

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi di fattibilità di interventi drenanti
sostenibili nell'area del Politecnico di Torino**

Relatori

Prof. Fulvio Boano

Prof. Luca Ridolfi

Ing. Anacleto Rizzo (IRIDRA)

Candidato

Stefano Giraudò

Aprile 2019

RINGRAZIAMENTI

In primo luogo vorrei ringraziare i professori Luca Ridolfi e Fulvio Boano per la loro disponibilità e cortesia. Mi hanno assistito per tutto lo svolgimento di questo lavoro dando supporto alle scelte prese e preziosi consigli sullo svolgimento di questo progetto, offrendomi sempre nuovi spunti per poterlo migliorare. Vorrei inoltre ringraziare l'ing. Anacleto Rizzo il quale ha fornito importanti consigli frutto della sua esperienza presso la società IRIDRA che opera da oltre vent'anni nella gestione ecosostenibile delle risorse idriche.

Ora devo ringraziare tutte le persone che mi hanno accompagnato nel mio percorso universitario. Comincio quindi da Alessandro, la prima persona con la quale ho condiviso questa esperienza e con cui ho avuto il piacere di stringere una forte amicizia nonostante i diversi percorsi di studio ci abbiano poi separato. Ringrazio poi i miei e colleghi civili con i quali ho condiviso gioie e dolori, in particolare Giuseppe compagno di studi che mi ha accompagnato fino alla fine di questo percorso la cui amicizia mi ha aiutato a raggiungere questo traguardo. Ringrazio di cuore i miei più cari amici Marco, Elia e Alberto che hanno sempre creduto in me dandomi la forza di andare avanti e ai quali vorrei far sapere quanto sia stata per me fondamentale la loro amicizia in questi anni.

Un ringraziamento speciale va ad i miei genitori Anna e Gianni ed a mia sorella Noemi. Il vostro affetto ed il vostro amore mi hanno dato la forza e il coraggio, in tutti questi anni, per arrivare a raggiungere questo obiettivo.

INDICE

Ringraziamenti	
1 Introduzione	1
2 Drenaggio urbano sostenibile.....	5
2.1 Gestione tradizionale delle acque meteoriche	5
2.1.1 Conseguenze sulle aree urbane.....	6
2.1.2 Effetti del cambiamento climatico	8
2.1.3 Gestione sostenibile delle acque meteoriche.....	8
2.1.4 Interventi	9
2.1.5 Benefici per l'ambiente e per l'uomo	13
2.1.6 Coinvolgimento della comunità	15
2.1.7 Adattabilità al cambiamento climatico.....	16
3 Caso Studio: Politecnico di Torino	17
3.1 Analisi preliminare.....	17
3.1.1 Raccolta dei dati.....	17
4 Tipologie di Interventi.....	25
4.1 Bacini di detenzione	25
4.1.1 Tipologie di realizzazione	26
4.1.2 Posizionamento ottimale	27
3.1.2 Limiti di utilizzo.....	27
4.2 Aree di bio-ritenzione vegetata	28
4.2.1 Aree di Bioritenzione	29
4.2.2 Rain gardens.....	29
4.2.3 Vantaggi e svantaggi	30
4.2.4 Posizionamento ottimale	30
4.2.5 Limiti di utilizzo.....	30
4.2.6 Indicazioni dimensionali e progettuali	31
4.3 Esempi nel modo.....	32
4.3.1 Bentemplein Water Square.....	32
4.3.2 Tanner Springs Park	34
5 Schema della vasca di accumulo - Sistemi di ingresso e smaltimento dell'acqua	37
6 Soluzioni stratigrafiche	41
6.1 Porosità.....	41

Indice

6.2	Configurazione 1: Strato di Sabbia.....	45
6.3	Configurazione 2: Strato di Ghiaia.....	46
6.4	Configurazione 3: Strato di materiale Alveolare e Sabbia	46
6.5	Configurazione 4: soluzione calpestabile	48
7	Analisi dei costi	49
7.1	Materiali e operazioni.....	49
7.2	Costi.....	53
8	Analisi dei benefici.....	55
8.1	Funzionamento del modello MATLAB	55
8.1.1	Dati di input.....	55
8.1.2	Modellazione delle precipitazioni.....	56
8.1.3	Tempo di corrivazione delle aree convogliate.....	57
8.1.4	Portata in ingresso al sistema Q_i	58
8.1.5	Modellazione del processo di infiltrazione.....	61
8.1.6	Determinazione della portata in uscita	63
8.2	Area verde A.....	65
8.2.1	Caratteristiche dell'area verde	65
8.2.2	Andamento delle precipitazioni.....	66
8.2.3	Parametri di infiltrazione	66
8.2.4	Analisi dei benefici.....	67
8.3	Area verde B.....	72
8.3.1	Caratteristiche dell'area verde	73
8.3.2	Andamento delle precipitazioni.....	74
8.3.3	Parametri di infiltrazione	74
8.3.4	Analisi dei benefici.....	74
8.4	Area verde C.....	79
8.4.1	Caratteristiche dell'area verde	79
8.4.2	Andamento delle precipitazioni.....	80
8.4.3	Parametri di infiltrazione	80
8.4.4	Analisi dei benefici.....	81
8.5	Area verde D.....	86
8.5.1	Caratteristiche dell'aree D1 eD2	87
8.5.2	Andamento delle precipitazioni.....	89
8.5.3	Parametri di infiltrazione	89
8.5.4	Analisi dei benefici.....	89
9	Sistemi di scarico.....	99

Indice

9.1	Progetto del Sistema Troppo Pieno	100
9.1.1	Applicazione alle aeree verdi del Politecnico	100
9.1.2	Dati geometrici.....	101
9.1.3	Calcolo della Portata Massima	102
9.1.4	Dimensionamento del sistema troppo pieno	105
9.2	Progetto del Sistema di Scolo Inferiore.....	115
9.2.1	Applicazione alle aeree verdi del Politecnico	115
9.2.2	Calcolo della portata drenata	116
9.2.3	Dimensionamento del sistema di scolo inferiore.....	116
10	Progetto della vegetazione	123
10.1	Applicazione alle aeree verdi del Politecnico	124
10.1.1	<i>Ligustrum Ovalifolium</i>	124
10.1.2	<i>Ligustrum Sinense</i>	125
10.1.3	<i>Rosa Canina</i>	126
10.1.4	Rose tappezzanti: Aspirin Rose.....	126
10.1.5	<i>Cotoneaster</i>	127
10.1.6	Bianco Spino	127
10.1.7	Ginepro.....	128
10.1.8	<i>Sedum</i>	129
10.1.9	<i>Lonicera pileata</i>	129
11	Conclusioni	131
	Bibliografia	133
	Sitografia	133

Indice

1 INTRODUZIONE

Nell'ambito delle aree urbanizzate, l'intenso sfruttamento del territorio dovuto alla costruzione di infrastrutture stradali, insediamenti civili, zone industriali ed artigianali ha alterato il paesaggio naturale, determinando una crescente impermeabilizzazione del suolo.

Ciò ha influenzato negativamente il ciclo naturale dell'acqua, alterando l'equilibrio fra precipitazione, assorbimento all'interno del suolo (infiltrazione) o delle piante (traspirazione), evaporazione e deflusso superficiale. Si è quindi giunti ad una situazione in cui l'acqua piovana defluisce quasi interamente, mentre i processi di evaporazione, traspirazione ed infiltrazione vengono fortemente limitati.

L'approccio tradizionale al drenaggio urbano ha risposto a questo quadro generale raccogliendo tutti i deflussi meteorici dalle superfici impermeabilizzate, immettendoli all'interno della rete fognaria, trattandoli ed infine scaricandoli all'interno di un corpo idrico recettore. Questa metodologia ha determinato l'insorgenza di numerosi effetti negativi, quali possibile sovraccarico della rete fognaria, alterazione del regime ed inquinamento del corpo idrico recettore, ridotta alimentazione della falda acquifera, deterioramento del microclima, frammentazione degli habitat della fauna selvatica ed elevato costo di smaltimento delle acque meteoriche. Queste rappresentano problematiche che vanno a minare la salvaguardia sia dell'ambiente che dell'uomo e sono ulteriormente accentuate dagli effetti dei cambiamenti climatici in atto. Di conseguenza, si è messa in luce l'esigenza di adottare un approccio più efficiente ed innovativo nel gestire le acque meteoriche che cadono sulle aree urbane. In questo ambito si inserisce quindi il concetto di "drenaggio urbano sostenibile", la cui filosofia consiste nel massimizzare i benefici e minimizzare gli impatti negativi del deflusso superficiale dell'acqua piovana all'interno delle zone urbanizzate. Si tratta di una metodologia di gestione delle acque meteoriche finalizzata a ristabilire il ciclo naturale dell'acqua, andando a raccogliere, infiltrare, rallentare, immagazzinare, convogliare e trattare il deflusso superficiale. L'approccio di drenaggio urbano sostenibile persegue l'obiettivo di raggiungere quattro categorie generali di benefici: supportare la gestione del rischio di inondazione e ristabilire il ciclo naturale dell'acqua (quantità dell'acqua), gestire la qualità del deflusso superficiale per prevenire fenomeni di inquinamento (qualità dell'acqua), realizzare e sostenere luoghi migliori in cui fauna e flora possano svilupparsi (biodiversità) e migliorare l'ambiente in cui le persone vivono (amenità).

Allo scopo di fissare al meglio la filosofia della gestione sostenibile delle acque meteoriche, si cita a titolo di esempio The Circle, un premiato spazio pubblico multifunzionale collocato a Normal, in Illinois (vedasi Figura 1.1). Esso è ubicato in corrispondenza di una rotatoria e fornisce uno spazio verde che ospita molti eventi della comunità, quali festival d'arte, mercati contadini e festival di blues. The Circle raccoglie l'acqua piovana che defluisce sulla superficie delle strade circostanti e la sottopone a infiltrazione, immagazzinamento e trattamento, allo

1.Introduzione

scopo di alleviare il rischio di allagamento a valle. In un secondo momento l'acqua viene fatta circolare l'interno di una fontana pubblica, che va a rinfrescare l'area.



Figura 1.1 The Circle, Normal- Illinois

Lo spazio realizzato va anche a ridurre l'intensità del rumore emesso dai veicoli che transitano nelle vicinanze.

Dal punto di vista dell'applicazione di questo efficiente ed innovativo approccio, si è potuta riscontrare la presenza di numerosi interventi di drenaggio urbano sostenibile a livello internazionale, in particolare negli stati del nord Europa. Per quanto concerne invece l'Italia, risulta ancora ampiamente preponderante l'approccio tradizionale di gestione delle acque meteoriche: questa situazione è soprattutto dovuta alla struttura storico-urbanistica delle città italiane, più complessa rispetto a quella delle città nord-europee. Risulta quindi fondamentale avviare un cambio culturale nella gestione delle acque meteoriche, promuovendone il seguente cambiamento di visione: da problema che deve essere "allontanato" il più in fretta possibile a preziosa risorsa da cui trarre vantaggi sia per l'ambiente che per l'uomo.

Focalizzandosi in particolare sulla città di Torino, all'interno della quale si collocano gli interventi proposti nell'ambito del presente elaborato di tesi, è stato riscontrato un numero esiguo di applicazioni delle tecniche di drenaggio urbano sostenibile. A titolo di esempio si può citare il Condominio 25 Verde, un "edificio-foresta" progettato dall'architetto Luciano Pia e collocato a pochi passi dal Parco del Valentino e dal Centro Storico Fiat. In questo ambito, si è andato a ricreare un sistema verde caratterizzato dalla presenza di diversi elementi: dalle fioriere al giardino, dal verde pensile in copertura (tetto verde) al verde verticale in facciata (parete verde). L'ampia presenza del verde, oltre a giocare un ruolo fondamentale nella percezione dell'edificio, aiuta a migliorare il microclima interno, andando a svolgere il ruolo di isolante termico. Inoltre la presenza di sistemi di raccolta delle acque meteoriche consente il mantenimento del verde senza la necessità di appoggiarsi alla rete idrica cittadina.

Il presente elaborato di tesi si pone l'obiettivo di completare, attraverso un'analisi di fattibilità, l'idea preliminare volta ad applicare l'approccio sostenibile di gestione delle acque piovane nell'ambito del Politecnico di Torino, condotta dalla studentessa Francesca Rizzo. Si tratta del contesto migliore per poter promuovere il passaggio a questa efficiente ed innovativa metodologia, dal momento che esso si è posto l'obiettivo di accrescere la consapevolezza del proprio ruolo sociale attraverso l'educazione alla cultura della sostenibilità. Allineandosi alle migliori università internazionali, il Politecnico di Torino ha infatti avviato un percorso di

accreditamento come campus sostenibile, favorendo anche l'attuazione di azioni sinergiche con gli enti locali nell'ambito di una visione sostenibile del territorio. In questo frangente, l'università ha elaborato un piano strategico denominato "Orizzonte 2020", proiettato verso le priorità del programma quadro europeo per la ricerca e l'innovazione "Horizon 2020", allo scopo di accreditare il Politecnico di Torino tra le migliori università tecniche europee.

Nell'ambito di questo percorso di accreditamento si colloca l'azione del "Green Team", un gruppo di professori, studenti, personale amministrativo e ricercatori che incoraggia l'università ad affrontare sfide ambientali e sociali. Questa squadra ha, infatti, il compito di guidare il Politecnico di Torino verso la missione di sostenibilità universitaria, come affermato nel piano strategico "Orizzonte 2020" e va, quindi, a perseguire un'integrazione globale della sostenibilità nella ricerca universitaria, nell'insegnamento, nell'informazione e nelle attività, preparando gli studenti, la facoltà ed il personale ad essere leader in questo campo.

Dal momento che quanto proposto all'interno del presente elaborato di tesi rappresenta un primo approccio alla tematica di drenaggio urbano sostenibile nell'ambito del Politecnico di Torino, si è scelto di agire sulle aree verdi già presenti, rendendole soggetti attivi nella gestione delle acque meteoriche. Si è quindi promosso un cambiamento di concezione delle zone verdi, andando oltre la loro visione puramente estetica ed attribuendogli un ruolo fondamentale nell'ambito del drenaggio urbano.

A livello pratico, dopo la prima fase di analisi preliminare svolta dalla studentessa Francesca Rizzo è stato necessario adattare le idee iniziali, svolte sulle aree verdi selezionate, con le indicazioni fornite dal manuale SuDS (Sustainable Drainage Systems) (**Capitolo 5**). Successivamente sono state individuate diverse configurazioni al fine di massimizzarne gli effetti sulle acque meteoriche e per assolvere più funzionalità (**Capitolo 6**). Determinate le soluzioni si è reso necessario comprendere le dimensioni economiche della realizzazione di questi sistemi mediante il reperimento di informazioni su materiali da aziende reali e prezzi regionali (**Capitolo 7**). In seguito l'attenzione si è concentrata sull'effettiva valutazione dei benefici, in termini di laminazione delle portate, dati dalla realizzazione di questi sistemi (**Capitolo 8**). Dopo aver definito i volumi d'acqua trattati da ogni area verde, si è reso necessario dimensionare i relativi sistemi idraulici per la connessione alla rete bianca (**Capitolo 9**). Infine è stata individuata la vegetazione adatta a questo particolare tipologia di area verde ed al clima di Torino (**Capitolo 10**).

1.Introduzione

2 DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE

Il "drenaggio urbano sostenibile", identificato con l'acronimo inglese SuDS (Sustainable Drainage Systems), rappresenta un approccio di gestione delle acque meteoriche che ricadono sulle aree urbane: esso si pone l'obiettivo di cogliere tutte le opportunità e i benefici derivanti dalle acque di pioggia, sia nel presente che nel futuro. Si tratta quindi di una tipologia di approccio secondo cui l'acqua piovana viene considerata non più come un problema da "allontanare" il più in fretta possibile, bensì come una preziosa risorsa da cui trarre vantaggi sia per l'ambiente che per l'uomo.

2.1 GESTIONE TRADIZIONALE DELLE ACQUE METEORICHE

L'intenso sfruttamento del territorio dovuto alla costruzione di infrastrutture stradali, insediamenti urbani e zone industriali e artigianali ha alterato il paesaggio naturale, determinando una crescente impermeabilizzazione del suolo ed influenzando negativamente il ciclo naturale dell'acqua.

In seguito al verificarsi di un evento di precipitazione, l'acqua che cade su una superficie naturale può essere assorbita all'interno del suolo (infiltrazione) o dalle piante (traspirazione), evaporare ed eventualmente giungere all'interno di un ruscello o di un fiume. I processi appena descritti delineano il cosiddetto "ciclo idrologico" e possono essere alterati nel caso in cui il suolo naturale sia modificato dallo sviluppo urbano. Infatti nelle aree soggette all'urbanizzazione vi è una minor presenza di suolo permeabile, disponibile all'infiltrazione, e di piante, disponibili all'evapotraspirazione delle acque meteoriche. La maggior parte di queste ultime va quindi a defluire superficialmente e viene raccolta all'interno della rete fognaria.

In Figura 2.1 viene messo a confronto il ciclo dell'acqua di pioggia nel caso di superfici non impermeabilizzate (vedasi Figura 2.1 (a)) rispetto a quello di superfici impermeabilizzate (vedasi Figura 2.1 (b)): si può quindi constatare che l'urbanizzazione del territorio determina una netta alterazione del ciclo idrologico. Infatti nel caso di superfici naturali, a copertura vegetale, prevalgono i processi di evapotraspirazione ed infiltrazione nel suolo, con eventuale ricarica della falda acquifera. Il deflusso superficiale invece risulta solitamente compreso fra lo 0% e il 20% del totale della precipitazione. Viceversa nel caso di superfici impermeabilizzate, come ad esempio tetti, strade o parcheggi, prevale il processo di deflusso superficiale, che va ad interessare oltre il 90% del totale della precipitazione.

L'approccio tradizionale al drenaggio urbano consiste nel raccogliere tutti i deflussi meteorici dalle superfici impermeabilizzate, indipendentemente dal loro inquinamento. Questi ultimi vengono immessi all'interno della rete fognaria, un complesso di collettori generalmente sotterranei, trattati ed infine scaricati all'interno di un corpo idrico ricettore. Il sistema delineato è concepito allo scopo di salvaguardare la salute delle persone e prevenire fenomeni locali di allagamento, allontanando le precipitazioni dal punto di caduta il più velocemente possibile.

2. Drenaggio urbano sostenibile

In particolare la rete fognaria si distingue in due diverse tipologie:

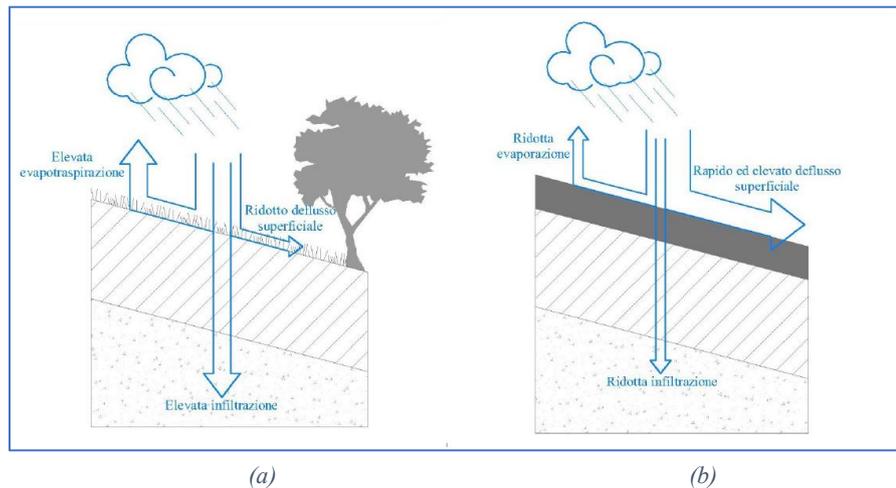


Figura 2.1 Ciclo dell'acqua di pioggia (a) Superficie non impermeabilizzata, (b) Superficie impermeabilizzata

- a sistema unitario (o misto), se le acque meteoriche vengono convogliate insieme alle acque reflue civili e industriali (eventualmente pretrattate) all'interno dello stesso collettore
- a sistema separato, se le acque meteoriche vengono convogliate in collettori distinti da quelli destinati alle acque reflue

Tra le due tipologie, la più diffusa sia a livello mondiale che in Italia è quella a sistema unitario. Indipendentemente dal sistema adottato, l'approccio tradizionale presenta numerosi effetti negativi, di seguito illustrati.

2.1.1 Conseguenze sulle aree urbane

Il drenaggio delle acque meteoriche è stato spesso sottovalutato o affrontato senza la necessaria pianificazione con il risultato che, a fronte della crescente urbanizzazione, sono emerse numerose problematiche:

- sovraccarico della rete fognaria in caso di piogge intense
- alterazione del regime del corpo idrico recettore, con possibili fenomeni di esondazione ed erosione
- ridotta alimentazione della falda acquifera
- inquinamento del corpo idrico recettore
- deterioramento del microclima
- frammentazione degli habitat della fauna selvatica
- elevato costo di smaltimento delle acque meteoriche

Gli effetti negativi appena indicati sono quindi legati al metodo tradizionale di gestione delle acque meteoriche e alla crescente impermeabilizzazione del suolo: all'interno del quadro delineato, è necessario tenere in considerazione anche il ruolo giocato dal cambiamento climatico, approfondito al paragrafo 2.1.2.

Sovraccarico della rete fognaria in caso di piogge intense L'elevato deflusso superficiale causato dalla crescente impermeabilizzazione del suolo viene in massima parte convogliato all'interno della rete fognaria che, in caso di precipitazioni intense, può ricevere portate superiori rispetto a quelle che è in grado di smaltire in sicurezza. Di conseguenza vanno a verificarsi dei rigurgiti e degli allagamenti nelle aree urbane (vedasi Figura 2.2 (a)).

Alterazione del regime del corpo idrico recettore L'immissione rilevante e repentina di acque meteoriche, convogliate tramite la rete fognaria, può comportare cambiamenti all'andamento naturale delle portate dei corpi idrici recettori. Possono quindi verificarsi fenomeni sia di esondazione (vedasi Figura 2.2 (b)) che di erosione, che comportano delle modifiche alla forma delle sponde del corpo idrico stesso e hanno ripercussioni negative su piante e animali che si trovano all'interno o nei pressi dell'acqua.

Ridotta alimentazione della falda acquifera Nel caso in cui vengano convogliate elevate quantità d'acqua meteorica all'interno della rete fognaria, l'acqua che riesce ad infiltrarsi all'interno del suolo risulta notevolmente ridotta. Questo comporta quindi un abbassamento rilevante del livello della falda acquifera.

Inquinamento del corpo idrico recettore Oltre agli effetti negativi appena delineati, si accompagnano problemi legati agli impatti delle reti fognarie unitarie e separate sulla qualità dei corpi idrici recettori, dovuti al trascinarsi delle sostanze inquinanti che si depositano sulle aree drenate nei periodi di tempo secco all'interno delle acque di deflusso superficiale. Quando il sistema fognario è unitario, gli impianti di trattamento non sono in grado di depurare il significativo carico che ricevono in caso di precipitazioni intense. Le acque in eccesso vengono solitamente scaricate nei corpi idrici recettori tramite i cosiddetti "scaricatori di piena", direttamente oppure dopo essere state sottoposte ad un trattamento meccanico. Vengono quindi immesse all'interno dei corpi idrici delle sostanze inquinanti, che possono determinare problemi igienico-sanitari.

Anche nel caso del sistema fognario separato possono essere immesse sostanze inquinanti all'interno dei corpi recettori, se non vi sono idonei impianti di trattamento delle acque meteoriche.

Deterioramento del microclima Riprendendo quanto detto in precedenza, la filosofia dell'approccio tradizionale di gestione delle acque meteoriche consiste nell'allontanarle il più velocemente possibile dal punto di caduta. Questo significa che solo una minima parte di esse può evaporare, determinando quindi una diminuzione dell'umidità dell'aria ed un aumento della temperatura nell'ambiente circostante.



(a) Sovraccarico della rete fognaria in caso di piogge intense



(b) Alterazione del regime del corpo idrico recettore

Figura 2.2 Effetti negativi della gestione tradizionale delle acque meteoriche: esempi (Fonte: "The SuDS Manual", Woods Ballard et al.)

Frammentazione degli habitat della fauna selvatica Oltre a contribuire ad aumentare il processo di deflusso superficiale delle acque meteoriche, la crescente urbanizzazione ha anche ridotto la fauna selvatica presente nelle aree urbane. Gli spazi verdi ancora presenti sono spesso isolati gli uni dagli altri: questo determina una maggior frammentazione dei loro habitat, impedendo ad alcune specie di muoversi attraverso di essi. Inoltre la situazione appena delineata porta alcune specie ad essere separate dal proprio spazio verde, a danno degli ecosistemi locali e della popolazione umana.

Elevato costo di smaltimento delle acque meteoriche Lo smaltimento delle acque meteoriche attraverso l'approccio tradizionale richiede la presenza di reti fognarie di dimensioni rilevanti ed eventualmente di impianti per la ritenzione ed il trattamento delle acque meteoriche: sono quindi necessari elevati costi d'investimento e di gestione.

2.1.2 Effetti del cambiamento climatico

Nell'ambito del quadro appena delineato, risulta necessario prendere in considerazione gli effetti legati al cambiamento climatico che si possono verificare all'interno delle aree urbane.

È ormai evidente che il clima sta subendo un cambiamento a livello globale a causa dell'attività umana e che esso continuerà a mutare nel prossimo secolo, indipendentemente dai tagli drastici che potranno essere effettuati sulle emissioni di gas serra in atmosfera. Le proiezioni climatiche suggeriscono che gli inverni diventeranno più miti e piovosi e le estati più calde. Alcuni eventi estremi, come ondate di caldo, siccità e inondazioni, diventeranno più frequenti ma vi è ancora molta incertezza nel fare previsioni in questo ambito, a causa della naturale variabilità del clima e dei limiti che emergono nel modellarlo.

Ci si attende che inverni più piovosi ed eventi di precipitazione più frequenti e di maggiore intensità (sia in estate che in inverno) andranno ad aumentare il deflusso superficiale nelle aree urbanizzate. Questo andrà a propria volta a peggiorare ulteriormente gli effetti negativi causati dalla crescente impermeabilizzazione del suolo, ovvero il sovraccarico della rete fognaria e l'inquinamento e l'alterazione del regime del corpo idrico recettore, con possibili fenomeni di esondazione ed erosione. Si potranno quindi verificare impatti negativi sia per l'ambiente naturale sia per la popolazione umana ed aumentare la capacità della rete fognaria per affrontare questi rischi crescenti non sarà più una soluzione attuabile.

Le proiezioni sui cambiamenti climatici suggeriscono anche che saranno più frequenti i periodi di siccità. Questa problematica farà aumentare le pressioni sulle scorte d'acqua disponibili e farà emergere l'esigenza di trovare metodi più efficienti ed innovativi nel catturare e nell'utilizzare le acque meteoriche che cadono sulle aree urbane.

2.1.3 Gestione sostenibile delle acque meteoriche

L'approccio tradizionale di gestione delle acque meteoriche ha dimostrato seri limiti nell'affrontare sia la crescente urbanizzazione del territorio, sia i cambiamenti climatici che si stanno progressivamente verificando. Di conseguenza, è emersa l'evidente necessità di adottare un approccio più efficiente ed innovativo nel catturare e nell'utilizzare le acque meteoriche che cadono sulle aree urbane. In questo ambito si inserisce quindi il concetto di drenaggio urbano sostenibile, la cui filosofia consiste nel massimizzare i benefici e minimizzare gli impatti negativi del deflusso superficiale dell'acqua piovana all'interno delle aree urbanizzate. Le acque meteoriche rappresentano infatti una preziosa risorsa e questo può essere riflesso nel modo in cui sono gestite ed utilizzate nell'ambiente urbano.

