per mezzo di analisi di laboratorio. La concentrazione di inquinanti dilavata (W) si ottiene secondo l'equazione 2.12.

$$W = C_2 q f_{LU} A \quad (2.12)$$

dove:

" C_2 " è la concentrazione EMC espressa in [mg/L]*[28.3L/ft³];

" $qf_{LU}A$ " è la frazione del tasso di deflusso della specifica categoria di uso di suolo.

In Figura 2.7 viene proposto il confronto tra le tre funzioni di *Wash-Off* utilizzate in SWMM per un generico inquinate



Figura 2.7: Confronto delle equazioni di washoff per un ipotetico inquinante [11]

Oltre al carico di *Wash-Off* dei costituenti, il deflusso superficiale può contenere anche carichi inquinanti che provengono dalle precipitazioni dirette (*Wet Deposition*) e dal deflusso di altri sottobacini (*Runon*). Lo schema di modellazione del processo di *Wash-Off* degli inquinanti è indicato in Figura 2.8.



Figura 2.8: Schema di modellazione del processo di Wash-Off degli inquinanti [11]

Gli inquinanti provenienti dalle precipitazioni e dalla portata volumetrica di *Runon*, sono miscelati con la concentrazione di contaminanti che caratterizza l'acqua presente in superficie (*Ponded Water*) mediante un'equazione di bilancio di massa che tiene conto dei possibili fenomeni di evaporazione e infiltrazione (Equazione 2.13).

 $d(V_{ponded}C_{pondend})/dt = Q_{runon}C_{runon} + Q_{ppt}C_{ppt} - C_{ponded}(Q_{infil} + Q_{out})$ (2.13) dove:

"Vponded" è il volume di Water Ponded presente sul sottobacino;

"*C*_{ponded}" è la concentrazione di inquinanti in *Water Ponded*;

" Q_{runon} " è la portata volumetrica proveniente da altri sottobacini;

"Crunon" è la concentrazione di inquinanti nella portata di Runon;

" Q_{ppt} " è il tasso di precipitazione in termini volumetrici;

" C_{ppt} " è la concentrazione di inquinanti presente nelle precipitazioni;

" Q_{infl} " è il tasso di infiltrazione in termini volumetrici;

" Q_{evap} " è il tasso di evaporazione in termini volumetrici;

" Q_{out} " è la portata volumetrica che lascia il sottobacino.

La quantità di sostanze inquinanti dilavati da un'area drenata, durante un evento meteorico, è definita secondo l'equazione 2.14:

$$\mathbf{W}_{out} = \mathbf{W}_{washoff} + \mathbf{W}_{ponded} \quad (2.14)$$

Al termine della simulazione, la concentrazione di inquinanti, che caratterizza il deflusso superficiale, è espressa in massa/Litro, dividendo il carico di *Wash-Off* totale (W_{out}) per la portata volumetrica (Q_{out}) [11].

Gli inquinanti presenti nelle acque di deflusso superficiale o da altre fonti esterne, sono instradati nel sistema fognario, per poi essere convogliati verso i corpi idrici recettori o impianti di depurazione. Il trasporto dei costituenti e il calcolo della loro concentrazione all'interno dei collettori, avviene schematizzando le condutture come dei "serbatoi in serie" misti, collegati in corrispondenza dei nodi. Viene utilizzata l'equazione della conservazione della massa per un serbatoio completamente miscelato (equazione 2.15):

$$\frac{dVc}{dt} = C_{in}Q_{in} - cQ_{out} - V_r(c) \quad (2.15)$$

dove

" V_c " è il volume di deflusso presente nei collettori;

"c" è la concentrazione degli inquinanti nei collettori;

" C_{in} " è la concentrazione di inquinanti nella portata volumetrica di ingresso;

" Q_{in} " è la portata volumetrica di ingresso;

" Q_{out} " è la portata volumetrica in uscita;

" $V_r(c)$ " è una funzione che determina il tasso di diminuzione di inquinanti nel collettore.

La concentrazione di inquinanti nei collettori o nei nodi viene determinata tramite l'equazione semplificata di miscelazione:

$$c(t+\Delta t) = [c(t)V(t)e^{-K1\Delta t} + C_{in}Q_{in}\Delta t]/(V(t) + Q_{in}\Delta t)$$
(2.16)

Alcune pratiche LID forniscono vantaggi significativi in merito alla riduzione degli inquinati presenti nel deflusso superficiale. SWMM permette di valutare l'effetto delle LID sulla qualità dell'acqua, a seconda del metodo scelto per la loro modellazione. Quando un sistema di drenaggio sostenibile è modellato in SWMM creando un nuovo sottobacino dedito interamente alla pratica LID (secondo approccio descritto nel Paragrafo 2.1.3), la sua efficacia di rimozione degli inquinanti è del 100%, se non si verificano fenomeni di deflusso superficiale [11]. Se le LID occupano una percentuale dell'area del sottobacino (primo approccio Paragrafo 2.1.3), la riduzione della concentrazione dei contaminanti varia in maniera proporzionale alla riduzione di deflusso superficiale che essi producono, seguendo l'equazione di *Wash-Off* descritte in precedenza. È possibile attribuire, per ogni inquinate e uso di suolo, una percentuale di rimozione degli inquinanti (*Removal Efficiency*) offerta dalle LID. In questo caso la concentrazione di inquinanti dilavati, calcolati con le formule di *Wash-Off* descritte in precedenza, viene ridotta di una percentuale fissa pari al *Removal Efficiency* imposto [11].

2.1.4.1 Stima dei parametri di Build-Up e Wash-Off

Nel presente lavoro di tesi, l'analisi della qualità dell'acqua è eseguita utilizzando la funzione di potenza (*Power Build-Up*) per simulare l'accumulo degli inquinanti, considerando 4 giorni di tempo secco (*Dry-Weather*), e la funzione esponenziale (*Exponential Washoff*) per il dilavaggio degli inquinanti. I contaminanti oggetto di analisi sono: fosforo totale (TN), solidi totali sospesi (TSS), azoto totale (TN) e zinco (Zn) e si è scelto di impostare un uso di suolo 100% residenziale per ogni sottobacino.

La valutazione della qualità delle acque di dilavamento urbano è caratterizzata da numerose incertezze, legate principalmente alla simulazione dei processi biologici, chimici e fisici, e alla definizione dei parametri richiesti per applicare le equazioni di Build-Up e Wash-Off degli inquinanti. Risulta difficile valutare con certezza il quantitativo di contaminanti accumulati su di una superficie drenata, in quanto tale processo coinvolge molti fattori come il vento, il traffico veicolare, l'erosione, le attività che si svolgono nell'area ed altre cause (James e Boregwda, 1985). Anche le equazioni empiriche di Wash-Off non rappresentano fedelmente i complessi meccanismi idrodinamici che si verificano durante il processo di dilavamento degli inquinanti (Huber 1985-1986) [11]. Un modo per ovviare a tali incertezze è di calibrare i parametri delle equazioni empiriche che simulano tali processi, mediante dati sperimentali. In alternativa, se non si dispone dei dati necessari per la calibrazione, è possibile utilizzare i parametri di Wash-Off e Build-Up presenti in letteratura, ed utilizzare i dati ottenuti per confrontare gli effetti del cambiamento sulla qualità dell'acqua prima e dopo la realizzazione di un intervento in ambito urbano [11].

In Stormwater Best Management Practices (BMP) Performance Analysis (Tetra Tech 2010) [19], sono indicati i parametri delle funzioni di Power Build-Up e Exponential Wash-Off per quattro tipologie di inquinanti: solidi sospesi totali

(TSS), fosforo totale (TP), azoto totale (TN) e zinco (Zn). In Tabella 2.1 sono riportati i valori per la categoria di uso di suolo residenziale a media densità abitativa [19]. L'approccio di calibrazione utilizzato (Tetra Tech 2010) [19] è quello di valutare la qualità dell'acqua per cinque sottobacini di un acro, che simulano le cinque categorie di uso di suolo analizzate: commerciale, industriale, residenziale con alta, media e bassa densità abitativa. La generazione del deflusso superficiale è eseguita utilizzando undici anni di dati metereologici (01/01/1992 al 31/12/2002) rilevati dalla stazione di Boston (MA0770). I parametri di accumulo e dilavaggio degli inquinanti sono regolati ulteriormente con i valori di Behera et al. 2006. Come valori di riferimento per la calibrazione delle equazioni di *Power Build-Up* ed *Exponential Wash-Off*, sono considerate le concentrazioni di inquinanti annuali in (Ibs/ac-yr) dilavati per le cinque categorie di uso di suolo, fornite da *Fundamentals of Urban Runoff Management: Technical and Institutional Issues* (Shaver et al. 2007) [11] [19].

	Buildup (B= <i>Min</i> (C ₁ , C ₂ t ^C ₃)			BuildupWashoff(B=Min(C1, C2tC3)(W=C1qC2B)			hoff 1q ^c 2B)		Calibration resu (kg/ac-yr)	ults
Pollutant	C1	C ₂	C₃	C1	C ₂	Target	Calibrated	Error (%)		
TP	1.77	0.027	0.31	0.43	1.27	0.229	0.225	1.7%		
TSS	19.48	0.62	1.12	5.11	1.21	113.40	113.50	0.1%		
TN	10.94	0.019	0.82	4.01	0.52	1.77	1.768	0.1%		
Zn	1.24	0.006	0.051	2.11	1.89	0.045	0.045	0%		

Tabella 2.1: Risultati di calibrazione per area residenziale con media densità abitativa, fonte Tetra Tech (2010) [19]

I coefficienti utilizzati nel presente lavoro di tesi, si riferiscono ai valori ottenuti in Tabella 2.1, in seguito ad opportune trasformazioni delle unità di misura nel Sistema Internazionale e presentate in Tabella 2.2. I valori ottenuti per i solidi totali sospesi (TSS) sono confrontabili con i parametri di calibrazione individuati per un'area residenziale in Italia, dove il massimo accumulo possibile di inquinanti risulta pari a 18 kg/ha, mentre il *washoff coefficient* e il *washoff exponent* sono rispettivamente pari a 0.12 e 1.2 (Barco et al. (2004)) [13].

	Buildup -	POW (B=Min(C ₁	Wash-Off – EXP (W= $C_1q^{c_2}B$)		
	C1	C ₂	C3	C ₁	C ₂
Pollutant	[Kg/ha]	[kg/ha]*day ^{-c3}	-	[mm/h] ^{-c2} /h	-
TP	1.98	0.030	0.31	0.0071	1.27
TSS	21.83	0.695	1.12	0.1	1.21
TN	12.26	0.021	0.82	0.75	0.52
Zn	1.39	0.007	0.051	0.005	1.89

Tabella 2.2: Parametri delle funzioni di Build-Up e Wash-off

2.1.5 Rimozione degli inquinanti nelle versioni di SWMM 5.1

SWMM è un codice di calcolo in continuo aggiornamento, la cui ultima versione è SWMM 5.1013 del 2018. A partire da SWMM 5.1008 e versioni successive, le funzioni di Build-Up e Wash-Off degli inquinanti sono state spostate dal modulo di codice subcatch.c in surfqual.c [25]. Nel codice surfqual_getWashoff il calcolo della concentrazione dei contaminanti dilavati dal deflusso superficiale, avviene secondo le equazioni di Wash-Off, definite in precedenza. L'area del sottobacino viene suddivisa in area-LID ed area non-LID, e per entrambe le zone viene valutato il contribuito fornito dalle precipitazioni e dal deflusso generato da altri sottobacini (Runon) per il calcolo della concentrazione degli inquinanti. Per l'area non-LID sono anche valutati i processi di infiltrazione ed evaporazione. Il Runon convogliato sull'area LID, è preso in considerazione solo se le LID occupano il 100% del sottobacino; in caso contrario il carico di Runon viene indirizzato alla porzione di area non-LID [32]. Nel codice subcatch_getWashoff la concentrazione di inquinanti è valutata considerando: il deflusso di *Runon*, le precipitazioni, l'infiltrazione e l'evaporazione. In aggiunta è considerato il quantitativo di inquinanti dilavati, definiti per mezzo della funzione di Wash-Off [32]. In seguito sono riportate le principali differenze tra SWMM 5.1007 e SWMM 5.1013.

In merito alla modellazione dei controlli LID, è stato aggiunto uno strato opzionale in sabbia al di sotto dello strato superficiale delle pavimentazioni permeabili (Figura 2.9) e le LID possono inviare il loro deflusso verso un nuovo sottobacino o verso un diverso nodo di scarico.

In SWMM 5.1013 i controlli LID possono trattare il deflusso proveniente dalle aree permeabili ed impermeabile dell'area non-LID del sottobacino, a differenza di SWMM 5.1007 dove i controlli LID possono trattare solo il deflusso proveniente dall'area impermeabile.



Figura 2.9: Modellazione pavimentazione permeabile – Figura 2.9A: Strato opzionale in sabbia per la modellazione delle pavimentazioni permeabili (Fonte SWMM 5.1013); Figura 2.9B: Modellazione delle pavimentazioni permeabili in SWMM 5.1007

In aggiunta, in SWMM 5.1013 è possibile assegnare una percentuale di rimozione degli inquinanti alle LID dotati di un sistema di drenaggio. Una volta attivata l'analisi di qualità dell'acqua, nella finestra del LID Control Editor compare la nuova funzione *Pollutant Removal* (Figura 2.10), in cui è possibile definire la percentuale di rimozione dei contaminanti associata alla pratica LID.

	(12			
Control Name:	Bioretention		Surface	Soil	Storage
			Drain	Polluta	nt Removals
.ID Type:	Bio-Retention Cell	~	Pollutant	% Ren	noval
			TSS	E.	
	soil				

Figura 2.10: Definizione della percentuale di rimozione degli inquinati nel LID Control Editor (Fonte SWMM 5.1013)

Tale percentuale è applicata solo alla porzione di deflusso rilasciata dalle LID attraverso il sistema di drenaggio. Non si applica al quantitativo di acqua che fuoriesce in superficie dall'unità LID.

Un esempio applicativo delle equazioni di *Build-Up* e *Wash-Off* degli inquinanti è svolto analizzando un singolo sottobacino di un acro, con una superficie 100% impermeabile e larghezza 100 ft. Il deflusso superficiale, generato da tale sottobacino, è convogliato direttamente al nodo di scarico *Outfall* (Figura 2.11). L'analisi è svolta nel sistema di unità di misura US, utilizzando il *Routing Model Dynamic Wave*.



Figura 2.11: Modellazione del sottobacino di un acro in SWMM

La simulazione è eseguita ipotizzando un evento meteorico con altezza di pioggia 0.5 mm costante per l'intervallo temporale di 4 ore. Al sottobacino è attributo un uso di suolo 100% residenziale e gli inquinanti analizzati sono i solidi sospesi totali (TSS). Per la valutazione della qualità dell'acqua è usata la funzione di potenza per l'accumulo degli inquinanti, considerando 4 giorni di *dry-weather*, mentre la funzione esponenziale per simulare il *Wash-Off.* In Figura 2.11 sono riportati i coefficienti utilizzati per le due funzioni, in riferimento alla Tabella 2.12 [19]. L'infiltrazione è stata valutata utilizzando il metodo del CN (Curve Number) con coefficiente pari a 98 [16].

L'analisi è svolta mediante il codice di calcolo SWMM 5.1007 e SWMM 5.1013, al fine di valutare il miglioramento della qualità e della quantità dell'acqua di deflusso superficiale in presenza di un'area di Bioretention che occupa il 50% del sottobacino sopra descritto. I valori ottenuti per entrambe le versioni di SWMM sono riportate in seguito.

Land Use Editor	×	Land Use Editor	×
General Buildup Was	shoff	General Buildup Was	hoff
Pollutant	TSS ~	Pollutant	TSS ~
Property	Value	Property	Value
Function	POW	Function	EXP
Max. Buildup	19.48	Coefficient	5.11
Rate Constant	0.62	Exponent	1.21
Power/Sat. Constant	1.12	Cleaning Effic.	0.0
Normalizer	AREA	BMP Effic.	0
Rate constant of buildu normalizer per day for p for exponential buildup.	o function (lbs (kg) per ower buildup or 1/days	Washoff function: EXP = curve, EMC = event mea	exponential, RC = rating an concentration.
ОК Са	ancel Help	ОК Са	ncel Help

Figura 2.12: Parametri delle funzioni di Build-Up e Wash-Off [19]

Come prima analisi, viene valutato il quantitativo di inquinanti accumulati e dilavatati durante la simulazione in assenza dell'area di Bioretention. Eseguendo l'analisi per mezzo di SWMM 5.1007 e SWMM 5.1013, si riscontra, per entrambe le versioni SWMM, un accumulo iniziale di TSS sul sottobacino di 2.929 lbs, e una quantità di inquinanti dilavati di 2.258 lbs in SWMM 5.1007, mentre di 2.253 lbs in SWMM 5.1013. Il *Runoff*, espresso in ft³/s, e la concentrazione di inquinanti dilavati dal deflusso superficiale in mg/L, sono indicati in Figura 2.13. Si riscontra un andamento similare del deflusso superficiale e della concentrazione di TSS per le due simulazioni eseguite. In Allegato 2 sono riportati i report delle due simulazioni.



Figura 2.13: Deflusso e carico di TSS dilavato in SWMM 5.1007 e SWMM 5.1013

Si ipotizza l'introduzione di un'area di Bioretention che occupa il 50% del sottobacino, con sistema di infiltrazione totale. Il manuale SWMM della qualità dell'acqua [11] propone un *range* di valori tipici per la modellazione delle LID. Nella presente simulazione, l'area di Bioretention è modellata considerando i valori medi delle proprietà proposte dal Manuale SWMM [11] ed indicati in Figura 2.14.