L'approccio sostenibile si pone l'obiettivo di riequilibrare il bilancio idrologico, consentendo all'acqua piovana di infiltrarsi all'interno del suolo, promuovendo il processo di evapotraspirazione e gestendo il deflusso superficiale per imitare i tassi e i volumi naturali. Inoltre questa tipologia di approccio mira a ridurre il carico inquinante dei corpi idrici, passando da uno stadio di post-urbanizzazione ad uno stadio di pre-urbanizzazione. È quindi necessario agire sul deflusso superficiale delle acque meteoriche che cadono all'interno di un'area urbana, perseguendo l'obiettivo di gestire i rischi esaminati al paragrafo 2.1.12.1. Questo si può realizzare raccogliendo, infiltrando, rallentando, immagazzinando, convogliando e trattando il deflusso superficiale delle acque meteoriche in sito e, dove possibile, in superficie più che sottoterra. In questo modo infatti l'acqua diventa una parte visibile e tangibile dell'ambiente urbano e chiunque ne può godere. Un ulteriore aspetto positivo consiste nel fatto che gli interventi di drenaggio urbano sostenibile sono economicamente vantaggiosi e sfruttano meno risorse naturali e, nel corso della loro esistenza, hanno una minor impronta di carbonio rispetto all'approccio tradizionale.

2.1.4 Interventi

L'approccio sostenibile comprende un insieme di possibili interventi dalla cui combinazione possono emergere, a seconda delle esigenze e delle condizioni locali, scenari particolari di gestione delle acque meteoriche. Infatti il drenaggio urbano sostenibile non deve essere considerato come un componente individuale ma come un sistema interconnesso progettato per gestire, trattare ed utilizzare al meglio l'acqua superficiale, dal punto in cui quest'ultima cade come precipitazione al punto in cui viene rilasciata nell'ambiente, oltre i confini del sito.

A seconda della loro funzione, gli interventi di drenaggio urbano sostenibile possono essere suddivisi in:

- **sistemi di raccolta dell'acqua di pioggia**, che catturano l'acqua piovana e ne rendono possibile l'utilizzo all'interno degli edifici o dell'ambiente circostante
- **sistemi di superfici permeabili**, strutture che consentono all'acqua di penetrare, riducendo pertanto la quantità di deflusso superficiale che viene convogliata al sistema di drenaggio (ne sono un esempio i tetti verdi e le pavimentazioni permeabili). Molti di questi sistemi includono anche interventi di immagazzinamento sotto la superficie e trattamento
- **sistemi di infiltrazione**, che agevolano l'entrata dell'acqua all'interno del suolo. Essi spesso includono aree di immagazzinamento temporaneo che ospitano i volumi di deflusso superficiale, prima di rilasciarli lentamente nel suolo
- **sistemi di convogliamento**, che incanalano i flussi verso sistemi di immagazzinamento posti a valle. Dove possibile, questi sistemi effettuano anche processi di controllo di flussi e volumi e processi di trattamento (ne sono un esempio i fossi vegetati)
- **sistemi di immagazzinamento**, che controllano i flussi e, dove possibile, i volumi del deflusso superficiale rilasciato da un sito, andando ad immagazzinarlo e a rilasciarlo lentamente (attenuazione)

2. Drenaggio urbano sostenibile

- **sistemi di trattamento**, che rimuovono o agevolano la degradazione dei contaminanti presenti all'interno del deflusso superficiale

È possibile individuare un'ampia varietà di interventi che possono essere realizzati sia da soli che, preferibilmente, in combinazione fra loro, allo scopo di introdurre il drenaggio urbano sostenibile in qualsiasi area urbana, anche di piccole dimensioni. Bisogna infatti tenere in considerazione che gli spazi all'interno delle zone urbane sono spesso confinati e ristretti, soggetti a vincoli di pianificazione e progettazione solitamente più restrittivi rispetto alle altre aree.

Anche se inizialmente può apparire una sfida, l'introduzione di interventi di drenaggio sostenibile è compatibile con i diversi spazi urbani, senza impatti negativi sulla loro funzione principale.



Figura 2.3 Interventi di drenaggio urbano sostenibile: esempi (a) Tetto verde - Bishop Square, Londra (Fonte: Foster and Partners), (b) Fascia filtrante - Hopwood (Fonte: Illman Young)

Di seguito vengono quindi individuati i diversi interventi che possono essere realizzati nell'ambito della gestione sostenibile delle acque meteoriche.

- **Sistemi di raccolta della pioggia** In questo ambito l'acqua piovana viene raccolta dal tetto di un edificio o da altre superfici pavimentate e convogliata all'interno di un serbatoio, che può essere collocato sia sopra che sotto il livello del suolo. L'acqua viene immagazzinata, trattata (dove richiesto) ed in seguito utilizzata come scorta per edifici privati, commerciali, industriali e pubblici. A seconda dell'utilizzo previsto, il sistema può includere componenti di trattamento delle acque.
- **Tetti verdi** Sono interventi che richiedono l'inserimento di uno strato di suolo vegetato sul tetto di un edificio, allo scopo di realizzare una superficie "viva": l'acqua di pioggia viene immagazzinata all'interno del suddetto strato ed assorbita dalla vegetazione. Ne viene riportato un esempio in Figura 2.3 (a).
Un'alternativa a questo intervento sono i tetti blu, che immagazzinano l'acqua a livello della copertura stessa, senza l'impiego della vegetazione.
- **Sistemi infiltranti** Sono interventi che raccolgono ed immagazzinano il deflusso superficiale, consentendogli di infiltrarsi all'interno del suolo. In questo ambito è possibile proteggere la falda acquifera dal rischio di inquinamento adottando una configurazione che presenti uno strato di vegetazione che vada a ricoprire uno strato di terreno insaturo.

2. Drenaggio urbano sostenibile

- **Fasce filtranti** Sono interventi che consentono al deflusso superficiale che giunge da un'area impermeabile di fluire attraverso una zona inerbita o comunque densamente vegetata, allo scopo di promuovere i processi di sedimentazione e filtrazione. Ne viene riportato un esempio in Figura 2.3 (b).
- **Fasce drenanti** Sono interventi che vanno ad immagazzinare temporaneamente il deflusso superficiale sotto la superficie, in un canale poco profondo di sassi e ghiaia. Si vanno quindi a promuovere sul flusso i processi di attenuazione, convogliamento e trattamento (attraverso la filtrazione).
- **Fossi vegetati** In questo ambito si richiede la presenza di un canale vegetato, utilizzato per convogliare e trattare il deflusso superficiale attraverso la filtrazione. Questa tipologia di intervento si distingue in "umido", se il progetto prevede che l'acqua resti permanentemente alla base del canale, e "secco", se il progetto prevede che l'acqua sia presente nel canale soltanto dopo un evento di precipitazione. Ne viene riportato un esempio in Figura 2.4 (a).
- **Pavimentazioni permeabili** In questo ambito si consente al deflusso superficiale di penetrare all'interno della pavimentazione. A seconda della tipologia di quest'ultima, l'acqua può filtrare all'interno degli spazi tra i blocchi solidi che la compongono oppure attraverso il blocco stesso. Il flusso può essere immagazzinato sotto la pavimentazione e può essergli consentito di infiltrarsi all'interno del suolo. Ne viene riportato un esempio in Figura 2.4 (b).



(a)



(b)

Figura 2.4 Interventi di drenaggio urbano sostenibile: esempi (a) Fossa vegetato - Rednock School, Dursley (Fonte: Illman Young), (b) Pavimentazione permeabile (Fonte: Interpave)

- **Aree di bioritenzione** In questo ambito si richiede l'inserimento di una depressione poco profonda all'interno del paesaggio, che permetta al deflusso di stagnare temporaneamente sulla superficie, per poi filtrare attraverso la vegetazione ed i suoli sottostanti. In questa semplice configurazione viene spesso definita rain garden (vedasi esempio in Figura 2.5 (a)). Il progetto può prevedere l'aggiunta di strati di ghiaia e sabbia e l'aumento della vegetazione allo scopo di migliorare il sistema di trattamento. Ne viene riportato un esempio in Figura 2.5 (b).
- **Alberi** Gli alberi possono essere inseriti in uno schema in cui siano già presenti sistemi d'infiltrazione allo scopo di migliorarne la performance, poiché la crescita delle radici ed i processi di decomposizione aumentano la capacità d'infiltrazione del suolo. In alternativa possono essere inseriti come elementi indipendenti all'interno di fossi scavati e riempiti di terreno, fioriere o suoli strutturali, raccogliendo, immagazzinando e trattando (attraverso filtrazione e fitodepurazione) il deflusso superficiale.

2. Drenaggio urbano sostenibile



Figura 2.5 Interventi di drenaggio urbano sostenibile: esempi (a) Rain Garden - Measham Leisure Centre, Measham (Fonte: Robert Bray Associates), (b) Area di bioritenzione - Portland (Fonte: Illman Young)

- **Serbatoi di attenuazione** In questo ambito è possibile realizzare ampi spazi vuoti all'interno del suolo allo scopo di immagazzinare temporaneamente il deflusso superficiale, sottoponendolo in seguito a infiltrazione, rilascio controllato e utilizzo. Questa struttura di immagazzinamento è spesso costruita utilizzando sistemi geo-cellulari o altri sistemi modulari di immagazzinamento, serbatoi di cemento o tubi sovradimensionati.
- **Bacini di ritenzione/Vasche volano** Sono interventi che richiedono che, durante un evento di precipitazione, il deflusso superficiale venga convogliato verso una depressione collocata nell'ambiente, in cui sia inserito uno sbocco che restringa il flusso: in questo modo il bacino si riempie ed effettua un processo di attenuazione. In genere i bacini sono asciutti, eccetto durante o immediatamente in seguito ad un evento di precipitazione. Se il bacino è vegetato, il flusso viene raccolto e filtrato attraverso la base del bacino: viene quindi effettuato un processo di trattamento. Ne viene riportato un esempio in Figura 2.6 (a).



Figura 2.6 Interventi di drenaggio urbano sostenibile: esempi (a) Bacino di ritenzione, Dunfermline (Fonte: Abertay University), (b) Stagno, Matchborough First School, Matchborough (Fonte: Robert Bray Associates)

- **Stagni e aree di fitodepurazione** Sono interventi in cui è presente uno stagno d'acqua permanente che può essere utilizzato per effettuare sia attenuazione che trattamento del deflusso superficiale e dove le fuoriuscite sono controllate. Questi interventi possono supportare vegetazione sia emergente che sommersa lungo la loro battigia e nelle zone poco profonde e paludose, che migliorano il processo di trattamento e la biodiversità dell'area. Ne viene riportato un esempio in Figura 2.6 (b).

2.1.5 Benefici per l'ambiente e per l'uomo

L'approccio di drenaggio urbano sostenibile persegue l'obiettivo di raggiungere quattro categorie di benefici:

- supportare la gestione del rischio di inondazione e mantenere e proteggere il ciclo naturale dell'acqua (quantità dell'acqua)
- gestire la qualità del deflusso superficiale per prevenire fenomeni di inquinamento (qualità dell'acqua)
- realizzare e sostenere luoghi migliori in cui fauna e _ora possano svilupparsi (biodiversità)
- realizzare e sostenere luoghi migliori in cui le persone possano vivere (amenità)

Si può quindi sinteticamente affermare che quantità dell'acqua, qualità dell'acqua, biodiversità e amenità possono essere considerati i quattro "pilastri" della progettazione di drenaggio urbano sostenibile.

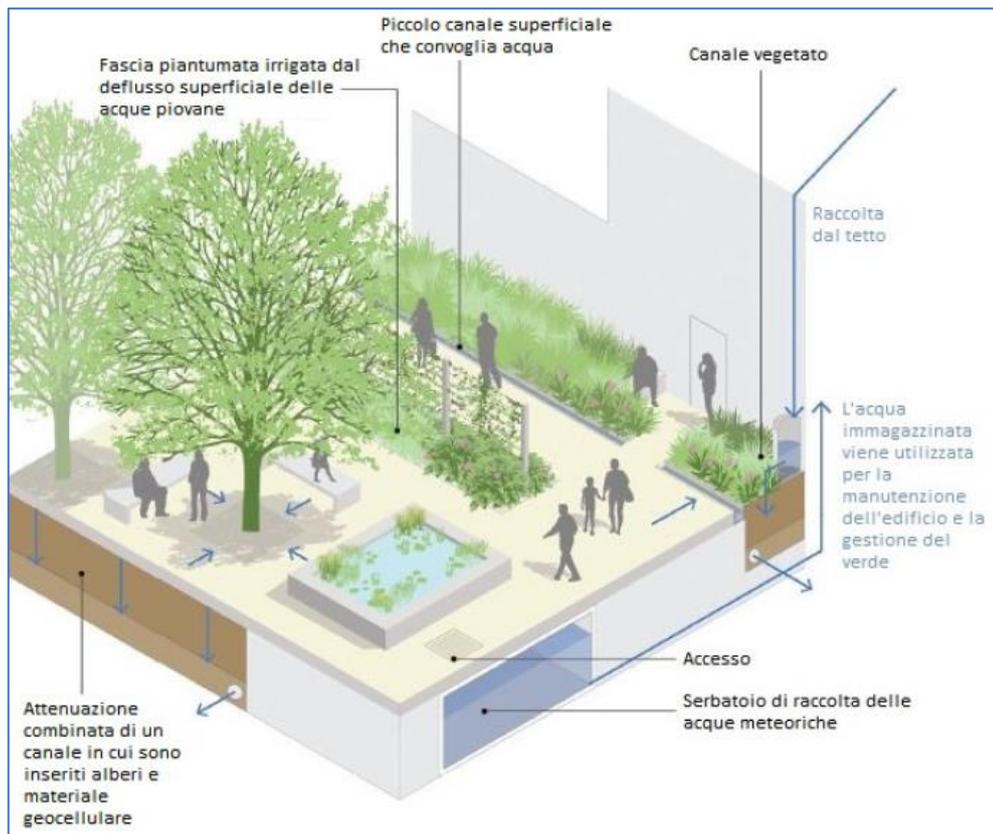


Figura 2.7 Esempio di spazio comune in cui il deflusso superficiale è utilizzato come una risorsa (Fonte: "The SuDS Manual", Woods Ballard et al.

Quantità dell'acqua L'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha l'obiettivo di gestire la quantità d'acqua piovana che giunge al suolo, riducendo così la probabilità che si verifichino allagamenti all'interno dei territori urbanizzati. Questa tipologia di gestione fornisce l'opportunità unica di sfruttare l'acqua piovana come una risorsa all'interno delle aree urbane. Si tratta di un punto di vista diametralmente opposto rispetto a quello tradizionale, secondo cui le acque meteoriche rappresentavano un disturbo e un rifiuto da rimuovere il più in fretta possibile. Cogliendo l'opportunità di catturare ed

2. Drenaggio urbano sostenibile

immagazzinare il deflusso superficiale (in particolare dai tetti), una scorta d'acqua non potabile può essere utilizzata sia all'interno di un edificio, ad esempio per il risciacquo dei WC, sia all'esterno, ad esempio per l'irrigazione delle aree verdi (vedasi esempio in Figura 2.7).

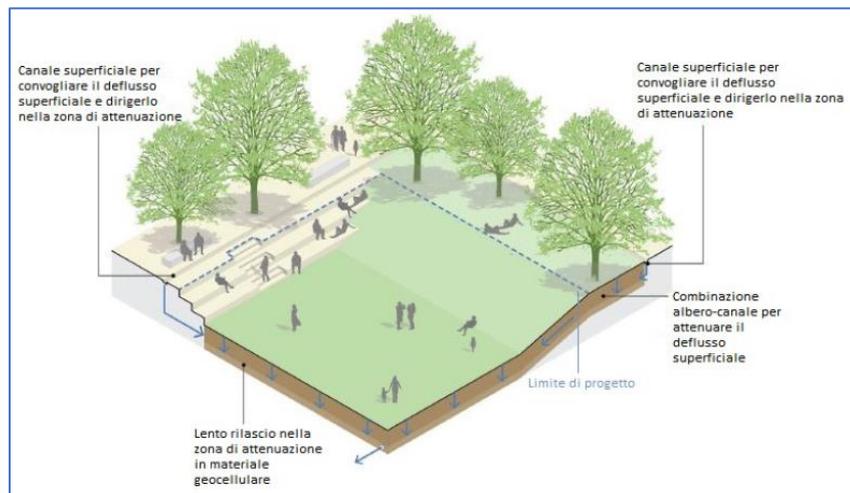


Figura 2.8 Esempio di spazio civico multi-funzionale (Fonte: "The SuDS Manual", Woods Ballard et al.)

L'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha, inoltre, l'obiettivo di supportare la gestione del rischio di esondazione del corpo idrico recettore, mantenendone il flusso di base e riducendo il rischio di erosione delle sponde e del letto. In questo modo ne viene preservata la morfologia e l'ecologia. Risulta quindi necessario innanzitutto gestire l'acqua piovana vicino al punto in cui cade ed effettuare poi un controllo sulla portata di deflusso superficiale rilasciata dal sito, ponendo particolarmente attenzione al picco di quest'ultima. Dal momento che le opportunità per l'infiltrazione all'interno delle aree urbane sono spesso limitate, appare indispensabile effettuare degli interventi che permettano di controllare i volumi d'acqua piovana per eventi frequenti. Ne sono un esempio i sistemi di raccolta delle acque meteoriche, le zone di immagazzinamento realizzate in materiale ghiaioso (come le pavimentazioni permeabili) e gli interventi che favoriscono l'aumento del livello di umidità del suolo e, di conseguenza, il processo di evapotraspirazione (come i tetti verdi).

Inoltre l'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha l'obiettivo di drenare efficacemente il sito, gestendo il rischio di sovraccarico del sistema fognario e conseguente allagamento dell'area. Il flusso eccedente (ovvero in eccesso rispetto al limite per cui il sistema è stato progettato) può essere gestito in sicurezza in uno spazio sopra il suolo, in modo tale che i rischi per le persone e le loro proprietà siano minimizzati. Nelle aree di ampiezza limitata è possibile dirigere il flusso all'esterno, ad esempio verso una strada. Infatti elementi quali zone di immagazzinamento e canali di convogliamento delle acque meteoriche in caso di eventi estremi possono essere inclusi all'interno di progetti di strade o parcheggi, sfruttando la presenza di cordoli rialzati o dossi artificiali come componenti di contenimento. Inoltre spazi civici, come parchi e piazze, possono essere progettati allo scopo di immagazzinare il flusso in eccesso (vedasi esempio in Figura 2.8).

Qualità dell'acqua L'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha l'obiettivo di supportare la gestione della qualità dell'acqua del corpo idrico recettore e della falda acquifera. In particolare il deflusso superficiale proveniente dai tetti degli edifici e dalle zone pedonali all'interno delle aree urbane richiede trattamenti limitati. Al contrario, le superfici interessate dal passaggio dei veicoli necessitano l'impiego di sistemi di trattamento più efficienti, per minimizzare i rischi per l'ambiente. Il processo di trattamento è di norma realizzabile sfruttando suoli o sistemi di filtrazione ghiaiosi, come ad esempio pavimentazioni permeabili e aree di bioritenzione, o attraverso l'impiego di aree di convogliamento ed immagazzinamento piantumate.

2. Drenaggio urbano sostenibile

Biodiversità L'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha l'obiettivo di supportare e proteggere gli habitat e le specie naturali autoctone. Infatti il deflusso superficiale costituisce una risorsa non soltanto per l'uomo ma anche per l'ambiente: un regolare flusso d'acqua (se adeguatamente trattato) può aiutare a sostenere gli habitat che, in sua assenza, andrebbero a perdersi all'interno dell'ambiente urbano. Inoltre l'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha l'obiettivo di contribuire sia all'incremento della biodiversità locale, sia alla connettività tra i diversi habitat.

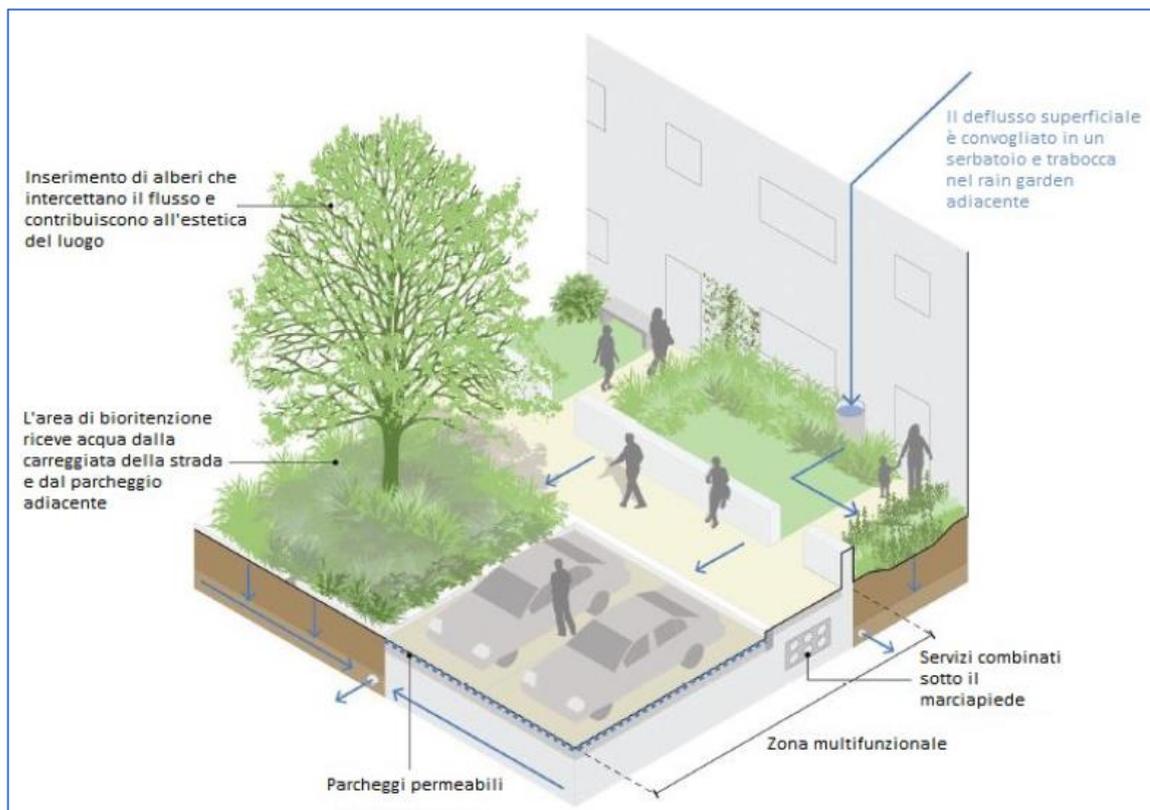


Figura 2.9 Esempio di sito urbano multi-funzionale (Fonte: "The SuDS Manual", Woods Ballard et al.)

Amenità L'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha l'obiettivo di massimizzare la multifunzionalità del sito, andando a soddisfare esigenze anche contrastanti fra loro. Gli interventi all'interno delle aree urbanizzate devono essere considerati parallelamente alla necessità di infrastrutture verdi, al raggiungimento degli obiettivi di biodiversità e alla necessità di uno spazio ameno che possa supportare lo stile di vita delle persone. In particolare rain garden e aree di bioritenzione sono un eccellente esempio di interventi che possono essere integrati in un ampio range di componenti stradali, quali parcheggi su strada, marciapiedi, spazi per deposito di biciclette, stazioni di noleggio bici e aree di sosta dei pedoni (vedasi esempio in Figura 2.9). Inoltre gli interventi di drenaggio urbano sostenibile possono sia giocare un ruolo significativo nel migliorare le caratteristiche estetiche di un ambiente urbano, sia fornire sistemi di gestione sicura delle acque meteoriche.

2.1.6 Coinvolgimento della comunità

Gli interventi di drenaggio urbano sostenibile devono essere fortemente focalizzati sulle persone che usufruiranno dello spazio, fornendo loro l'opportunità di interagire reciprocamente e con l'ambiente esterno. Essi possono dare un contributo significativo per supportare il miglioramento delle aree urbane. Vi è sempre stata una forte attrazione tra l'uomo e l'acqua all'interno dell'ambiente urbano, grazie alla bellezza che quest'ultima può aggiungere al paesaggio, al suo effetto rilassante e rinfrescante e al suo possibile utilizzo in ambito ricreativo. La presenza positiva dell'acqua all'interno delle aree urbane può

2. Drenaggio urbano sostenibile

promuovere un forte senso di appartenenza al luogo, creando spazi unici che possono essere fruiti da tutti. Le persone infatti preferiscono sentirsi appartenenti alla comunità locale, soprattutto se hanno l'opportunità di interagire con gli altri, grazie alla presenza di aree ricreative e luoghi di aggregazione. A sua volta questo fattore può portare numerosi benefici secondari, attirando nell'area attività commerciali, investimenti in interventi di riqualificazione, eventi pubblici e visitatori: ne consegue anche la possibilità di ridurre la criminalità.

Gli interventi di drenaggio urbano sostenibile devono quindi essere focalizzati, già dalla fase di progettazione, sulle esigenze e sulle opportunità per la comunità urbana. Gli spazi verdi, ad esempio, giocano un ruolo importante nel migliorare la salute ed il benessere delle persone, a cui possono contribuire grazie ad un miglioramento della qualità dell'aria, fornendo ombra e raffreddamento nell'ambiente urbano, oltre svolgere una parte fondamentale nelle strategie di gestione del rischio di allagamento. Connettere le infrastrutture verdi permette di inserire le zone pedonali e le piste ciclabili all'interno di uno spazio verde tranquillo e adatto alla ricreazione. Questi benefici a loro volta forniscono alle persone l'opportunità di interagire con la natura, diventare più attivi e vivere all'interno di un ambiente maggiormente attraente e stimolante: tutto ciò determina effetti positivi sulla salute e sul benessere.

Nel quadro appena delineato risulta necessario supportare l'apprendimento delle persone sui temi ambientali, al fine di migliorare la loro conoscenza sul metodo di gestione ed utilizzo del deflusso superficiale all'interno del contesto in cui vivono e sui benefici che derivano da un approccio sostenibile. In questo modo si va anche a massimizzare la leggibilità degli interventi di drenaggio urbano sostenibile che sono stati realizzati in sito.

2.1.7 Adattabilità al cambiamento climatico

Oltre ai benefici esposti ai paragrafi precedenti, l'approccio di drenaggio urbano sostenibile va a supportare la resilienza e l'adattabilità dell'area urbana ai futuri cambiamenti climatici. Infatti in un ambiente densamente urbanizzato, gli scenari di cambiamento climatico potranno determinare periodi di scarsità d'acqua, che sarà quindi soggetta a controlli più stringenti e costi maggiori. Grazie all'approccio sostenibile, sarà quindi possibile raccogliere ed immagazzinare il deflusso superficiale, mettendo a disposizione una scorta d'acqua.

Una parte vitale della strategia per rendere le città più resilienti ai futuri cambiamenti climatici e alla crescente urbanizzazione è rappresentata dal processo di retrofit (ammodernamento) che può essere attuato su di esse. Gli interventi di drenaggio sostenibile vanno a prevenire ogni possibile incremento nel rischio di allagamento all'interno delle nuove aree urbane mentre l'ammodernamento (e quindi l'inserimento di interventi di gestione sostenibile) vanno a ridurre il rischio già presente nelle aree urbane preesistenti. L'estensione e la tipologia di interventi che possono essere realizzati sono influenzati dalle specifiche caratteristiche del sito.

Considerando quindi l'applicazione pratica, inserire interventi di drenaggio sostenibile sulle strade urbane come un progetto a se stante potrebbe non apparire sempre economicamente vantaggioso. È spesso più semplice e redditizio inserire interventi di drenaggio urbano sostenibile come parte di altri lavori di miglioramento dell'area, quali ad esempio la costruzione di misure per moderare il traffico e la manutenzione (vedasi esempio in Figura 2.9). Giardini o altre aree verdi sono l'ideale per applicare un processo di retrofit come parte di un generale lavoro di miglioramento.