Surface	Soil	Storage	Underdrain	Surface	Soil	Storage	Underdrain	Surface	Soil	Storage	Underdrain
Berm (in. or	Height mm)	9		Thicki (in. or	ness mm)	36	i	Thick (in. or	ness mm)	2	1
Vegeta Fractio	ation Volu	ume 0.	2	Porosi (volur	ity ne fractio	0. on)	52	Void F (Voids	Ratio ; / Solids)	0	.3
Surfac (Manr	e Rough nings n)	ness 0		Field ((volur	Capacity ne fractio	0. on)	15	Seepa (in/hr	ge Rate or mm/ł	nr)	0
Surfac (perce	e Slope nt)	0		Wiltin (volur	g Point ne fractio	0. on)	08	Clogg	jing Facto	or 0	
				Condi (in/hr	uctivity or mm/h	4. nr)	7				
				Cond	uctivity S	lope 39	9.3				
				Suctio (in. or	on Head mm)	1.	9				

Figura 2.14: Caratteristiche dell'area di Bioretention in US Units [11]

Poiché il sistema LID occupa il 50% del sottobacino, sono modificate le proprietà di *"Width"* e di *"Percent Impervious"*, che si riferiscono all'area non-LID. In particolare il nuovo valore della larghezza del sottobacino è di 50 ft, mentre la percentuale impermeabile dell'area non-LID è ancora pari al 100%.

Eseguendo la simulazione in SWMM 5.1007 e SWMM 5.1013 si ottengono i seguenti risultati, indicati in Figura 2.15 e Figura 2.16. Il report di entrambe le analisi sono riportati in Allegato 3.

Dalla simulazione con SWMM 5.1007 l'accumulo iniziale di solidi totali sospesi sulla superficie drenata è di 2.929 lbs, e la massa di inquinanti dilavati durante la simulazione è di 1.378 lbs. La presenza dell'area di Bioretention riduce il deflusso superficiale di circa il 50%, e la quantità di inquinanti dilavati di circa il 61%, rispetto al caso analizzato in precedenza.

Dalla simulazione con SWMM 5.1013 la percentuale di deflusso superficiale ridotto dalla presenza dell'area di Bioretention è di circa 48%, mentre la massa di solidi sospesi dilavati dal *Runoff* è di 0.641 lbs. Nella sezione *Runoff Quality*

Continuity del report (Allegato 3), è indicato il quantitativo di massa di inquinante rimossa dai BMP, pari a 0.685 lbs, per un totale di 1.326 lbs.



Figura 2.15: Deflusso e carico di TSS dilavato in presenza del sistema Bioretention in SWMM 5.1007



Figura 2.16: Deflusso e carico di TSS dilavato in presenza del sistema Bioretention in SWMM 5.1013

Le simulazioni eseguite nel presente lavoro di tesi sono svolte per mezzo del codice di calcolo SWMM 5.1007.

2.2 Best Management Practices (BMPs) Siting Tool

BMPs Siting Tool è uno strumento di localizzazione che permette di identificare le aree potenzialmente adatte per l'ubicazione dei diversi tipi di BMP o LID [20]. Lo strumento, rilasciato nel 2014, richiede Microsoft Visual Basic (Visual Studio 6.0), ArcGis 10.1 con Service Pack 1 ed estensione Spatial Analyst, con sistema operativo Windows 7, ed è disponibile sul sito ufficiale dell'EPA all'indirizzo:

https://www.epa.gov/water-research/best-management-practices-bmps-siting-tool

Lo strumento genera una mappa GIS in cui sono individuate le aree adatte per l'ubicazione dei BMP, sulla base di criteri di idoneità predefiniti. I risultati ottenuti devono essere considerati come una prima valutazione di posizionamento e confermati mediante un sopralluogo in sito. Dopo aver installato lo strumento, in ArcMap compare la *BMP Siting Tool toolbar* (Figura 2.17).



Figura 2.17: BMP Siting Tool toolbar

Per lo svolgimento dell'analisi sono necessari una serie di dati GIS, da inserire tramite il *Data Management* () della *BMP Siting Tool toolbar*. Sono richiesti fino a nove dati di input GIS:

- Modello digitale del terreno in formato raster per il calcolo della pendenza e dell'area drenata;
- File raster dell'uso del suolo;
- File raster in cui viene indicata la percentuale di suolo impermeabile;
- Shape file con classificazione idrogeologica del suolo;
- Shape file degli edifici;
- Shape file delle strade;
- Shape file di fiumi o ruscelli;
- Shape file con indicazioni circa la profondità delle acque di falda;
- Shape file con individuazione di aree pubbliche o private.

Lo strumento considera quattordici tipologie di BMP che possono essere selezionati tramite il *Select BMP Types* dalla *BMP Siting Tool toolbar* () ed indicati in Figura 2.18.

Available BMP Types	Selected BMP Types
Cistem Constructed wetland Dry pond Grassed swales Green roof Infiltration basin Infiltration trench Porous Pavement Rain barrel Sand filter (non-surface)	Add
Sand filter (surface) Vegetated filterstrip Wet pond	

Figura 2.18: Area di selezione dei BMP [20]

Tramite il pulsante (²) della toolbar, è possibile definire i criteri di idoneità di posizionamento per ogni BMP selezionato (Figura 2.19). Lo strumento presenta dei criteri predefiniti di ubicazione che derivano da due rapporti di EPA (USEPA 2004a, 2004b), ma possono essere modificati in base alle conoscenze locali del sito [20].

Select BMP Type	BMP Footpr	int Siting Criteria	
Bioretention -	Drainage Area (ac)	<2	
	Slope (%)	<5	73
	Imperviousness (%)	<5	V
	Hydrologic Soil Groups	A-D	V 5
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Watertable Depth (ft)	>2	
AL ALL MA	Road Buffer (ft)	<100	
A DE LA DE	Stream Buffer (ft)	>100	
	Building Buffer (ft)	>30	
Carlos and	Land Ownership	private *	
20.	Land Use Suitability	1 *	

Figura 2.19: Criteri di idoneità predefiniti per le aree di Bioretention [20]

Una volta eseguito lo strumento di localizzazione, l'output dell'analisi del BMP Siting Tool è una mappa spaziale GIS (Figura 2.20) che evidenzia le aree che soddisfano i criteri di idoneità definiti per ogni elemento LID.



Figura 2.20: Esempio di mappa GIS di localizzazione dei sistemi Bioretention [20]

Nel presente lavoro di tesi non è stato possibile utilizzare lo strumento di localizzazione BMP Siting Tool, in quanto in possesso della versione ArcGis 10.6.1, diversa dalla versione richiesta per l'istallazione del Toll.

La scelta, delle possibili aree di ubicazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile per l'area oggetto di studio, è stata eseguita in seguito ad un sopralluogo e con l'aiuto di mappe GIS e viste aeree da Google Maps.

CAPITOLO TERZO

3 Caso studio: zona Borgo Dora (Torino)

Oggetto di studio della presente tesi è la zona Borgo Dora della città metropolitana di Torino. La modellazione SWMM dello stato attuale della rete di drenaggio e le considerazioni idrologiche sono state svolte dal Prof. Fulvio Boano, dall'Ing. Stefano Losero e dal Prof. Luca Ridolfi (responsabile), nel lavoro di ricerca eseguito per SMAT (Società Metropolitana Acque Torino) [16]. Nel presente capitolo viene illustrato l'inquadramento territoriale dell'area, con l'ausilio di mappe GIS, e presentate le principali caratteristiche utili per la modellazione del sistema di drenaggio. Al fronte delle criticità riscontrate nell'area oggetto di indagine per un evento con tempo di ritorno due anni, si è scelto di intervenire con di azioni di *"retrofitting"* urbano per mezzo di sistemi di drenaggio sostenibile, come aree di Bioretention e pavimentazioni permeabili, per ridurre la vulnerabilità urbana dell'area.

3.1 Inquadramento territoriale

Borgo Dora è un piccolo rione storico di Torino situato nel quartiere Aurora, all'interno della Circoscrizione 7. Si sviluppa a ridosso del centro storico ed è delimitato dal fiume Dora Riparia, da corso Regina Margherita e dal vicino rione Valdocco. L'area presenta la classica pianta a scacchiera, con strade che si intersecano formando angoli retti. La modellazione della rete di drenaggio riguarda Via Andreis, Via Andreis interno 18, Via Borgo Dora, il Canale delle Sabbionere, Lungo Dora Agrigento e Lungo Dora Savona. I collettori drenano una superficie di circa 75 ettari (Figura 3.1), per poi convogliare le portate nel Canale dei Molassi e scaricarle in Dora [16]. L'area drenata comprende anche una parte del Quadrilatero Romano, zona storica di Torino situata nella Circoscrizione 1.



Figura 3.1: Area drenata in corrispondenza dello scarico del Canale dei Molassi [16]

Informazioni di dettaglio in merito all'area indagata sono state ottenute per mezzo dei livelli informativi geografici, disponibili in download come *open data*, dal Catalogo del Geoportale del Comune di Torino [27]. La Città di Torino ha infatti predisposto in progetto QGIS che comprende mappe digitali in formato *shapefile* che forniscono informazioni utili in merito alla configurazione dell'area Torinese come: aree pedonali, aree verdi, manto stradale ed alberate. Informazioni idrogeologiche dell'area sono state reperite per mezzo del servizio WMS (*Web Map Service*), fornito da Arpa Piemonte [35]; un servizio di consultazione che consente di visualizzare informazioni territoriali sotto forma di file immagine digitale PNG, GIF o JPEG per mezzo di applicazioni GIS. Di fondamentale importanza è la mappa digitale in formato *shapefile* degli edifici della Regione Piemonte [28], che ha permesso di identificare l'estensione delle aree drenate dai sistemi di drenaggio urbano sostenibile.

In Figura 3.2 è stata prodotta una cartografia dell'area con l'ausilio del software ArcGis 10.6.1 e mappe digitali in formato shapefile reperite presso il Geoportale del Comune di Torino [27] e Geoportale Piemonte [28]. Sulla "*Basemap*" del territorio piemontese presente in ArcGis 10.6.1, sono stati sovrapposti i *layer* del manto stradale, aree pedonali, aree verdi ed alberate del progetto QGIS del Comune di Torino [27]. Ad essi è stata aggiunta la mappa in formato shapefile degli edifici [28]. Per mezzo di tale cartografia è stato possibile individuare le possibili aree da destinare ai sistemi di drenaggio urbano sostenibile e le rispettive aree drenate.



Figura 3.2: "Base cartografica realizzata da Angela Petruzziello, integrata con Alberate, Aree_verdi, Manto_stradale_2009_geo e aree_pedonali_geo della Città di Torino reperiti sul Geoportale del Comune di Torino"[27] con "Documento realizzato da Angela Petruzziello, basato su Valori economici immobiliari (OMI 2016) e Popolazione residente (Censimento 2011) della classe Edificio della BDTRE della Regione Piemonte reperiti sul Geoportale Piemonte" [28]

Il suolo è caratterizzato da depositi alluvionali medi (Figura 3.3) con permeabilità prevalente della zona non satura maggiore di 10⁻³ in prossimità del fiume Dora, fino a raggiungere una permeabilità di 10⁻⁵ in prossimità di Porta Palazzo (Figura 3.4).

L'individuazione della profondità della falda dell'area di indagine (Figura 3.6), risulta utile per una valutazione preliminare della possibilità di infiltrazione nel sottosuolo dell'acqua da parte dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile.



Figura 3.3: Complessi idrogeologici (servizio WMS webgis_arpa_piemonte [35] con "Base cartografica realizzata da Angela Petruzziello, integrata con Manto_stradale_2009_geo della Città di Torino reperiti sul Geoportale del Comune di Torino"[27]



Figura 3.4: Permeabilità prevalente della zona non satura (servizio WMS webgis_arpa_piemonte [35] con "Base cartografica realizzata da Angela Petruzziello, integrata con Manto_stradale_2009_geo della Città di Torino reperiti sul Geoportale del Comune di Torino"[27]



Figura 3.5: Soggiacenza della falda superficiale (servizio WMS webgis_arpa_piemonte [35] con ''Base cartografica realizzata da Angela Petruzziello, integrata con Manto_stradale_2009_geo della Città di Torino reperiti sul Geoportale del Comune di Torino''[27]

3.2 Modellazione idraulica in SWMM

Il primo passo per la modellazione in SWMM della rete idraulica in zona Borgo Dora, è quello di rappresentare le singole aree drenate come sottobacini, discretizzandoli in maniera più fitta in prossimità dei collettori (Figura 3.6) [16].



Figura 3.6: Modello della rete idraulica in SWMM [16]

La larghezza equivalente di ogni sottobacino è definita come il rapporto tra l'area del sottobacino per la media delle massime lunghezze di drenaggio, mentre le pendenze sono valutate sulla base delle quote del terreno riportate dalla cartografia esistente. I coefficienti di Manning si riferiscono ai classici valori utilizzati per la progettazione idraulica urbana [16] (Tabella 3.1).

Area impermeabile	n _{imp}	Area permeabile	n _{perm}
%	$[s/m^{1/3}]$	%	$[s/m^{1/3}]$
85	0.05	25	0.1
85	0.05	25	0.1

 Tabella 3.1: Parametri idraulici utilizzati per i sottobacini [16]

Il metodo utilizzato in SWMM per la valutazione del processo di infiltrazione è il metodo del CN (*Curve Number*), con coefficiente pari a 98, tipico per le aree urbane [16] e i risultati delle simulazioni sono valutati utilizzando l'analisi *Dynamic Wave*.

Per definire i collettori esistenti è necessario stimare tre caratteristiche fondamentali: quota del fondo, lunghezza e sezioni. La modellazione del sistema di drenaggio riguarda via Andreis interno 18, dove sono presenti due collettori di sezione circolare e in PVC, via Andreis con collettore di sezione ovoidale in c.a e via Borgo Dora suddivisa in due trochi di sezioni ovoidale in c.a. Il collettore Lungo Dora presenta numerose eterogeneità, ed è caratterizzato da sezioni ovoidali, scatolari e a voltino. Il tratto terminale si dirama in due collettori a sezione ovoidale che confluiscono nel Canale dei Molassi, il quale convoglia le portate volumetriche in Dora. Per l'analisi sono assunti alti coefficienti di Gauckler-Strickler, differenti per i vari materiali che caratterizzano i collettori (Tabella 3.2).

Materiale	k _s (alte scabrezze)
	$[m^{1/3}/s]$
c.a	60
PVC	70
vari	50

Tabella 3.2: Coefficienti di Gauckler-Strickler adottati per simulare la scabrezza dei collettori [16]

Per poter valutare le prestazioni della rete di drenaggio, per differenti tempi di ritorno, è necessario definire gli ietogrammi di progetto. Si è scelto di eseguire le simulazioni con gli ietogrammi costanti, in quanto rappresentano la situazione più sfavorevole per l'area in esame. Nel lavoro di ricerca svolto per SMATT [16], il tempo di corrivazione è valutato analizzando un evento che rilascia un'altezza di pioggia costante di 15 mm ad intervalli di 10 minuti. Per tempi compresi fra 10 e 20 minuti, il livello raggiunge uno stato stazionario, identificando così i tempi di corrivazione. Per questa tipologia di ietogrammi, l'evento più gravoso per la rete si riferisce all'intervallo di tempo 10 minuti. Dalle curve di possibilità pluviometrica (CPP) fornite dall'Atlante delle Piogge Intense di Arpa Piemonte [34], sono ricavati i volumi di pioggia cumulati in 10 minuti, per poi ottenere le intensità, per tempi di ritorno di 2 e 5 anni (Tabella 3.3).

Tempo di ritorno [anni]	P _{cum} [mm]	Intensità [mm/h]
2	21,9	131,4
5	31,6	189,6

Tabella 3.3: Altezze di pioggia e intensità per gli ietogrammi costanti con durata 10 minuti [34]

3.3 Stato attuale della rete di drenaggio

Per valutare l'attuale stato di operatività della rete, viene eseguita la simulazione utilizzando lo ietogramma di progetto costante con tempo di ritorno due anni. Già con eventi meteorici frequenti si evidenziano le prime problematiche della rete, riportate in Figura 3.7, dove sono evidenziati in rosso i collettori in pressione mentre le zone tratteggiate indicano la presenza di allagamenti.



Figura 3.7: Collettori in pressione e allagamenti per TR = 2 anni e ietogramma costante [16]

In particolare, i collettori di Via Andreis interno 18 (lato dispari) e di via Borgo Dora risultano in pressione, registrando anche degli allagamenti (Figura 3.8 – Figura 3.9).



Figura 3.8: Profilo longitudinale via Andreis interno 18 (lato dispari) [16]



Figura 3.9: Profilo longitudinale via Borgo Dora [16]

Anche il collettore Lungo Dora risulta in pressione, il cui profilo longitudinale è indicato in Figura 3.10.



Figura 3.10: Profilo longitudinale Lungo Dora [16]

3.4 Individuazione delle LID

Al fronte delle criticità riscontrate nell'area in seguito ad un evento con tempo di ritorno di due anni, si è scelto di intervenire per mezzo aree di Bioretention e pavimentazioni permeabili in asfalto poroso. Il posizionamento dei sistemi di drenaggio sostenibile riguardano le aree drenate di monte della rete, in modo da intercettare e ridurre il deflusso delle acque superficiali prima che raggiunga i collettori di valle. Le aree analizzate sono: il sottobacino A1 di area 20.6598 ha, il cui deflusso è convogliato in corrispondenza del Canale delle Sabbionere, il sottobacino A5 di 1.211 ha, il cui nodo di scarico è in corrispondenza del civico 31 di via Borgo Dora e il sottobacino A6 di area 5.63 ha, che convoglia il suo deflusso nel collettore Lungo Dora all'incrocio Lungo Dora Savona e via Bologna (Figura 3.11).



Figura 3.11: Suddivisione delle aree drenate dalla rete [16]

Non è stato previsto alcun intervento per il sottobacino A8, in quanto il suo deflusso è convogliato a valle del sistema di drenaggio e non partecipa all'entrata in pressione dei collettori in Via Andreis interno 18 e Via Borgo Dora. L'analisi per l'individuazione delle aree da destinare alle LID è stata eseguita in seguito ad un sopralluogo e con l'aiuto di mappe GIS e viste aeree da Google Maps, scegliendo di intervenire con:

- **Pavimentazioni permeabili in asfalto poroso,** posizionati in corrispondenza di parcheggi pubblici, aree adibite a parcheggio nelle corti interne degli edifici e strade pedonali;
- Aree di Bioretention, collocati in corrispondenza delle isole spartitraffico e aree verdi esistenti.

In Figura 3.12 sono individuati le aree di Bioretention e pavimentazioni permeabili scelte per il sottobacino A1, in seguito definite in dettaglio.



Figura 3.12: Individuazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile per il sottobacino A1 (Ortofoto di base reperita presso il Geoportale del Comune di Torino [27])

Lungo Corso Valdocco, angolo Via del Carmine, è presente una piazzola di 214 m² in materiale bituminoso, antistante l'Istituto degli Studi storici Gaetano Salvemini, individuato dall'indice 1 in Figura 3.12. Si ipotizza l'introduzione di un sistema Bioretention che tratta l'acqua piovana proveniente dall'edificio più vicino di 2143 m² (Figura 3.13A).

Lungo via Piave, angolo via Carlo Ignazio Giulio (indice 2 in Figura 3.12) è presente un parcheggio di 3535 m². Si suppone di sostituirlo con un parcheggio impermeabile che drena l'acqua piovana proveniente dagli edifici limitrofi di 2913 m² (Figura 3.13B).



Figura 3.13A: Piazzola in materiale bituminoso antistante l'Istituto degli Studi storici Gaetano Salvemini; Figura 3.13B: Parcheggio in materiale bituminoso

L'area circostante l'Ufficio Anagrafe di Torino è caratterizzato da aree verdi e da aree adibite a parcheggio (indice 3 in Figura 3.12). Si suppone di sostituire l'area verde esistente con Bioretention 8944 m², che catturano solo precipitazioni dirette, mentre l'area adibita a parcheggio con pavimentazione permeabile in asfalto poroso di 4578 m², che drena l'acqua piovana preveniente dal tetto dell'istituto di 9408 m² (Figura 3.14).



Figura 3.14: Vista aerea Ufficio Anagrafe Centrale di Torino (Fonte Geoportale del Comune di Torino [27])

Lungo il Corso Regina Margherita sono presenti due viali alberati e banchine spartitraffico adibite a parcheggio in materiale bituminoso (indice 4 in Figura 3.12). Si suppone di introdurre aree di Bioretention di 1334 m² e di 1145 m² in sostituzione

ai due viali alberati che drenano l'acqua piovana che defluisce lungo il Corso Regina Margherita, che corrisponde ad un'area, per entrambe le Bioretention, di 1333.5 m². Le banchine spartitraffico sono sostituite con pavimentazioni permeabili in asfalto poroso di area 736 m² e 325 m², che drenano rispettivamente un'area di 1907 m² e 2107 m². (Figura 3.15A).



Figura 3.15A: Banchina spartitraffico e parcheggi lungo Corso Regina Margherita; Figura 3.15B: Inizio banchina spartitraffico Corso Regina Margherita lato Rondò della Forca

Antistante l'Archivio di Stato di Torino sono presenti due aree di 158 m² adibite a giardino (indice 5 in Figura 3.12). Si suppone di introdurre due sistemi di Bioretention che catturano una parte dell'acqua piovana proveniente dall'edificio di 733.5 m² ognuna (Figura 3.16A).



Figura 3.16A: Vista 3D dell'Archivio di Stato di Torino (Fonte Google Maps); Figura 3.16B: Banchina spartitraffico in Via Bernardino Lanino

In Via Bernardino Lanino è presente una banchina spartitraffico (indice 5 in Figura 3.12) di 43 m² di cui 19 m² in materiale lapideo e 24 m² di suolo permeabile. Si

suppone di sostituire la banchina spartitraffico con un sistema Bioretention di 500 m² (Figura 3.16B), che drena un'area di 527 m².

La città metropolitana di Torino presenta la classica pianta a scacchiera, in cui le strade si intersecano formando angoli retti e isolati quadrangolari. Si riscontra che la maggior parte degli edifici si identificano nella tipologia di edifici a corte, caratterizzati da uno spazio aperto interno adibito a parcheggio o giardino. Il drenaggio urbano sostenibile può agire in riferimento a varie classi di applicazione, ad esempio per edifici, spazi pubblici, strade e parcheggi esistenti [29]. Per massimizzare l'ubicazione dei sistemi di drenaggio sostenibile per il sottobacino A1, si è scelto di collocare le LID anche nelle corti interne di alcuni edifici privati, in modo da captare l'acqua proveniente dai tetti circostanti. In questo modo le LID non solo posso essere utili su scala privata per la raccolta delle acque piovane, ma anche contribuire alla riduzione della vulnerabilità urbana in scala di bacino.

In questo caso le LID individuati sono:

- Sistemi Bioretention nella corte interna degli edifici lungo Via Santa Chiara di area 761,08 m², attualmente adibita a parcheggio, che drena le precipitazioni provenienti dai tetti circostanti di 1900 m² (indice 7 in Figura 3.17), via della Consolada di 653 m² (indice 12 in Figura 3.17) e in via San Giuseppe Benedetto Cottolegno di area 972 m², attualmente adibito a giardino condominiale (indice 8 in Figura 3.18), che drenano un'area rispettivamente di 1483 m² e 2129 m².
- Pavimentazioni permeabili in via Piave (indice 11 in Figura 3.17) di 539 m², che drena una superficie di 1492 m² e in via San Giuseppe Benedetto Cottolegno di area 1555 m² e 1863 m² (indici 9 e 10 in Figura 3.18) che drenano un'area di 2496 m² e 2804 m².



Figura 3.17: Applicazione del drenaggio urbano sostenibile ad edifici privati (Fonte Geoportale del Comune di Torino [27])



Figura 3.18: Applicazione del drenaggio urbano sostenibile ad edifici privati (Fonte Geoportale del Comune di Torino [27])

Per i sottobacini A5 e A6 è stato preso in considerazione il viale alberato presente in Corso Giulio Cesare (Figura 3.19). L'area drenata A5 comprende la banchina spartitraffico in materiale bituminoso con area circostante adibita a parcheggio di area 148 m². Si ipotizza di sostituirla con un'area di Bioretention che drena un'area impermeabile di 917.5 m² (Figura 3.19). Lungo il viale alberato sono presenti due aree verdi di 74 e 64 m², e un marciapiede in materiale bituminoso di 180 m². Le aree verdi sono sostituite con aree di Bioretention che drenano rispettivamente 321 m² e 165 m², mentre l'area impermeabile con pavimentazione in asfalto poroso che drena un'area di 333 m².
Per il sottobacino A6 sono considerate le 4 aree verdi lungo corso Giulio Cesare di area 187 m², 124 m², 135 m², e 36 m², da destinare ad aree di Bioretention, che drenano un'area impermeabile imposta di 619 m², 561 m², 739 m², 389 m² rispettivamente. Le banchine spartitraffico in materiale bituminoso di 135 m² e 93 m², con area drenata di 822.5 m²e 201 m², sono sostituite con sistemi di Bioretention. L'area pedonale di 152 m² è sostituita con pavimentazione in asfalto poroso, con area drenata di 264 m².



Figura 3.19: Corso Giulio Cesare altezza civico 7 (Fonte Google Maps)



Figura 3.20A: Banchina spartitraffico lungo Corso Giulio Cesare (Fonte Google Maps); Figura 3.20B: Corso Giulio Cesare altezza civico 12 (Fonte Google Maps)

3.4.1 Proprietà e modellazione in SWMM

La modellazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile in SWMM avviene per mezzo della definizione delle caratteristiche dei singoli strati che compongono le LID: *surface layer, soil layer, storage layer* e *drain*. Nella presente tesi per le aree di bioretention e pavimentazioni permeabili non è prevista la presenza di un sistema di drenaggio, in quanto da un'analisi preliminare della profondità del livello di falda indicata in Figura 3.5, risulta garantita la distanza di 1 metro tra la base delle unità LID e la falda. Il deflusso catturato dalle LID si infiltra direttamente nel terreno sottostante. Le proprietà adottate per la modellazione delle LID, si riferiscono ai valori tipici che presentano i sistemi di drenaggio sostenibile e forniti dalle fonti [8], [11] e [22].

Le aree di Bioretention sono modellate per mezzo di tre strati: *surface layer, soil layer, storage layer* (Figura 3.21).

Control Name:	Bioretention	Surface	Soil	Storage	Underdrain
LID Type:	Bio-Retention Cell	Serm (in. or	Height mm)	1	50
		Veget Fracti	ation Vol on	ume 0.	2
	Surface	Surfac (Man	e Rough nings n)	iness 0	-
- //	Soil	Surfac (perce	e Slope ent)	0	
0001013	Underdrain				
	~				
ОК	Cancel Help				

Figura 3.21: Rappresentazione del sistema Bioretention in SWMM e proprietà dello strato di superficie (Fonte SWMM 5.1007)

Lo strato superficiale corrisponde alla superficie delle LID, che riceve le precipitazioni durante l'evento meteorico e il deflusso proveniente da aree limitrofe. Le proprietà da definire per questo *layer* sono:

- "Berm Height": è la profondità massima che l'acqua può accumularsi sopra la superficie prima che si verifichi il trabocco. Normalmente il valore previsto è di 150-300 mm [22];
- *"Vegetation Volume Fraction"* è la frazione volumetrica occupata dalla vegetazione e per una crescita vegetativa molto densa è assunto pari a 0.2 [8].

"Surface Roughness" e *"Surface Slope"* rappresentano rispettivamente il numero di Menning e la pendenza della superficie, che per il sistema Bioretention è posto pari a 0.

Lo strato di suolo rappresenta il mezzo filtrante a base di sabbia, definito per mezzo delle seguenti caratteristiche:

- *"Thickness"* è lo spessore dello strato di terreno che per i sistemi di Bioretention è compreso tra 750-1000 mm [22];
- *"Porosity"* è il rapporto tra il volume dei pori rispetto al volume totale del suolo. La porosità è tipicamente assunta maggiore del 30% [22];
- *"Field Capacity"* è il rapporto tra il volume d'acqua interstiziale rispetto al volume totale;
- *"Wilting Point"* è il volume d'acqua interstiziale rispetto al volume totale per un terreno asciutto. Il contenuto di umidità non può essere minore di tale valore;
- *"Conductivity"* è la conducibilità idraulica del mezzo filtrante, tipicamente compresa tra 100 mm/h e 300 mm/h [22];
- *"Conductivity Slope"* è la pendenza della curva della conducibilità logaritmica rispetto al contenuto di umidità del suolo; i valori tipici sono compresi tra 30 e 60 [8];
- *"Suction Head"* è il valore medio di aspirazione capillare.

Lo strato di archiviazione si identifica in uno strato di ghiaia o pietrisco con le seguenti proprietà:

- *"Thickness"* è lo spessore dello strato di ghiaia, con valore compreso tra 150 e 450 mm [8];
- *"Void Ratio"* è il rapporto tra il volume dei vuoti rispetto al volume di solido, i valori tipici variano tra 0,5 e 0,75 [8];
- *"Seepage Rate"* è la velocità con cui l'acqua si infiltra nel terreno sottostante; il valore considerato è 13 mm/h [17];
- "Clogging factor" è il fattore di intasamento, nella presente analisi posto pari a 0.

Le caratteristiche dello strato di suolo delle aree Bioretention utilizzate per la presente analisi, si riferiscono alle proprietà riportate dal Manuale SWMM della Qualità dell'acqua [11] per un suolo tipico usato per le Bioretention, impostando il valore della permeabilità pari a 300 mm/h. Gli spessori dello strato di suolo e di stoccaggio si riferiscono a valori proposti dal *SuDS Manual* [22].

Surface Soil Stor	age Underdrain	Surface Soil Stor	age Underdrain
Thickness (in. or mm)	800	Thickness (in. or mm)	200
Porosity (volume fraction)	0.52	Void Ratio (Voids / Solids)	0.6
Field Capacity (volume fraction)	0.15	Seepage Rate (in/hr or mm/hr)	13
Wilting Point (volume fraction)	0.08	Clogging Factor	0
Conductivity (in/hr or mm/hr)	300		
Conductivity Slope	39.3		
Suction Head (in. or mm)	48.26		

Figura 3.22: Caratteristiche fisiche dell'area di Bioretention in SWMM 5.1007

Lo strato superficiale delle pavimentazioni permeabili è realizzato in asfalto poroso. Le aree individuate da destinare alle pavimentazioni permeabili sono trafficate da auto o veicoli commerciali leggeri, con occasionale transito di veicoli pesanti e possono essere classificate come aree di Categoria di traffico 4. In funzione alla categoria di traffico e del valore di CBR del sottofondo, supposto maggiore del 5%, il *SuDS Manual* [22] propone spessori tipici per gli strati che compongono le pavimentazioni in asfalto poroso. SWMM 5.1007 prevede la modellazione delle pavimentazioni permeabili per mezzo dello strato superficiale, della pavimentazione e dello strato di stoccaggio (Figura 3.23). Il numero di Manning per l'asfalto poroso è posto pari a 0.011 [8].

Control Name:	Pavimentazione_porosa	Surface Pavement	Storage Unc •
LID Type:	Permeable Pavement ~	Berm Height (in. or mm)	0
		Vegetation Volume Fraction	0.0
Su	rface	Surface Roughness (Mannings n)	0.011
St	orage	Surface Slope (percent)	0
	Giderdram		
1			
3			

Figura 3.23: Schematizzazione delle pavimentazioni permeabili in SWMM 5.1007 e caratteristiche dello strato di superficie (Fonte Lid Control Editor SWMM5.1007)

Lo strato della pavimentazione è modellato secondo le seguenti proprietà:

- *"Thickness"* è lo spessore dello strato di pavimentazione, con valore compreso tra 100 e 150 mm [8];
- "Void Ratio" è la percentuale dei vuoti rispetto al volume dei solidi presente nello strato della pavimentazione per sistemi continui o del materiale interposto tra gli elementi modulari. I valori tipici sono compresi tra 0,12 e 0,21 [8];
- *"Impervious Surface Fraction"* è il rapporto tra l'area degli elementi modulari e l'area totale della pavimentazione. Per pavimentazioni porose continue tale valore è pari a 0 [8];
- *"Permeability"* è la permeabilità del calcestruzzo o dell'asfalto poroso per i sistemi continui o la conducibilità idraulica nel materiale interposto tra gli

elementi modulari. La permeabilità dell'asfalto poroso è molto elevata, ma può diminuire nel tempo [8]. Si predilige il valore minimo tra i valori proposti da [11];

• "Clogging Factor" è il fattore di intasamento posto, per l'analisi, pari a 0.

Per la definizione dello strato di archiviazione sono richieste le stesse caratteristiche presentate per il sistema di Bioretention. Il valore del "*Void Ratio*" è stato scelto come media dei tipici valori proposti per le pavimentazioni permeabili in [11], mentre per "*Seepage Rate*" è assunto il valore usato in [17].

Surface Pavement S	torage Unc 🔸 🕨	Surface Pavement	Storage Unc • •
Thickness (in. or mm)	150	Thickness (in. or mm)	300
Void Ratio (Voids / Solids)	0.17	Void Ratio (Voids / Solids)	0.3
Impervious Surface Fraction	0	Seepage Rate (in/hr or mm/hr)	3.3
Permeability (in/hr or mm/hr)	711.2	Clogging Factor	0
Clogging Factor	0		

Figura 3.24: Caratteristiche fisiche delle pavimentazioni in asfalto poroso in SWMM 5.1007

Nel LID Usage Editor di SWMM la percentuale di acqua presente nelle LID prima dell'analisi (% *Initially Satured*) è posta pari a 29% [17] per le aree di Bioretention e 10% [17] per le pavimentazioni permeabili. Per tutte le LID analizzate è definita la larghezza equivalente come il rapporto tra l'area LID e la media delle massime lunghezze di drenaggio del sottobacino, ed indicata in *"Surface Width per Unit"* nel LID Usage Editor. La percentuale di area impermeabile non-LID drenata dalle aree di Bioretention e dalle pavimentazioni permeabili è definita in base alle aree drenate definite nel Paragrafo 3.4.

Il metodo usato per la modellazione delle LID per i sottobacini A1, A5 e A6 in SWMM, è il primo approccio descritto nel Paragrafo 2.1.3. Modellare uno o più unità LID in un sottobacino esistente, necessita della modifica delle proprietà di *"Width"* e *"Percent Impervious"*. Il nuovo valore di *"Width"* è definito come differenza tra la larghezza equivalente del sottobacino e la somma delle larghezze equivalenti delle LID che occupano il sottobacino analizzato. Per il calcolo del nuovo valore della percentuale di impermeabilità è stato tenuto conto della percentuale delle aree LID che occupano le attuali superfici permeabili ed impermeabili.

Ad esempio, si consideri un sottobacino di 100 ha, 15% permeabile (15 ha) e 85% impermeabile (85 ha). Si ipotizza di introdurre le LID che occupino il 20% dell'area permeabile (3 ha) e il 30% dell'area impermeabile (25.5 ha), per un totale di area LID 28.5 ha ed area non-LID 71.5 ha.

Il nuovo valore di *"Percent Impervious"* è definito come il rapporto tra l'area impermeabile non LID, definito come (1-0.30) *85%, e l'area nella porzione non-LID del sottobacino, definito come (100% - ((0.20*15%)+(0.30*85%))). Si ottiene un valore di 83.22% che corrisponde alla percentuale di area impermeabile della porzione non-LID del sottobacino (74.5 ha), pari 59.5 ha [31].

I calcoli eseguiti per la modellazione delle LID per i sottobacini A1, A5 e A6 sono riportati in Allegato 1.

CAPITOLO QUARTO

4 Risultati da simulazioni in SWMM

Le simulazioni per la valutazione dei vantaggi dei sistemi di drenaggio sostenibile in zona Borgo Dora, sono eseguite per mezzo del software SWMM 5.1007. Gli inquinanti analizzati sono: fosforo totale (TN), solidi sospesi totali (TSS), azoto totale (TN) e Zinco (Zn). Nel precedente lavoro di tesi svolto presso il Politecnico di Torino da Rosalba Senette, si è scelto di intervenire in zona Borgo Dora per mezzo di pavimentazioni permeabili, tetti verdi e aree di Bioretention posizionate in prossimità dei collettori di via Andreis interno 18, via Borgo Dora, Longo Dora e del canale delle Sabbionere. Le LID sono state modellate definendo nuovi sottobacini dediti alla pratica LID, passando da un modello iniziale di 84 a 126 sottobacini. Nel presente lavoro, il nuovo modello discretizzato in 126 sottobacini [17], è integrato con pavimentazioni in asfalto poroso e aree di Bioretention in corrispondenza dei sottobacini a monte della rete di drenaggio, come decritto nel Paragrafo 3.4. Una prima valutazione degli effetti quali-quantitativi sulle acque di dilavamento superficiale in presenza delle LID, è eseguita per un evento con tempo di ritorno 2 anni. I risultati ottenuti sono riportati su scala di sottobacino e di area complessiva. Il comportamento della rete di drenaggio per eventi di minore intensità sono valutati per mezzo di una simulazione continua con dati di pioggia giornalieri per l'anno 2016 registrati dalla stazione S3447 in via della Consolada 10 (TO) e reperite presso il sito ARPA Piemonte. Sulla base di ipotesi di modifiche alla rete di drenaggio proposta nel lavoro svolto per SMAT [16], sono stati valutati gli effetti congiunti con l'introduzione delle LID individuate, per un evento con tempo di ritorno 5 anni.