La stessa considerazione vale anche per gli edifici: appare economicamente vantaggioso inserire interventi di drenaggio urbano sostenibile come parte di un programma più ampio di manutenzione, rinnovamento o ampliamento.

3 CASO STUDIO: POLITECNICO DI TORINO

Dopo aver analizzato la filosofia e le diverse tipologie di intervento che possono essere attuate nell'ambito del drenaggio urbano sostenibile (vedasi Capitolo 2), si è deciso di applicare questo innovativo metodo di gestione delle acque meteoriche all'area del Politecnico di Torino.

Si è scelto di agire sulle aree verdi già presenti, rendendole soggetti attivi nella gestione delle acque meteoriche. È stato quindi promosso un cambiamento di visione delle zone verdi, andando oltre la loro funzione puramente estetica ed attribuendogli un ruolo fondamentale nell'ambito del drenaggio urbano. A livello pratico, si è quindi ipotizzato di convogliare una quota delle acque meteoriche che cadono sull'area dell'università verso una parte delle aree verdi presenti. Promuovendo il processo d'infiltrazione dell'acqua piovana all'interno di queste ultime, si è posto l'obiettivo di ridurre il carico che giunge all'interno della rete fognaria bianca e di effettuare un processo di trattamento.

3.1 ANALISI PRELIMINARE

L'analisi preliminare condotta dalla studentessa Rizzo si è occupata di definire inizialmente le aree adatte alla realizzazione dei sistemi e le zone limitrofe che potessero contribuire con le proprie aree alla portata in ingresso ai sistemi attraverso un'operazione di convogliamento.

Allo scopo di realizzare quanto appena descritto, sono state reperite informazioni inerenti sia all'uso del suolo che alla rete di drenaggio delle acque meteoriche nell'ambito del Politecnico di Torino. Sulla base dei dati acquisiti è stato possibile in secondo luogo selezionare le aree verdi più adatte all'obiettivo prefissato. Qui di seguito si riporta in modo sintetico il lavoro preliminare all'analisi di fattibilità.

3.1.1 Raccolta dei dati

Dopo aver raccolto le informazioni relative all'area su cui si sviluppa il Politecnico di Torino, esaminando in particolare due delle sedi di cui è composto: la Sede Centrale e la Cittadella.

A questo scopo è stato consultato il personale dell'Area Edilizia e Logistica (Edilog) dell'università, che ha fornito il seguente materiale:

- planimetria generale comprensiva di entrambe le sedi;
- rilievo del sistema fognario (di tipo separato) relativo ad entrambe le sedi, sia della rete fognaria nera che di quella bianca.

Facendo riferimento alla planimetria dell'università riportata in Figura 3.1, è possibile individuare la posizione delle due sedi, delimitate da una linea rossa. In particolare la Sede Centrale si estende da Corso

3. Caso studio: Politecnico di Torino

Duca degli Abruzzi a Corso Castelfidardo, mentre la Cittadella si estende da Corso Castelfidardo a Via P. C. Boggio.



Figura 3.1 Planimetria della Sede centrale e della Cittadella del Politecnico di Torino. Si riportano in grigio gli edifici e in verde le aree verdi. Le due sedi sono delimitate da una linea rossa

L'attenzione è stata rivolta all'analisi dell'uso del suolo ed alla ricostruzione della rete di drenaggio delle acque meteoriche all'interno delle due sedi considerate. Le informazioni acquisite dall'Edilog sono state quindi opportunamente integrate effettuando dei sopralluoghi e verificando la corrispondenza tra quanto presente sulle mappe e quanto riscontrato nella realtà.

3.1.1.1 Uso del suolo

Considerando in primo luogo l'uso del suolo, gli accertamenti effettuati sul campo hanno perseguito l'obiettivo di identificare le diverse tipologie di copertura presenti ed analizzarne la permeabilità alle acque meteoriche. In questa fase si è fatto utilizzo della planimetria generale, in base alla quale sono stati individuati i diversi elementi presenti nelle due sedi (quali edifici, parcheggi e zone verdi).

Sono state identificate innanzitutto le aree verdi presenti, analizzandone le caratteristiche principali. Esse rappresentano i punti fondamentali dell'analisi condotta e sono caratterizzate da un'elevata permeabilità alle acque meteoriche. Sono state inoltre analizzate le tipologie di copertura presenti sia sugli edifici, sia sulle altre superfici esterne, quali:

- aree di transito dei pedoni
- aree riservate allo studio o ad attività ricreative svolte dagli studenti e dal personale dell'università
- aree di transito dei veicoli
- aree di sosta o parcheggio dei veicoli

3.1.1.2 Rete di drenaggio delle acque meteoriche

In secondo luogo, sulla base delle informazioni acquisite nel corso dell'analisi sull'uso del suolo, è stata ricostruita la rete di drenaggio delle acque meteoriche. In questa fase è stato necessario integrare la planimetria generale con il rilievo della rete fognaria bianca, allo scopo di ricostruire il percorso effettuato dall'acqua piovana che cade sull'area del Politecnico di Torino.

Basandosi sul materiale disponibile e sui sopralluoghi realizzati, è stato possibile individuare la posizione delle caditoie, dei tombini e dei pluviali di una parte degli edifici. Combinando queste informazioni con l'analisi delle pendenze del terreno e con le informazioni relative all'uso del suolo, è stato possibile ricostruire i percorsi effettuati dalle acque meteoriche.

3.1.1.3 Sede Centrale

In primo luogo l'attenzione si è focalizzata sulla Sede Centrale che, riprendendo quanto indicato in precedenza, si estende da Corso Duca degli Abruzzi a Corso Castelfidardo.

Sulla base della planimetria generale e dei sopralluoghi effettuati, sono state analizzate le tipologie di copertura presenti nell'ambito della sede esaminata.

Da quanto si può constatare dalla planimetria riportata in Figura 3.2, è emersa innanzitutto la presenza di un ridotto numero di aree verdi.



Figura 3.2 Planimetria della Sede centrale del Politecnico di Torino. Si riportano in grigio gli edifici e in verde le aree verdi

Oltre ad essere poco numerose, le zone verdi presenti corrispondono unicamente ad aiuole di modeste dimensioni, delle quali ne vengono riportati due esempi in

Figura 3.3.

3. Caso studio: Politecnico di Torino

Per quanto concerne la tipologia di copertura degli edifici, è stata individuata la presenza sia di tetti a falde, tipicamente in tegole di argilla, sia di tetti piani, tipicamente in cemento. Entrambe le coperture impediscono all'acqua piovana di permeare, andando ad alimentare il deflusso superficiale, che viene convogliato attraverso i pluviali all'interno della rete fognaria bianca.



(a) Primo esempio

(b) Secondo esempio

Figura 3.3 Esempi di aiuole presenti all'interno della Sede Centrale

Considerando infine le altre superfici esterne, è stata identificata la presenza preponderante di pavimentazioni in sampietrini. Questi elementi lapidei sono irregolari e, di conseguenza, lasciano un discreto spazio fra loro, all'interno del quale l'acqua piovana può permeare: ne consegue un moderato effetto drenante. La quota di acqua di pioggia che non riesce a permeare viene quindi convogliata attraverso le caditoie all'interno della rete fognaria bianca. Sulla base delle informazioni acquisite in relazione all'uso del suolo, l'attenzione si è focalizzata sulla ricostruzione della rete di drenaggio delle acque meteoriche. In questo frangente è però emerso un problema, legato al fatto che il rilievo della rete fognaria bianca per la Sede Centrale fornito dall'Edilog non è ancora stato ultimato e presenta numerose lacune. Le informazioni disponibili non sono state sufficienti per poter ricavare indicazioni precise sul percorso effettuato dall'acqua di pioggia all'interno della sede analizzata.

Si è quindi potuto concludere che la presenza di un ridotto numero di aree verdi, peraltro corrispondenti unicamente ad aiuole di modesta dimensione, e l'impossibilità di ricostruire la rete di drenaggio delle acque meteoriche non rendono la Sede Centrale adatta all'obiettivo prefissato.

Si è quindi deciso di focalizzare l'attenzione sulla seconda sede del Politecnico di Torino presa in esame, la Cittadella.

3.1.1.4 Cittadella

In secondo luogo è stata analizzata la Cittadella che, riprendendo quanto detto in precedenza, si estende da Corso Castelfidardo a Via P. C. Boggio. La sede è stata realizzata allo scopo di ampliare la preesistente Sede Centrale, collocandosi in un processo di riqualificazione urbana di aree industriali dismesse.

Sulla base della planimetria generale e dei sopralluoghi effettuati, sono state analizzate le tipologie di copertura presenti nell'ambito della sede esaminata.

Da quanto si può constatare dalla planimetria riportata in Figura 3.4, è emersa innanzitutto la presenza di un maggior numero di aree verdi rispetto alla Sede Centrale, esaminata in precedenza. Le zone verdi

3. Caso studio: Politecnico di Torino

presenti corrispondono sia ad aiuole, di modeste dimensioni, sia a prati, di ampiezza anche elevata: esse vanno a distribuirsi su tutta l'area della Cittadella.



Figura 3.4 Planimetria della Cittadella del Politecnico di Torino, con indicazioni sui percorsi effettuati dalle acque meteoriche. Si riportano in grigio gli edifici e in verde le aree verdi

È inoltre riscontrabile la presenza di tetti verdi, che garantiscono un ottimo effetto drenante per le acque meteoriche (vedasi Figura 3.5).



Figura 3.5 Tetti verdi presenti nella Cittadella (Fonte: Google Maps) riscontrabile

Per quanto concerne la tipologia di copertura degli altri edifici, è stata individuata la presenza sia di tetti a falde, tipicamente in metallo o tegole di argilla, sia di tetti piani, tipicamente in cemento. Entrambe le coperture impediscono all'acqua piovana di permeare, andando ad alimentare il deflusso superficiale, che viene convogliato attraverso i pluviali all'interno della rete fognaria bianca. Considerando poi le altre superfici esterne, è stata identificata la presenza di diverse tipologie di pavimentazione. In primo luogo è stata individuata una copertura in asfalto, in particolare sulle aree di transito dei veicoli e su una

3. Caso studio: Politecnico di Torino

porzione delle zone di parcheggio degli stessi. Questo tipo di copertura impedisce all'acqua piovana di permeare, andando ad alimentare il deflusso superficiale, che viene convogliato attraverso le caditoie all'interno della rete fognaria bianca. È stata inoltre identificata una pavimentazione in masselli autobloccanti, in corrispondenza della restante porzione delle zone di parcheggio dei veicoli e di una porzione delle aree di transito dei pedoni. Questo tipo di copertura presenta un esiguo spazio tra gli elementi lapidei, all'interno del quale l'acqua piovana può permeare: ne consegue un moderato effetto drenante per le acque meteoriche. La quota di acqua piovana che non riesce a permeare viene quindi convogliata attraverso le caditoie all'interno della rete fognaria bianca. Infine è stata individuata una copertura in sampietrini, nella restante porzione delle zone di passaggio dei pedoni. Questi elementi lapidei sono irregolari e, di conseguenza, lasciano un discreto spazio fra loro, all'interno del quale l'acqua piovana può permeare: ne consegue un moderato effetto drenante. La quota di acqua di pioggia che non riesce a permeare viene quindi convogliata attraverso le caditoie all'interno della rete fognaria bianca. Sulla base delle informazioni acquisite in relazione all'uso del suolo, l'attenzione si è focalizzata sulla ricostruzione della rete di drenaggio delle acque meteoriche. Nel caso della Cittadella non sono emerse le problematiche riscontrate per la Sede Centrale, essendo disponibile il rilievo della rete fognaria bianca. Sono però state individuate alcune incompletezze ma le informazioni fornite sono risultate sufficienti per poter condurre l'analisi della sede.

Sulla base del materiale disponibile e dei sopralluoghi realizzati, è stata individuata la posizione delle caditoie, dei tombini e dei pluviali della maggior parte degli edifici. Combinando queste informazioni con l'analisi delle pendenze del terreno e con le informazioni relative all'uso del suolo, è stato possibile ricostruire i percorsi effettuati dalle acque meteoriche. Da questo punto di vista è possibile dividere la Cittadella in due aree, rappresentate rispettivamente in Figura 3.6 (a) e in Figura 3.6 (b).



Figura 3.6 Planimetria della Cittadella del Politecnico di Torino. Si riportano in grigio gli edifici e in verde le aree verdi (a) Zona delimitata dalla linea arancione. Le frecce arancioni indicano le direzioni dei percorsi effettuati dalle acque meteoriche (b) Zona delimitata dalla linea blu. Le frecce blu indicano le direzioni dei percorsi effettuati dalle acque meteoriche

Si è potuto osservare che l'acqua di pioggia che cade sulla porzione della Cittadella delimitata dalla linea arancione (vedasi Figura 3.6 (a)) segue i percorsi indicati dalle frecce arancioni più piccole, confluendo in un unico collettore centrale, rappresentato dalle linee arancioni più grandi.

Quest'ultimo percorre la Cittadella da Corso Castelfidardo a Via Boggio, dirigendo il flusso verso quest'ultima, al collettore gestito dalla Società Metropolitana Acque Torino (SMAT).

Invece si è potuto osservare che l'acqua di pioggia che cade sulla porzione della Cittadella delimitata dalla linea blu (vedasi Figura 3.6 (b)) segue i percorsi indicati dalle frecce blu, dirigendosi verso Corso Peschiera, al collettore gestito dalla SMAT.

3.1.1.5 Criteri di selezione delle aree verdi

Allo scopo di individuare i criteri di selezione delle aree verdi, risulta necessario chiarire i principali interventi che si ipotizza di realizzare e gli obiettivi che si intende raggiungere.

Lo scopo primario che si vuole perseguire consiste nell'agire sulla portata d'acqua che, durante un evento di precipitazione, entra all'interno della rete fognaria bianca, andando a ridurne il carico. A questo proposito, si è ipotizzato di convogliare una quota delle acque meteoriche che raggiungono i tetti degli edifici o le altre superfici esterne verso le aree verdi adiacenti, sfruttando il processo di infiltrazione che si instaura all'interno di esse. Nel momento in cui le zone verdi non sono più in grado di trattenere tutta l'acqua piovana che ricevono, si avvia un processo di immissione di quest'ultima all'interno della rete fognaria bianca.

Prendendo in considerazione una singola area verde, devono essere effettuati degli interventi che indirizzino verso di essa le acque meteoriche che cadono sulle zone adiacenti. Un primo esempio in questo senso consiste nell'effettuare dei tagli nei cordoli che circondano l'area verde o utilizzare un sistema di canalette, per poter favorire l'ingresso dell'acqua di pioggia all'interno dell'area stessa, sfruttando la pendenza del suolo adiacente (vedasi esempio in Figura 3.7).



Figura 3.7 Esempio di taglio nei cordoli per favorire il convogliamento delle acque meteoriche all'interno dell'area verde (Fonte: "Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas", Huber J.)

Un secondo esempio consiste nel dirigere i pluviali degli edifici adiacenti la zona verde verso quest'ultima, allo scopo di intercettare l'acqua piovana che cade sul tetto degli edifici stessi.

Sulla base di quanto appena indicato, risulta chiaro che le aree verdi presenti all'interno del Politecnico di Torino sono state selezionate in base all'ampiezza propria e della potenziale superficie convogliata, oltre che per la disponibilità di informazioni precise sulla rete fognaria bianca.

Sulla base dei criteri di selezione indicati al paragrafo precedente, è stato possibile analizzare le aree verdi presenti all'interno del Politecnico di Torino ed individuare le più adatte allo scopo che si intende raggiungere.

3. Caso studio: Politecnico di Torino

In particolare dall'analisi condotta sulla Sede Centrale (vedasi paragrafo 3.1.1.3), si sono potute constatare sia la presenza di un ridotto numero di aree verdi, peraltro corrispondenti unicamente ad aiuole di modesta dimensione, sia l'impossibilità di ricostruire la rete di drenaggio delle acque meteoriche. Questi due fattori hanno contribuito a rendere la sede inadatta rispetto criteri precedentemente indicati.

Si è quindi deciso di focalizzare l'attenzione sulla Cittadella, per la quale queste problematiche non sono emerse (vedasi paragrafo 3.1.1.4) e che quindi si è rivelata idonea rispetto ai criteri avanzati.

Sono state individuate all'interno della sede delle aree verdi su cui agire al fine di gestire in modo sostenibile le acque di pioggia: in particolare sono state selezionate tre zone verdi, corrispondenti a prati sufficientemente ampi per poter incidere sul carico delle acque meteoriche.

Le aree verdi scelte sono riportate in Figura 3.8, delimitate da una linea rossa e designate dalle lettere A, B, C e D: si faccia riferimento al Capitolo 8 per visualizzare i risultati delle analisi che sono state condotte su di esse.

In questo frangente è necessario far presente che con la lettera C sono state indicate due zone verdi di cui il Politecnico di Torino non si occupa. Le aree verdi considerate sono infatti gestite dalla General Motors, che ha collocato la propria sede vicino ad esse. Data la loro notevole estensione è sembrato però opportuno prenderle in analisi, effettuando delle ipotesi di intervento anche su di esse.



Figura 3.8 Planimetria della Cittadella del Politecnico di Torino. Si riportano in grigio gli edifici e in planimetria della Cittadella del Politecnico di Torino. Si riportano in grigio gli edifici e in verde le aree verdi. Le aree verdi scelte sono delimitate da una linea rossa e designate con le lettere A, B, C e D

4 TIPOLOGIE DI INTERVENTI

Individuate le aree dove poter svolgere degli interventi di drenaggio sostenibile è stato necessario individuare le soluzioni applicabili. Si è fatto quindi, riferimento alle tipologie di intervento che possono essere attuate nell'ambito del drenaggio urbano sostenibile, esaminate al paragrafo 2.1.4. In particolare si è preso spunto dai sistemi di infiltrazione ovvero i “Bacini di detenzione” ed i “Sistemi di bioritenzione”.

4.1 BACINI DI DETENZIONE

I bacini di detenzione delle acque meteoriche sono piccoli invasi progettati per trattenere temporaneamente le acque di pioggia e svuotarsi lentamente. In condizioni di tempo asciutto i bacini di detenzione si svuotano completamente e restano quindi asciutti. Svolgono sia la funzione di regolare il deflusso superficiale, sia quella di permettere la sedimentazione dei solidi sospesi presenti nelle acque di prima pioggia, pertanto devono essere dimensionati per assolvere ad entrambe tali funzioni.



Figura 4.1 Bacino di detenzione che fornisce un'estesa area di comfort fruibile dalle persone nei periodi in cui non entra in funzione

4.1.1 Tipologie di realizzazione

I bacini di detenzione possono essere aree di stoccaggio artificiali, (che non forniranno nessun tipo di trattamento) vedasi Figura 4.2 (a) o depressioni vegetate (che possono fornire un trattamento quando progettato per gestire i flussi regolari) vedasi Figura 4.2 (b). Le prime sono da considerarsi come delle semplici vasche volano il cui scopo è la laminazione delle portate. Invece, dove il bacino è vegetato, la superficie del suolo può assorbire parte del flusso, quindi può essere utilizzato per sostenere la depurazione dell'acqua per piccoli eventi di precipitazioni, a condizione che piccole quantità di acqua di infiltrazione, non rappresentino un rischio per le acque sotterranee. I principali benefici dei bacini di detenzione vegetati sono legati trattamento e quindi al miglioramento della qualità dell'acqua. Questi, infatti, permettono la rimozione di sedimenti, materiali galleggianti, metalli pesanti e tossici. L'efficacia di questi trattamenti aumenta con il tempo di detenzione dell'acqua all'interno del bacino. In base a dove vengono progettati, questi sistemi possono essere usati come strutture ricreative oppure di altri servizi. Per la massima efficacia di rimozione degli inquinanti nei bacini vegetati, i flussi dovrebbero essere distribuiti attraverso il tutta la larghezza del bacino.



(a)



(b)

Figura 4.2 (a) Bacino di detenzione vegetato - Atelier Dreiseitl, Potdamer Plaza, Berlino (Germania), (b) Bacino di detenzione non vegetato - Vasche d'acque per recupero acque piovane presso il centro ricerche Kerakoll (Sassuolo - MO), progettata da IRIDRA. in collaborazione con BIOS-IS S.r.l

Tuttavia, se è necessario mantenere una proporzione di bacino asciutta, si può realizzare una zona maggiormente depressa all'interno del bacino per poter contenere eventi pluviali di minor entità. Limitare le piccole portate all'interno di percorsi specifici è vantaggioso in quanto conferisce una multifunzionalità dell'area e permette di ridurre il rischio che, l'area del bacino, possa diventare una zona paludosa o ristagnante.

I bacini di detenzione vegetale possono essere progettati con una piccola piscina permanente all'uscita per aiutare a prevenire la ri-sospensione delle particelle di sedimento da tempeste ad alta intensità e per fornire una migliore qualità dell'acqua.

Queste opere possono essere di due tipologie a seconda del loro comportamento:

- sistemi “online”, dove, il deflusso superficiale di un evento regolare, viene instradato attraverso il bacino, che consente una portata di uscita limitata. Quando si presentano flussi maggiori, il bacino si riempie e fornisce lo stoccaggio e l'attenuazione del flusso di acqua piovana. Laddove non esiste un pretrattamento a monte, questi sistemi dovrebbero includere una barriera per contenere i sedimenti accumulati, sebbene ciò possa comportare aree inutilizzabili e poco attraenti, il che potrebbe non essere accettabile per lo spazio aperto pubblico.

4. Tipologie di interventi

- sistemi “*offline*”, quando il deflusso viene deviato al superamento di una specifica soglia. I bacini di detenzione off-line generalmente hanno un uso principale alternativo: parchi, aree ricreative o aree facenti parti di un contesto urbano.

Il funzionamento dei sistemi “online” e “offline” può essere considerato simile a quello delle casse di laminazione rispettivamente in linea e in derivazione.

4.1.2 Posizionamento ottimale

I bacini di detenzione sono generalmente applicabili sia in aree residenziali che non residenziali. Spesso sono anche utilizzati per il retro-fitting di aree urbanizzate o zone riqualificate (dove livelli di rete di drenaggio esistenti e disponibilità di terra consentono).



Figura 4.3 Dry Detention System applicato ad uso residenziale nella figura (a) ed applicato in una rotonda stradale (b)

3.1.2 Limiti di utilizzo

Nella realizzazione di questi sistemi occorre verificare che i livelli di falda non vadano mai ad intercettare il livello di fondo bacino, poiché, in tal caso si potrebbero verificare problemi di:

- riduzione di capacità di stoccaggio dell’acqua;
- interferenza tra acqua piovana contaminata da inquinanti e quella sotterranea;
- acqua di falda ristagnante sulla base del bacino;
- nel caso in cui si fosse applicato un rivestimento impermeabile questo potrebbe galleggiare a causa delle sotto spinte causate dall’acqua di falda;

Nella realizzazione di un “*Dry Detention Basin*” senza una copertura impermeabile sul fondo occorre verificare l’effettiva capacità di filtrazione e pulizia dell’acqua da parte del sistema e la presenza o meno di un acquifero incontaminato.

4.2 AREE DI BIO-RITENZIONE VEGETATA

Le aree di bioritenzione sono leggere depressioni del suolo ricoperte a verde, finalizzate alla raccolta e al trattamento delle acque meteoriche drenate dalle superfici impermeabili circostanti mediante filtrazione e rimozione degli agenti inquinanti. Se ne può osservare uno schema in Figura 4.5

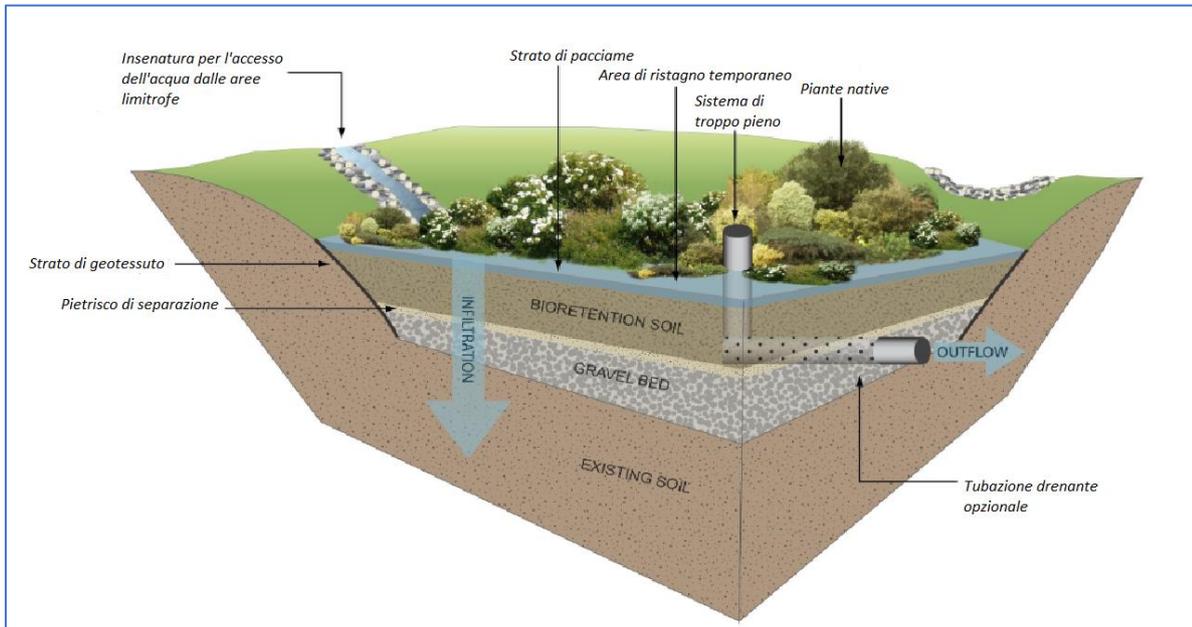


Figura 4.4 Rappresentazione del funzionamento di un'area di bio-ritenzione

Questi sistemi permettono quindi un filtraggio e una depurazione del tutto naturale dell'acqua raccolta con ottime rimozioni dei principali inquinanti veicolati dalle acque di pioggia di dilavamento: SST: >90%, P tot >80%, N tot 50%, Metalli (zinco, piombo, cadmio) >90%. Inoltre, le aree di bioritenzione hanno un effetto benefico anche in termini di riduzione del rischio idraulico, aumento della biodiversità, oltre a poter essere utilizzate come elemento di arredo urbano. Le acque di dilavamento vengono convogliate tramite deflusso superficiale all'area di bioritenzione vegetata. La fascia con copertura erbosa effettua un'azione di filtraggio del materiale più grossolano e di rallentamento della velocità di deflusso. Nell'area di ristagno si ha un accumulo temporaneo e un'ulteriore deposizione di materiale trasportato. Lo strato di materiale organico effettua una prima filtrazione delle acque meteoriche e favorisce la crescita di microorganismi che provvedono ad una degradazione della materia organica trasportata. Lo spessore di suolo vegetativo svolge la funzione di sistema di filtrazione; le particelle del suolo forniscono siti per l'adsorbimento di inquinanti. La vegetazione garantisce la stabilità del suolo e partecipa all'azione di trattenimento degli inquinanti. Per aree di bioritenzione di minori dimensioni e a servizio di una singola abitazione o edificio, si tende a parlare di Raingardens. Benché, concettualmente, le aree di bioritenzione e i Raingardens siano la medesima soluzione tecnica, si tende ad usare le due nomenclature in modo distinto, in funzione del campo di applicazione.

4.2.1 Aree di Bioritenzione

Questo termine viene generalmente utilizzato quando tali soluzioni sono applicate a vaste aree drenanti e in spazi pubblici. Rispetto ai Rain garden sono interventi più strutturati e con elementi in più di progettazione.