4.1 Effetti dei sistemi di drenaggio sostenibile – Analisi con TR= 2 anni

Nel modello sviluppato da Rosalba Senette è previsto il posizionamento di aree di Bioretention, pavimentazioni permeabili modulari e tetti verdi in corrispondenza di via Andreis interno 18, via Borgo Dora, Canale delle Sabbionere e Lungo Dora. La modellazione è eseguita definendo nuovi sottobacini in corrispondenza dei collettori, dediti interamente alla pratica LID; in questo modo il nuovo modello risulta discretizzato in 126 sottobacini [17]. Sulla base delle caratteristiche delle LID definite in [17], per una simulazione eseguita per un evento con tempo di ritorno 2 anni, la presenza delle LID non evita l'entrata in pressione del canale delle Sabbionere, del collettore Lungo Dora e di via Borgo Dora, dove in quest'ultimo si verificano anche degli allagamenti. L'effetto delle LID si denota in corrispondenza di via Andreis interno 18, dove i collettori non risultano in pressione (Figura 4.1).



Figura 4.1: Effetto delle unità LID in via Andreis interno 18, via Borgo Dora, Canale delle Sabbionere e Lungo Dora per un evento con tempo di ritorno 2 anni – Simulazione svolta da Rosalba Senette [17]

Sulla base delle considerazioni raggiunte in [17], si è scelto di integrare le precedenti unità LID individuate, con aree di Bioretention e pavimentazioni in asfalto poroso in corrispondenza dei sottobacini di monte A1, A5, A6 (Figura 3.11), le cui caratteristiche sono state discusse nei Paragrafi 3.4 e 3.41. La percentuale

totale di unità LID presenti nella nuova modellazione, corrisponde all' 8,6% dell'area totale drenata dalla rete, mentre la superficie occupata dalle LID per i singoli sottobacini è indicata in Tabella 4.1, e rappresentati in Figura 4.5.

	Area	Area LID
	ha	%
Sottobacino A1	20.6598	13.6
Sottobacino A5	1.211	3.9
Sottobacino A6	6.63	1.5

Tabella 4.1: Percentuale di area occupata dalle LID per i sottobacini A1, A5 e A6

La scelta di posizionare le LID in corrispondenza dei sottobacini di monte, permette di sfruttare la potenzialità dei sistemi di drenaggio di fungere da invaso, trattenendo il deflusso in loco e favorirne l'infiltrazione nel terreno sottostante.

La riduzione delle acque di dilavamento superficiale da parte dei sistemi di drenaggio sostenibile, si riferisce principalmente al quantitativo di deflusso che può essere convogliato nell'unità LID. A seconda dell'area drenata dalle LID, il controllo dei deflussi può essere nell'intorno, se il sistema accoglie le acque provenienti da superfici localizzate nell'intorno dell'invaso [3] o di tipo territoriale, se le unità LID sono posizionate in modo uniforme sul territorio, in modo da catturare il 100% del deflusso superficiale proveniente dalle aree impermeabili del sottobacino. Riuscire a convogliare un maggiore deflusso, evitando un'eventuale saturazione del sistema, permette di sfruttare al meglio la potenzialità delle LID.

A tal fine sono eseguite tre simulazioni differenti, in cui sono imposte differenti percentuali di area impermeabile drenata dalle LID per i sottobacini A1, A5 e A6. Un effetto rilevante si riscontra per il sottobacino A1, nell'ipotesi di riuscire a convogliare il 100% del deflusso proveniente dall'area impermeabile. I risultati ottenuti da un punto di vista qualitativo e quantitativo delle acque di deflusso, sono riportati in scala di sottobacino e territoriale.

4.1.1 Riduzione del Runoff

La prima simulazione consiste nell'ipotizzare che le unità LID presenti nei sottobacini sopra citati, catturino solo le precipitazioni dirette, impostando nel *LID Usage Editor* di SWMM lo 0% di area impermeabile drenata da ogni singolo componente LID. Rispetto al deflusso superficiale generato dal sottobacino A1 in assenza di unità LID (linea blu in Figura 4.2), la presenza di aree di Bioretention e pavimentazioni in asfalto poroso favorisce una riduzione del deflusso superficiale di circa il 14% (linea rossa in Figura 4.2), dovuto principalmente all'incremento della permeabilità dell'area. Riduzione del deflusso del 4% e dell'1% si verifica rispettivamente per i sottobacini A5 e A6 (linea rossa in Figura 4.3 e Figura 4.4), in quanto le LID sono posizionate principalmente in corrispondenza di aree verdi già presenti nelle aree di intervento.

Nell'ipotesi di riuscire a convogliare tutto il deflusso generato dalla porzione impermeabile del sottobacino verso i controlli LID, si riscontra una riduzione del deflusso pari al 94% (linea verde in Figura 4.2).



Per definire la percentuale di aree impermeabile drenata dalle singole unità LID, si è garantito per le pavimentazioni in asfalto poroso un rapporto 2:1 (impermeabile – permeabile) per evitare un possibile intasamento del sistema. La restate porzione di area impermeabile non-LID risulta drenata dalle aree di Bioretention presenti proporzionalmente alle loro dimensione. Una riduzione del deflusso del 61% e 31% si verifica rispettivamente per i sottobacini A5 e A6, dove la percentuale di area impermeabile drenata dalle LID è imposta proporzionale alle loro dimensioni (linea verde in Figura 4.3 e Figura 4.4). Per il sottobacino A6 si riscontra un incremento del runoff nell'intorno del 48° minuto della simulazione (Figura 4.4). Ciò si verifica in quanto il deflusso superficiale, convogliato nelle aree di Bioretention e pavimentazioni permeabili, eccede i controlli LID generando nuovo deflusso superficiale.



Figura 4.3: Variazione del deflusso superficiale per il sottobacino A5



Figura 4.4: Variazione del deflusso superficiale per il sottobacino A6

L'effetto delle LID sulla rete di drenaggio si riscontra principalmente per il canale delle Sabbionere e per il collettore in via Borgo Dora (Figura 4.5).



Figura 4.5: Effetto delle LID che catturano il 100% dell'area impermeabile dei sottobacini A1, A5 e A6 sulla rete di drenaggio – Simulazione con tempo di ritorno di 2 anni

La riduzione del 94% del deflusso proveniente dal sottobacino A1, evita l'entrata in pressione del canale delle Sabbionere (Figura 4.6), e contribuisce, insieme al deflusso ridotto proveniente dal sottobacino A5, all'alleggerimento del collettore di via Borgo Dora (Figura 4.7).



Figura 4.6: Profilo longitudinale del Canale delle Sabbionere – Simulazione con tempo di ritorno 2 anni e 100% dell'area impermeabile drenata dalle LID per i sottobacini A1, A5 e



Figura 4.7: Profilo longitudinale del collettore via Borgo Dora dal civico 31– Simulazione con tempo di ritorno 2 anni e 100% dell'area impermeabile drenata dalle LID per i sottobacini A1, A5 e A6

L'effettiva area impermeabile, della porzione non-LID del sottobacino, drenata dalle LID e definita nel Paragrafo 3.4, è sintetizzata in percentuale in Tabella 4.2. Essa corrisponde alle superfici di tetti e strade nell'intorno dell'unità LID, il cui deflusso superficiale viene convogliato nelle aree di Bioretention e pavimentazioni permeabili individuate.

	Area impermeabile drenata dalle LID
	%
Sottobacino A1	21.5
Sottobacino A5	17.4
Sottobacino A6	7.6

Tabella 4.2: Percentuale area impermeabile della porzione non-LID drenata dalle LID per i sottobacini A1, A5 e A6.

Una riduzione del deflusso del 31%, 19% e 8% per i tre sottobacini (linea gialla nelle Figure 4.2-4.3-4.4), risulta non sufficiente per evitare l'entrata in pressione del canale delle Sabbionere e del collettore in via Borgo Dora, come mostrato in Figura 4.8.

In Allegato 4 sono riportate le tabelle di sintesi e i grafici ottenuti per le quattro simulazioni.



Figura 4.8: Effetto delle LID che catturano l'effettiva area impermeabile individuata per i sottobacini A1, A5 e A6 sulla rete di drenaggio – Simulazione con tempo di ritorno di 2 anni

Il *Surface Runoff* per le quattro simulazioni eseguite, ottenuto dal *Runoff Quantity Continuity* di SWMM, è indicato in Tabella 4.3, in cui sono riportate le percentuali di riduzione del deflusso rispetto allo stato attuale della rete in assenza delle LID. Si riscontra una riduzione una riduzione del 34% del deflusso del sistema quando le LID drenano il 100% dell'area impermeabile. Il Runoff superficiale è rappresentato in Figura 4.10.



Figura 4.10: Variazione del deflusso superficiale per il sistema

Stato attuale della rete senza LID - Analisi con TR=2 anni					lisi	St co	ato attual on TR=2 a con 0% ar	e del nni (ea in	la rete cor Sottobacii 1permeabi	i LID - Anal ni A1, A5 e A lle drenata	isi A6)
SC	OTTOBACII	NI	SI	STEMA		SC	TTOBACI	NI	SI	STEMA	
	Total Runoff			Srface Runoff Sistem			Total Runoff			Srface Runoff Sistem	
	mm			mm			mm	%		mm	%
A1	17.79		SISTEM	18.54		A1	15.3	14	SISTEM	16.89	9
A5	20.49					A5	19.73	4			
A6	20.10					A6	19.81	1			
Stat	o ottualo d					A6 19.81 1 Stato attuale della rete con LID - Anali con TR=2 anni (Sottobacini A1, A5 e A con area impermeabile drenata 21.59					ici
T	R=2 anni (100% area	Sotto a imp	rete con Ll obacini A1 oermeabile	ID - Analisi , A5 e A6 co e drenata)	con on	со со	on TR=2 at n area in	nni (peri 17.4	Sottobacii neabile dr 4%, 7.6%	ni A1, A5 e A renata 21.59)	A6 %,
T Stat	R=2 anni (100% area	Sotto a imp	rete con Ll obacini A1 oermeabile Sl	ID - Analisi , A5 e A6 cc e drenata) STEMA	con on	co co co SC	on TR=2 a on area in	nni (peri <u>17.4</u> NI	Sottobacin neabile dr 4%, 7.6%	ni A1, A5 e A renata 21.59) (STEMA	A6 %,
	R=2 anni (100% area DTTOBACII Total Runoff	ella i Sotto a imp NI	rete con Ll obacini A1 oermeabile SI	ID - Analisi , A5 e A6 cc e drenata) STEMA Srface Runoff Sistem	con on	co co SC	on TR=2 a on area im TTOBACI Total Runoff	nni (peri <u>17.4</u> NI	Sottobacin neabile dr 4%, 7.6% S	ni A1, A5 e A enata 21.59 STEMA Srface Runoff Sistem	A6 %,
T Stat	R=2 anni (100% area DTTOBACII Total Runoff mm	ella Sotto a imp NI %	rete con Ll obacini A1 permeabile SI	ID - Analisi , A5 e A6 cc e drenata) STEMA Srface Runoff Sistem mm	con on %	SC CO SC	n TR=2 a on area im DTTOBACI Total Runoff mm	nni (peri 17.4 NI	Sottobacin neabile dr 4%, 7.6%) Sl	ni A1, A5 e A enata 21.59 STEMA Srface Runoff Sistem mm	A6 %,
	Total mm 1.03	Sotto a imp NI % 94	rete con Ll obacini A1 permeabile SI SISTEM	ID - Analisi , A5 e A6 cc e drenata) (STEMA Srface Runoff Sistem mm 12.29	con on % 34	SC CC SC A1	n TR=2 a on area im TTOBACI Total Runoff mm 12.3	NI % 31	Sottobacin neabile dr 4%, 7.6%) SISTEM	And A Service And A Service And A Service A Se	A6 %, %
Stat T Stat	R=2 anni (100% area DTTOBACII Total Runoff mm 1.03 8.04	ella Sotto a imp NI % 94 61	rete con L obacini A1 permeabile SI SISTEM	ID - Analisi , A5 e A6 cc e drenata) STEMA Srface Runoff Sistem mm 12.29	con on % 34	SC CO SC A1 A5	n TR=2 a on area in TTOBACI Runoff mm 12.3 16.69	NI % 31 19	Sottobacin neabile dr 4%, 7.6%) SISTEM	And A for the second se	% 14

Tabella 4.3: Deflusso superficiale per le quattro simulazioni su scala di sottobacino e di area totale

4.1.2 Qualità del deflusso superficiale

La valutazione della qualità delle acque di dilavamento superficiale avviene per mezzo dei fenomeni di accumulo e dilavaggio degli inquinanti. I coefficienti utilizzati nella presente analisi sono indicati in Tabella 2.2. Eseguendo la simulazione, SWMM 5.1007 fornisce la concentrazione di inquinanti presenti nel deflusso superficiale espressa in mg/L.

La concentrazione dei contaminanti nel deflusso aumenta nelle prime fasi dell'evento meteorico, dovuto al dilavamento iniziale delle sostanze inquinanti accumulati durante il periodo di tempo secco, ipotizzato per l'analisi di 4 giorni. Quando le unità LID presenti nel sottobacino A1 drenano il 100% dell'area impermeabile non-LID, alla riduzione del deflusso del 94%, corrisponde una riduzione significativa della concentrazione del fosforo totale (TP), dei solidi sospesi totali (TSS) e dello Zinco (Zn) nel deflusso superficiale, rispetto allo stato attuale in assenza delle LID (linea verde in Figura 4.11, 4.12, 4.13).



Figura 4.11: Concentrazione di fosforo totale nel deflusso superficiale del sottobacino A1



Figura 4.12: Concentrazione dei solidi totali sospesi nel deflusso superficiale del sottobacino A1



Figura 4.13: Concentrazione di zinco nel deflusso superficiale del sottobacino A1

L'andamento della massa di TP, TSS e Zn dilavata dal deflusso superficiale per il sottobacino A1 è indicata in Figura 4.14, 4.15 e 4.16, ottenuta come prodotto tra la portata volumetrica dell'acqua di *runoff* per la concentrazione di inquinanti del deflusso superficiale. Si nota una diminuzione della massa di inquinanti dilavata al diminuire del *runoff*.



Figura 4.14: Massa di TP dilavata dal deflusso superficiale del sottobacino A1



Figura 4.15: Massa di TSS dilavata dal deflusso superficiale del sottobacino A1



Figura 4.16: Massa di Zn dilavata dal deflusso superficiale del sottobacino A1

La percentuale di riduzione della massa di inquinanti dilavata dal deflusso generato dai sottobacini A1, A5 e A6, rispetto allo stato attuale della rete senza LID, è indicata in Tabella 4.4.

Percentuale di riduz	tione rispetto allo stato	attual	e senza	LID					
	Stato attuale della rete con LID - Analisi con								
	TR=2 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con 0%								
	area impermeabile drenata)								
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn				
	%	%	%	%	%				
Sottobacino A1	14	17	4	0	22				
Sottobacino A5	4	0	0	0	13				
Sottobacino A6	1	2	0	0	0				
	Stato attuale della rete con LID - Analisi con								
	TR=2 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con 100%								
	area imperm	eabile	drenata	1)					
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn				
	%	%	%	%	%				
Sottobacino A1	94	96	90	39	99				
Sottobacino A5	61	67	27	4	63				
Sottobacino A6	31	35	8	1	35				
	Stato attuale della re	ete cor	n LID - A	nalisi (con				
	TR=2 anni (Sottobac	ini A1	, A5 e A6	5 con a	area				
	impermeabile drenat	ta 21.5	5%, 17.4	<mark>%, 7.6</mark>	%)				
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn				
	%	%	%	%	%				
Sottobacino A1	31	36	12	0	44				
Sottobacino A5	19	20	3	0	25				
Sottobacino A6	8	9	1	0	6				

Tabella 4.4: Percentuale di riduzione della massa di inquinanti dilavati dal deflusso superficiale su scala di sottobacino

In riferimento alla totalità dell'area oggetto di indagine, allo stato attuale della rete in assenza di unità LID, si registra un accumulo iniziale di inquinanti indicati in Tabella 4.5.

Stato attua	ale del	la rete ser	nza LIC) - Ana	lisi cor	n TR=2 an	ni	
Curfe eo Dun eff	Inc	luinanti a	ccumu	lati	Iı	nquinanti	dilava	ti
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
18.54	3.42	243.78	4.86	0.56	0.78	228.98	4.77	0.33

Tabella 4.5: Massa di inquinati accumulati e dilavati nella zona di Borgo Dora

Una maggiore riduzione di inquinanti dilavati si verifica nella simulazione in cui viene imposto ai sottobacini A1, A5 e A6 un'area drenata del 100%, come indicato in Tabella 4.6.