Figura 4.5 (a) Esempio di area di bioritenzione caratterizzata da una densa vegetazione ed un sistema di convogliamento dell'acqua proveniente dalle aree limitrofe mediante aperture lungo il proprio perimetro. (b) Sezione di un'area di bioritenzione. Corrispondono ad aree depresse rispetto alle zone circostanti che riducono il tasso di deflusso ed i volumi di pioggia, consentendo inoltre un trattamento degli agenti inquinanti presenti nell'acqua piovana grazie all'utilizzo di un suolo ingegnerizzato ed una particolare vegetazione.

4.2.2 Rain gardens

Con Rain gardens si vogliono indicare invece le soluzioni applicate a singoli edifici ed abitazioni, quindi, con una progettazione più semplice e un minore numero di componenti previsti (Figura 4.6). I Rain gardens sono spesso usati come unità di pretrattamento prima della raccolta delle acque di pioggia in cisterne.



Figura 4.6 Sezione di un Rain garden. Questi sono tipicamente sistemi che garantiscono i propri benefici ad una singola proprietà. Sono meno ingegnerizzati rispetto ai componenti di un sistema di bioritenzione completo.

4.2.3 Vantaggi e svantaggi

Nella tabella seguente si vuole riportare i vantaggi e gli svantaggi nella realizzazione di un sistema di bioritenzione.

Tabella 4.1 Vantaggi e svantaggi di un sistema di bio-ritenzione

Vantaggi	Svantaggi
Alta capacità di rimozione degli inquinanti	Richiede superfici piuttosto elevate (anche se poi tali superfici risultano fruibili e contribuiscono all'inserimento ambientale)
Richiede poca manutenzione	
Riduzione del volume e della portata di picco	
Riduzione del tempo di corrivazione	
Potenziale elemento di arredo urbano	Suscettibile di intasamento se il paesaggio circostante non è ben gestito
Aumento biodiversità	
Riduzione isole di calore	

4.2.4 Posizionamento ottimale

Le aree di bioritenzione possono essere facilmente inserite all'interno del tessuto urbano perché flessibili e adattabili al paesaggio. Possono avere forme più naturaliformi se inserite in aree a bassa densità abitativa, o più rigide in aree ad alta densità. Per tali motivi, forniscono un'ottima soluzione per il retrofitting di aree verdi in chiave SuDS. Risultano perciò particolarmente adatte:

- lungo i margini delle carreggiate stradali;
- all'interno di parcheggi; - all'interno delle rotonde stradali;
- all'interno di aree pedonali

Nel caso dei rain gardens, essi possono configurarsi come delle aiuole negli spazi verdi esterni degli edifici. Nel caso di posizionamento in prossimità di edifici, aree di bioritenzione non impermeabilizzate devono essere collocate almeno ad una distanza di 5 m dagli edifici per impedire che le acque penetrino nelle fondazioni o sotto le case, causando problemi di muffa e di infiltrazioni. Inoltre si consiglia il posizionamento lontano da grandi alberi per consentire un'esposizione massima alla luce solare.

4.2.5 Limiti di utilizzo

Il sistema di aree di ritenzione non è consigliato:

- In aree con pendenza ripida;
- In zone ad alta densità;
- Per drenare superfici superiori a 2 ha

Se posti al di sopra delle acque sotterranee vulnerabili è necessaria l'impermeabilizzazione. È consigliabile adottare una larghezza delle aree di bioritenzione maggiore di 600 mm (valori più bassi comportano una difficoltà di realizzazione) e minori di 20 m (in modo da permettere interventi manutentivi con escavatori da 10 m). La lunghezza massima suggerita è 40 m per permettere una distribuzione uniforme delle acque di pioggia, mentre l'area totale massima suggerita è di 800 m².

4.2.6 Indicazioni dimensionali e progettuali

Le aree di bioritenzione sono tipicamente dimensionate con una area pari al 2-4% dell'area drenata. È preferibile evitare l'impermeabilizzazione delle aree di bioritenzione e permettere l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque di pioggia trattate. In tal caso, le componenti da considerare in fase di progettazione sono:

- caratteristiche geologiche, geotecniche e idrogeologiche del terreno;
- distanza dall'acquifero (minimo 1 m)

Nel caso in cui le aree di bioritenzione siano inserite per intercettare il ruscellamento a valle per eventi di pioggia frequenti e a bassa intensità, tali soluzioni sono tipicamente dimensionate per intercettare fino a 5 mm di altezza di pioggia ricadente sull'area drenata o più in generale eventi con tempo di ritorno 1 anno. Questi sistemi filtranti vegetati vengono progettati per avere tempi di drenaggio delle acque accumulate, dopo l'evento atmosferico, non superiori alle 24-48 h, così da garantire tempi di residenza sufficienti per la rimozione degli inquinanti e, allo stesso tempo, prevenire il ristagno delle acque e la proliferazione degli insetti. Le aree di bioritenzione sono tipicamente progettate per trattare le acque di ruscellamento di eventi di pioggia frequenti (basso tempo di ritorno); è bene, quindi, prevedere un troppo pieno per lo scarico delle acque per eventi di pioggia intensi, da posizionare, se possibile, in prossimità del punto di immissione delle acque.

È preferibile avere una superficie orizzontale, in modo da permettere una omogenea distribuzione delle acque di pioggia tutta la superficie utile. Per l'inserimento in aree ripide è suggerito, quindi, di prevedere dei piccoli sbarramenti di controllo, realizzabili in diversi materiali che possono anche avere funzione di arredo (p.es. legno, muratura, pietrame). È bene prevedere, a valle degli sbarramenti, dei sistemi per il controllo dell'erosione. Per la scelta della vegetazione è bene prevedere il coinvolgimento di architetti paesaggisti, agronomi o vivaisti. In generale, le caratteristiche da considerare per la scelta della vegetazione da mettere a dimora sono:

- adattamento a condizioni asciutto/bagnato
- adattamento al carico inquinante veicolato dalle acque di pioggia
- capacità di penetrazione delle radici
- preferenza per piante native
- inserimento paesaggistico
- disponibilità di piante in vivai vicini al sito
- ridotta necessità di manutenzione
- altezza delle piante (da considerare per motivi di sicurezza della visuale stradale)

Le aree di bioritenzione sono tipicamente progettate per ricevere l'acqua di ruscellamento senza ausilio di una classica condotta fognaria, ma per mezzo di apposite aperture posizionate lungo il perimetro, come ad esempio, lungo i cordoli stradali (minimo 500 mm). In prossimità di tali aperture sono da prevedere adeguati sistemi di dissipazione di energia (p.es., blocchi di pietra), per limitare il rischio di erosione come mostrato in Figura 4.7 (a).

Nel caso di acque di dilavamento con alto carico di sedimenti è consigliato prevedere, prima dell'immissione nell'area di bioritenzione, una trappola per sedimenti (vedi Figura 4.7 (b)), delle fasce filtranti o, per grandi aree drenate, uno stagno. In alternativa, è possibile prevedere un'area ad alta densità vegetazionale all'ingresso dell'area di bioritenzione.

4. Tipologie di interventi



Figura 4.7 Esempi di bioretention system caratterizzati da barriere per i detriti poste all'ingresso del sistema. Nel primo caso la barriera è ottenuta mediante l'utilizzo di un filtro composto da blocchi di pietra cementati fungono da rete; nel secondo caso l'ingresso nel sistema è preceduto da una vasca che permette la sedimentazione dei detriti più pesanti.

4.3 ESEMPI NEL MODO

Dopo aver analizzato la filosofia del drenaggio urbano sostenibile ed in particolare due tipologie di soluzioni come i "Dry Detention Basin" ed i "Bioretention System", sono stati scelti alcuni esempi di applicazione di questo approccio. In particolare si è deciso di analizzare la Benthemplein Water Square a Rotterdam ed il Tanner Springs Park a Portland.

4.3.1 Benthemplein Water Square

Il primo esempio analizzato è la "Water Square a Benthemplein", collocata nei pressi del centro della città di Rotterdam e progettata dallo studio De Urbanister (vedasi Figura 4.8).

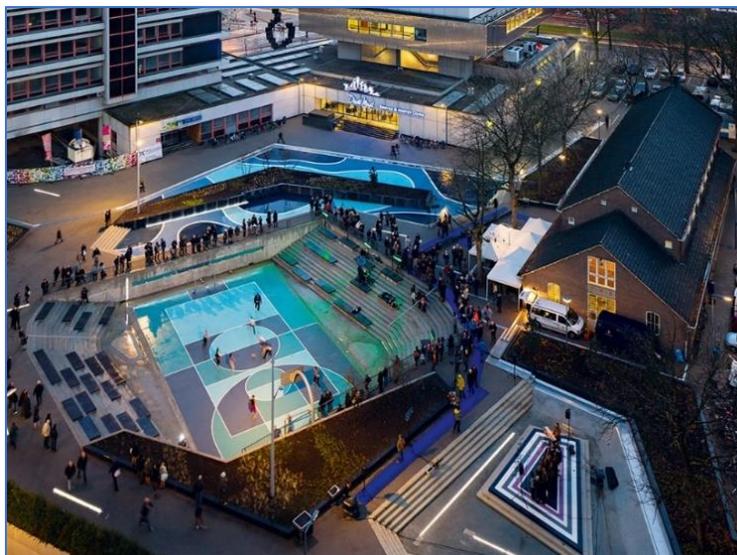


Figura 4.8 Water Square – Rotterdam

4. Tipologie di interventi

L'intervento è stato concepito allo scopo di gestire il crescente problema di allagamento urbano, andando a separare il deflusso superficiale dalla rete fognaria, in questo caso a sistema unitario. Si tratta di un'opera che combina lo stoccaggio dell'acqua con il miglioramento della qualità dello spazio pubblico, in una piazza urbana in precedenza sottoutilizzata. La Water Square è costituita da tre bacini di ritenzione che, durante un evento di precipitazione, raccolgono e stoccano un deflusso superficiale di circa 1700 m³: due bacini, meno profondi, sono utilizzati durante tutti gli eventi di pioggia mentre il terzo bacino, più profondo, è utilizzato soltanto per eventi intensi.

Il deflusso superficiale viene raccolto dall'area pavimentata della piazza e dalle zone circostanti, inclusi i tetti degli edifici attigui, e trasportato attraverso larghi canali di scolo di acciaio inossidabile all'interno dei bacini. I due bacini meno profondi consentono l'infiltrazione delle acque meteoriche, mentre il bacino più profondo provvede ad effettuare una laminazione del flusso, andando in seguito a scaricarlo all'interno di un canale vicino. Tutta l'acqua piovana che è stata raccolta all'interno dei bacini (vedi Figura 4.9), viene quindi allontanata dalla rete fognaria a sistema unitario. In questo modo si va ad alleviare il tradizionale sistema di drenaggio, abbassando la frequenza con cui esso raggiunge la condizione di sovraccarico e scarica il flusso all'interno dei corpi idrici recettori. Infatti separando gradualmente le acque meteoriche dalle acque reflue con diversi interventi, si vuole raggiungere l'obiettivo di migliorare la qualità dei corpi idrici nella città.



Figura 4.9 Area allagata di uno dei due bacini secondari dopo un evento piovoso

La Water Square è stata progettata allo scopo di rappresentare un'area di gioco e riposo per la popolazione. Il bacino più profondo (vedi Figura 4.10) infatti presenta un campo sportivo in terra battuta, circondato da posti a sedere a gradinate. Inoltre i canali di scolo e uno dei bacini meno profondi sono progettati per essere adatti all'uso degli skater.



Figura 4.10 Bacino centrale – questo è il bacino più profondo il quale svolge una laminazione degli eventi piovosi più importanti e quando non entra in uso è utilizzabile come campo da calcetto circondato da tribune.

4. Tipologie di interventi

Allo scopo di migliorare l'estetica della piazza, sono state posizionate delle fioriere lungo le zone di transito dei pedoni e vicino alle aree dove le persone possono riposarsi e trarre beneficio dall'ambiente circostante. Le piante inserite sono state selezionate per fornire colori vivaci durante il periodo estivo e colori tenui durante quello invernale. Inoltre lo schema di colori adottato per le superfici della piazza presenta tonalità blu nelle zone dove l'acqua viene immagazzinata.

La comunità è stata strettamente coinvolta in tutte le fasi di sviluppo del progetto, indicando la necessità di trasformare la piazza in un luogo dinamico e piacevole di cui i giovani possano usufruire, uno spazio per giocare ed incontrarsi ed un'area piacevole e isolata dove l'acqua sia utilizzata in modo stimolante.

4.3.2 Tanner Springs Park

Il secondo esempio analizzato è il Tanner Springs Park nel distretto di Pearl, collocato all'interno della zona centrale della città di Portland (vedasi Figura 4.11). L'intervento è stato progettato dallo studio Atelier Dreiseiti e dalla società GreenWorks ed è stato concepito allo scopo di riqualificare un sito industriale, andando a realizzare uno spazio aperto di 4200 m² che potesse essere usufruito dalla popolazione e contemporaneamente effettuasse un'attività di ritenzione e trattamento del deflusso superficiale delle acque meteoriche.



Figura 4.11 Tanner Springs Park – Portland

In passato l'area era una zona umida, in seguito sostituita da cantieri ferroviari ed industrie che hanno contaminato il suolo, non consentendo più alcun processo di infiltrazione all'interno di esso. Il progetto attuato puntava quindi a ricollegarsi al passato dell'area, andando ad inserire all'interno del parco piante autoctone e piccoli ruscelli. L'opera ottenuta è andata ad inserirsi in uno dei tre parchi realizzati nel distretto Pearl.

L'acqua piovana che cade all'interno della linea di cordoli del parco va ad alimentare uno stagno con margini piantumati, attraversando una distesa di vegetazione autoctona e una zona umida, che effettuano un trattamento naturale sul flusso. Secondo lo schema messo in atto, l'area va a scaricare il flusso su Tanner Creek, un corso d'acqua che in passato scorreva attraverso il sito. Durante il tempo secco, l'acqua dello stagno va a circolare all'interno del parco, per mantenere attivo il sistema.

4. Tipologie di interventi



Figura 4.12 Area parzialmente allagata in seguito ad eventi piovosi

La parete est del parco è coperta da un'installazione artistica, realizzata riciclando i binari ferroviari storici recuperati dalla zona: vi è quindi un richiamo al passato industriale dell'area, che sottolinea ulteriormente l'identità del luogo (vedasi Figura 4.12 e Figura 4.13).

La partecipazione attiva della comunità e del gruppo direttivo delle parti interessate nel progetto ha aiutato nell'ideazione dell'intervento. Il parco viene inoltre mantenuto da un'associazione volontaria denominata "*Friends of Tanner Springs*".



Figura 4.13 Tanner Springs Park – Portland – Recinzione realizzata con vecchi binari ferroviari

4. Tipologie di interventi

5 SCHEMA DELLA VASCA DI ACCUMULO - SISTEMI DI INGRESSO E SMALTIMENTO DELL'ACQUA

La soluzione adottata per il Politecnico di Torino cerca di unire i benefici delle proposte precedenti quali stoccaggio e depurazione dell'acqua. In ogni zona presa in considerazione, il modello che si è voluto ricreare è quello di vasche per l'accumulo sia dell'acqua piovana diretta sia quella derivante dalle aree limitrofe. Queste risultano essere (come indicato in Figura 5.1) delle aree verdi ribassate il cui dimensionamento è stato studio della precedente tesista la quale attraverso simulazioni su vasche di diverse dimensioni ha potuto constatare che l'efficienza di ciascun sistema migliora con l'aumento della profondità e quindi del volume stoccabile in ciascun'area verde. A fronte di ciò si è deciso di utilizzare un ribassamento del terreno dal cordolo di almeno 15 cm ed una profondità degli strati di accumulo variabile a seconda delle soluzioni che si andranno ad adottare. Non essendo note le informazioni riguardanti la stratigrafia, quindi la presenza di eventuali strati impermeabili, e la conoscenza dei livelli di oscillazione di falda, la base di ogni vasca viene impermeabilizzata in modo da poter aver un controllo sulle portate convogliate e su quelle uscenti dal sistema.

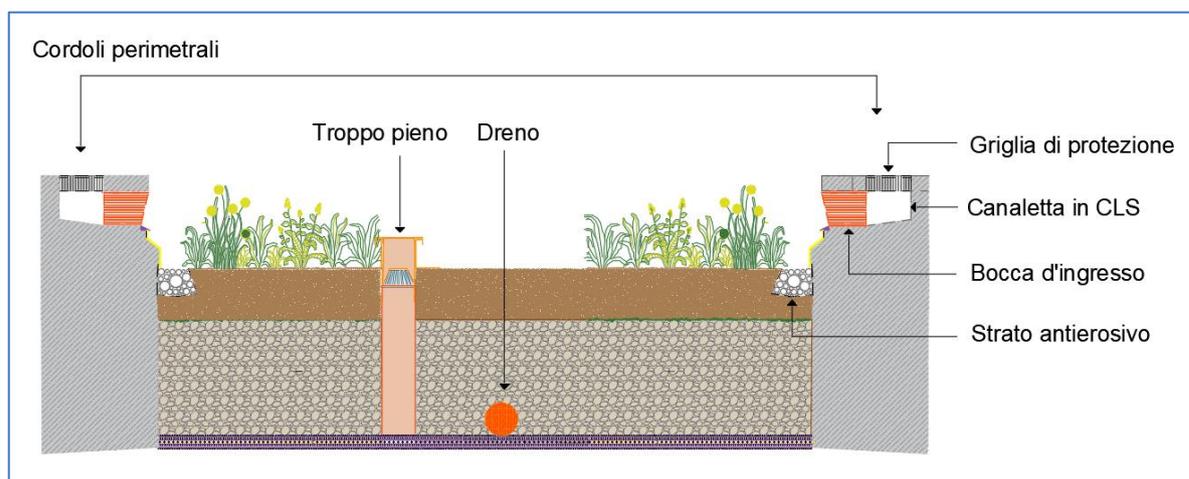


Figura 5.1 Schema della vasca di accumulo: zona di accumulo dell'acqua ribassata di 15 cm rispetto alla cordolatura perimetrale, sistemi di ingresso dell'acqua dalle aree adiacenti realizzati mediante una canaletta perimetrale e bocche in PVC, tubazione in PVC che permette lo smaltimento dell'acqua in eccesso quando il livello in vasca raggiunge i 7,5 cm.

All'interno di ciascun sistema devono essere inseriti organi d'accesso e smaltimento dell'acqua piovana per la connessione con la rete fognaria bianca.

5. Schema della vasca di accumulo

Convogliamento –Lo studio preliminare ha permesso l’individuazione delle aree che possono convogliare le proprie portate all’interno delle aree in esame. A tal fine è stato necessario analizzare le aree adiacenti la superficie verde, individuando quelle su cui cade l’acqua di pioggia che può essere indirizzata verso la zona stessa: ne viene raffigurato un esempio in Figura 5.2.

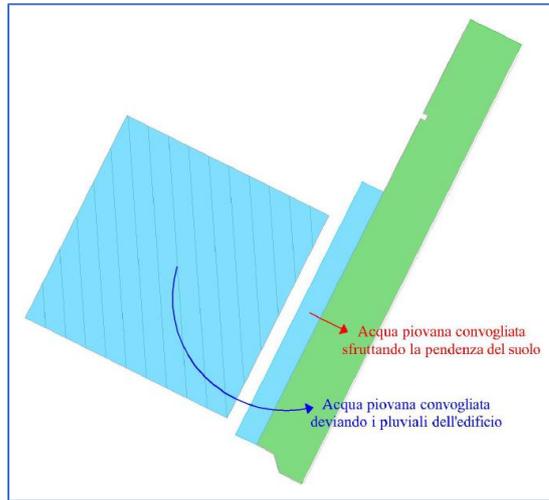


Figura 5.2 Esempio di area convogliata. Si riportano in azzurro l’area convogliata, in verde la superficie verde, in tratteggio grigio gli edifici e in linea rossa le direzioni lungo cui l’acqua piovana viene

Accesso – L’accesso viene garantito mediante la perimetrazione della vasca con una canaletta in cemento protetta da una griglia che protegge il sistema d’ingresso dall’otturazione. Tale canaletta viene realizzata con un’inclinazione minima da favorire il deflusso verso delle bocche in PVC, che permettono all’acqua, l’entrata nell’area verde. Le bocche sono interposte ad una lunghezza costante lungo tutto il perimetro della vasca in modo da distribuire il più possibile le portate convogliate sulla superficie verde. L’acqua viene scaricata sopra un primo strato ghiaioso il quale ha la funzione di evitare l’erosione al piede del cordolo. (vedasi Figura 5.3)

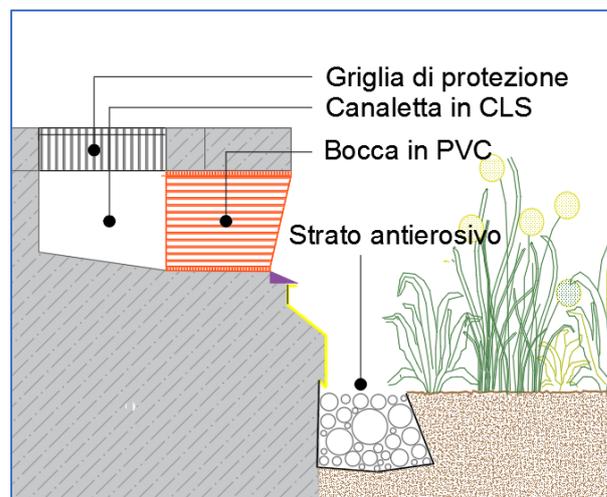


Figura 5.3 Sezione del sistema di ingresso in vasca

Troppo pieno – Quando inizia a formarsi uno strato d’acqua sul terreno il livello che esso può raggiungere è dettato dall’altezza del sistema di “troppo pieno” posto ad un’altezza di 7,5 cm che attraverso una tubazione in PVC collega il sistema alla rete bianca. In questo modo quando il volume

5. Schema della vasca di accumulo

stoccabile dal viene superato, il sistema risulta essere trasparente alla portata in ingresso in quanto tutto ciò che entra viene immediatamente ricondotto in rete bianca. Il sistema di troppo pieno deve quindi essere dimensionato in base ad uno specifico tempo di ritorno. (vedasi Figura 5.4)

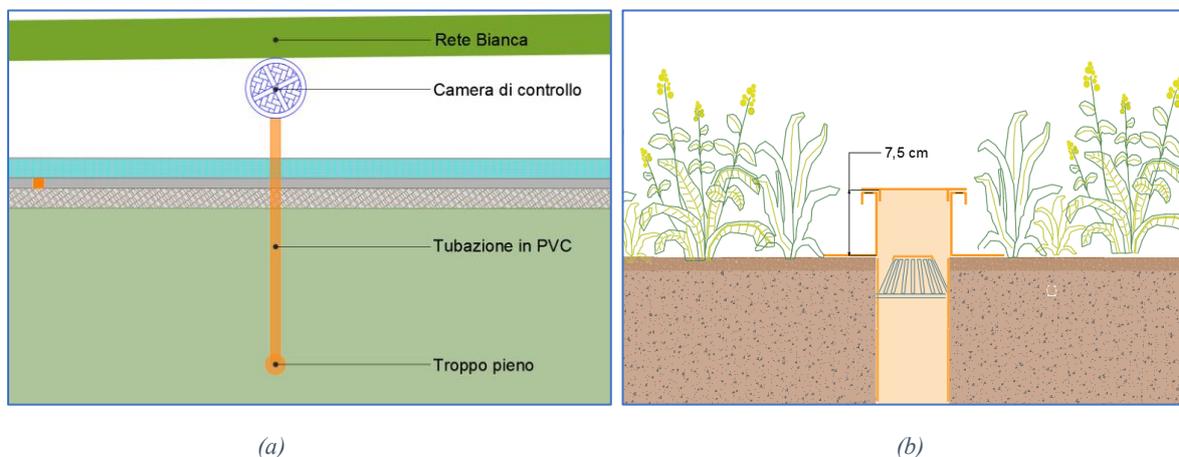


Figura 5.4 (a) Vista planimetrica sul collegamento tra sistema troppo pieno e la rete bianca mediante il posizionamento di un'apposita camera di ispezione; (b) vista in sezione del sistema troppo pieno: il sistema deve essere munito di appositi filtri per prevenire l'otturazione della tubazione.

Dreno – Al termine di un evento piovoso, il volume immagazzinato nel terreno e la sottile lamina d'acqua posta al di sopra di esso, devono essere smaltiti correttamente attraverso un sistema di drenaggio nel tempo massimo di un giorno. Questa peculiarità è tipica dei sistemi di bio-ritenzione i quali necessitano un tempo di stazionamento sufficientemente lungo per la depurazione da parte del terreno e l'apparato vegetale ma al contempo occorre evitare il ristagno prolungato dell'acqua il quale potrebbe essere dannoso per la stessa qualità dell'acqua e favorirebbe l'insorgere di insetti e batteri indesiderati. (vedasi Figura 5.5)

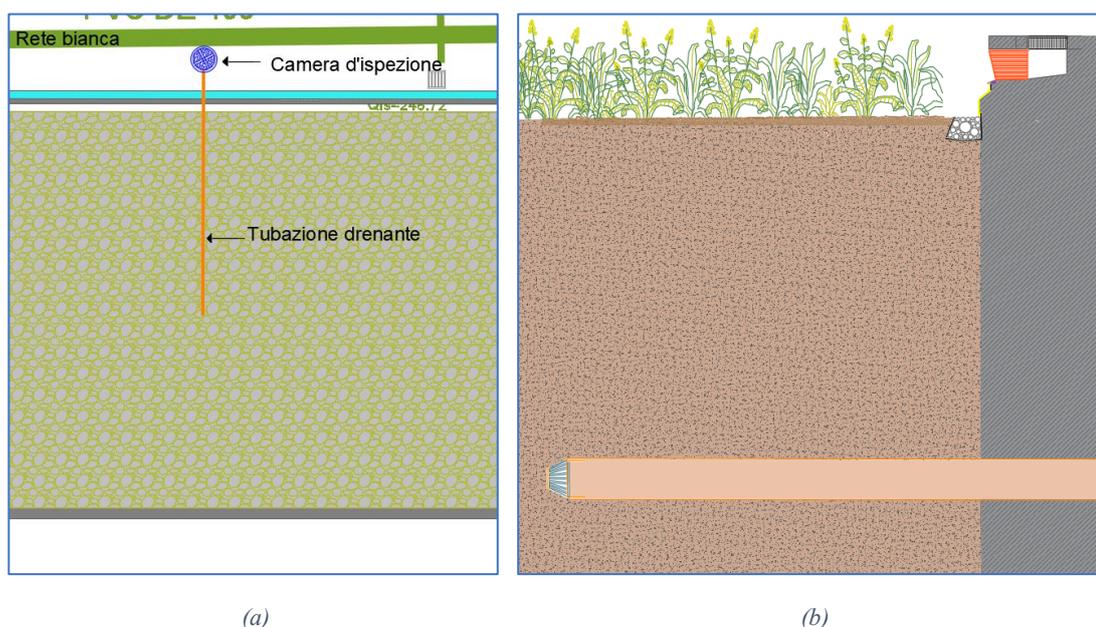


Figura 5.5 (a) Vista planimetrica sul collegamento tra dreno e la rete bianca mediante il posizionamento di un'apposita camera di ispezione; (b) vista in sezione del dreno: il sistema deve essere munito di appositi filtri per prevenire l'otturazione della tubazione.