Percentuale di riduzione rispetto allo stato attuale senza LID							
Stato attuale della rete con LID - Ar e A6 con 0% area i	alisi con ' mpermea	TR=2 anni (S Ibile drenata	Sottobacin)	i A1, A5			
Surface Dun off		Inquinanti	dilavati				
Surface Runon	TP	TSS	TN	Zn			
%	%	%	%	%			
9	12	6	5	12			
Stato attuale della rete con LID - Ar	alisi con '	TR=2 anni (S	Sottobacin	i A1, A5			
e A6 con 100% area	i imperme	eabile drenat	a) dilavati				
e A6 con 100% area	imperme	eabile drenat Inquinanti TSS	a) <u>dilavati</u> TN	Zn			
e A6 con 100% area Surface Runoff %	imperme TP %	eabile drenat Inquinanti TSS %	a) dilavati TN %	Zn %			
e A6 con 100% area Surface Runoff % 34	TP % 34	eabile drenat Inquinanti TSS % 31	a) dilavati TN % 16	Zn % 33			
e A6 con 100% area Surface Runoff % 34 Stato attuale della rete con LID - Ar e A6 con area impermeabil	TP % 34 malisi con '	eabile drenat Inquinanti TSS % 31 TR=2 anni (S 21.5%, 17.4	a) dilavati TN % 16 Sottobacin %, 7.6%)	Zn % 33 i A1, A5			
e A6 con 100% area Surface Runoff % 34 Stato attuale della rete con LID - Ar e A6 con area impermeabil	TP 70 34 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	eabile drenat Inquinanti TSS % 31 TR=2 anni (S 21.5%, 17.4 Inquinanti	a) dilavati TN % 16 Sottobacin %, 7.6%) dilavati	Zn % 33 i A1, A5			
e A6 con 100% area Surface Runoff % 34 Stato attuale della rete con LID - Ar e A6 con area impermeabil Surface Runoff	TP % 34 malisi con ' le drenata	eabile drenat Inquinanti TSS % 31 TR=2 anni (S 21.5%, 17.4 Inquinanti TSS	a) dilavati 7N % 16 Sottobacin %, 7.6%) dilavati TN	Zn % 33 i A1, A5 Zn			
e A6 con 100% area Surface Runoff % 34 Stato attuale della rete con LID - Ar e A6 con area impermeabil Surface Runoff %	TP % 34 alisi con ' le drenata TP %	eabile drenat Inquinanti TSS % 31 TR=2 anni (S 21.5%, 17.4 Inquinanti TSS %	a) dilavati TN % 16 Sottobacin %, 7.6%) dilavati TN %	Zn % 33 i A1, A5 Zn %			

Tabella 4.6: Percentuale di riduzione della massa di inquinati accumulati e dilavati nella zona di Borgo Dora per le tre simulazioni rispetto allo stato attuale della rete senza LID

In Allegato 4 sono riportati Grafici e Tabelle della concentrazione di inquinanti nel deflusso superficiale e del quantitativo di massa di contaminanti dilavata in kg.

4.2 Valutazione dell'efficacia delle LID per eventi di pioggia poco intensi

La valutazione delle prestazioni della rete di drenaggio in zona Borgo Dora per eventi di pioggia poco intensi, è eseguita mediante una simulazione continua in SWMM. Come dati di input sono considerate le precipitazioni giornaliere registrate dal pluviometro S3447 in Via della Consolada 10 (TO) per l'anno 2016 [23] (Figura 4.17) dalle ore 00:00 alle 00:00. Avendo a disposizione altezze di pioggia giornaliere, in SWMM si impone che l'altezza di pioggia registrata dal pluviometro sia costante nell'intervallo di tempo 24 ore. L'analisi riguarda lo stato attuale della rete con e senza LID.



Figura 4.17: Altezze di pioggia giornaliere – Anno 2016 per la stazione S3447 in via della Consolada (TO) (Fonte ARPA Piemonte) [23]

4.2.1 Distribuzione delle altezze di pioggia

Dall'analisi delle altezze di pioggia per gli anni 1948-1977 a San Diego (CA) [5], si evince che per un tempo di ritorno di progetto di 2 anni è possibile garantire un'efficacia dei sistemi di drenaggio sostenibile per il 97% degli eventi meteorici che si verificano nella zona (Allegato 5).

Sulla base delle altezze giornaliere registrate dal pluviometro S3447 per gli anni 2004-2018, è stato costruito il grafico della frequenza delle precipitazioni per l'area di indagine (Figura 4.19). Per altezze di pioggia discretizzate in un intervallo di 5 mm, è stato individuato il numero di eventi ricadenti in un determinato intervallo di tempo e tramutati in percentuale. Dal grafico ottenuto in Figura 4.19, si nota come progettare i sistemi di drenaggio sostenibile con tempo di ritorno di progetto di 2 anni siano efficienti a sopperire quasi il 100% degli eventi registrati.



Figura 4.18: Curva di possibilità pluviometrica per tempo di ritorno 2 anni (Fonte Atlante delle piogge intense ARPA Piemonte) [34]



Figura 4.19: Distribuzione delle altezze di pioggia giornaliere registrate dalla stazione pluviometrica di Torino via della Consolada (2004-2018)

4.2.2 Simulazione dell'evento temporalesco 29/08/2016

Nel lavoro svolto per SMATT [16] è stato indagato l'evento temporalesco verificatosi tra il 29 e il 30 agosto del 2016. L'evento è stato simulato mediante le altezze di pioggia registrate dal pluviometro in via della Consolada durante l'evento con intervalli di 10 minuti e forniti da ARPA Piemonte (Figura 4.20).



Figura 4.20: Altezze di pioggia con intervallo di 10 minuti, registrate dal pluviometro in Via della Consolada durante l'evento temporalesco (Fonte Arpa Piemonte)

Eseguendo la simulazione per il modello con 126 sottobacini, dopo 40 minuti della simulazione, la rete risulta in pressione, registrando allagamenti in via Andreis interno 10 e via Borgo Dora (Figura 4.21), come indicato in [16].



Figura 4.21: Stato attuale della rete con evento temporalesco del 29/08/2016 con altezze di pioggia definite con intervallo di 10 minuti

Durante l'evento temporalesco il massimo valore di pioggia per la durata di 24 ore registrata dalla stazione pluviometrica di via della Consolada è pari 69.6 mm [1]. Si esegue una seconda simulazione in cui viene assegnata un'altezza di pioggia costante su un intervallo di 24 ore di 69.6 mm. L'analisi viene eseguita sul modello a 126 sottobacini allo stato attuale in assenza di unità LID [17]. Al termine della simulazione la rete non risulta in pressione (Figura 4.22). Imporre un valore costante del volume di pioggia sull'intervallo temporale di 24 ore, consente di analizzare il comportamento della rete di drenaggio per eventi poco intensi, in questo caso di un'intensità costante di pioggia per 24 ore di 2.90 mm/h.



Figura 4.22: Stato attuale della rete con altezza massima di pioggia costante nell'intervallo di 24 ore

I risultati ottenuti per entrambe le simulazioni sono indicati in Tabella 4.7, dove si riscontrano valori pressoché confrontabili del deflusso superficiale e della massa di inquinanti dilavata dall'area totale presa in esame.

Stato attuale della rete - Evento temporalesco 29/08/2016 (intervallo 10 minuti)				Stato attu temporaleso	uale de xo 29/9 24	ella rete 08/2016 ore)	- Even (inter	to vallo	
Surface Runoff	In TP	iquinanti TSS	dilava TN	ati Zn	Surface Runoff	In TP	quinanti TSS	dilava TN	ati Zn
mm	kg	kg	kg	kg	mm	kg	kg	kg	kg
64.52	2.47	244.32	4.87	0.56	63.09	1.53	243.48	4.86	0.30

Figura 4.7: Deflusso superficiale e massa di inquinanti dilavata per la simulazione dello stato attuale della rete per l'evento meteorico definito con intervallo di tempo 10 minuti e 24 ore (risultati su scala di area totale del sistema)

Grafici e Tabelle riassuntive sono riportati in Allegato 6.

4.2.3 Simulazione continua per l'anno 2016

Eseguire una simulazione continua per un anno di dati di altezze di pioggia giornaliere, consente di valutare l'efficacia dei sistemi di drenaggio sostenibile durante eventi meteorici poco intensi. I dati di pioggia considerati si riferiscono ai valori di altezza di pioggia giornalieri registrati dalla stazione pluviometrica in via della Consolada 10 per l'anno 2016, prossima all'area oggetto di indagine, e reperiti presso il sito ARPA Piemonte. Come dimostrato nel Paragrafo 4.2.2, imporre un'altezza di pioggia costante nell'intervallo temporale di 24 ore permette di eseguire l'analisi con intensità costante sullo stesso intervallo. Il confronto per valutare l'efficacia delle LID riguarda lo stato attuale della rete in assenza delle LID, modellato con 126 sottobacini [17], e lo stesso modello con LID e percentuale di area impermeabile drenata variabile.

Il deflusso superficiale del sistema, per lo stato attuale senza LID, risulta pari a 971.57 mm, e l'andamento per l'intero anno di analisi, è presentato in Figura 4.23.



La percentuale di riduzione del deflusso superficiale e della massa di inquinanti dilavata in presenza delle LID per i tre casi analizzati, sono confrontabili con le percentuali di riduzione ottenute per un evento con tempo di ritorno 2 anni.

I valori ottenuti su scala territoriale sono indicati in Tabella 4.8. In Allegato 7 sono riportati Grafici e Tabelle delle simulazioni eseguite.

Stato a	attual	e della ret	e sen	za LID- Simula	zione	continua a	nno 2	016			
Surface				Inquin	anti d	lilavati					
Runoff		TP		TSS		TN		Zn			
mm		kg		kg		kg		kg			
971.57		31.12		18312.80		280.06		2.62			
Stato attuale o	Stato attuale della rete con LID - Simulazione continua anno 2016 (Sottobacini A1,										
	ŀ	45 e A6 co	on 0%	area imperme	abile	drenata)					
Surface				Inquin	anti d	lilavati					
Runoff		TP		TSS		TN		Zn			
mm	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%		
879.22	10	28.21	9	17163.20	6	263.31	6	2.30	12		
Stato attuale o	della r	ete con L	ID - Si	mulazione con	tinua	anno 2016	(Sott	obacini	A1,		
	A	5 e A6 con	1 00 9	% area imperm	eabile	e drenata)					
Surface	A5 e A6 con 100% area impermeabile drenata) Surface										
D 00				Inquin	anti c	lilavati					
Runoff		TP		Inquin TSS	anti c	lilavati TN		Zn			
Runoff mm	%	TP kg	%	Inquin TSS kg	anti c %	lilavati TN kg	%	Zn kg	%		
Runoff mm 636.57	% 34	TP kg 21.41	% 31	Inquin TSS kg 13521.11	anti c % 26	lilavati TN kg 270.07	% 4	Zn kg 1.72	% 34		
Runoff mm 636.57 Stato attuale o	% 34 lella r	TP kg 21.41 ete con L	% 31 I D - S i	Inquin TSS kg 13521.11 mulazione con	anti c % 26 tinua	lilavati TN kg 270.07 anno 2016	% 4 (Sott	Zn kg 1.72 obacini	% 34 A1,		
Runoff mm 636.57 Stato attuale o A5 o	% 34 della r e A6 c	TP kg 21.41 ete con L on area i	% 31 ID - Si mperi	Inquin TSS kg 13521.11 mulazione con meabile drenat	anti c % 26 tinua a 21.5	lilavati TN kg 270.07 anno 2016 5%, 17.4%,	% 4 (Sott 7.6%	Zn kg 1.72 obacini)	% 34 A1,		
Runoff mm 636.57 Stato attuale o A5 o Surface	% 34 della r e A6 c	TP kg 21.41 rete con L on area in	% 31 ID - Si mperr	Inquin TSS kg 13521.11 mulazione con meabile drenat Inquin	% 26 tinua a 21.5	lilavati TN kg 270.07 anno 2016 5%, 17.4%, lilavati	% 4 (Sott 7.6%	Zn kg 1.72 obacini)	% 34 A1 ,		
Runoff mm 636.57 Stato attuale o A5 o Surface Runoff	% 34 della r e A6 c	TP kg 21.41 rete con L on area in TP	% 31 ID - Si mperi	Inquin TSS kg 13521.11 mulazione con meabile drenat Inquin TSS	% 26 tinua a 21.5 anti c	lilavati TN kg 270.07 anno 2016 5%, 17.4%, lilavati TN	% 4 (Sott 7.6%	Zn kg 1.72 obacini) Zn	% 34 A1,		
Runoff mm 636.57 Stato attuale o A5 o Surface Runoff mm	% 34 della r e A6 c	TP kg 21.41 rete con L on area in TP kg	% 31 ID - Si mperr	Inquin TSS kg 13521.11 mulazione con meabile drenat Inquin TSS kg	anti c % 26 tinua a 21.5 anti c	lilavati TN kg 270.07 anno 2016 5%, 17.4%, lilavati TN kg	% 4 (Sott 7.6%	Zn kg 1.72 obacini) Zn kg	% 34 A1,		

Tabella 4.8: Percentuale di riduzione del deflusso superficiale e della massa di inquinanti dilavata su scala di area totale, rispetto allo stato attuale senza LID

4.3 Effetto combinato delle LID con interventi sulla rete di drenaggio esistente - Analisi con TR= 5 anni

Al fronte delle criticità riscontrate dello stato attuale della rete, lo studio svolto per SMATT [16] propone una serie di interventi strutturali, in particolare l'apertura di due nuovi scarichi in Dora. Nel presente paragrafo è valutato il comportamento congiunto dei sistemi di drenaggio sostenibile con gli interventi sulla rete proposti, per un evento con tempo di ritorno 5 anni. Il modello dell'area oggetto di indagine con apertura di due nuovi scarichi [17] è stato discretizzato nuovamente in 126 sottobacini da Rosalba Senette e, nel presente lavoro, nuovamente integrato con le LID scelte per i sottobacini A1, A5 e A6.

4.3.1 Apertura di due nuovi scarichi

Un primo intervento strutturale sulla rete di drenaggio esistente proposto [16] è di intervenire mediante la riapertura di due nuovi scarichi in Dora, con valvola di non ritorno per evitare la risalita dell'acqua quando aumenta il livello della Dora. Il nuovo scarico aperto è collocato in corrispondenza del Ponte Carpanini, mentre il secondo si tratta di riaprire lo scarico esistente del Canale delle Sabbionere. Inoltre il collettore che congiunge via Borgo Dora e il canale delle Sabbionere viene chiuso, per evitare l'arrivo nel collettore di via Borgo Dora la portata volumetrica proveniente dal Canale delle Sabbionere (Figura 4.24).



Figura 4.24: Analisi con TR=5 anni del modello discretizzato con 126 sottobacini, con apertura di due nuovi scarichi in Dora [17]

Analizzando il modello con 126 sottobacini [17] per un evento con tempo di ritorno 5 anni, la rete risulta in pressione registrando anche degli allagamenti lungo via Andreis interno 18 (lato dispari) (Figura 4.25).



Figura 4.25: Profilo longitudinale del collettore di via Andreis int. 18 (lato dispari)

Considerando le unità LID individuate nel Paragrafo 3.4 con le LID definite in [17], nel caso in cui sia possibile convogliare il 100% del deflusso superficiale dei sottobacini A1, A5 e A6 verso i controlli LID presenti nelle stesse aree, si riscontra una riduzione del runoff del sottobacino A1 del 94% (Figura 4.26), il quale impedisce l'entrata in pressione del canale delle Sabbionere (Figura 4.27).



In seguito alla riduzione del Runoff proveniente dal sottobacino A5, una porzione del collettore in via Borgo Dora non risulta in pressione, mentre non si impediscono allagamenti lungo via Andreis interno 18 (lato dispari).



Figura 4.27: Analisi con TR=5 anni del modello discretizzato con 126 sottobacini, con apertura di due nuovi scarichi in Dora e 100% area impermeabile drenata dei sottobacini A1, A5 e A6 dalle LID

Nel caso in cui le LID presenti nei sottobacini A1, A5 e A6 drenino un'area impermeabile descritta nel Paragrafo 3.4, si verifica una riduzione del Runoff del

sottobacino A1 del 30%, il quale non impedisce l'entrata in pressione del tratto iniziale del canale delle Sabbionere (Figura 4.28).



Figura 4.28: Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con TR=5 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con area impermeabile drenata 21.5%, 17.4%, 7.6%)

In Tabella 4.9 sono riportate le percentuali di riduzione del deflusso e della massa di inquinanti dilavata su scala di sottobacino.

La variazione del deflusso superficiale dell'area (Figura 4.29) e della massa di inquinanti dilavata per l'evento con tempo di ritorno 5 anni, è indicata in Tabella 4.10.



Figura 4.29: Variazione del deflusso superficiale del sistema – Analisi con tempo di ritorno 5 anni

Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con TR=5anni											
			Inquinanti dilavati								
	Total Runoff		ТР		TSS		TN		Zn		
	mm		kg		kg		kg		kg		
A1	27.13		0.30		66.98		1.35		0.12		
A5	30.19		0.02		3.97		0.08		0.009		
A6	29.76		0.10		18.45		0.37		0.04		
Apertra di due nuovi scarichi con LID - Analisi con TR=5 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con 0% area impermeabile drenata)											
	Inquinanti dilavati								1		
	Total Runoff		ТР		TSS		TN		Zn		
	mm	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	
A1	23.3	14	0.25	16	66.14	1	1.35	0	0.10	16	
A5	29.05	4	0.02	4	3.97	0	0.079	0	0.009	0	
A6	29.32	1	0.10	2	18.44	0	0.37	0	0.04	0	
Aper	tura di due nu	ovi sc A6 c	arichi con con 100%	LID - area	Analisi co impermea	on TR abile d	=5 anni (Irenata)	Sottol	oacini A1,	A5 e	
				-	Inq	uinan	ti dilavati	-			
	Total Runoff		ТР		TSS		TN		Zn		
	mm	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	
A1	1.64	94	0.01	96	11.67	83	0.92	32	0.003	98	
A5	17.71	41	0.01	42	3.86	3	0.078	1	0.008	11	
A6	23.55	21	0.08	20	18.31	1	0.37	0	0.038	7	
Aper	tura di due nu A6 co	ovi sc n are	arichi con a imperm	LID - eabile	Analisi co e drenata	on TR 21.5%	=5 anni () 6, 17.4%, '	Sottol 7.6%	oacini A1,)	A5 e	
	Total Runoff		ТР		TSS		TN		Zn		
	mm	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	
A1	18.88	30	0.20	33	64.10	4	1.35	0	0.079	34	
A5	24.62	18	0.02	21	3.96	0	0.08	0	0.009	0	
A6	27.39	8	0.095	8	18.42	0	0.37	0	0.040	2	

 Tabella 4.9: Percentuale di riduzione del deflusso superficiale e della massa di inquinanti su scala di sottobacino, rispetto al modello con apertura di due nuovi scarichi senza LID

Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con TR=5anni												
	Surface		Inquinanti dilavati									
	Runoff		TP		TSS		TN		Zn			
	mm		kg		kg		kg		kg			
SISTEMA	27.87		1.24		239.59		4.79		0.48			
Apertra di due nuovi scarichi con LID - Analisi con TR=5 anni (Sottobacini A1, A5 e												
A6 con 0% area impermeabile drenata)												
	Surface				Inqui	inant	<u>i dilava</u>	ti	(
	Runoff		TP		TSS		TN		Zn			
	mm	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%		
SISTEMA	25.33	9	1.10	11	226.33	6	4.55	5	0.43	10		
Apertura di due nuovi scarichi con LID - Analisi con TR=5 anni (Sottobacini A1, A5 e												
	A6 co	<u>n 10</u>	0% area	a imp	ermeabile	dren	ata)					
	Surface				Inqu	inant	<u>i dilava</u>	ti				
	Runoff		TP		TSS		TN		Zn			
	mm	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%		
SISTEMA	18.71	33	0.83	33	171.63	28	4.12	14	0.330	31		
Apertura di due nuovi scarichi con LID - Analisi con TR=5 anni (Sottobacini A1. A5 e												
A6 con area impermeabile drenata 21.5%, 17.4%, 7.6%)												
	Surface		Inquinanti dilavati									
	Runoff		TP		TSS		TN		Zn			
	mm	0/2	kσ	0/6	kσ	0/0	kσ	%	kø	%		
	111111	70	ĸб	70	КĘ	70	16	70	~~S	70		

Tabella 4.10: Percentuale di riduzione del deflusso superficiale e della massa di inquinanti in riferimento all'area totale del sistema, rispetto al modello con apertura di due nuovi scarichi senza LID

Per le simulazioni eseguite con tempo di ritorno 5 anni si riscontra una percentuale di riduzione del deflusso superficiale e della massa di inquinanti dilavata confrontabile con i risultati ottenuti per un'analisi della rete allo stato attuale con tempo di ritorno 2 anni.