5. Schema della vasca di accumulo

6 SOLUZIONI STRATIGRAFICHE

Nell'ambito del presente elaborato di tesi, sono state proposte quattro configurazioni, al fine di massimizzare gli effetti di ogni area verde sulle acque meteoriche. In primo luogo si è potuto constatare che la zona verde può esercitare un effetto di laminazione, legato alla sua capacità nell'abbattere il picco della portata di acqua piovana che riceve in ingresso. Inoltre si è potuto appurare che l'area verde può anche esercitare un effetto di trattamento, legato alla sua capacità di depurare le acque meteoriche in ingresso, mediante il processo di infiltrazione a cui queste ultime sono soggette e la presenza di un apparato vegetale radicato nel mezzo filtrante (le cui caratteristiche verranno trattate nel Capitolo 10. Le quattro configurazioni utilizzano come materiali drenanti sabbia e ghiaia. Le diverse dimensioni di granulometria sono responsabili di una capacità di filtrazione ed un potere depurativo differenti a seconda del materiale impiegato (vedasi approfondimento al paragrafo 4.2.6).

Le soluzioni individuate, presentano una stratigrafia accumulata da un primo strato, necessario per la crescita della vegetazione, realizzato con un mix design composto per 50 % di volume da terreno pre-esistente (di tipo sabbioso- argilloso il quale, dopo essere stato aerato, sarà indispensabile per lo sviluppo della vegetazione sovrastante) mentre il restante 50 % spetta ad un materiale la cui permeabilità sia sufficientemente elevata da permettere l'immediata infiltrazione e evitare quindi l'effetto ponding (ghiaia fine o sabbia a seconda della soluzione). Questo primo strato, denominato "Vegetale", viene realizzato con uno spessore di 25 cm, contando che la compattazione a seguito di eventi come la pioggia o l'iniziale irrigazione possono far ridurre lo spessore a 20 cm, sufficienti per far crescere comune erba. La scelta di questo spessore deriva dal fatto che le piante che andranno a caratterizzare queste aree si costituiscono perlopiù da arbusti, piante grasse o semplice erba che durante la fase di crescita non sviluppano un apparato radicale molto esteso. Per evitare che il terreno venga trasportato dalla pioggia all'interno del mezzo poro sottostante viene interposta una georete che non consente il passaggio della terra ma può comunque essere attraversata dall'apparato radicale delle piante le quali possono sviluppare radici estremamente fini e superare il limite di 20 cm di estensione. Dopo una prima fase di crescita lo sviluppo delle radici consente di trattenere il terreno e quindi sostituisce la funzione della rete la quale termina il suo scopo. Per tale motivo può essere utilizzata una rete composta da materiale degradabile il quale dopo un primo funzionamento apporterà nutrimento al terreno sotto forma di materiale concimante. Gli strati sottostanti sono realizzati con materiali molto drenanti che presentano elevate macro porosità; quindi al fine di evitare una infiltrazione del materiale sovrastante da parte dell'acqua, si è deciso di inserire, tra lo strato vegetale e quello sottostante, uno strato di geo-tessuto che permette il passaggio dell'acqua ma non quello della terra.

6.1 POROSITÀ

Nella scelta dei diversi materiali, che andranno a costituire lo strato principale, in termini di stoccaggio dell'acqua, sono state fatte alcune considerazioni sulla porosità e quindi del relativo potere di accumulo.

6. Soluzioni stratigrafiche

La porosità è uno dei parametri fondamentali dell'idrogeologia in quanto definisce il volume degli spazi vuoti presenti in una roccia o in un terreno. Facendo riferimento alla Figura 2.1Figura 6.1 Modello di distribuzione dell'acqua all'interno di un campione di terreno, e considerando che in colore marrone siano indicate le particelle solide del terreno e in colore azzurro i vuoti presenti fra le varie particelle, si definisce porosità il rapporto fra il volume V_{Vuoti} e il volume V_{Totale} terreno.

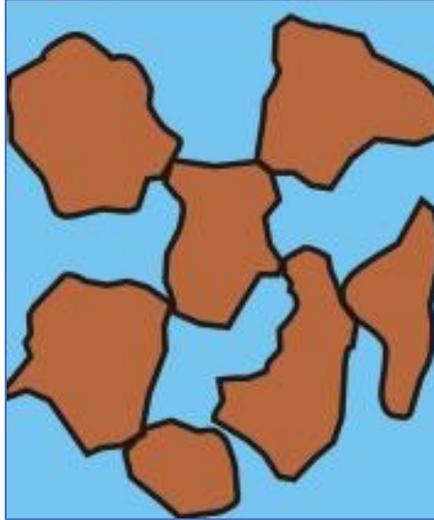


Figura 6.1 Modello di distribuzione dell'acqua all'interno di un campione di terreno

Più precisamente la porosità è definita come il rapporto fra il volume dei vuoti di un determinato campione di terreno e il volume totale del terreno.

$$n (\%) = \frac{V_{vuoti}}{V_{Totale}}$$

La porosità di un terreno, usualmente indicata con la lettera 'n', può variare da 0 ad 1. Il valore “0” corrisponde ad un terreno assolutamente privo di pori, cioè costituito unicamente dalla frazione solida, e il valore “1” corrisponde al caso, non reale, di un terreno costituito unicamente da pori. La porosità può essere espressa in percentuale, e in questo caso la variazione è fra 0% e 100%.

Facendo riferimento alla Figura 6.2, gli spazi vuoti presenti in un terreno possono essere suddivisi in tre categorie:

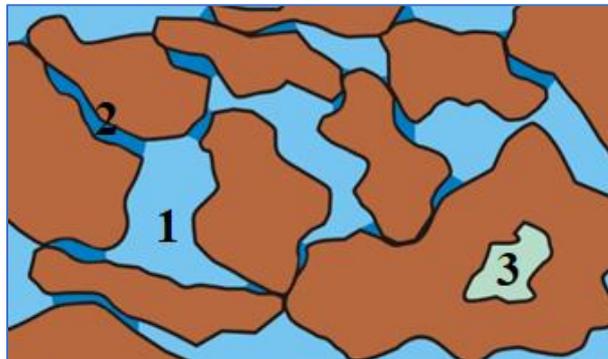


Figura 6.2 In figura vengono raffigurate le tre tipologie di spazi vuoti che si possono trovare in un terreno

6. Soluzioni stratigrafiche

1. spazi vuoti fra di loro intercomunicanti e di dimensioni sufficientemente grandi da consentire la libera circolazione dell'acqua (Acqua gravifica);
2. spazi vuoti fra di loro intercomunicanti ma di dimensioni così piccole da non poter di fatto essere attraversati dall'acqua (Acqua capillare);
3. spazi vuoti fra di loro non intercomunicanti.

Ai fini dello studio dei fenomeni di filtrazione risulta importante quantificare la frazione dei pori nei quali l'acqua può circolare e la frazione dei pori nei quali l'acqua non può di fatto circolare e per questa ragione è stato introdotto il concetto di *porosità efficace* e *ritenzione specifica*.

Porosità Efficace - Equivale al rapporto fra il volume dei vuoti intercomunicanti nei quali l'acqua può liberamente circolare (tipo 1 in Figura 6.2) e il volume totale del terreno. Più precisamente viene definita porosità efficace, usualmente indicata con n_e , il rapporto fra il volume d'acqua rilasciato per gravità da un campione di terreno o di roccia perfettamente saturo e il volume totale del campione.

Ritenzione Specifica - La ritenzione specifica viene invece definita come il rapporto fra il volume d'acqua trattenuto da un campione di terreno saturo dopo aver operato un drenaggio per gravità e il volume totale del campione.

La porosità di una roccia o di un terreno è data quindi dalla somma fra la porosità efficace e la ritenzione specifica.

La porosità di un determinato materiale varia a seconda delle caratteristiche delle particelle costituenti quali:

- forma
- dimensione
- grado di assortimento

e dal grado di compattazione il quale però nel nostro caso si assume essere nulla.

La forma delle particelle è responsabile della capacità di incastro e di compattazione che comporta quindi una riduzione volumetrica. La granulometria influisce sul numero e sulle dimensioni dei pori; un campione di sabbia, infatti, non presenterà delle macroporosità come un campione di ghiaia ma il numero di pori che possiederà al suo interno sarà decisamente maggiore come si può vedere in Figura 6.3. L'assortimento indica la varietà delle dimensioni degli aggregati all'interno del mezzo poroso: più l'assortimento è alto, minori sono gli spazi vuoti, poiché, le particelle più piccole riempiono con il proprio volume le macroporosità formate dagli aggregati più grandi.

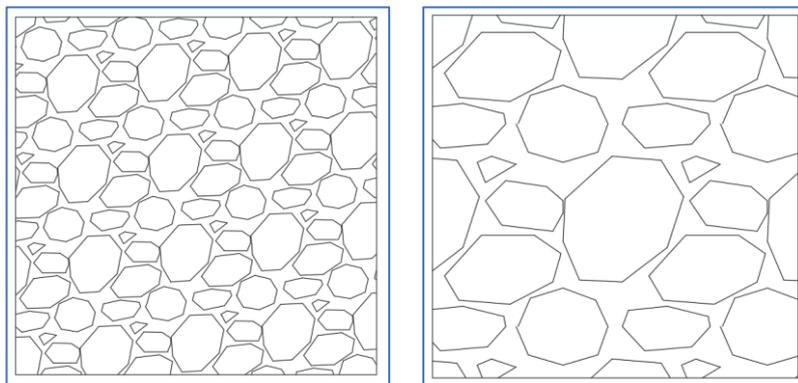


Figura 6.3 Confronto tra due campioni di granulometrie differenti dove il numero di pori risulta essere maggiore nel campione con pezzatura minore

6. Soluzioni stratigrafiche

Tutti questi fattori fanno sì che la porosità dei diversi materiali rientri all'interno di un range di variazione come viene riportato in Figura 6.4:

rocce sciolte		rocce compatte	
tipo di roccia	porosità totale (%)	tipo di roccia	porosità totale (%)
Ghiaie	25 ÷ 40	calcari	3 ÷ 20
sabbie e ghiaie	25 ÷ 30	calcari oolitici	5 ÷ 20
sabbie	25,95 ÷ 47,64	<i>craie</i>	15 ÷ 45
depositi alluvionali recenti	5 ÷ 15	basalti	0,1 ÷ 3
argille	45 ÷ 50	arenarie	5 ÷ 25
marne	45 ÷ 50	dolomie	2 ÷ 10
fanghi freschi	80 ÷ 90	graniti	0,02 ÷ 1,5
limi	35 ÷ 50	gessi	2 ÷ 8

Figura 6.4 Valori di Porosità totale forniti da Celico

Dovendo stabilire una gerarchia di valori di porosità per poter determinare i volumi d'acqua immagazzinabili in ciascuna soluzione si è adottata la seguente ipotesi: non essendo la forma delle particelle perfettamente sferica ma irregolare, il mutuo incastro tra le particelle riduce notevolmente i micropori. Un altro elemento di riduzione di volume, è fornito dal fatto che il convogliamento delle acque dalle zone limitrofe fa sì che l'acqua trasporti, nel suo tragitto, inquinanti e detriti, i quali nel tempo, possono otturare le porosità più piccole dei materiali.

Rispettando i range di variazione di porosità, sono stati assegnati per i diversi materiali utilizzati i seguenti valori:

Tabella 6.1 Valori di porosità attribuiti ai materiali utilizzati nelle 4 configurazioni proposte.

Materiale	Porosità
	%
Mix terreno - sabbia	28
Mix terreno - ghiaia fine	30
Sabbia pulita	30
Ghiai fine	34
Ghiai media	36
Ghiai grossa	40
Materiale alveolare	90

6.2 CONFIGURAZIONE 1: STRATO DI SABBIA

La prima soluzione (vedasi Figura 6.5), prevede l'utilizzo di uno strato vegetale di 20 cm necessario alla vita della vegetazione sovrastante, ed un secondo strato realizzato in sabbia di spessore 50 cm il quale permette l'immagazzinamento dell'acqua.

Lo strato vegetale deve rispettare il Mix Design di progetto. Esso, prevede, infatti di realizzare lo strato vegetale utilizzando per il 50% di volume il terreno da giardino mentre il restante 50% da sabbia che sarà utilizzata anche per lo strato drenante sottostante.

Nello secondo strato, le acque di pioggia subiscono prevalentemente un effetto di trattamento, dovuto al processo di infiltrazione all'interno del terreno sabbioso a cui sono soggette. Per quanto riguarda l'effetto di trattamento, da parte dei materiali costituenti i vari tipologici, la sabbia rappresenta la soluzione migliore. Questo materiale infatti si costituisce di elementi di piccole dimensioni dell'ordine di 0.2-0.6 mm i quali conferiranno una permeabilità minore rispetto a materiali più grossolani ed una importante superficie specifica. Queste caratteristiche sono essenziali per il trattamento di inquinanti, che possono essere rimossi dall'acqua, attraverso processi di adsorbimento da parte degli aggregati, influenzato anche dalla velocità di infiltrazione: una minor velocità di filtrazione significa un maggior tempo di contatto tra gli inquinanti e gli aggregati, e quindi, un maggiore adsorbimento.

Questo tipo di soluzione, d'altra parte, subisce in minor parte l'effetto di laminazione, data la bassa porosità e quindi il basso volume di vuoti. Questo tipo di configurazione, quindi, non riesce ad incidere in modo significativo sul picco della portata di acqua piovana che entra all'interno dell'area verde.

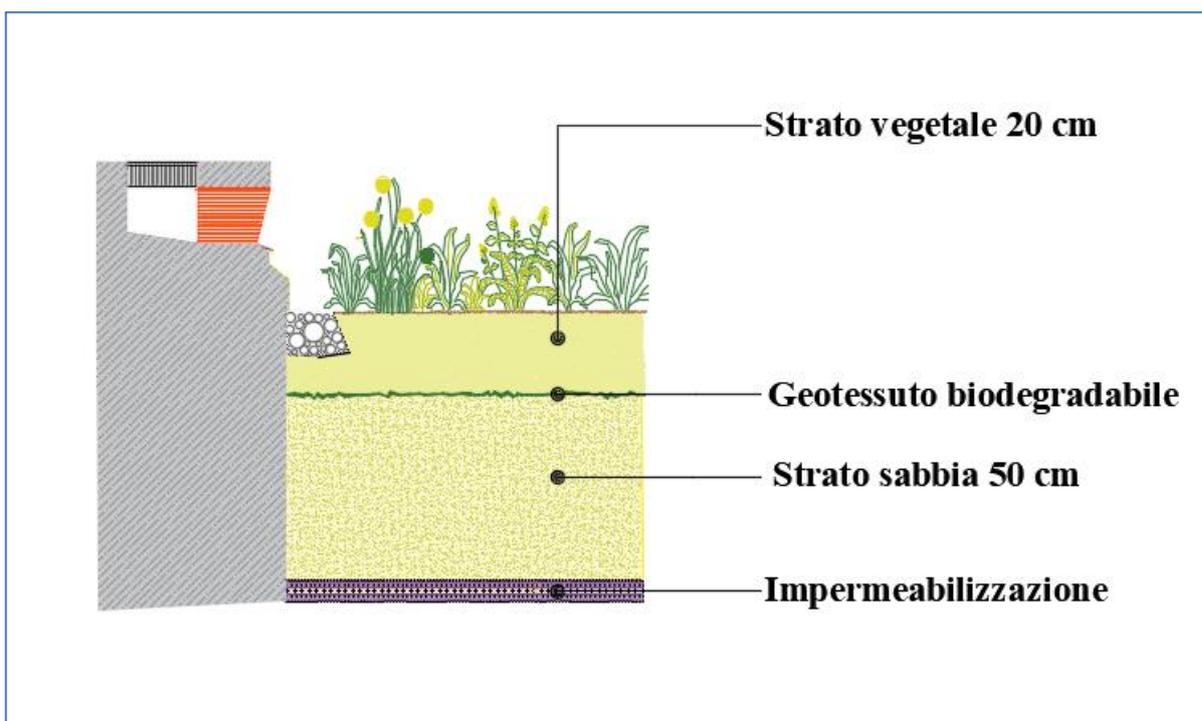


Figura 6.5 Soluzione con sabbia: realizzata mediante un primo strato di terreno pre-esistente (spessore 20 cm) per la nascita della vegetazione, ed un secondo strato di sabbia (spessore 50 cm) per lo stoccaggio dell'acqua.

6.3 CONFIGURAZIONE 2: STRATO DI GHIAIA

Allo scopo di migliorare le prestazioni dell'area verde, nel ridurre le portate di acqua di pioggia in ingresso, si è fatto riferimento alle tipologie di intervento che possono essere attuate nell'ambito del drenaggio urbano sostenibile, esaminate nel Capitolo 4. In particolare si è preso spunto dai sistemi di detenzione e bioritenzione, ipotizzando di sostituire il terreno da giardino con un terreno ghiaioso, sovrastato sempre da uno strato di 20 cm, necessario alla vita della vegetazione sovrastante, realizzato con uno specifico mix design la cui composizione è data per il 50 % di volume da ghiaia fine mentre il restante 50 % da terreno preesistente.

Rispetto alla prima configurazione presentata, si verifica un aumento dell'effetto di laminazione, poiché la configurazione in esame riesce ad incidere in modo significativo sul picco della portata di acqua piovana che entra all'interno dell'area verde, grazie ad una maggiore porosità e quindi ad un maggior volume accumulabile.

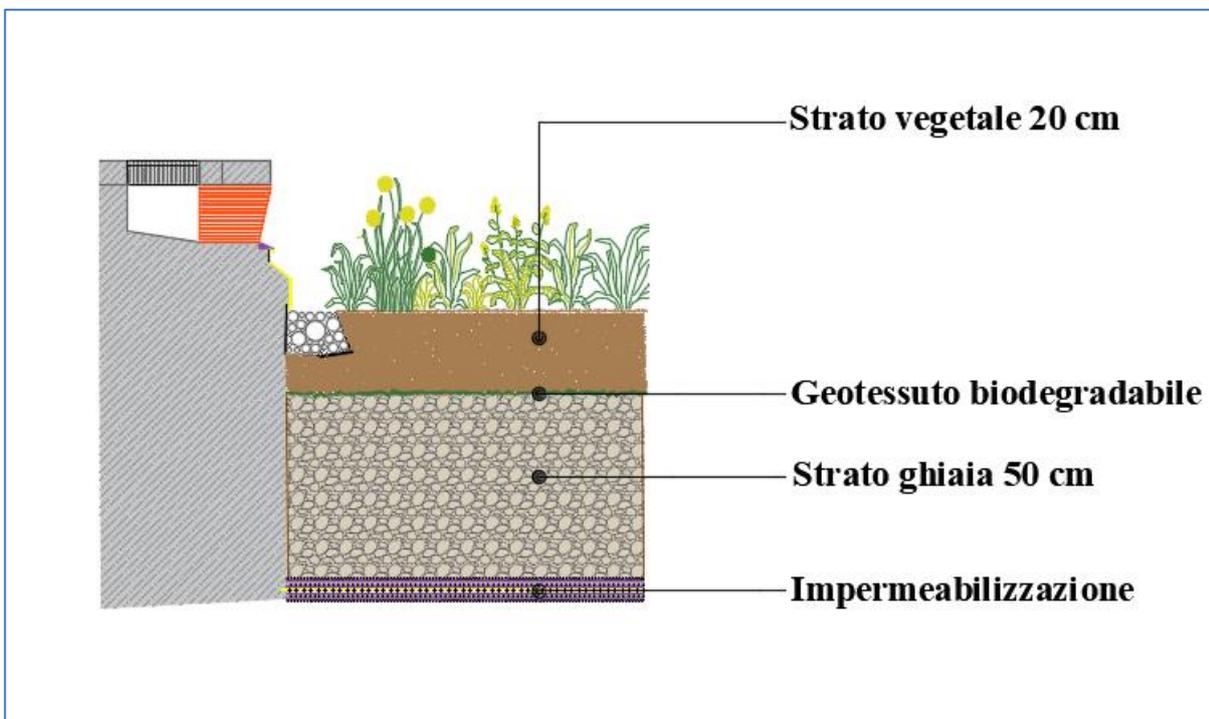


Figura 6.6 Soluzione con ghiaia: realizzata mediante un primo strato di terreno pre-esistente (spessore 20 cm) per la nascita della vegetazione ed un secondo strato di ghiaia (spessore 50 cm) per lo stoccaggio dell'acqua.

6.4 CONFIGURAZIONE 3: STRATO DI MATERIALE ALVEOLARE E SABBIA

Allo scopo di migliorare le prestazioni dell'area verde nel ridurre la portata di acqua di pioggia in ingresso, si è fatto nuovamente riferimento alle tipologie di intervento che possono essere attuate nell'ambito del drenaggio urbano sostenibile, esaminate al paragrafo 2.1.4. In particolare si è preso spunto dai tetti verdi, ipotizzando di inserire uno strato di materiale alveolare al di sotto di un terreno da

6. Soluzioni stratigrafiche

giardino. Il materiale alveolare presenta uno spazio sufficiente da poter catturare una quota consistente delle acque meteoriche in arrivo.

In Figura 6.7 viene riportato uno schema della configurazione proposta. Rispetto alla prima configurazione presentata si verifica una diminuzione dell'effetto di trattamento sulle acque meteoriche, a causa della riduzione dello spessore del terreno da giardino.

Dall'altra parte l'effetto di laminazione riscontra un'efficienza migliore in quanto la porosità di ogni singolo elemento raggiunge il 90% di vuoti. Questo permette di immagazzinare notevoli quantità d'acqua in spessori limitati rispetto ai casi precedenti. Lo spessore del terreno da giardino deve rispettare un range da 25 a 30 cm, affinché possa essere mantenuto un tappeto erboso.

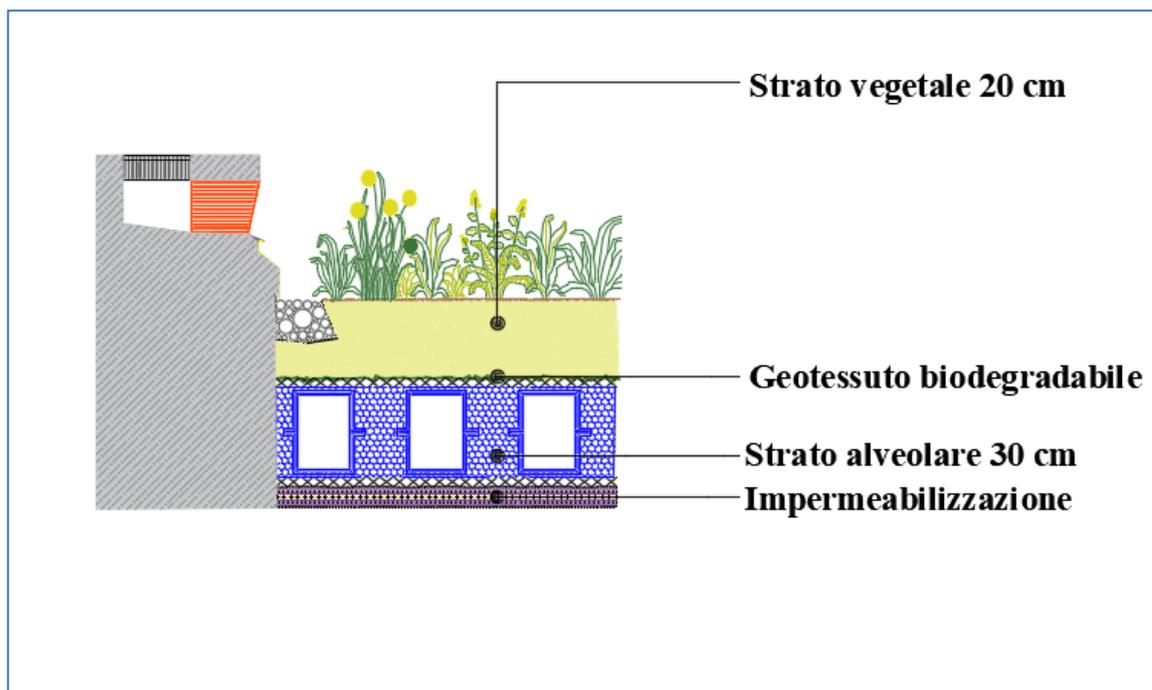


Figura 6.7 Soluzione con materiale alveolare: realizzata mediante un primo strato di terreno pre-esistente (spessore 20 cm) per la nascita della vegetazione ed un secondo strato di materiale alveolare ad alta porosità (spessore 30 cm) per lo stoccaggio dell'acqua.

Il materiale alveolare trovato sul mercato sono i *moduli cellulari SWM* (vedasi Figura 6.8) forniti dall'azienda *PIRCHEER S.R.L.*, assolvono questa funzione in quanto nascono a forma di parallelepipedo, ma si possono adattare alle più svariate esigenze impiantistiche e, grazie alla loro auto-portanza, non danno gli stessi problemi di cedimento della ghiaia in fase d'opera.

Sono caratterizzati da indice di vuoti superiore al 90%, quindi quasi 3 volte quello della ghiaia appena posata e da un peso al metro cubo intorno ai 30-50 kg (in base allo spessore e alla classe di carico selezionata).



Figura 6.8 Moduli cellulari SWM e rispettivo metodo di impiego

6.5 CONFIGURAZIONE 4: SOLUZIONE CALPESTABILE

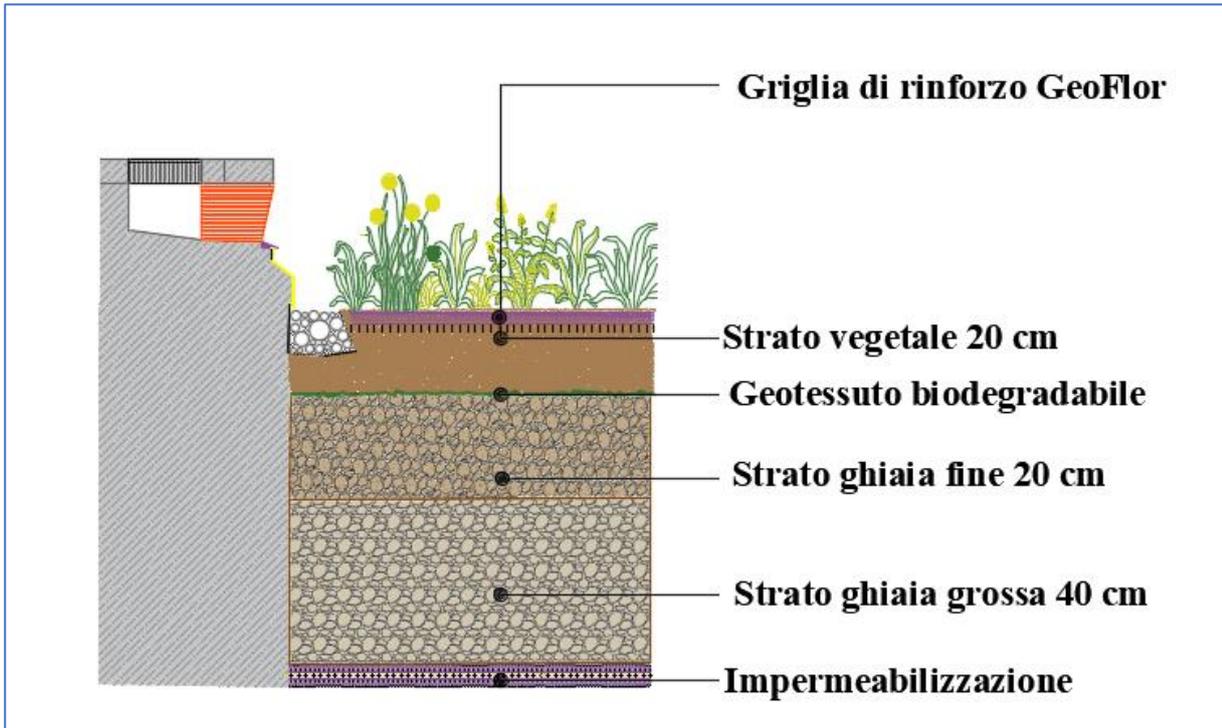


Figura 6.9 Soluzione calpestabile: realizzata con l'infissione della griglia di rinforzo Geo-Flor. la stratigrafia risulta essere composta da un primo strato di terreno pre-esistente (spessore 20 cm) per la nascita della vegetazione, un secondo strato di ghiaia fine con pezzatura 6/8 mm (spessore 20 cm) ed un terzo strato di ghiaia grossa con pezzatura 15/30 (spessore 40 cm).