CONCLUSIONI

L'impermeabilizzazione dei suoli e i cambiamenti climatici hanno contribuito a rendere le aree urbane maggiormente vulnerabili nei confronti di eventi meteorici estremi, che si verificano negli ultimi anni con maggiore frequenza ed intensità. Da qui la necessità di intervenire per mezzo di un approccio integrato al territorio di gestione delle acque meteoriche con visione di bacino, nota anche come "*Soft Engineering*". In contrapposizione alla così detta "*Hard Engineering*", che affronta il drenaggio urbano da un punto di vista idraulico, il drenaggio urbano sostenibile si configura come un approccio multifunzionale che, oltre a contribuire alla riduzione delle acque e al miglioramento della biodiversità e del microclima, incrementando il verde urbano. Lo scopo principe è la riduzione della vulnerabilità complessiva delle aree urbane e di rendere le città più resilienti ai cambiamenti climatici.

Il vantaggio del *SuDS design* è di poter essere integrato in aree urbane esistenti senza stravolgere la destinazione d'uso del luogo, e di poter essere applicati in vari contesti come in singoli edifici, strade, parcheggi, fino a coinvolgere un'intera area urbana o sub-urbana.

L'area oggetto di indagine nel presente lavoro di tesi è la zona Borgo Dora della città metropolitana di Torino, che per analisi con eventi con tempo di ritorno 2 anni presenta delle criticità della rete di drenaggio urbano, con collettori in pressioni e allagamenti delle aree urbane. Da un'analisi delle altezze di pioggia giornaliere registrate dalla stazione pluviometrica nei pressi dell'area indagata, progettare sistemi di drenaggio urbano sostenibile con un tempo di ritorno di progetto di 2 anni, permetterebbe la gestione del circa il 100% degli eventi registrati per gli anni dal 2004 al 2018.

Agendo attraverso una visione di bacino per mezzo dei sistemi di drenaggio sostenibile, principalmente aree di Bioretention e pavimentazioni permeabili, si sono riscontrati dei miglioramenti dell'area in termini di qualità e quantità delle acque di dilavamento superficiale. Collocare le unità LID a monte della rete di drenaggio, permette di sfruttare la loro funzione di fungere da invaso temporaneo per lo stoccaggio dei volumi d'acqua durante un evento di pioggia e favorirne l'infiltrazione nel terreno sottostante, evitando il sovraccarico della rete a valle. La riduzione delle acque di dilavamento superficiale è funzione principalmente al quantitativo di deflusso che può essere convogliato nell'unità LID. Nell'area di studio si è ottenuta una riduzione del 94% del runoff, nell'ipotesi di riuscire a convogliare il 100% del deflusso proveniente da aree impermeabili verso le unità LID presenti, che ricoprono il 13,6% dell'area drenata, riscontrando degli effetti positivi sulla rete di drenaggio.

Ad una riduzione del deflusso del 94% corrisponde un'elevata riduzione di solidi sospesi totali, zinco e fosforo totale dilavati dal deflusso, mentre la percentuale di azoto totale ridotto è intono al 39%. Ciò contribuisce alla riduzione di carichi inquinanti che sono convogliati nella rete di drenaggio, per poi raggiungere i corpi idrici recettori. Tale effetto si ripercuote anche per reti fognarie miste, riducendo le portate e i carichi inquinanti che raggiungono gli impianti di depurazione.

La valutazione della qualità delle acque di dilavamento superficiale è caratterizzata da numerose incertezze, legate principalmente alla definizione dei parametri richiesti per l'applicazione delle equazioni di *Build-Up* e *Wash-Off*. Nel presente lavoro sono stati considerati valori presenti in letteratura per una valutazione preliminare degli effetti dei sistemi di drenaggio sostenibile sulla qualità delle acque di dilavamento superficiale prima e dopo la loro realizzazione nell'area oggetto di studio.

Con la presente tesi si è voluto mostrare la variabilità e la potenzialità di tale approccio innovativo, basato su soluzioni naturali ingegnerizzate che si concretizza nell'applicazione del criterio dell'invarianza idraulico-idrologica: una gestione delle acque meteoriche basato sempre più sull'impiego delle capacità ritentive e depurative del binomio suolo-vegetazione, favorendo processi di infiltrazione, ritenzione e fitodepurazione, per il controllo dei deflussi e del loro utilizzo.

ALLEGATI

Allegato 1 – Caratteristiche dei sottobacini A1, A5 e A6

Sottobacino Al	!						
			Sottobaci	ino A1		-	
Area [ha]	20.5918			Area_NEW [ha]	20.6598		
Area [m ²]	205918			Area_NEW [m ²]	206598		
Width [m]	195.79			Width_NEW [m]	169.19		
L_max [m]	1051.7			L_max_NEW [m]	325.5		
% Imp.	85	175030.3	[m ²]	% ImpNEW	92.7	164998.30	[m ²]
% Perm.	15	30887.7	[m ²]				
			LID				
Tipologia	Area [m ²]	Stato attuale area	% Area accupata dalle LID per area perm. e imp.	Width LID [m]	Area imp. drenata [m²]	Area drenata NON_LID [%] (ipotesi 100% area drenata)	Area IMP. drenata_NON _LID [%]
Bioretention	158	PERMEABILE	0.5	0.15	733.5	0.9	0.44
Bioretention	158	PERMEABILE	1	0.15	733.5	0.9	0.44
Pav_permeabili	1867	IMPERMEABILE	1.1	1.78	2804	2.26	1.70
Pav_permeabili	1555	IMPERMEABILE	0.9	1.48	2496	1.88	1.51
Pav_permeabili	539	IMPERMEABILE	0.3	0.51	1492	0.65	0.90
Bioretention	761	IMPERMEABILE	0.4	0.72	1900	4.31	1.15
Bioretention	653	PERMEABILE	2.1	0.62	1483	3.70	0.90
Bioretention	972	PERMEABILE	3.1	0.92	2129	5.51	1.29
Pav_permeabili	4578	PERMEABILE	14.8	4.35	9408	5.55	5.70
Bioretention	8944	PERMEABILE	29.0	8.50	0	50.68	0.00
Pav_permeabili	325	IMPERMEABILE	0.2	0.31	2107	0.39	1.28
Pav_permeabili	736	IMPERMEABILE	0.4	0.70	1907	0.89	1.16
Bioretention	1145	PERMEABILE	3.7	1.09	1333.5	6.49	0.81
Bioretention	1334	PERMEABILE	4.3	1.27	1333.5	7.56	0.81
Bioretention	500	IMPERMEABILE	0.3	0.48	527	2.83	0.32
Pav_permeabili	3535	IMPERMEABILE	2.0	3.36	2913	4.28	1.77
Bioretention	214	IMPERMEABILE	0.1	0.20	2143	1.21	1.30
						100	21.5
Area_LID [m ²]	27974		LID_% AREA IMP.	5.73			
Area_NON_LID [m ²]	177944		LID_% AREA PERM.	58.1			
% Area_LID [%]	13.59						
Width_total_LID [m]	26.60						
IMP. AREA_NON_LID [%]	80.1						
AREA_NON_LID [%]	86.4						

Sottobacino A5	5						
			Sottobac	ino A5			
Area [ha]	1.211			Area_NEW [ha]	1.211		
Area [m²]	12110			Area_NEW [m ²]	12110		
Width [m]	37.2			Width_NEW [m]	35.77		
L_max [m]	325.5			L_max_NEW [m]	325.5		
% Imp.	85	10293.5	[m ²]	% ImpNEW	85.6	9965.5	[m ²]
% Perm.	15	1816.5	[m ²]				
		•	LID				
Tipologia	Area [m²]	Stato attuale area	% Area accupata dalle LID per area perm. e imp.	Width LID [m]	Area imp. drenata [m ²]	Area drenata NON_LID [%] (ipotesi 100% area drenata)	Area IMP. drenata_NON _LID [%]
Bioretention	148	IMPERMEABILE	1.44	0.45	917.5	31.8	9.2
Bioretention	74	PERMEABILE	4.07	0.23	321	15.9	3.2
Bioretention	64	PERMEABILE	3.52	0.20	165	13.7	1.7
Pav_permeabili	180	IMPERMEABILE	1.75	0.55	333	38.6	3.3
						100	17.4
Area_LID [m ²]	466		LID_% AREA IMP.	3.19			
Area_NON_LID [m ²]	11644		LID_% AREA PERM.	7.60			
% Area_LID [%]	3.85						
Width_total_LID [m]	1.43						
IMP. AREA_NON_LID [%]	82.29						
AREA_NON_LID	96.15						
Soudducind A	<u> </u>						
-----------------------------------	--------------	-----------------------	--	-------------------------------	---	--	--------------------------------------
			Sottobaci	ino A6			
Area [ha]	5.63			Area_NEW [ha]	5.63		
Area [m ²]	56300			Area_NEW [m ²]	56300		
Width [m]	139.13			Width_NEW [m]	137.00		
L_max [m]	404.7			L_max_NEW [m]	404.7		
% Impervious	85	47855	[m²]	% Impervious_N EW	85.6	47475.0	[m²]
% Permeabile	15	8445	[m ²]				
			LID			-	
Tipologia	Area [m²]	Stato attuale area	% Area accupata dalle LID per area perm. e imp.	Width LID [m]	Area imp. drenata [m ²]	Area drenata NON_LID [%] (ipotesi 100% area drenata)	Area IMP. drenata_NON _LID [%]
Bioretention	135	IMPERMEABILE	0.28	0.334	822.5	15.66	1.7
Bioretention	187	PERMEABILE	2.21	0.462	619	21.69	1.3
Pav_permeabili	152	IMPERMEABILE	0.32	0.376	264	17.63	0.6
Bioretention	124	PERMEABILE	1.47	0.306	561	14.39	1.2
Bioretention	135	PERMEABILE	1.60	0.334	739	15.66	1.6
Bioretention	93	IMPERMEABILE	0.19	0.230	201	10.79	0.4
Bioretention	36	PERMEABILE	0.43	0.089	389	4.18	0.8
						100.0	7.6
Area_LID [m ²]	862		LID_% AREA IMP.	0.79			
Area_NON_LID [m ²]	55438		LID_% AREA PERM.	5.71			
% Area_LID [%]	1.5						
Width_total_LID [m]	2.13						
IMP. AREA_NON_LID [%]	84.3						
AREA_NON_LID [%]	98.5						

Allegato 2 – Report analisi SWMM per il sottobacino di un acro

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.007)

NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step.

***** Analysis Options Flow Units CFS Process Models: Rainfall/Runoff YES RDII NO Snowmelt NO Groundwater NO Flow Routing NO
 Flow Routing
 NO

 Water Quality
 YES

 Infiltration Method
 CURVE_NUMBER

 Starting Date
 JUN-11-2019 00:00:00

 Ending Date
 JUN-11-2019 04:00:00

 Antecedent Dry Days
 4.0

 Report Time Step
 00:01:00

 Wet Time Step
 00:01:00

 Dry Time Step
 00:01:00

******	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	acre-feet	inches

Total Precipitation	0.042	0.500
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	0.037	0.450
Final Surface Storage	0.004	0.051
Continuity Error (%)	-0.196	
*******	TSS	
Runoff Quality Continuity	lbs	

Initial Buildup	2.929	
Surface Buildup	0.001	
Wet Deposition	0.000	
Sweeping Removal	0.000	

Volume

10^6 gal 0.000 0.012 0.000 0.000 0.000 0.012 0.000 0.000 0.000 0.000

Infiltration Loss BMP Removal Surface Runoff Remaining Buildup Continuity Error (%) 0.000 2,258 0.672 0.000

******	Volume
Flow Routing Continuity	acre-feet

Dry Weather Inflow	0.000
Wet Weather Inflow	0.037
Groundwater Inflow	0.000
RDII Inflow	0.000
External Inflow	0.000
External Outflow	0.037
Internal Outflow	0.000
Evaporation Loss	0.000
Exfiltration Loss	0.000
Initial Stored Volume	0.000
Final Stored Volume	0.000
Continuity Error (%)	0.000

Outling Doubing Continuity	155
Quality Routing Continuity	IDS
B B E C	
Dry weather inflow	0.000
wet weather inflow	2.251
Groundwater Inflow	0.000
RDII Inflow	0.000
External Inflow	0.000
Internal Flooding	0.000
External Outflow	2.251
Mass Reacted	0.000
Initial Stored Mass	0.000
Final Stored Mass	0.000

***** Analysis begun on: Fri Sep 27 09:48:28 2019 Analysis ended on: Fri Sep 27 09:48:28 2019 Total elapsed time: < 1 sec

0.000

Continuity Error (%)

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.013)

****** NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step.

***** Analysis Options Flow Units CFS Process Models:
 Flow Routing
 NO

 Water Quality
 YES

 Infiltration Method
 CURVE_NUMBER

 Surcharge Method
 EXTRAN

 Starting Date
 06/11/2019 00:00:00

 Ending Date
 06/11/2019 04:00:00

 Antecedent Dry Days
 4.0

 Report Time Step
 00:01:00

 Wet Time Step
 00:01:00

******	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	acre-feet	inches

Total Precipitation	0.042	0.500
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	0.037	0.448
Final Storage	0.004	0.053
Continuity Error (%)	-0.208	
******	TSS	
Runoff Quality Continuity	lbs	

Initial Buildup	2.929	
Surface Buildup	0.001	
Wet Deposition	0.000	
Sweeping Removal	0.000	
Infiltration Loss	0.000	
BMP Removal	0.000	
Surface Runoff	2.253	
Remaining Buildup	0.676	
Continuity Error (%)	0.000	

******	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	acre-feet	10^6 gal

Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	0.037	0.012
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	0.037	0.012
Flooding Loss	0.000	0.000
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.000	0.000
Continuity Error (%)	0.000	

*****	TSS
Quality Routing Continuity	lbs

Dry Weather Inflow	0.000
Wet Weather Inflow	2.251
Groundwater Inflow	0.000
RDII Inflow	0.000
External Inflow	0.000
External Outflow	2.251
Flooding Loss	0.000
Exfiltration Loss	0.000
Mass Reacted	0.000
Initial Stored Mass	0.000
Final Stored Mass	0.000
Continuity Error (%)	0.000

***** Analysis begun on: Fri Sep 27 09:48:49 2019 Analysis ended on: Fri Sep 27 09:48:49 2019 Total elapsed time: < 1 sec

Report SWMM 5.1007

Report SWMM 5.1013

Allegato 3 – Report analisi SWMM per il sottobacino di un acro con Bioretention

Depth inches

4.439

0.500 0.000 0.703

0.225 4.012

Volume

0.000

0.006 0.000 0.000

0.000

0.006

0.000

0 000

0.000

0.000

0.000

10^6 gal

Volume

Volume

0.000

0.019 0.000 0.000

0.000

0.019

0.000

0 000

0.000

0.000

0.000

0.000

TSS

lbs

0.000

1.371

0.000

0.000

0.000

1.371

0.000 0.000

0.000

0.000

acre-feet

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.007)

******* NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step.

Analysis Options Flow Units CFS Process Models: Rainfall/Runoff YES RDII NO Snowmelt NO
 Snowmelt
 N0

 Groundwater
 N0

 Flow Routing
 N0

 Waber Quality
 YES

 Infiltration Method
 CURVE_NUMBER

 Starting Date
 JUN-11-2019 00:00:00

 Ending Date
 JUN-11-2019 04:00:00

 Antecedent Dry Days
 4.0

 Report Time Step
 00:01:00

 Wet Time Step
 00:01:00

Runoff Quantity Continuity	acre-feet

Initial LID Storage	0.370
Total Precipitation	0.042
Evaporation Loss	0.000
Infiltration Loss	0.059
Surface Runoff	0.019
Final Surface Storage	0.334
Continuity Error (%)	-0.010
********	TSS
Runoff Quality Continuity	lbs

Initial Buildup	2.929
Surface Buildup	0.001
Wet Deposition	0.000
Sweeping Removal	0.000
Infiltration Loss	0.000
BMP Removal	0.000
Surface Runoff	1.378
Remaining Buildup	1.552
Continuity Error (%)	0.000

Flow Routing Continuity

Dry Weather Inflow

Wet Weather Inflow Groundwater Inflow RDII Inflow

External Inflow External Outflow Internal Outflow

Evaporation Loss Exfiltration Loss

Initial Stored Volume

Final Stored Volume Continuity Error (%)

Quality Routing Continuity

Dry Weather Inflow

Wet Weather Inflow

Groundwater Inflow RDII Inflow External Inflow

Internal Flooding External Outflow

Mass Reacted Initial Stored Mass

Final Stored Mass

Continuity Error (%)

NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step. ***** Analysis Options Analysis Options Flow Units CFS Process Models: Rainfall/Runoff YES
 Rainfall/Runoff
 YES