Questa tipologia di soluzione nasce dall'idea è stata scelta per far sì che le aree verdi che sono state scelte per la realizzazione di questi sistemi di drenaggio possano continuare ad essere fruibili da persone, mezzi e strutture provvisorie come gazebo e tendoni.

In questo caso, la capacità portante del terreno, viene garantita (come illustrato in Figura 6.10) sia da una stratigrafia con un aumento graduale di pezzatura dei materiali, sia grazie ad un sistema griglie di rinforzo "Geo-Flor" prodotte dalla Geo-Plast, le quali grazie ad una semplice operazione di posa sul terreno permette una migliore distribuzione dei carichi e quindi l'aumento carico a rottura.



Figura 6.10 Stratigrafia della soluzione calpestabile

7 ANALISI DEI COSTI

Dopo la definizione delle diverse configurazioni proposte nel precedente capitolo, è stato necessario analizzare la dimensione economica di questi interventi. L'operazione preliminare è stata quella di comprendere le principali operazioni da compiere e soprattutto quelle che possiedono un onere maggiore.

7.1 MATERIALI E OPERAZIONI

Per la realizzazione di questi sistemi devono essere compiute diverse lavorazioni. Per conoscere il reale costo dei materiali e di ogni singola operazione, sono stati consultati il servizio online di Sistema Piemonte alla voce "Prezzario regionale per le opere pubbliche" ed il "Prezzario delle opere edili e impiantistiche in provincia di Cuneo". I "prezzari" rappresentano un punto di riferimento per il progettista, per il committente e per l'esecutore delle opere, oltre che un costante momento di confronto e di verifica critica nella preventivazione e nella valutazione dei costi degli interventi edilizi ed una risposta alla necessità di ridurre le incertezze derivanti dalle difformità di comportamento nella quantificazione dei costi delle opere, con particolare riferimento alle opere pubbliche. Per avere un riscontro sul mercato, sono state consultate diverse cave ed imprese, nella Provincia di Torino, affinché i costi dei diversi materiali, non fossero eccessivamente gonfiati dagli oneri di trasporto.

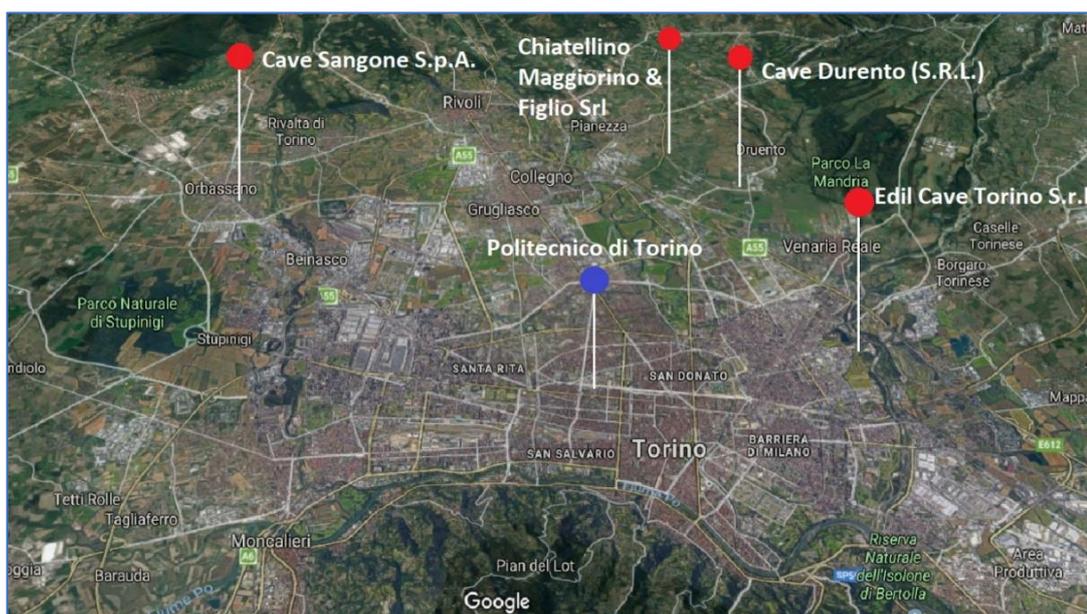


Figura 7.1 Vista planimetrica di Torino che riporta le cave consultate nella ricerca dei costi dei materiali. Le cave rientrano tutte nell'area metropolitana della città di Torino.

7. Analisi dei costi

I principali costi legati alla realizzazione di ciascuna opera oltre che il solo costo dei materiali prevedere diverse operazioni che vengono rappresentate nel seguente diagramma di flusso:



Scavo – Lo scavo per la realizzazione di ciascuna vasca deve prevedere lo sbancamento, ovvero la rimozione del primo strato di terreno vegetale che un approfondimento che è variabile a seconda della soluzione che si vuole adottare. Questa lavorazione avviene mediante l’ausilio di una pala meccanica il cui costo al m³.

Trasporto in discarica – Dopo aver realizzato lo scavo la terra di risulta necessita di essere smaltita in appositi ambienti. Infatti relativamente alla gestione dei rifiuti, anche qualora costituiti da terre e rocce da scavo, occorre attenersi ai criteri di priorità gestionale contenuti nell’ articolo 17935 del decreto legislativo 3 aprile 2006 n. 152 e s.m.i. “Norme in materia ambientale”. Tale articolo prevede nello specifico che venga puntualmente valutata prioritariamente la possibilità di reimpiego e/o recupero dei materiali, considerando lo smaltimento dei rifiuti in discarica come ultima ed estrema soluzione. Nelle soluzioni proposte viene quindi considerato il riutilizzo di parte della terra di scavo per la realizzazione del primo strato superficiale mentre il restante dovrà essere smaltito in apposite discariche.

Il costo di queste due lavorazioni viene fornito insieme per un valore che varia da 4 a 7 €/m³ a seconda della profondità che si vuole raggiungere.

7. Analisi dei costi

Tabella 7.1 Costi di scavo e smaltimento del terreno

Costi di scavo e smaltimento del terreno	
Fornitore	€/m ³
Esifor	5
Lavoricasa.it	4
Prezzario Regione Piemonte	6
Prezzario Provincia di Cuneo	3,90/8

Materiali – Definite le 4 diverse tipologie riportate nel Capitolo 6 occorre definire il costo di ogni singolo materiale necessario per la realizzazione della vasca. Sono state consultate diverse cave ed imprese per conoscere il prezzo per unità di misura, oltre che le lavorazioni necessarie per la messa in opera. Si può notare, che il confronto dei prezzi, viene fatto anche con cave non facenti parte della provincia di Torino. Questo è avvenuto perché ogni impresa si specializza su particolari granulometrie, e per poter effettuare un confronto tra prezzi, si è reso necessario consultare imprese che non locali.

Nella valutazione dei costi per ogni singola materiale quando la disponibilità di informazioni lo ha permesso è stata considerata una media dei prezzi che sono stati reperiti.

- *Sabbia*: Come tipologia di sabbia occorre tenere in considerazione una sabbia pulita. Si predilige quindi, una sabbia ottenuta con estrazione da fiume piuttosto che ottenuta per frantumazione da cava, in quanto per favorire un processo di filtrazione e depurazione dell'acqua bisogna imporre l'utilizzo di un materiale che non rilasci alcuna sostanza durante il processo di infiltrazione. Vengono qui di seguito riportati i costi proposti dalle diverse cave consultate:

Tabella 7.2 Costi relativi a sabbia media ed ottenuti da diversi fornitori

Sabbia media 0,2-0,6 mm					
Fornitore	Pezzatura (mm)	€		€/m ³	Costo medio
B&B Cave	0,4	10	€/tonn.	16	21,23
Semes	0,2	1,83	€/quint.	29,28	
Bettoni	0-2	11	€/tonn.	16,5	
GiesseCave s.r.l.	0-3	14,45	€/tonn.	23,12	

Per uniformare i prezzi sulla stessa unità di misura sono stati considerati i seguenti pesi specifici:

Tabella 7.3 Peso specifico della sabbia presa in esame

Densità sabbia	1600	kg/m ³	1,6	tonn/m ³
			16	quint/m ³

- *Ghiaia*: Sono state ricercate tre tipologie di granulometrie differenti di ghiaie che vengono impiegate ognuna in uno strato differente a seconda della soluzione che si vuole adottare:

Tabella 7.4 Costi relativi a ghiaia fine di diverse pezzature e ottenuti da diversi fornitori

Ghiaia fine 3-8 mm					
Fornitore	Pezzatura (mm)	€		€/m ³	Costo medio
B&B Cave	3/8	13	€/tonn.	19,5	21,64
Regione Piemonte	3/5 – 3/8	-	-	23,78	

7. Analisi dei costi

Tabella 7.5 Costi relativi a ghiaia media di diverse pezzature e ottenuti da diversi fornitori

Ghiaia media 8-16 mm					
Fornitore	Pezzatura (mm)	€		€/m ³	Costo medio
Semes	5/15	1,06	€/quint.	14,42	15,74
Regione Piemonte	5/15	1,16	€/quint.	15,78	
Regione Piemonte	5/15	1,14	€/quint.	15,51	
\Regione Piemonte	5/15	1,27	€/quint.	17,27	

Tabella 7.6 Costi relativi a ghiaia grossa di diverse pezzature e ottenuti da diversi fornitori

Ghiaia grossa 16-32 mm			
Fornitore	Pezzatura (mm)	€/m ³	costo medio
Sangone SPA	15/30	23,62	21,207
Edil Cave TO	15/30	17,5	
Regione Piemonte	5/10 - 10/30	22,5	

Per uniformare i prezzi sulla stessa unità di misura sono stati considerati i seguenti pesi specifici:

Tabella 7.7 Peso specifico della ghiaia presa in esame

Densità ghiaia	Graniglia	1,5	tonn/m ³
	Pietrisco	13,6	quint/m ³

- **Materiali accessori di ciascuna soluzione:** Si riporta in tabella i materiali che dovranno essere impiegati nella realizzazione di ciascuna vasca e caratterizzanti di alcune soluzioni come quella calpestabile e alveolare.

Tabella 7.8 Costi dei materiali accessori di ogni soluzione con prezzo indicato al m²

Materiale	Fornitore	€/m ²
Moduli cellulari SWM	Pircher S.R.L.	22
Griglie di rinforzo (GEOFLOOR)	Edil portale (Geoplast)	20,25
Strato Impermeabile	Regione Piemonte	9,27
Georete	Regione Piemonte	5,16
Tubazioni PVC 160 mm ext.	Regione Piemonte	8,84

Il prezzo di ciascuna unità comprende anche la lavorazione necessaria all'applicazione di ciascuna unità dell'elemento considerato.

Riempimento – La fase di riempimento della vasca sarà preceduta dalla posa dello strato impermeabile e il sistema di drenaggio inferiore ed il sistema di troppo pieno. Dopo queste lavorazioni si può procedere al riempimento della vasca per strati, intervallando sempre, quando si verifica il passaggio da un materiale all'altro, un foglio di georete che permette il filtraggio dell'acqua ma trattiene il materiale durante la filtrazione. Il riempimento avviene attraverso una pala meccanica senza la necessità che il terreno venga compattato per preservare le porosità del materiale. Il costo di riempimento per un metro cubo di terra è di:

7. Analisi dei costi

Tabella 7.9 Costi di mano d'opera

Riempimento	
€/m ³	3,65

7.2 COSTI

Dopo aver definito i costi ed i materiali caratterizzanti ciascuna soluzione, occorre definire il costo al metro quadro di ogni tipologico in modo da poter condurre una valutazione dei costi attraverso un computo metrico.

In seguito verrà mostrato per ogni soluzione, il costo a metro quadro frutto della somma di ogni singola lavorazione descritta in precedenza ed i costi dei materiali necessari per la realizzazione di un metro quadro di ogni soluzione. Vengono inoltre riportate le percentuali di volume di terreno preesistente riutilizzato a fronte dell'intero volume di terreno rimosso.

Tabella 7.10 Percentuali di volume di terreno preesistente riutilizzato a fronte dell'intero volume di terreno rimosso

	Soluzioni			
	Sabbia	Ghiaia	Alveolare	Calpestabile
Costo al m² (€)	42,89	40,01	77,23	58,61
% Terreno di riutilizzo	11%	11%	15%	10%

Per definire il costo di realizzazione di ogni vasca occorre stimare l'estensione di ogni area. Tale operazione è stata consentita attraverso la misurazione delle aree avvenuta grazie al Software AutoCAD vedi Figura 7.2 e alle planimetrie fornite dall'Ufficio Tecnico del Politecnico.

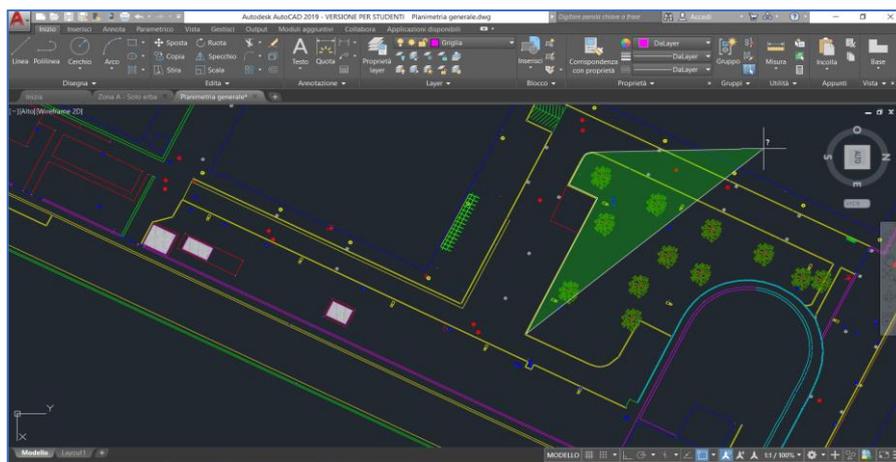


Figura 7.2 Screen-shot AutoCAD – Misurazione dell'estensione delle aree verdi

Le tabelle seguenti riportano per ogni area verde analizzata i costi dell'applicazione di ciascuna configurazione proposta:

7. Analisi dei costi

Tabella 7.11 Costi totali delle quattro configurazioni applicate nell'area A

Zona A		
Superficie	746,74	m ²
Sabbia	32.026	€
Ghiaia	29.878	€
Alveolare	57.673	€
Calpestabile	40.018	€

Tabella 7.12 Costi totali delle quattro configurazioni applicate nell'area B

Zona B		
Superficie	768,36	m ²
Sabbia	32.953	€
Ghiaia	30.743	€
Alveolare	59.342	€
Calpestabile	45.037	€

Tabella 7.13 Costi totali delle quattro configurazioni applicate nell'area C

Zona C		
Superficie	5.386	m ²
Sabbia	231.008	€
Ghiaia	215.517	€
Alveolare	416.004	€
Calpestabile	315.717	€

Tabella 7.14 Costi totali delle quattro configurazioni applicate nell'area D

Zona D		
Superficie	766,79	m ²
Sabbia	32.886	€
Ghiaia	30.680	€
Alveolare	59.221	€
Calpestabile	44.945	€

I valori ricavati non sono da intendersi definitivi, in quanto l'analisi condotta non comprende alcune lavorazioni come la realizzazione dei cordoli, connessione alla rete bianca e l'aggiunta di sistema di canalette per convogliare l'acqua dalle aree limitrofe e dai tetti nelle aree verdi. Queste lavorazioni sono state escluse in quanto comuni per la realizzazione di ogni vasca, e con un'incidenza sui costi finali relativamente bassa.

8 ANALISI DEI BENEFICI

L'obiettivo del presente capitolo consiste nell'analizzare il processo di infiltrazione all'interno di un'area verde, allo scopo di valutare la riduzione, il trattamento, grazie alla vegetazione superficiale ed il processo di filtrazione e la portata di acqua piovana che giunge, in un secondo momento, nel sistema fognario.

Per simulare il funzionamento di una qualsiasi area verde, si è fatto ricorso ad uno script Matlab, redatto nell'analisi preliminare dalla tesista Francesca Rizzo, opportunamente adattato e modificato per riuscire a fornire valori indicativi sull'efficienza di tali sistemi. Risulta, quindi, fondamentale esporre lo schema di analisi adottato per affrontare il problema in esame, applicabile ad una qualsiasi area verde.

A livello generale lo schema di analisi prevede di esaminare le caratteristiche principali dell'area verde e del relativo sistema di convogliamento delle acque meteoriche e modellare sia l'andamento delle precipitazioni sulla zona considerata, sia il processo di infiltrazione dell'acqua piovana all'interno della superficie verde.

8.1 FUNZIONAMENTO DEL MODELLO MATLAB

In primo luogo è necessario analizzare in modo approfondito l'area verde, focalizzandosi sulle caratteristiche che risultano fondamentali per poter esaminare il processo di infiltrazione di acqua piovana al suo interno. In questo ambito i primi parametri da analizzare sono l'ampiezza (A_{verde}), la porosità (n), il grado di saturazione iniziale (s_0) e lo spessore (S) dell'area verde.

8.1.1 Dati di input

Ad eccezione dell'ampiezza della zona verde, tutti i parametri citati possono essere in primo luogo stimati utilizzando valori pubblicati in letteratura, sulla base della tipologia di area verde in esame. In seguito possono essere quantificati accuratamente attraverso dati di campo.

Ampiezza - L'ampiezza della zona verde è stata stimata sulla base della planimetria dell'area esaminata, fornita dall'Ufficio Tecnico del Politecnico di Torino. Questo parametro è in primo luogo indispensabile per valutare il volume dei pori presenti nell'area verde, dando un'indicazione della capacità di immagazzinamento di acqua piovana dell'area stessa. Inoltre, l'ampiezza della zona verde è indicativa dell'estensione su cui cade la precipitazione e su cui si può allargare l'acqua, nel caso in cui si verifichi un accumulo.

Porosità - La porosità definisce il volume dei pori presenti nell'area verde ed è quantificabile dall'espressione:

8. Analisi dei benefici

$$n = \frac{V_{p\text{ori}}}{V_{\text{totale}}} \quad (8.1)$$

Nell'equazione (8.1) $V_{p\text{ori}}$ rappresenta il volume dei pori e V_{totale} il volume totale dell'area verde, pari al prodotto tra l'ampiezza e lo spessore. Il valore assunto dalla porosità dipende dalla forma e della dimensione dei grani costituenti il mezzo, dalla disposizione con cui i grani si sono accumulati, dalla pressione litostatica esercitata su di essi e dalla composizione mineralogica. Per i suoli, il parametro presenta valori tipicamente compresi tra 0 e 48 %:

$$0 \leq n \leq 0.48$$

Grado di saturazione iniziale - Il grado di saturazione definisce il volume d'acqua che va ad occupare lo spazio presente tra i diversi grani solidi dell'area verde ed è quantificabile dall'espressione:

$$s = \frac{V_{\text{acqua}}}{V_{p\text{ori}}} \quad (8.2)$$

Nell'equazione (8.2) V_{acqua} rappresenta il volume dell'acqua presente e $V_{p\text{ori}}$ il volume dei pori. La zona verde presenta un grado di saturazione iniziale compreso tra 0 (pori occupati unicamente da aria) e 1 (pori completamente occupati dal fluido):

$$0 \leq s \leq 1$$

Gli estremi dell'intervallo entro cui varia il parametro rappresentano, rispettivamente, la condizione di terreno secco e la condizione di terreno saturo. In questo frangente si considera una situazione in cui è presente una quota di acqua all'interno dei pori dell'area verde, che però non ha raggiunto la condizione di saturazione. Infatti il grado di saturazione iniziale si riferisce al periodo antecedente un evento di pioggia, in cui l'area verde è insatura.

Spessore - Lo spessore dell'area verde rappresenta un parametro indispensabile per valutare il volume dei pori presenti nell'area verde. Esso varia a seconda della soluzione adottata.

8.1.2 Modellazione delle precipitazioni

Allo scopo di modellare le precipitazioni che interessano l'area verde, risulta necessario ricostruire le curve di probabilità pluviometrica relative all'area dove si colloca la zona verde. Le curve di probabilità pluviometrica correlano l'altezza di pioggia (h_p) con il tempo di precipitazione (t) per diversi tempi di ritorno (T) e possono essere espresse, con buona approssimazione, dalla relazione:

$$i_p = \frac{h_p(t)}{t} = a \cdot t^{n-1} \quad (8.3)$$

Nell'equazione (8.3) i parametri a e n sono rispettivamente il coefficiente pluviale orario, che rappresenta l'altezza di pioggia caduta in un intervallo di tempo pari a un'ora, e l'esponente di invarianza di scala, che governa l'andamento della curva e l'entità della dipendenza dal tempo della precipitazione. L'altezza di pioggia è espressa in *mm* mentre il tempo in *h*.

8. Analisi dei benefici

Per la determinazione di questi due parametri, si è fatto riferimento al servizio "Atlante delle piogge intense" elaborato da Arpa Piemonte, che consente di ricavare in qualsiasi punto del territorio piemontese le curve di probabilità pluviometrica, per un assegnato periodo di ritorno e per durate da 10 min a 24 h. Focalizzandosi sul comune di Torino, sono stati individuati tramite questo strumento i dati di altezza di pioggia (h_p) per durate (t) di 10 min, 20 min, 30 min, 1 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h e per tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 anni. Interpolando i dati forniti con una linea polinomiale di primo grado, è stato possibile ricavare i parametri a e n delle diverse curve, scegliendo come tempo di ritorno di progetto 2 anni in quanto si è voluto porsi in condizioni di sicurezza rispetto alle linee guida proposte dal SuDS che indicano come periodo di ritorno di progetto 1 anno.

Tabella 8.1 Coefficiente pluviale e esponente di invarianza di scala relativi al tempo T.R. di progetto pari a 2 anni.

T (anni)	a	n
2	33,141	0,261

Determinate le altezze di precipitazione per diverse durate, a parità di tempo di ritorno, è possibile ricostruire la curva di probabilità pluviometrica interpolando i dati con una linea polinomiale di primo grado. L'andamento che ci si attende per la curva è presentato in Figura 8.1: essa parte dal valore nullo, andando progressivamente a crescere all'aumentare del tempo di precipitazione. In particolare è possibile constatare che, all'aumentare del tempo di ritorno, la curva si sposta verso l'alto, come indicato dalla freccia in Figura 8.1.

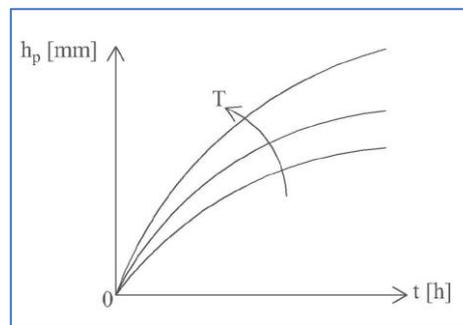


Figura 8.1 Andamento dell'altezza di pioggia nel tempo, al variare del periodo di ritorno T . La freccia indica che, all'aumentare del periodo di ritorno, la curva $h_p(t)$ si sposta verso l'alto.

8.1.3 Tempo di corrivazione delle aree convogliate

Note le aree di influenza di ciascun sistema, ovvero, le aree che sfociano durante un evento piovoso le proprie portate all'interno dell'area verde di competenza, si possono ricavare i rispettivi tempi di corrivazione. A livello generale, il tempo di corrivazione relativo ad un punto assegnato del sistema di convogliamento, assimilabile ad un bacino, rappresenta il tempo che impiega una goccia d'acqua che parte da quel punto per raggiungere l'area verde, assimilabile alla sezione di chiusura del bacino. Ad ogni punto appartenente al sistema di convogliamento corrisponde un particolare valore del tempo di corrivazione. Un punto particolare è quello idraulicamente più lontano dall'area verde, il cui tempo di corrivazione presenta il valore maggiore e coincide con il tempo di corrivazione dell'intero sistema di convogliamento. Questo parametro può essere calcolato grazie all'espressione:

$$t_c = t_{ir} + \frac{L_{pr}}{v_{pr}} \quad (8.4)$$

Nell'equazione (8.4) t_{ir} rappresenta il tempo di ingresso dell'acqua piovana nella rete di convogliamento, v_{pr} la velocità con cui l'acqua piovana percorre la rete e L_{pr} la lunghezza del percorso effettuato dalla goccia che cade sull'area convogliata nel punto più lontano dall'area verde. Quest'ultimo parametro rappresenta quindi la lunghezza del percorso di corrivazione ed è misurabile sulla base della planimetria a disposizione: in Figura 4.2 ne viene riportato un esempio.

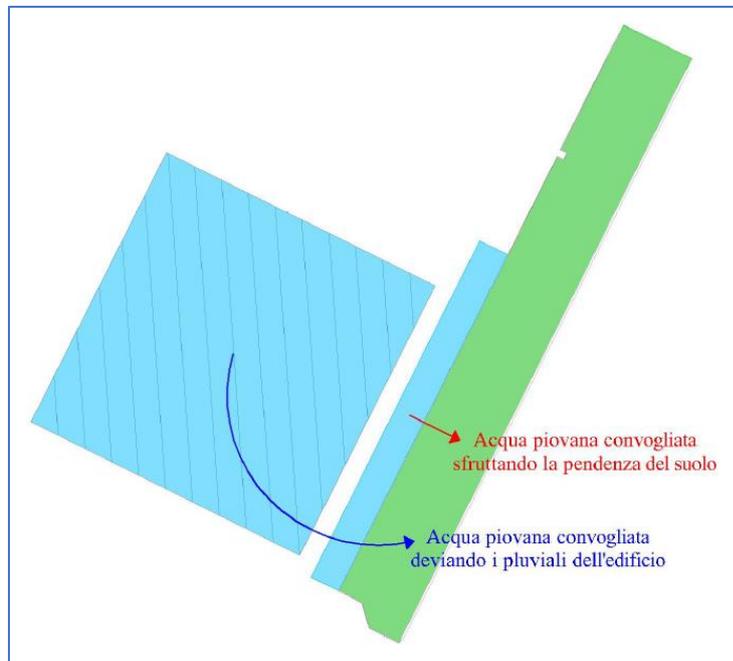


Figura 8.2 Esempio di area convogliata. Si riportano in azzurro l'area convogliata, in verde la superficie verde, in tratteggiato grigio gli edifici e in linea rossa le direzioni lungo cui l'acqua piovana viene convogliata all'interno dell'area verde.

8.1.4 Portata in ingresso al sistema Q_i

La superficie verde riceve una portata in ingresso (Q_i), data dalla somma di due contributi:

- una quota derivante dalla pioggia che cade direttamente sulla superficie verde, denominata "portata di pioggia" (Q_p)
- una quota derivante dal convogliamento della pioggia che cade sulle zone circostanti la superficie verde, denominata "portata convogliata" (Q_{conv})

Per quanto concerne il secondo contributo, il flusso in ingresso viene alimentato sia sfruttando la pendenza delle aree adiacenti sia direzionando all'interno della zona verde i pluviali degli edifici attigui (vedasi Capitolo 5). Quanto appena descritto viene rappresentato dalla seguente espressione:

$$Q_i = Q_p + Q_{conv} \quad (8.5)$$

Nell'equazione (8.5) le portate sono espresse in m^3/h : per poter quantificare i due addendi è necessario far riferimento alle curve di probabilità pluviometrica introdotte al paragrafo 8.1.2, che rappresentano l'andamento dell'altezza di precipitazione (h_p) in funzione del tempo (t).

8. Analisi dei benefici

A partire dall'altezza di pioggia è possibile quantificare l'intensità di pioggia (i_p), espressa in mm/h, grazie all'equazione:

$$i_p = \frac{h_p(t)}{t} = a \cdot t^{n-1}$$

Allo scopo di utilizzare quest'ultima variabile per calcolare i successivi parametri, risulta necessario effettuare una conversione da mm/h a m/h. L'andamento che ci si attende per l'intensità di pioggia viene presentato in Figura 8.3: essa parte da un valore tendente ad infinito, andando progressivamente a diminuire all'aumentare del tempo di precipitazione e avvicinandosi asintoticamente al valore nullo.

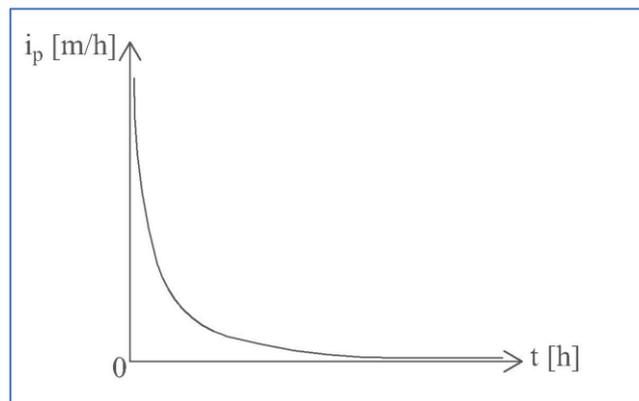


Figura 8.3 Andamento dell'intensità di pioggia nel tempo

L'intensità di pioggia risulta indispensabile per poter determinare la portata in ingresso (vedasi equazione (8.3)).

Infatti la portata di pioggia, il primo dei due contributi della portata in ingresso, può essere calcolata come:

$$Q_p(t) = i_p \cdot A_{Verde} \quad (8.6)$$

Nell'equazione (8.6) A_{Verde} rappresenta l'ampiezza della superficie verde in esame ed è espressa in m^2 . Per poter calcolare invece la portata convogliata, il secondo dei due contributi della portata in ingresso, è possibile utilizzare la seguente espressione:

$$Q_{conv} = i_p(t) \cdot A_{Conv}(t) \quad (8.7)$$

Nell'equazione (8.7) A_{Conv} rappresenta l'ampiezza dell'area su cui cade la pioggia convogliata verso la superficie verde, espressa in m^2 e variabile in funzione del tempo di precipitazione. Essa si estende progressivamente a zone più lontane dal sistema in esame, assumendo la massima ampiezza in corrispondenza del tempo di corruzione (t_c) relativo al sistema stesso e mantenendosi quindi costante per la restante durata della precipitazione (vedasi Figura 8.4).

8. Analisi dei benefici

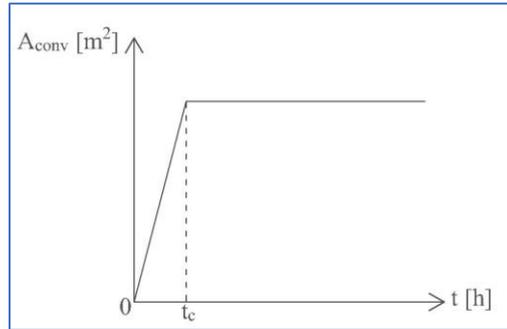


Figura 8.4 Andamento dell'ampiezza dell'area convogliata nel tempo

In Figura 8.5 viene invece raffigurato un esempio di evoluzione spaziale dell'area convogliata verso la zona verde. All'aumentare del tempo di precipitazione vengono coinvolte aree sempre più distanti, rappresentate con colori che vanno dall'azzurro (le aree convogliate al tempo iniziale, t_1) al blu (le aree convogliate al tempo finale, t_4 , corrispondente al tempo di corrivazione del sistema).

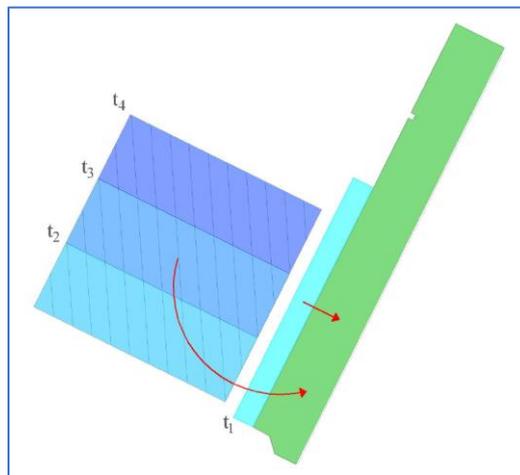


Figura 8.5 Esempio di evoluzione spaziale dell'ampiezza dell'area convogliata, riportata con colori che vanno dall'azzurro (corrispondente al tempo t_1) al blu (corrispondente al tempo t_4). Inoltre si riportano in verde la superficie verde, in tratteggiato grigio gli edifici e in linea rossa le direzioni lungo cui l'acqua piovana viene convogliata all'interno dell'area verde.

Ritornando quindi alle precedenti equazioni, sia Q_p che Q_{conv} sono funzione del tempo di pioggia: la stessa considerazione può essere estesa anche a Q_i . Entrambi i contributi alla portata in ingresso presentano un andamento simile a quello schematizzato in Figura 8.6: partendo dal valore nullo, crescono fino ad un massimo e poi decrescono.

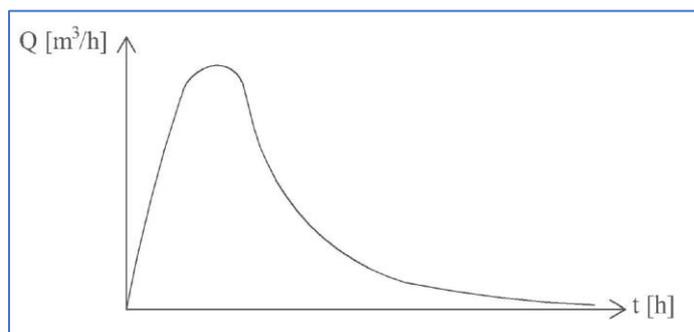


Figura 8.6 Andamento della portata in ingresso nel tempo

8.1.5 Modellazione del processo di infiltrazione

Focalizzandosi su un determinato arco temporale, durante il quale si suppone che la precipitazione sia continua, si va ad instaurare un processo di infiltrazione dell'acqua piovana, come schematizzato in Figura 4.9, dove Q_{inf} rappresenta la portata infiltrata.

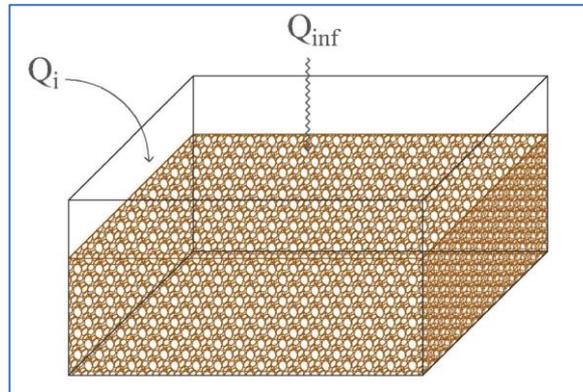


Figura 8.7 Schematizzazione del processo di infiltrazione. Si indica con Q_i la portata in ingresso e con Q_{inf} la portata infiltrata

In funzione del confronto tra l'intensità di arrivo (i_{arr}) e la capacità d'infiltrazione, si può verificare un accumulo di acqua piovana sulla superficie, argomento approfondito nel paragrafo 8.1.6. Lo strato d'acqua presente sulla superficie verde aumenta progressivamente nel tempo e deve essere convogliato all'esterno: per perseguire questo scopo si è scelto di inserire un "Sistema Troppo Pieno". Nel momento in cui la lama d'acqua supera il dislivello tra terreno e bocca del "Sistema Troppo Pieno" (p) si instaura una portata in uscita (Q_u), la cui valutazione è approfondita al paragrafo 8.1.6.

Quanto appena visto a livello generale evidenzia la presenza di diverse portate che interessano la zona verde: la portata in ingresso (Q_i), la portata infiltrata (Q_{inf}) e la portata in uscita (Q_u). Queste portate devono rispettare un'equazione fondamentale, ovvero la legge di conservazione della massa:

$$A_{Verde} \frac{dh}{dt} = Q_i(t) - Q_{inf}(t) - Q_u(t) \quad (8.8)$$

Nell'equazione (8.8) h rappresenta l'altezza dello strato d'acqua accumulatosi sulla superficie. In Figura 8.8 viene quindi riportata una schematizzazione dell'applicazione del bilancio di massa al mezzo poroso.

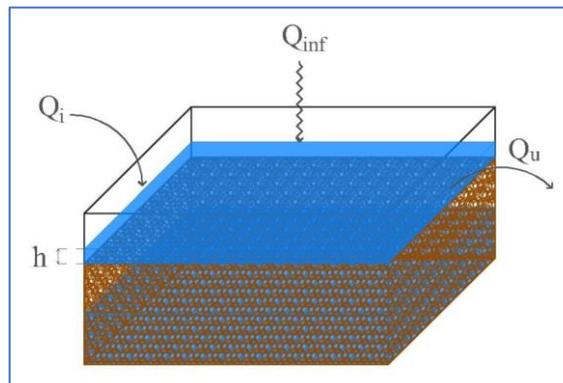


Figura 8.8: Schematizzazione della legge di conservazione della massa. Si indica con Q_i la portata in ingresso, con Q_{inf} la portata infiltrata, con Q_u la portata in uscita e con h l'altezza della lama d'acqua piovana sulla superficie verde.

8. Analisi dei benefici

Uno dei parametri fondamentali nell'ambito dello studio che si sta conducendo è la capacità d'infiltrazione dell'area verde. Questo parametro è essenziale per poter esaminare il comportamento di un'area verde nel ricevere una portata in ingresso e, di conseguenza, per poter quantificare il volume infiltrato introdotto al paragrafo 8.1.6.

Per valutare la capacità d'infiltrazione del terreno si è deciso di ricorrere al tasso di infiltrazione potenziale (f_p). Per poter definire questo parametro è necessario in primo luogo introdurre il concetto di tasso di infiltrazione reale (f), che rappresenta l'altezza della lama d'acqua che penetra attraverso la superficie del suolo nell'unità di tempo. Ne consegue che il tasso di infiltrazione potenziale rappresenta il tasso di infiltrazione che si verificherebbe nell'ipotesi che la disponibilità d'acqua sia sufficiente ad alimentare la massima infiltrazione possibile. Allo scopo di quantificare il tasso di infiltrazione potenziale, sono stati elaborati numerosi modelli matematici, che esprimono il parametro in funzione del tempo o di ulteriori variabili. Tra di essi si è scelto di far riferimento al modello di Horton, che rappresenta una delle leggi maggiormente utilizzate nell'ambito della progettazione fognaria. Il modello quindi permette di valutare l'andamento del tasso di infiltrazione potenziale di un mezzo poroso nel tempo come:

$$f_p(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (8.9)$$

Nell'equazione (8.9) f_0 è il valore iniziale del tasso di infiltrazione potenziale, espresso in m/h, f_c è il valore costante a cui il tasso di infiltrazione potenziale tende asintoticamente, espresso in m/h e k è una costante di tempo, espresso in h^{-1} . Il tasso di infiltrazione potenziale viene quindi espresso in m/h.

I parametri f_0 , f_c e k dipendono dalla tipologia di suolo presa in esame: essi possono essere in primo luogo stimati utilizzando valori pubblicati in letteratura o attraverso la calibrazione di modelli complessi di drenaggio delle acque meteoriche. In seguito possono essere quantificati accuratamente attraverso dati di campo.

Fissati i valori dei parametri per un determinato tipo di suolo, l'equazione di Horton può essere rappresentata secondo la curva riportata in Figura 8.9.

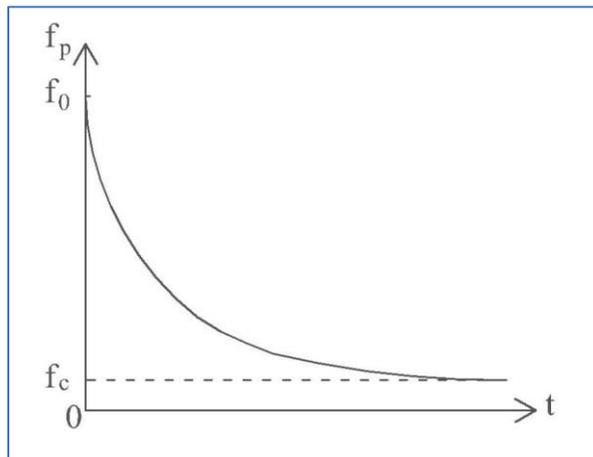


Figura 8.9 Andamento del tasso di infiltrazione potenziale di Horton in funzione del tempo per un determinato tipo di suolo.

Partendo dal valore massimo f_0 , il tasso di infiltrazione potenziale decresce esponenzialmente all'aumentare del tempo di precipitazione, raggiungendo il valore minimo f_c e mantenendosi quindi costante.

8.1.6 Determinazione della portata in uscita

In seguito ai meccanismi illustrati ai paragrafi 8.1.4 e 8.1.5, va ad instaurarsi una portata in uscita legata al volume accumulato sulla superficie verde oltre il bordo dello stramazzo. Allo scopo di convogliare questo volume verso l'esterno, si è scelto di inserire un sistema di “*tropo pieno*” il cui comportamento viene approfondito nel Capitolo 9.

È stata imposta un'altezza limite oltre la quale lo strato d'acqua che si accumula al di sopra dell'area verde sfocia la propria portata all'interno del sistema di “*tropo pieno*” realizzato con un sistema di tubazioni collegate alla rete bianca. In questo frangente si è considerato nullo il termine $A_{verde}(dh/dt)$ della legge di conservazione della massa (vedasi equazione 8.8), per simulare che al superamento di tale soglia il volume in vasca non cresce ulteriormente.

Per quanto concerne invece il termine $Q_{inf}(t)$, esso risulta nullo solo nel caso in cui l'area verde abbia raggiunto la condizione di saturazione.

L'intera quota del volume dello strato che supera il bordo dello stramazzo viene convogliata verso l'esterno e si traduce quindi in volume in uscita (V_u). All'istante t il volume in uscita ($V_u(t)$) può quindi essere calcolato mediante l'espressione:

$$V_u(t) = V_i(t) - V_{inf}(t) - V_{acc} - \int_{t_0}^t Q_u(t)dt \quad (8.10)$$

Nell'equazione (8.10) $V_i(t)$ rappresenta il volume entrato nell'area verde all'istante t , $V_{inf}(t)$ il volume infiltrato all'istante t e V_{acc} il volume accumulabile. L'ultimo addendo rappresenta il volume totale uscito dall'area verde dall'istante iniziale t_0 all'istante considerato (t), calcolato come integrale della portata in uscita. Se l'area verde è giunta alla condizione di saturazione, il volume infiltrato all'istante t va ad eguagliare il massimo volume stoccabile dall'area verde (V_{stoc}).

Conoscendo il valore del volume in uscita all'istante t , è possibile calcolare la portata in uscita grazie all'espressione:

$$Q_u(t) = \frac{dV_u}{dt} \quad (8.11)$$

La portata in uscita presenta un andamento che dipende sia dall'evoluzione della portata in ingresso che dall'assorbimento di acqua piovana effettuato dall'area verde. In Figura 8.10 viene riportata la curva relativa alla portata in uscita, insieme a quella relativa alla portata in ingresso. Per poter valutare il ruolo svolto dall'area verde nel ridurre la portata che, in sua assenza, entrerebbe all'interno del sistema fognario, risulta necessario confrontare le due curve.

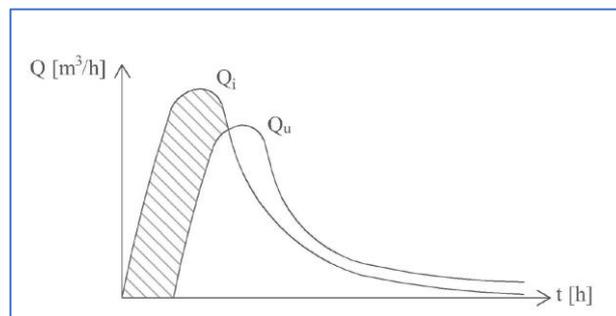


Figura 8.10 Andamento della portata in uscita Q_u nel tempo, confrontata con la portata in ingresso Q_i

8. Analisi dei benefici

A questo scopo sono stati introdotti i seguenti parametri, che permettono di giudicare la prestazione offerta dall'area verde: tempo di instaurazione della portata in uscita (t_u), tasso di abbattimento (η), volume trattenuto dall'area verde (V_t) e tempo di raggiungimento della saturazione dell'area verde (t_{sat}).

Tempo di instaurazione della portata in uscita “ t_u ”

In primo luogo risulta necessario identificare il momento in cui si instaura la portata in uscita (espresso in h), che viene convogliata verso il sistema fognario. Si tratta di un istante fondamentale, poiché il flusso di acqua piovana torna ad essere immesso all'interno della rete fognaria, da cui era stato temporaneamente allontanato. Maggiore è il tempo di instaurazione della portata in uscita, migliore è la prestazione dell'area verde.

Tasso di abbattimento “ η ”

È inoltre indispensabile valutare la riduzione del picco della portata in ingresso effettuata dall'area verde, calcolando il tasso di abbattimento:

$$\eta = \frac{\max(Q_u)}{\max(Q_i)} \quad (8.12)$$

Nell'equazione (8.12) $\max(Q_u)$ rappresenta il picco della portata in uscita mentre $\max(Q_i)$ rappresenta il picco della portata in ingresso. Minore è il tasso di abbattimento, migliore è la prestazione dell'area verde.

Volume trattenuto dall'area verde “ V_t ”

Un ulteriore parametro da valutare è il volume trattenuto dall'area verde (rappresentato dall'area tratteggiata presente in Figura 8.10), corrispondente alla somma del volume infiltrato all'interno del mezzo e di quello accumulato su di esso ed espresso in m³. Si tratta di un parametro importante nell'ottica di determinare l'entità della quota del flusso in ingresso che viene trattenuta dall'area verde: maggiore è il volume trattenuto, migliore è la prestazione dell'area verde.

Tempo di raggiungimento della saturazione dell'area verde “ t_{sat} ”

L'ultimo parametro necessario è il tempo di raggiungimento della saturazione (espresso in h), che corrisponde all'istante in cui si interrompe il ruolo dell'area verde nell'assorbire e abbattere la portata in ingresso. Maggiore è il tempo di raggiungimento della saturazione, migliore è la prestazione dell'area verde.

Nei seguenti capitoli verranno riportati le analisi che sono state condotte per ogni area, riportando i parametri precedentemente descritti ed illustrando come questi varino a seconda delle aree considerate ed alle soluzioni adottate.

8.2 AREA VERDE A

Attraverso l'impiego del software Matlab, è stato possibile esaminare il primo caso studio, corrispondente all'area verde A indicata al paragrafo 3.1.1.5 e situata all'interno della Cittadella del Politecnico di Torino, fra la Mensa Universitaria Castelfidardo e Corso Castelfidardo. In Figura 8.11 ne viene riportata una foto ripresa sul luogo, mentre in Figura 8.12 una foto aerea (in cui l'area verde è delimitata da una linea rossa),

La zona è stata scelta in base all'ampiezza propria e della potenziale superficie convogliata, oltre che per la disponibilità di informazioni precise sulla rete fognaria bianca.



Figura 8.11 Foto ripresa sul luogo della zona A

8.2.1 Caratteristiche dell'area verde

In primo luogo sono state valutate le caratteristiche principali dell'area verde esaminata: in questo frangente è stata indispensabile la planimetria fornita dall'Ufficio Tecnico del Politecnico. Grazie al software *AutoCAD*, è stata misurata l'ampiezza dell'area verde (A_{Verde}), pari a 746.74 m^2 .

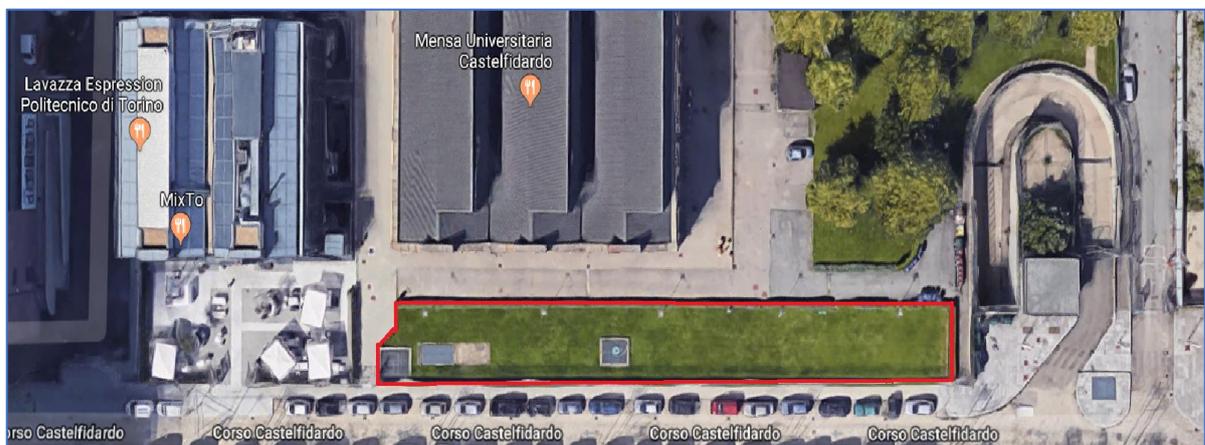


Figura 8.12 Vista aerea ottenuta con Google Maps Zona A evidenziata con linea rossa

8. Analisi dei benefici

Le planimetrie hanno permesso inoltre di determinare come:

- area convogliata data dalle aree e tetti limitrofi;
- le caratteristiche della rete fognaria bianca come: collocazione rispetto all'area verde, le dimensioni delle tubazioni;
- punti quotati sia del piano campagna che di fondo scavo, dove passano le tubazioni in PVC.



Figura 8.13 Ricostruzione su AutoCAD della Zona A

Nello studio preliminare che ha preceduto questo elaborato di tesi la raccolta di dati quali:

- ampiezza dell'area convogliata (A_{Conv}) = 1551.83 m²;
- lunghezza del percorso di corrivazione (L_{pr}) = 44.02 m;
- tempo di ingresso in rete (t_{ir}) = 1.5 min

attraverso la formula (8.4) riportata nel paragrafo 8.1.3 è stato possibile determinare il tempo di corrivazione (t_c) delle aree convogliate verso l'area verde A_{Verde} pari a 4.13·10⁻²h (circa 2 min).

8.2.2 Andamento delle precipitazioni

Come è stato descritto nel paragrafo 8.1.2, nello studio preliminare al seguente elaborato di tesi, sono state individuate le curve di possibilità pluviometrica, per diversi periodi di ritorno grazie all'Atlante delle piogge intense". Come tempo di ritorno è stato scelto 2 anni. Anche se le direttive del manuale SuDS indicano un periodo di ritorno di un anno la scelta fatta risulta essere a favore di sicurezza.

8.2.3 Parametri di infiltrazione

In ogni configurazione proposta viene posto al di sopra dello strato drenante uno strato denominato vegetale come descritto nel Capitolo 6. Tale strato, necessario per lo sviluppo della vegetazione sovrastante, deve essere progettato in modo che non costituisca freno al processo di infiltrazione. La fascia vegetale viene realizzata con 50% di ghiaia fine o sabbia a seconda della soluzione e 50 % di

8. Analisi dei benefici

terreno preesistente diventa così fondamentale nella determinazione della capacità di infiltrazione. Non potendo risalire agli effettivi valori sono state consultate diverse fonti, che indicassero una tipologia di terreno simile a quella proposta. Sono stati quindi scelti i seguenti valori dalla letteratura:

Tabella 8.2 Parametri di infiltrazione considerati nelle analisi relativi allo strato vegetale che può essere realizzato attraverso un mix di terra preesistente e sabbia o ghiaia a seconda del tipo di configurazione utilizzata.

Terreno da giardino sabbioso		
f_0 (mm/h)	f_c (mm/h)	k (h^{-1})
584.45	45.7	32.71
Terreno da giardino ghiaioso		
f_0 (mm/h)	f_c (mm/h)	k (h^{-1})
158.5	61.5	4.7

8.2.4 Analisi dei benefici

Dopo aver determinato la capacità di infiltrazione in base alla tipologia di terreno è stato possibile simulare il comportamento dell'area verde A considerando l'applicazione delle quattro configurazioni proposte.

8.2.4.1 Soluzione con sabbia

Nella prima analisi condotta sulla zona A si è considerata la configurazione con sabbia. I dati di input utilizzati sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 8.3 Parametri identificativi della prima configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - sabbia	0,2	28	45,7	584,5	32,71
Sabbia pulita	0,5	30	-	-	-

Osservando il grafico in Figura 8.14 si può osservare come al raggiungimento di un tempo di 0.3 h, circa 18 min, si verifica una portata uscente dal sistema con un massimo di $Q_{u\ MAX} = 149\ m^3/h$. Responsabile della portata in uscita è il superamento della capacità di infiltrazione da parte dell'intensità in arrivo.

Il sistema termina il proprio effetto di laminazione dopo che si verifica la saturazione della vasca ovvero quando si è raggiunto il massimo volume accumulabile nella vasca che in questo caso avviene dopo 4.5 h.

8. Analisi dei benefici

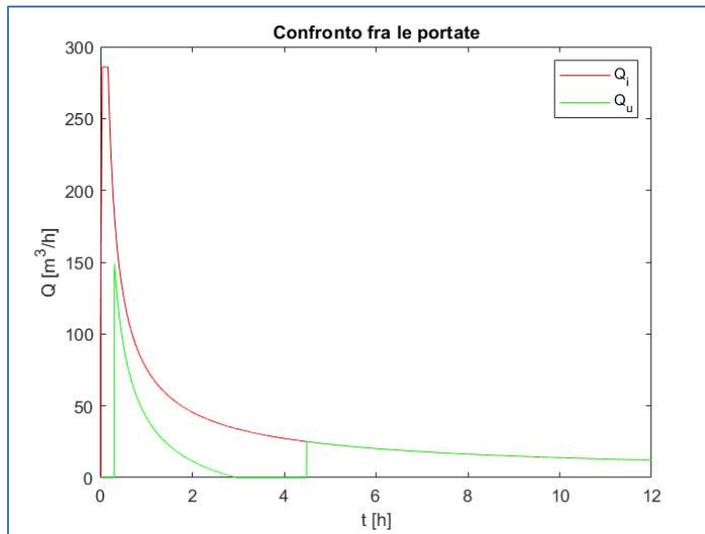


Figura 8.14 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con sabbia la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante di 0.5 m con porosità 30%.

Il massimo volume accumulabile all'interno del sistema durante un evento piovoso con tempo di ritorno 2 anni raggiunge i 210 m³. Dopo aver raggiunto la saturazione come si può osservare dal grafico la portata uscente coincide con quella entrante. Ciò indica che raggiunta la saturazione il sistema diventa "trasparente" rispetto alle portate in ingresso le quali entrando in vasca vengono immediatamente raccolte dal sistema di troppo pieno come illustrato nel Capitolo 5.

Le prestazioni di quest'area in termini di laminazione delle portate vengono espresse dal *tasso di abbattimento* delle portate in ingresso:

$$\eta = 0.52$$

Questo valore indica, come si può osservare anche in Figura 8.14, che la portata massima uscente dall'area verde corrisponde circa alla metà di quella entrante. Ciò significa che l'area e la configurazione offrono un buon lavoro di laminazione.