 RDI
 NO

 Snowmelt
 NO

 Groundwater
 NO

 Flow Routing
 NO

 Water Quality
 YES

 Infiltration Method
 CURVE_NUMBER

 Surcharge Method
 EXTRAN

 Starting Date
 06/11/2019 00:10:00

 Antecodent Dry Days
 4.0

 Report Time Step
 00:01:00

 Dry Time Step
 00:01:00
 ***** Volume Depth Runoff Quantity Continuity acre-feet inches Initial LID Storage Total Precipitation Evaporation Loss 0.370 4,439 0.040 0.479 0.000 Infiltration Loss Surface Runoff Final Storage Continuity Error (%) 0.059 0.703 0.018 0.333 4.002 0.010 ***** TSS Runoff Quality Continuity lbs Initial Buildup 2.929 Surface Buildup 0.001 Wet Deposition Sweeping Removal 0.000 0.000 Infiltration Loss BMP Removal Surface Runoff Remaining Buildup Continuity Error (%) 0.685 0.641 1.604 0.000 ***** Volume Volume Flow Routing Continuity 10^6 gal acre-feet Dry Weather Inflow Wet Weather Inflow 0 000 0.000 0.018 0.006 Groundwater Inflow RDII Inflow External Inflow 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 External Outflow 0.018 0.006 Flooding Loss Evaporation Loss 0.000 0.000 0.000 0.000 Exfiltration Loss Initial Stored Volume Final Stored Volume 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 Continuity Error (%) 0.000 ***** TSS Quality Routing Continuity lbs Dry Weather Inflow Wet Weather Inflow 0 000 0.640 Groundwater Inflow 0.000 RDII Inflow External Inflow External Outflow 0.000 0.000 0.640 Flooding Loss Exfiltration Loss 0.000 0.000 Mass Reacted 0.000 Initial Stored Mass Final Stored Mass 0.000 0.000 Continuity Error (%) 0.000

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.013)

Analysis begun on: Fri Sep 27 10:35:13 2019 Analysis ended on: Fri Sep 27 10:35:13 2019 Total elapsed time: < 1 sec

Report SWMM 5.1007

Report SWMM 5.1013

Analysis begun on: Fri Sep 27 10:38:48 2019 Analysis ended on: Fri Sep 27 10:38:48 2019

Total elapsed time: < 1 sec

Allegato 4 – Risultati delle simulazioni con TR=2 anni

			/					
	Stato attuale della rete senza LID - Analisi con TR=2 anni							
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn			
	mm	kg	kg	kg	kg			
Sottobacino A1	17.79	0.18	63.07	1.34	0.07			
Sottobacino A5	20.49	0.02	3.90	0.08	0.01			
Sottobacino A6	20.10	0.07	17.98	0.37	0.03			
	Stato attuale della rete con LID - Analisi con TR=2 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con 0% area impermeabile drenata)							
	Total Runoff	ТР	TSS	TN	Zn			
	mm	kg	kg	kg	kg			
Sottobacino A1	15.3	0.15	60.30	1.34	0.05			
Sottobacino A5	19.73	0.02	3.88	0.08	0.01			
Sottobacino A6	19.81	0.07	17.95	0.37	0.03			
	Stato attuale della rete co e A6 con 1	on LID - Ana 100% area in	lisi con TR=2 mpermeabile o	anni (Sottol Irenata)	bacini A1, A5			
	Total Runoff	ТР	TSS	TN	Zn			
	mm	kg	kg	kg	kg			
Sottobacino A1	1.03	0.01	6.61	0.82	0.001			
Sottobacino A5	8.04	0.01	2.83	0.08	0.003			
Sottobacino A6	13.89	0.04	16.51	0.37	0.020			
	Stato attuale della rete con LID - Analisi con TR=2 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con area impermeabile drenata 21.5%, 17.4%, 7.6%)							
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn			
	mm	kg	kg	kg	kg			
Sottobacino A1	12.3	0.12	55.34	1.34	0.038			
Sottobacino A5	16.69	0.01	3.79	0.08	0.006			
1		0.07	4	0.05	0 0 0 0			

Runoff e massa degli inquinanti dilavati per i sottobacini A1, A5 e A6

Stato attuale della rete senza LID - Analisi con TR=2 anni									
Sumfa an Dum off	l	Inquinanti accumulati				Inquinanti dilavati			
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn	
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
18.54	3.42	243.78	4.86	0.56	0.78	228.98	4.77	0.33	
Stato attuale della rete con LID - Analisi con TR=2 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con 0% area impermeabile drenata)									
Surface Dupoff]	inquinanti ac	cumulat	i		Inquinanti	dilavati		
Surface Runon	ТР	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn	
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
16.89	3.42	243.78	4.86	0.56	0.69	214.79	4.54	0.29	
Stato attuale della rete con LID - Analisi con TR=2 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con 100% area impermeabile drenata)									
Stato attuale dell	la rete co	n LID - Anali area in	si con Tl npermea	R=2 anni bile dren	i (Sottoba ata)	acini A1, A5	e A6 con	100%	
Stato attuale dell	a rete co	n LID - Anali area in Inquinanti ac	si con TI npermea ccumulat	R=2 anni bile dren i	i (Sottoba ata)	acini A1, A5 Inquinanti	e A6 con dilavati	100%	
Stato attuale dell Surface Runoff	a rete co I TP	n LID - Anali area in Inquinanti ac TSS	si con Tl npermea ccumulat TN	R=2 anni bile dren i Zn	i (Sottoba ata) TP	acini A1, A5 Inquinanti TSS	e A6 con dilavati TN	100% Zn	
Stato attuale dell Surface Runoff mm	a rete co I TP kg	n LID - Anali area in Inquinanti ac TSS kg	si con TI npermea ccumulat TN kg	R=2 anni bile dren i Zn kg	i (Sottoba ata) TP kg	inquinanti TSS kg	e A6 con dilavati TN kg	100% Zn kg	
Stato attuale dell Surface Runoff mm 12.29	a rete co I TP kg 3.42	n LID - Anali area in Inquinanti ac TSS kg 243.78	si con Tl npermea ccumulat TN kg 4.86	R=2 anni bile dren i Zn kg 0.56	(Sottoba ata) TP kg 0.51	acini A1, A5 Inquinanti TSS kg 158.62	e A6 con dilavati TN kg 4.01	100% Zn kg 0.22	
Stato attuale dell Surface Runoff mm 12.29 Stato attuale del	a rete co I TP kg 3.42 la rete co im	n LID - Anali area in Inquinanti ad TSS kg 243.78 on LID - Anal permeabile	si con Tl npermea ccumulat TN kg 4.86 isi con T drenata	R=2 anni bile dren i Zn kg 0.56 R=2 ann 21.5%, 1	i (Sottob) ata) TP kg 0.51 i (Sottob 7.4%, 7.6	acini A1, A5 Inquinanti TSS kg 158.62 acini A1, A5 5%)	e A6 con dilavati TN kg 4.01 e A6 con	100% Zn kg 0.22 area	
Stato attuale dell Surface Runoff mm 12.29 Stato attuale del	a rete co I TP kg 3.42 Ia rete co im	n LID - Anali area in Inquinanti ac TSS kg 243.78 on LID - Anal permeabile	si con TI npermea ccumulat TN kg 4.86 isi con T drenata	R=2 anni bile dren i Zn kg 0.56 R=2 ann 21.5%, 1	i (Sottoba aata) TP kg 0.51 i (Sottob 7.4%, 7.6	Inquinanti TSS kg 158.62 acini A1, A5 5%) Inquinanti	e A6 con dilavati TN kg 4.01 e A6 con dilavati	100% Zn kg 0.22 area	
Stato attuale dell Surface Runoff mm 12.29 Stato attuale del Surface Runoff	a rete co I TP kg 3.42 la rete co im I TP	n LID - Anali area in Inquinanti ac Kg 243.78 on LID - Anal permeabile Inquinanti ac TSS	si con Tl npermea ccumulat TN kg 4.86 isi con T drenata ccumulat TN	R=2 anni bile dren i <u>Zn</u> 0.56 R=2 ann 21.5%, 1 i Zn	i (Sottoba ata) TP kg 0.51 i (Sottob 7.4%, 7.6	Inquinanti TSS kg 158.62 Aacini A1, A5 5%) Inquinanti TSS	e A6 con dilavati TN kg 4.01 e A6 con dilavati TN	100% Zn kg 0.22 area Zn	
Stato attuale dell Surface Runoff mm 12.29 Stato attuale del Surface Runoff mm	a rete co TP kg 3.42 la rete co im TP kg	n LID - Anali area in Inquinanti ad TSS kg 243.78 on LID - Anal permeabile Inquinanti ad TSS kg	si con Tl npermea ccumulat TN kg 4.86 isi con T drenata ccumulat TN kg	R=2 anni bile dren i Zn kg 0.56 R=2 ann 21.5%, 1 i Zn kg	i (Sottoba ata) TP kg 0.51 i (Sottob 7.4%, 7.6 TP kg	Inquinanti TSS kg 158.62 acini A1, A5 5%) Inquinanti TSS kg	e A6 con dilavati TN kg 4.01 e A6 con dilavati TN kg	100% Zn kg 0.22 area Zn kg	

Surface Runoff e massa di inquinanti dilavati per i sottobacini per il sistema

Percentuale di riduzione rispetto allo stato attuale senza LID							
	Stato attuale della rete con (Sottobacini A1, A5 e A6 dre	n LID - con 09 enata)	Analisi co % area imj	n TR=2 permea	anni bile		
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn		
	%	%	%	%	%		
Sottobacino A1	14	17	4	0	22		
Sottobacino A5	4	0	0	0	13		
Sottobacino A6	1	2	0	0	0		
	Stato attuale della rete con LID - Analisi con TR=2 anni						
	(Sottobacini A1, A5 e A6 d	con 100)% area in	nperme	abile		
	dre	enata)					
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn		
	%	%	%	%	%		
Sottobacino A1	94	96	90	39	99		
Sottobacino A5	61	67	27	4	63		
Sottobacino A6	31	35	8	1	35		
	Stato attuale della rete con	n LID -	Analisi co	n TR=2	anni		
	(Sottobacini A1, A5 e A6 co	on area	ı imperme	abile di	renata		
	21.5%, 1	7.4%, 7	′.6%)				
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn		
	%	%	%	%	%		
Sottobacino A1	31	36	12	0	44		
Sottobacino A5	19	20	3	0	25		
Sottobacino A6	8	9	1	0	6		

Percentuale di riduzione del runoff e della massa di inquinanti dilavati per i sottobacini A1, A5 e A6 rispetto allo stato attuale della rete senza LID

Percentuale di riduzione del Runoff superficiale e della massa di inquinanti dilavati per il sistema rispetto allo stato attuale della rete senza LID

Percentuale di riduzione ris	spetto allo s	tato attuale ser	iza LID			
Stato attuale della rete con LID - Analisi c area imper	on TR=2 ar meabile dre	nni (Sottobacini mata)	i A1, A5 e A6	5 con 0%		
Sunface Buneff Inquinanti dilavati						
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn		
%	%	%	%	%		
9	12	6	5	12		
Stato attuale della rete con LID - Analisi con TR=2 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con 100% area impermeabile drenata)						
		Inquinanti	dilavati			
Surface Runoff	ТР	Inquinanti TSS	dilavati TN	Zn		
Surface Runoff %	TP %	Inquinanti TSS %	dilavati TN %	Zn %		
Surface Runoff % 34	TP % 34	Inquinanti TSS % 31	dilavati TN % 16	Zn % 33		
Surface Runoff % 34 Stato attuale della rete con LID - Analisi co impermeabile dren	TP % 34 on TR=2 and ata 21.5%, 2	Inquinanti TSS % 31 ni (Sottobacini 17.4%, 7.6%)	dilavati TN % 16 A1, A5 e A6	Zn % 33 con area		
Surface Runoff % 34 Stato attuale della rete con LID - Analisi co impermeabile dren	TP % 34 on TR=2 and ata 21.5%, 2	Inquinanti TSS % 31 ni (Sottobacini 17.4%, 7.6%) Inquinanti	dilavati TN % 16 A1, A5 e A6 dilavati	Zn % 33 con area		
Surface Runoff % 34 Stato attuale della rete con LID - Analisi co impermeabile dren Surface Runoff	TP % 34 on TR=2 and ata 21.5%, 3	Inquinanti TSS % 31 ni (Sottobacini 17.4%, 7.6%) Inquinanti TSS	dilavati TN % 16 A1, A5 e A6 dilavati TN	Zn % 33 con area Zn		
Surface Runoff % 34 Stato attuale della rete con LID - Analisi co impermeabile dren Surface Runoff %	TP % 34 on TR=2 and ata 21.5%, 2 TP %	Inquinanti TSS % 31 ni (Sottobacini 17.4%, 7.6%) Inquinanti TSS %	dilavati TN % 16 A1, A5 e A6 dilavati TN %	Zn % 33 con area Zn %		

Grafici

Sottobacino A1

















110



















Sottobacino A6







Massa di TP dilavata [kg] - Sottobacino A6

Stato attuale_CON_LID

Stato attuale_CON_LID 7.65

4:19











Sistema

_____Stato attuale_CON_

0.0035



Allegato 5 – Distribuzione dell'altezze di pioggia a San Diego (CA)



Figure 16.5 Rainfall depth distribution at San Diego, CA.

Allegato 6 – Risultati evento temporalesco del 29/08/2016

A1, A5 e A6 per le simu	iazioni con intervallo tempor	ale 10 min	un e 24 ore				
	Stato attuale della rete - Evento temporalesco 29/08/2016						
	(intervallo 10 minuti)						
	Total Runoff TP TSS TN Zn						
	mm	kg	kg	kg	kg		
Sottobacino A1	63.39	0.65	67.76	1.35	0.16		
Sottobacino A5	67.94	0.04	3.98	0.08	0.009		
Sottobacino A6	67.34	0.20	18.52	0.37	0.04		
	Stato attuale della rete - Evento temporalesco 29/08/2016						
	(ii	ntervallo 2	24 ore)				
	Total Runoff	ТР	TSS	TN	Zn		
	mm	kg	kg	kg	kg		
Sottobacino A1	62.32	0.42	67.70	1.35	0.08		
Sottobacino A5	66.00	0.03	3.98	0.08	0.005		
Sottobacino A6	65.30	0.12	18.50	0.37	0.02		
	Percentuale di variazione r	ispetto all'	evento temp	oralesco a	nalizzato		
	con intervallo di 10 minuti						
	%	%	%	%	%		
Sottobacino A1	2	36	0	0	46		
Sottobacino A5	3	40	0	0	44		
Sottobacino A6	3	40	0	0	43		

Tabella di confronto del deflusso superficiale e della massa di inquinanti dilavata dai sottobacini A1, A5 e A6 per le simulazioni con intervallo temporale 10 minuti e 24 ore

Stato attuale della	rete - E	vento tempo	oralesco	29/08/	2016 (i	ntervallo 1() minuti	i)	
Surface Duraff	Iı	nquinanti ac	cumulat	ti		Inquinanti	dilavati		
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn	
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
64.52	3.42	243.78	4.86	0.56	2.47	244.32	4.87	0.56	
Stato attuale dell	Stato attuale della rete - Evento temporalesco 29/08/2016 (intervallo 24 ore)								
Surface Dunoff	Iı	nquinanti ac	cumulat	ti		Inquinanti	dilavati	lavati	
Surface Runon	тр	тсс	TN	7n	ΤР	TSS	TN	Zn	
	11	100	114	211		100	441	1	
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
mm 63.09	kg 3.42	kg 243.78	kg 4.86	kg 0.56	kg 1.53	kg 243.48	kg 4.86	kg 0.30	
mm 63.09 Percentuale di variazi	kg 3.42 one risp	kg 243.78 etto all'ever	kg 4.86	kg 0.56	kg 1.53 o analiz	kg 243.48 zato con int	kg 4.86 ervallo	kg 0.30 di 10	
mm 63.09 Percentuale di variazi	kg 3.42 one risp	kg 243.78 etto all'ever	kg 4.86 nto temp minuti	kg 0.56 oralesco	kg 1.53 o analiz	kg 243.48 zato con int	kg 4.86 ærvallo	kg 0.30 di 10	
mm 63.09 Percentuale di variazi	kg 3.42 one risp	kg 243.78 etto all'ever nquinanti ac	kg 4.86 nto temp minuti ccumulat	kg 0.56 ooralesco	kg 1.53 o analiz	kg 243.48 zato con int Inquinanti	kg 4.86 ærvallo dilavati	kg 0.30 di 10	
mm 63.09 Percentuale di variazi Surface Runoff	kg 3.42 one risp In TP	kg 243.78 etto all'ever nquinanti ac TSS	kg 4.86 nto temp minuti ccumulat TN	kg 0.56 ooralesco ti Zn	kg 1.53 o analiz TP	kg 243.48 zato con int Inquinanti TSS	kg 4.86 rervallo dilavati TN	kg 0.30 di 10 Zn	
mm 63.09 Percentuale di variazi Surface Runoff %	kg 3.42 one risp In TP %	kg 243.78 etto all'ever nquinanti ac TSS %	kg 4.86 nto temp minuti cumulat TN %	kg 0.56 ooralesco ti Zn %	kg 1.53 o analiz TP %	kg 243.48 zato con int Inquinanti TSS %	kg 4.86 ervallo dilavati TN %	kg 0.30 di 10 Zn %	

Tabella di confronto del deflusso superficiale e della massa di inquinanti dilavata dai sottobacini su scala territoriale per le simulazioni con intervallo temporale 10 minuti e 24 ore

Grafici

Evento temporalesco 29/08/2016 (intervallo di tempo 10 min)





Evento temporalesco 29/08/2016 (intervallo di tempo 24 ore)





Allegato 7 – Risultati simulazione continua

Surface	Runoff e	e massa di ind	quinanti d	lilavati per i	il sistema.	Simulazione	continua	anno 20)16
····				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					

Stat	o attual	e della rete	e senza	LID - Si	mulazion	e continua anı	no 2016	
Surface		Accumulo	iniziale			Inquinanti	dilavati	
Runoff	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
971.57	3.42	243.78	4.86	0.56	31.12	18312.80	280.06	2.62
Stato attuale	Stato attuale della rete con LID - Simulazione continua anno 2016 (Sottobacini A1, A5 e							
		A6 con ()% area	imperr	neabile d	renata)		
Surface		Accumulo	iniziale			Inquinanti d	dilavati	
Runoff	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
879.22	3.42	243.78	4.86	0.56	28.21	17163.20	263.31	2.30
Stato attuale	della ret	te con LID ·	- Simula	zione c	ontinua a	nno 2016 (So	ttobacini A	1, A5 e
		A6 con 10	00% are	ea impe	rmeabile	drenata)		
Surface		Accumulo	iniziale	-		Inquinanti (dilavati	
Runoff	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
636.57	3.42	243.78	4.86	0.56	21.41	13521.11	270.07	1.72
Stato attuale	della ret	te con LID ·	Simula	zione c	ontinua a	nno 2016 (Sot	ttobacini A	1, A5 e
	A6 co	n area imp	ermeab	ile dren	ata 21.59	6, 17.4%, 7.6%	6)	
Surface		Accumulo	iniziale			Inquinanti	dilavati	
Runoff	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
005 (0	2 4 2	242 70	1.00		26.02	17020.07	264 72	2 1 2

Percentuale di riduzio	one rispetto a	allo stato attuale	e senza LID	
Stato attuale della rete con LID - Sin A6 con 0%	mulazione co area imperm	ntinua anno 20 1eabile drenata)	16 (Sottobaci	ni A1, A5 e
Granfa an Dava aff		Inquinanti	dilavati	
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn
%	%	%	%	%
10	9	6	6	12
Stato attuale della rete con LID - Sin	mulazione co	ntinua anno 20	16 (Sottobaci	ni A1, A5 e
A6 con 1009	6 area imper	meabile drenata	a)	
South as Due off		Inquinanti	dilavati	
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn
%	%	%	%	%
34	31	26	4	34
Stato attuale della rete con LID - Si	mulazione co	ntinua anno 20	16 (Sottobaci	ni A1, A5 e
A6 con area impern	neabile drena	ata 21.5%, 17.49	%, 7 [°] .6%)	·
		Inquinanti	dilavati	
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn
%	%	%	%	%
15	14	7	5	19

Percentuale di riduzione del runoff e della massa di inquinanti dilavati per il sistema. Simulazione continua anno 2016

Stato attuale della rete senza LID















Stato attuale della rete con 0% area impermeabile drenata dalle LID

Sottobacino A1





Sottobacino A5





Sottobacino A6





Sistema



Stato attuale della rete con 100\% area impermeabile drenata dalle LID









Sottobacino A6





Stato attuale della rete con area impermeabile drenata dalle LID 21.5%, 17.4%, 7.6% dai sottobacini A1, A5 e A6





















Allegato 8 – Risultati delle simulazioni con TR= 5 anni

	Apertura di due nuovi s	carichi sei	nza LID - An	alisi con '	ΓR=5anni
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn
	mm	kg	kg	kg	kg
Sottobacino A1	27.13	0.30	66.98	1.35	0.12
Sottobacino A5	30.19	0.02	3.97	0.08	0.009
Sottobacino A6	29.76	0.10	18.45	0.37	0.04
	Apertra di due nuovi s (Sottobacini A1, A5 e A	carichi co A6 con 0%	n LID - Anal area imper	isi con TF meabile c	R=5 anni Irenata)
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn
	mm	kg	kg	kg	kg
Sottobacino A1	23.3	0.25	66.14	1.35	0.10
Sottobacino A5	29.05	0.02	3.97	0.079	0.009
Sottobacino A6	29.32	0.10	18.44	0.37	0.04
	Apertura di due nuovi s (Sottobacini A1, A5 e A6	scarichi co 5 con 1009	on LID - Ana % area impe	lisi con Ti ermeabile	R=5 anni drenata)
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn
	mm	kg	kg	kg	kg
Sottobacino A1	1.64	0.01	11.67	0.92	0.003
Sottobacino A5	17.71	0.01	3.86	0.078	0.008
Sottobacino A6	23.55	0.08	18.31	0.37	0.038
	Apertura di due nuovi s (Sottobacini A1, A5 e A6	scarichi co 5 con area 17.4%, 7	on LID - Ana a impermeal 7.6%)	lisi con T bile drena	R=5 anni 1ta 21.5%,
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn
	mm	kg	kg	kg	kg
Sottobacino A1	18.88	0.20	64.10	1.35	0.079
Sottobacino A5	24.62	0.02	3.96	0.08	0.009

Runoff e massa degli inquinanti dilavati per i sottobacini A1, A5 e A6

Apertura	li due n	uovi scarich	i senza	LID - Aı	nalisi co	n TR=5 anr	ni	
Surface Duraff	Ir	nquinanti ac	cumula	ti		Inquinanti	dilavati	
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
27.87	3.42	243.78	4.86	0.56	1.24	239.59	4.79	0.48
Apertura di due nuovi s	Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con TR=5 anni (Sottobacini A1, A5 e A6 con 0% area impermeabile drenata)							
Surface Dunoff	Ir	nquinanti ac	cumula	ti		Inquinanti	dilavati	
	TP	TSS	TN	Zn	TP	TSS	TN	Zn
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
25.33	3.42	243.78	4.86	0.56	1.10	226.33	4.55	0.43
Apertura di due nuovi	scarichi con 1	senza LID - 00% area in	Analisi	con TR eabile di	=5 anni renata)	(Sottobaci	ni A1, A	5 e A6
Apertura di due nuovi Surface Runoff	scarichi con 1 Ir	senza LID - 00% area in nquinanti ac	Analisi mperme ccumula	con TR eabile di ti	=5 anni renata)	i (Sottobacii Inquinanti	ni A1, A dilavati	5 e A6
Apertura di due nuovi Surface Runoff	scarichi con 1 Ir TP	senza LID - 00% area in nquinanti ao TSS	Analisi mperme ccumula TN	con TR eabile di ti Zn	=5 anni renata) TP	(Sottobacii Inquinanti TSS	ni A1, A dilavati TN	5 e A6 Zn
Apertura di due nuovi Surface Runoff mm	scarichi con 1 Ir TP kg	senza LID - 00% area in nquinanti ac TSS kg	Analisi mperme ccumula TN kg	con TR eabile di ti Zn kg	=5 anni renata) TP kg	(Sottobacii Inquinanti TSS kg	ni A1, A dilavati TN kg	5 e A6 Zn kg
Apertura di due nuovi Surface Runoff mm 18.71	scarichi con 1 Ir TP kg 3.42	senza LID - 00% area in nquinanti ac TSS kg 243.78	Analisi mperme ccumula TN kg 4.86	con TR eabile di ti Zn kg 0.56	=5 anni renata) TP kg 0.83	Inquinanti TSS kg 171.63	ni A1, A dilavati TN kg 4.12	5 e A6 Zn kg 0.33
Apertura di due nuovi Surface Runoff mm 18.71 Apertura di due nuovi con	scarichi con 1 Ir TP kg 3.42 scarichi area imj	senza LID - 00% area in nquinanti ac TSS kg 243.78 senza LID - permeabile	Analisi mperme ccumula TN kg 4.86 Analisi drenata	con TR eabile dr tti Zn kg 0.56 con TR 21.5%	=5 anni renata) TP kg 0.83 =5 anni , 17.4%,	Inquinanti TSS kg 171.63 (Sottobacia 7.6%)	ni A1, A dilavati TN kg 4.12 ni A1, A	Zn kg 0.33 5 e A6
Apertura di due nuovi Surface Runoff mm 18.71 Apertura di due nuovi con a	scarichi con 1 Ir TP kg 3.42 scarichi area imj	senza LID - 00% area in nquinanti ac TSS kg 243.78 senza LID - permeabile nquinanti ac	Analisi mperme ccumula TN kg 4.86 Analisi drenata	con TR eabile dr tti <u>Zn</u> kg 0.56 con TR 21.5%,	=5 anni renata) TP kg 0.83 =5 anni , 17.4%,	Inquinanti TSS kg 171.63 (Sottobacia 7.6%) Inquinanti	ni A1, A dilavati TN kg 4.12 ni A1, A dilavati	Zn kg 0.33 5 e A6
Apertura di due nuovi Surface Runoff mm 18.71 Apertura di due nuovi con s Surface Runoff	scarichi con 1 Ir TP kg 3.42 scarichi area imj Ir TP	senza LID - 00% area in nquinanti ad TSS kg 243.78 senza LID - permeabile nquinanti ad TSS	Analisi mperme ccumula TN kg 4.86 Analisi drenata ccumula TN	con TR eabile dr tt <u>Zn</u> 0.56 con TR 21.5%, tti Zn	=5 anni renata) TP kg 0.83 =5 anni 17.4%, TP	Inquinanti TSS kg 171.63 (Sottobacia 7.6%) Inquinanti TSS	ni A1, A dilavati TN kg 4.12 ni A1, A dilavati TN	5 e A6 Zn kg 0.33 5 e A6 Zn
Apertura di due nuovi Surface Runoff mm 18.71 Apertura di due nuovi con a Surface Runoff mm	scarichi con 1 Ir TP kg 3.42 scarichi area imj Ir TP kg	senza LID - 00% area in nquinanti ac TSS kg 243.78 senza LID - permeabile nquinanti ac TSS kg	Analisi mperme ccumula TN kg 4.86 Analisi drenata ccumula TN kg	con TR eabile dr tti Zn kg 0.56 con TR 21.5%, tti Zn kg	=5 anni renata) TP kg 0.83 =5 anni 17.4%, TP kg	Inquinanti TSS kg 171.63 (Sottobaci 7.6%) Inquinanti TSS kg	ni A1, A dilavati TN kg 4.12 ni A1, A dilavati TN kg	5 e A6 Zn kg 0.33 5 e A6 Zn kg

Surface Runoff e massa degli inquinanti dilavati per i sottobacini per il sistema

Percentuale di riduzione	e rispetto al modello con aperti	ıra di du	e scarichi	senza L	ID
	Stato attuale della rete c	on LID -	Analisi coi	n TR=5 a	anni
	(Sottobacini A1, A5 e A	.6 con 09	6 area imp	permeab	ile
	di	renata)			1_
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn
	%	%	%	%	%
Sottobacino A1	14	16	1	0	16
Sottobacino A5	4	4	0	0	0
Sottobacino A6	1	2	0	0	0
	Apertura di due nuovi sca	richi con	LID - Ana	lisi con '	ГR=5
	anni (Sottobacini A1, A5 e	A6 con 1	.00% area	imperm	eabile
	d	renata)			
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn
	%	%	%	%	%
Sottobacino A1	94	96	83	32	98
Sottobacino A5	41	42	3	1	11
Sottobacino A6	21	20	1	0	7
	Apertura di due nuovi sca	richi con	LID - Ana	lisi con '	ГR=5
	anni (Sottobacini A1, A	5 e A6 co	n area im	permeal	oile
	drenata 21.	5%, 17.4	%, 7.6%)		
	Total Runoff	TP	TSS	TN	Zn
	%	%	%	%	%
Sottobacino A1	30	33	4	0	34
Sottobacino A5	18	21	0	0	0
Sottobacino A6	8	8	0	0	2

Percentuale di riduzione del runoff e della massa di inquinanti dilavati per i sottobacini A1, A5 e A6 rispetto allo stato attuale della rete senza LID

Percentuale di riduzione del Runoff superficiale e della massa di inquinanti dilavati per il sistema rispetto allo stato attuale della rete senza LID

Percentuale di riduzione rispetto al modello con apertura di cue nuovi scarichi senza LID						
Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con 0% area impermea	con TR=5 bile drena	5 anni (Sottol ata)	oacini A1, A	A5 e A6		
Sumfo og Dum off	Inquinanti dilavati					
Surface Runon	TP	TSS	TN	Zn		
%	%	%	%	%		
9	11	6	5	10		
Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi	con TR=5	5 anni (Sottol	oacini A1, A	A5 e A6		
con 100% area imperme	abile drei	nata)				
	Inquinanti dilavati					
Surface Runoff		mqumum	anavati			
Surface Runoff	TP	TSS	TN	Zn		
Surface Runoff %	TP %	TSS %	TN %	Zn %		
Surface Runoff % 33	TP % 33	TSS % 28	TN % 14	Zn % 31		
Surface Runoff % 33 Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con area impermeabile drenata	TP % 33 con TR=5 21.5%, 1	TSS % 28 5 anni (Sottok 7.4%, 7.6%)	TN % 14 Dacini A1, A	Zn % 31 A5 e A6		
Surface Runoff % 33 Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con area impermeabile drenata	TP % 33 con TR=5 21.5%, 1	TSS % 28 5 anni (Sottol 7.4%, 7.6%) Inquinanti	TN % 14 pacini A1, <i>i</i> dilavati	Zn % 31 A5 e A6		
Surface Runoff % 33 Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con area impermeabile drenata Surface Runoff	TP % 33 con TR=5 21.5%, 1	TSS % 28 5 anni (Sottol 7.4%, 7.6%) Inquinanti TSS	TN % 14 bacini A1, A dilavati TN	Zn % 31 A5 e A6 Zn		
Surface Runoff % 33 Apertura di due nuovi scarichi senza LID - Analisi con area impermeabile drenata Surface Runoff %	TP % 33 con TR=5 21.5%, 1 TP %	TSS % 28 5 anni (Sottok 7.4%, 7.6%) Inquinanti TSS %	TN % 14 pacini A1, A dilavati TN %	Zn % 31 A5 e A6 Zn %		

Grafici




































Sottobacino 6



















BIBLIOGRAFIA

[1] ARPA Piemonte, "Analisi eventi temporaleschi del 29 e 30 agosto 2016", Torino, 07 Settembre 2016

[2] Comune di Bologna, European Investment Bank, ATKINS, IRIDRA, "Linee guida sull'adozione di tecniche di drenaggio urbano sostenibile per una città più resiliente ai cambiamenti climatici", Aprile 2018

[3] Daniele Masseroni, Federico Massara, Claudio Gandolfi, Gian Battista Bischetti con la collaborazione di CAP Holding spa, "*Manuale sulle buone pratiche di utilizzo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile*", Colophon aprile 2018

[4] Gioia Gibelli, Alessandra Gelmini, Ester Pagnoni, Francesca Natalucci, *"Gestione sostenibile delle acque urbane. Manuale di drenaggio 'urbano'"*, Settembre 2015

[5] Guo, J.C.,2017, "UrbanFlood mitigation and stormwater management", CRC Press

[6] Horton, B., Digman, C.J., Ashley, R.M. and McMullan, J., "*B*£*ST Guidance – Guidance to assess the benefits of blue and green infrastructure using B*£*ST*", CIRIA 2019

[7] Illman S., Wilson S., Guidance on the construction of SuDS, CIRIA

[8] Lewis A. Rossman, Envronmental Scientist, Emeritus, U.S. Environmental Protection Agnecy (2015), *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*.

[9] Lewis A. Rossman, Office of Research and Development, National Risk Management Laboratory, and Wayne C. Huber (2016), *Storm Water Management Model - Reference Manual - Volume I – Hydrology (Revised)*

[10] Lewis A. Rossman, Office of Research and Development, National Risk Management Laboratory, and Wayne C. Huber (2017), *Storm Water Management Model - Reference Manual - Volume II – Hydraulics* [11] Lewis A. Rossman, Office of Research and Development, National Risk Management Laboratory, and Wayne C. Huber (2016), *Storm Water Management Model - Reference Manual - Volume III – Water Quality*

[12] Maria Di Modugno, Andrea Gioia, Angela Gorgoglione, Vito Iacbellis, Giovanni la Forgia, Alberto F. Piccini, Ezio Ranieri, *Build-Up/Wash-Off Monitoring and Assessment for Sustainable Management of First Flush in an Urban Area*

[13] M. F. Chow, Z. Yusop, M. E. Toriman, "Modelling runoff quantity and quality in tropical urbancatchments using Storm Water Management Model", Int. J. Environ. Sci. Technol. (2012) Springer

[14] Miriam Carraretto, "Borgo Dora, l'anima antica di Torino tra industria e antiquariato", 22 Ottobre 2016

[15] Paolo Montin, "Acque meteoriche di dilavamento. Principi di progettazione e dimensionamento degli impianti di trattamento", Tipografia Priulla, Palermo, settembre 2012

[16] Prof. Fulvio Boano, Ing. Stefano Losero, Prof. Luca Ridolfi (Settembre 2017), Rete di drenaggio in zona Borgo Dora – Analisi delle criticità e interventi migliorativi

[17] Rosalba Senette," Modello di simulazione SWMM per le tecniche di drenaggio urbano sostenibile in zona Borgo Dora (Torino)", Aprile 2019

[18] Shuster, William; Hunt, William F.; Ashley, Richard; Butler, David; Arthur, Scott; Trowsdale, Sam; Barraud, Sylvie; Semadeni-Davies, Annette; Bertrand-Krajewski, Jean-Luc, "UDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage", Urban Water Journal 2015

[19] Tetra Tech, Inc., Stormwater Best Management Practices (BMP) Performance Analysis

[20] Tetra Tech, Inc.10306 Eaton Place, Suite 340 Fairfax, VA 22030, "Step-by-Step Guide, Jenuary 2013 [21] Viviana Pappalardo, "Aree urbane e acque meteoriche. Un approccio integrato per la pianificazione della città resiliente"

[22] Woods Ballard B., Wilson S., Udale-Clarke H., Illman S., Scott T., Ashley R.,Kellagher R. (2015), *The SuDS Manual*, CIRIA

SITOGRAFIA

- [23] www.arpa.piemonte.it
- [24] www.cittametropolitana.torino.it
- [25]www.epa.gov/sites/production/files/2018-
- 08/swmm_5_updates_and_bug_fixes_2.txt
- [26] www.epa.gov/water-research/best-management-practices-bmps-siting-tool
- [27] www.geoportale.comune.torino.it
- [28] www.geoportale.piemonte.it
- [29] www.iridra.eu

[30] www.naturalinfrastructureforbusiness.org/portfolio-item/best-managementpractices-bmps-siting-tool/

- [31] www.openswmm.org
- [32] www.openswmm.org/Compare?v1=SWMM51013&v2=SWMM51007
- [333] www.openswmm.org/Code/Home
- [34] webgis.arpa.piemonte.it/atlante_pioggia_webapp/index.html
- [35] webgis.arpa.piemonte.it/geoportale

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Prof. Fulvio Boano per la grande disponibilità e le preziose indicazioni fornite per lo svolgimento del presente lavoro.

Ringrazio l'Ing. Anacleto Rizzo per la cortesia e i consigli ricevuti.

Un ringraziamento speciale va ai miei genitori, Eduardo e Anna Maria, ai miei amici e parenti per l'affetto e il sostegno ricevuto.