8.2.4.2 Soluzione con ghiaia

La seconda configurazione presuppone l'utilizzo dei seguenti dati di input quelli riportati in tabella:

Tabella 8.4 Parametri identificativi della seconda configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	30	61,5	158,5	4,7
Ghiaia grossa	0,5	40	-	-	-

La sostituzione della sabbia con un materiale a granulometria maggiore comporta un incremento del volume che raggiunge i 250 m³. Un maggiore possibilità di immagazzinamento ed una diversa capacità

8. Analisi dei benefici

di infiltrazione hanno come effetto (come si può osservare in Figura 8.15) una modesta dilatazione dei tempi rispetto alla precedente configurazione, infatti, si verifica una portata in uscita dopo circa 0.37 h ovvero 22 min con una portata massima di $Q_{u\ MAX} = 101\ m^3/h$ mentre la saturazione viene raggiunta a 4.68 h dall'inizio dell'evento di pioggia.

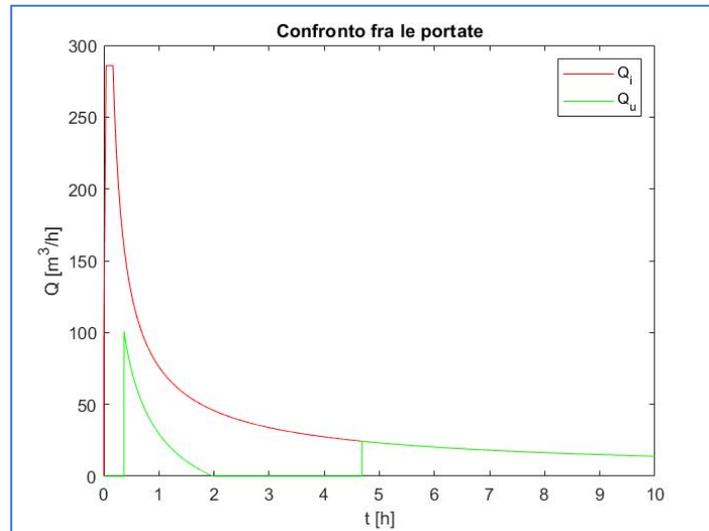


Figura 8.15 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con ghiaia la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 30% ed uno drenante di 0.5 m con porosità 40%.

Il tasso di abbattimento di questa area verde è pari a:

$$\eta = 0.34$$

che implica un effetto di laminazione migliore rispetto alla configurazione precedente in quanto riduce di un terzo la portata entrante nel sistema A.

8.2.4.3 Soluzione con materiale alveolare

Nella terza configurazione si fa utilizzo dei seguenti dati di input:

Tabella 8.5 Parametri identificativi della terza configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - sabbia	0,2	28	45,7	584,5	32,71
Alveolare	0,3	90	-	-	

L'impiego del materiale alveolare consente di ampliare notevolmente i volumi di accumulo passando a $300\ m^3$. Essendo però lo strato vegetale costituito da un mix di terreno preesistente e sabbia la capacità di infiltrazione è dettata dalle caratteristiche di quest'ultimo. Come nel caso della configurazione sabbiosa si verifica una portata uscente dopo 0.3 ore ovvero 18 minuti con un massimo che raggiunge i $Q_{u\ MAX} = 149\ m^3/h$. La saturazione subisce però una traslazione temporale notevole passando a 9 ore.

8. Analisi dei benefici

Tale valore è dettato dalla velocità di filtrazione governata dal mix di sabbia e terreno. Essendo il volume stoccabile molto grande e la velocità di filtrazione all'interno dello strato vegetale relativamente bassa, rispetto ad un terreno ghiaioso i tempi di saturazione risultano molto più grandi. Si riporta in seguito il valore del tasso di abbattimento:

$$\eta = 0.53$$

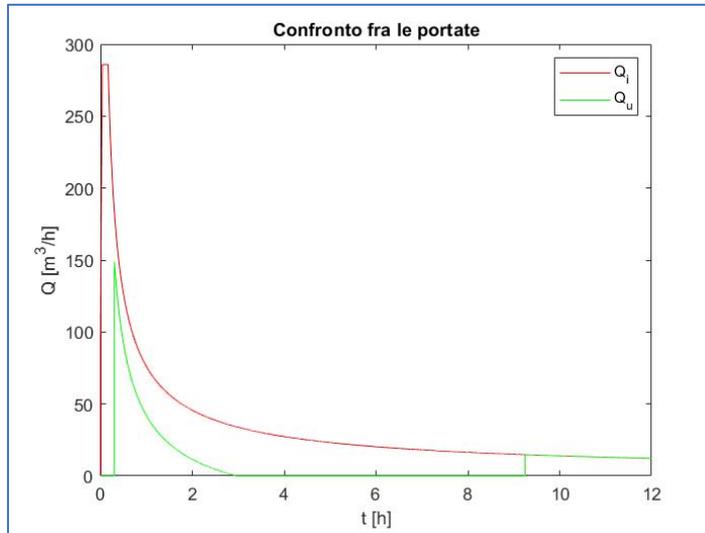


Figura 8.16 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con sabbia e materiale alveolare la quale prevede uno strato vegetale pari a 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante di 0.3 m con porosità 90%.

8.2.4.4 Soluzione calpestable

L'analisi della quarta configurazione utilizza i dati di input riportati in tabella:

Tabella 8.6 Parametri identificativi della quarta configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	Porosità	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	30	61,5	158,5	4,7
Ghiaia media	0,2	36	-	-	-
Ghiaia grossa	0,4	40	-	-	-

Per la realizzazione di questa soluzione sono stati impiegate due stratigrafie, oltre a quella vegetale, necessarie per garantire stabilità al calpestio. La stratigrafia comporta un importante volume di immagazzinamento pari a 274 m³. Si verifica una portata in uscita dopo 22 min con un massimo di $Q_{uMAX} = 101 \text{ m}^3/h$ mentre la saturazione avviene dopo 5.7 h. La prestazione di quest'area verde viene rappresentata dal seguente valore:

$$\eta = 0.36$$

8. Analisi dei benefici

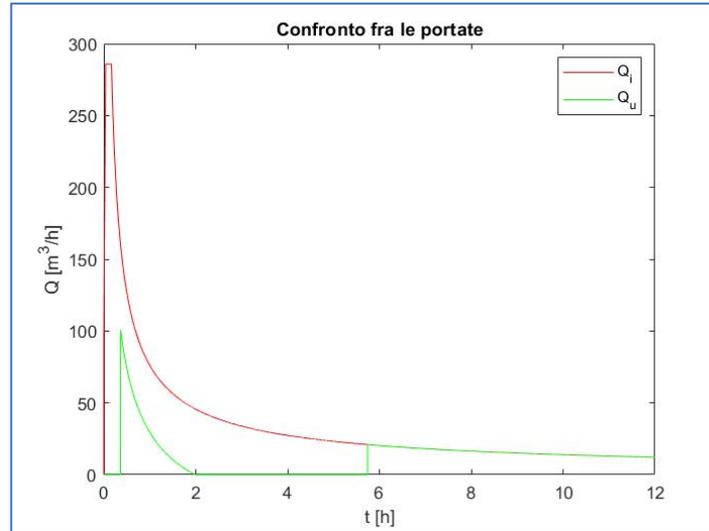


Figura 8.17 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione calpestabile realizzata con diversi strati di ghiaia. Prevede uno strato vegetale pari a 0.2 m con porosità 30% uno primo strato drenante di 0.2 m con porosità 36% ed un secondo di 0.4 m con porosità 40%.

8.2.4.5 Riepilogo parametri

Nella tabella seguente si vuole riportare i parametri identificativi di ogni configurazione.

Tabella 8.7 Parametri di valutazione ottenuti mediante le analisi condotte sull'area verde A considerando l'applicazione delle quattro soluzioni proposte.

	$V_T (m)^3$	$t_{sat} (h)$	$t_u (h)$	η
Sabbia	210	4,489	0,3035	0,52
Ghiaia	250	4,684	0,3655	0,34
Alveolare	300	9,245	0,3035	0,53
Calpestabile	274	5,745	0,3655	0,36

8.3 AREA VERDE B

Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi dell'area verde A l'attenzione si è focalizzata su una seconda zona verde, corrispondente all'area verde B indicata al paragrafo 3.1.1.5. Essa è situata all'interno della Cittadella del Politecnico di Torino, fra l'Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione (SiTI), la Mensa Universitaria Castelfidardo e l'area verde A. **In Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (a) ne riportata una foto ripresa sul luogo, mentre in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (b) una foto aerea (in cui l'area verde è delimitata da una linea rossa).

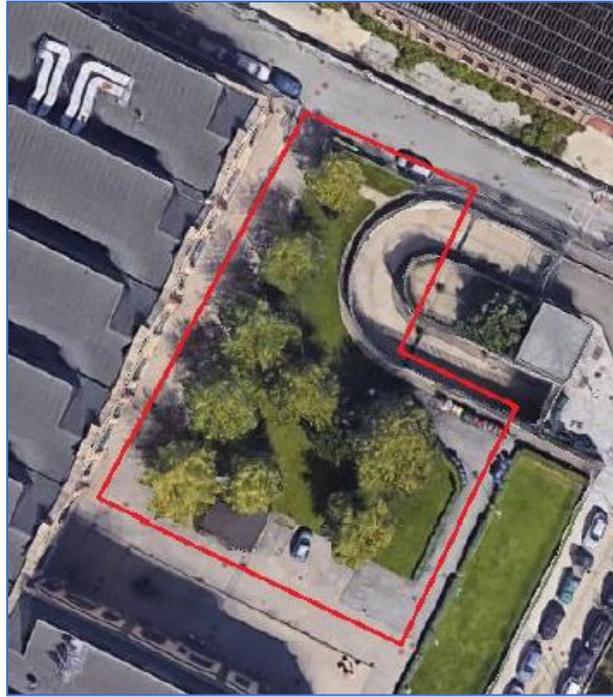


Figura 8.18 Vista aerea ottenuta con Google Maps Zona B evidenziata con linea rossa

La zona è stata scelta in base all'ampiezza propria e della potenziale superficie convogliata, oltre che per la disponibilità di informazioni precise sulla rete fognaria bianca.



Figura 8.19 Foto ripresa sul luogo

8.3.1 Caratteristiche dell'area verde

In primo luogo sono state valutate le caratteristiche principali dell'area verde esaminata: in questo frangente è stata indispensabile la planimetria fornita dall'Ufficio Tecnico del Politecnico. Grazie al software *AutoCAD*, è stata misurata l'ampiezza dell'area verde (A_{Verde}), pari a 768.36 m².

Le planimetrie hanno permesso inoltre di determinare come:

- area convogliata data dalle aree e tetti limitrofi;
- le caratteristiche della rete fognaria bianca come: collocazione rispetto all'area verde, le dimensioni delle tubazioni;
- punti quotati sia del piano campagna che di fondo scavo, dove passano le tubazioni in PVC.
-

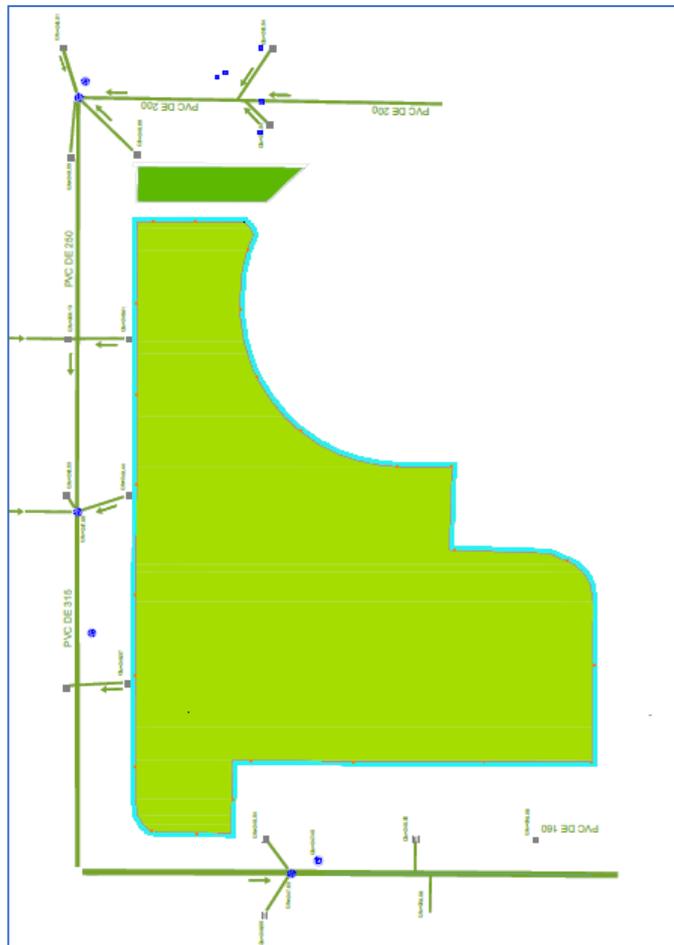


Figura 8.20 Ricostruzione su AutoCAD della Zona B

Nello studio preliminare che ha preceduto questo elaborato di tesi la raccolta di dati quali:

- ampiezza dell'area convogliata (A_{Conv}) = 1661.83 m²;
- lunghezza del percorso di corrivazione (L_{pr}) = 16.26 m;
- tempo di ingresso in rete (t_{ir}) = 1.5 min

attraverso la formula (8.4) riportata nel paragrafo 8.1.3 è stato possibile determinare il tempo di corrivazione (t_c) delle aree convogliate verso l'area verde A pari a $3 \cdot 10^{-1} \cdot 1.2^2$ h (circa 2 min).

8.3.2 Andamento delle precipitazioni

Come è stato descritto nel paragrafo 8.1.2, nello studio preliminare al seguente elaborato di tesi, sono state individuate le curve di possibilità pluviometrica, per diversi periodi di ritorno grazie all'Atlante delle piogge intense". Come tempo di ritorno è stato scelto 2 anni. Anche se le direttive del manuale SuDS indicano un periodo di ritorno di un anno la scelta fatta risulta essere a favore di sicurezza.

8.3.3 Parametri di infiltrazione

Come parametri di infiltrazione si sono considerati i valori trovati in letteratura corrispondenti alla capacità di infiltrazione di un terreno da giardino sabbioso ed un terreno da giardino ghiaioso. I valori dei parametri utilizzati corrispondono a quelli presentati precedentemente in Tabella 8.2

8.3.4 Analisi dei benefici

Si prende ora in esame la seconda area la quale possiede caratteristiche di estensione di poco superiori all'area precedentemente analizzata. Si attendono quindi, parametri indicativi del comportamento di ogni zona simili a quelli precedenti.

8.3.4.1 Soluzione con sabbia

Nella prima analisi condotta sulla zona B si è considerata la configurazione con sabbia. I dati di input utilizzati sono riportati in tabella

Tabella 8.8 Parametri identificativi della prima configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - sabbia	0,2	28	45,7	584,5	32,71
Sabbia pulita	0,5	30	-	-	-

Osservando il grafico in Figura 8.21 si può notare come al raggiungimento di un tempo di 0.29 ore, circa 17 minuti, si verifica una portata uscente dal sistema con un massimo che raggiunge i $Qu_{MAX} = 165 \text{ m}^3/\text{h}$. Responsabile della portata in uscita è il superamento della capacità di infiltrazione da parte dell'intensità in arrivo.

Il sistema termina il proprio effetto di laminazione dopo che si verifica la saturazione della vasca ovvero quando si è raggiunto il massimo volume accumulabile nella stessa che in questo caso avviene dopo 4.45 ore. Il massimo volume accumulabile all'interno del sistema durante un evento piovoso con tempo di ritorno 2 anni raggiunge i 216 m^3 . Dopo aver raggiunto la saturazione come si può osservare dal grafico la portata uscente coincide con quella entrante. Ciò indica che raggiunta la saturazione il sistema diventa "trasparente" rispetto alle portate in ingresso le quali entrando in vasca vengono immediatamente raccolte dal sistema di "troppo pieno" come illustrato nel Capitolo 5 .

8. Analisi dei benefici

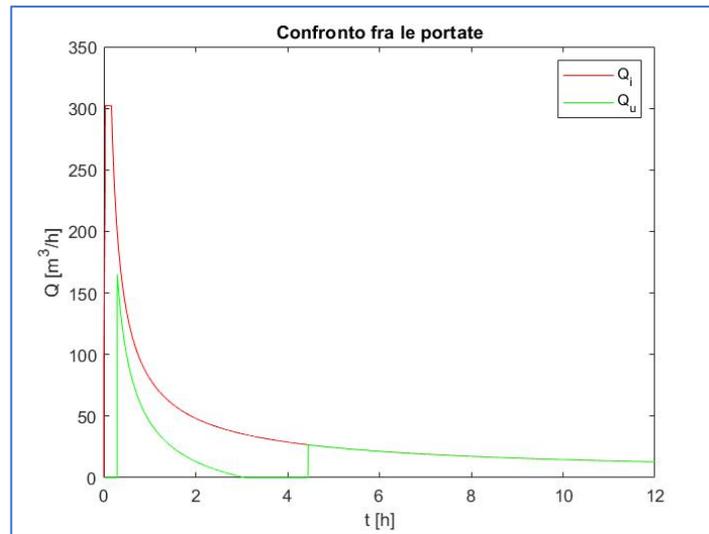


Figura 8.21 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con sabbia la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante di 0.5 m con porosità 30%.

Le prestazioni di quest'area in termini di laminazione delle portate vengono espresse dal "tasso di abbattimento" delle portate in ingresso:

$$\eta = 0.55$$

Questo valore indica, come si può osservare anche in Figura 8.21, che la portata massima uscente dall'area verde corrisponde circa alla metà di quella entrante. Ciò significa l'applicazione di questa configurazione all'area B garantisce un buon lavoro di laminazione.

8.3.4.2 Soluzione con ghiaia

La seconda configurazione utilizza come dati di input quelli riportati in tabella:

Tabella 8.9 Parametri identificativi della seconda configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	30	61,5	158,5	4,7
Ghiaia grossa	0,5	40	-	-	-

La sostituzione della sabbia con un materiale a granulometria maggiore comporta un incremento del volume che raggiunge i 257 m³. Un maggiore possibilità di immagazzinamento ed una diversa capacità di infiltrazione hanno come effetto (come si può osservare in Figura 8.22) una modesta dilatazione dei tempi rispetto alla precedente soluzione, infatti, si verifica una portata in uscita dopo circa 0.34 h ovvero 20 min mentre la saturazione viene raggiunta a 4.6 h dall'inizio dell'evento di pioggia.

8. Analisi dei benefici

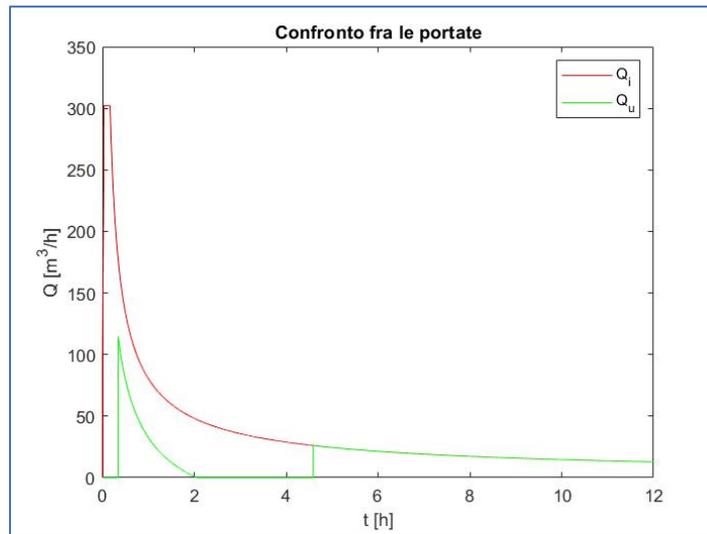


Figura 8.22 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con ghiaia la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 30% ed uno drenante di 0.5 m con porosità 40%.

Il tasso di abbattimento di questa area verde è pari a:

$$\eta = 0.38$$

che implica un effetto di laminazione migliore rispetto alla configurazione precedente con un massimo di portata uscente pari a $Q_{u\text{MAX}} = 115 \text{ m}^3/\text{h}$

8.3.4.3 Soluzione con materiale alveolare

Nella terza configurazione si fa utilizzo dei seguenti dati di input:

Tabella 8.10 Parametri identificativi della terza configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - sabbia	0,2	28	45,7	584,5	32,71
Alveolare	0,3	90	-	-	-

L'impiego del materiale alveolare consente di ampliare notevolmente i volumi di accumulo passando a 308 m^3 . Essendo però lo strato vegetale costituito da un mix di terreno preesistente e sabbia la capacità di infiltrazione è dettata dalle caratteristiche di quest'ultimo. Come nel caso della configurazione sabbiosa si verifica una portata uscente dopo 0.29 h ovvero 17.4 min con un massimo valore di $Q_{u\text{MAX}} = 115 \text{ m}^3/\text{h}$. La saturazione subisce però una traslazione temporale notevole passando a 9 h. Tale valore si spiega poiché la velocità di filtrazione è governata dal mix di sabbia e terreno. Essendo il volume stoccabile molto grande e la velocità di filtrazione all'interno dello strato vegetale relativamente bassa, rispetto ad un terreno ghiaioso i tempi di saturazione risultano molto più grandi. Si riporta in seguito il valore del tasso di abbattimento:

8. Analisi dei benefici

$$\eta = 0.55$$

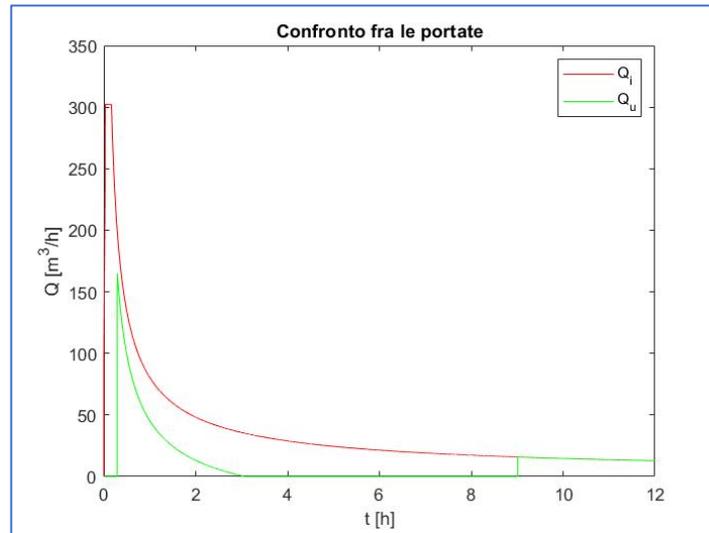


Figura 8.23 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con sabbia e materiale alveolare la quale prevede uno strato vegetale pari a 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante di 0.3 m con porosità 90%.

8.3.4.4 Soluzione calpestabile

L'analisi della quarta configurazione utilizza i dati di input riportati in tabella:

Tabella 8.11 Parametri identificativi della quarta configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	Porosità	f_c	f_0	k
	<i>m</i>	%	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>m/h</i>
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	30	61,5	158,5	4,7
Ghiaia media	0,2	36	-	-	-
Ghiaia grossa	0,4	40	-	-	-

Per la realizzazione di questa soluzione sono stati impiegate due stratigrafie, oltre a quella vegetale, necessarie per garantire stabilità al calpestio. La stratigrafia comporta un importante volume di immagazzinamento pari a 282 m³. Si verifica una portata in uscita dopo 20 min con un massimo di $Q_{uMAX} = 115$ m³/h mentre la saturazione avviene dopo 5.6 h. La prestazione di quest'area verde viene rappresentata dal seguente valore di *tasso d'abbattimento*:

$$\eta = 0.38$$

8. Analisi dei benefici

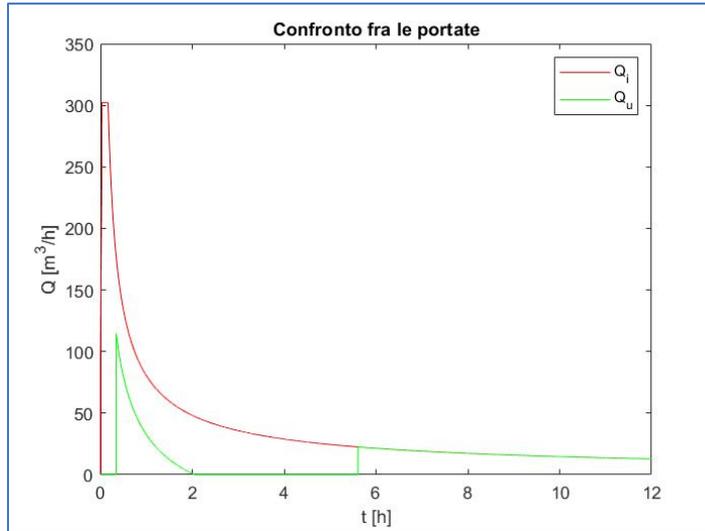


Figura 8.24 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione calpestabile realizzata con diversi strati di ghiaia. Prevede uno strato vegetale pari a 0.2 m con porosità 30% uno primo strato drenante di 0.2 m con porosità 36% ed un secondo di 0.4 m con porosità 40%.

8.3.4.5 Riepilogo parametri

Tabella 8.12 Parametri di valutazione ottenuti mediante le analisi condotte sull'area verde B considerando l'applicazione delle quattro soluzioni proposte.

	$V_T (m^3)$	$t_{sat} (h)$	$t_u (h)$	η
Sabbia	216	4,45	0,29	0,55
Ghiaia	257	4,59	0,34	0,38
Alveolare	308	9,01	0,29	0,55
Calpestabile	282	5,61	0,34	0,38

I risultati ottenuti sono simili a quelli relativi alla zona A ma si può notare come siano leggermente inferiori. Tutto ciò sembrerebbe essere contro intuitivo in quanto la zona B possiede sia un'estensione che un'area convogliata maggiore rispetto alla zona A e quindi ci si aspetterebbe un aumento delle prestazioni. Questo fenomeno può essere spiegato con due fenomeni in particolare:

- Il tempo di corrivazione incide sulle prestazioni di un'area, infatti l'area A, possedendo un t_c di $4.13 \cdot 10^{-2}$ rispetto a quello dell'area B di $3.1 \cdot 10^{-2}$ riesce a distribuire meglio i volumi convogliati il che comporta quindi un aumento dei tempi considerati nell'analisi.
- L'area convogliata A_{Conv} della zona B risulta essere 100 m^2 superiore a quella della zona A. Essendo l'area verde aumentata solamente di 20 m^2 circa ne segue che al verificarsi del superamento della capacità di infiltrazione del terreno l'acqua che si accumula sullo strato superficiale aumenta molto velocemente il proprio livello andando quindi a diminuire le prestazioni di questo sistema.

8.4 AREA VERDE C

Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi delle aree verdi A e B (vedasi Capitolo 5 e Capitolo 6), l'attenzione si è focalizzata su altre due zone verdi, corrispondenti alle aree verdi C indicate al paragrafo 3.1.1.5. Esse sono situate all'interno della Cittadella del Politecnico di Torino, fra la sede della General Motors e Corso Castelfidardo. In Figura 8.25 una foto ripresa sul luogo, mentre in Figura 8.26 ne viene riportata una foto aerea (in cui le aree verdi sono delimitate da una linea rossa). Le due zone verdi sono state scelte in base all'ampiezza propria e della potenziale superficie convogliata, oltre che per la disponibilità di informazioni precise sulla rete fognaria bianca. Esse presentano caratteristiche analoghe fra loro, sia come ampiezza che come tipologia di terreno: per questo motivo si è scelto di valutarle come se fossero un'unica entità. Da questo punto in poi verrà utilizzato il termine "area verde C" facendo riferimento ad entrambe le zone analizzate.



Figura 8.25 Foto ripresa sul luogo

8.4.1 Caratteristiche dell'area verde

In primo luogo sono state valutate le caratteristiche principali dell'area verde esaminata: in questo frangente è stata indispensabile la planimetria fornita dall'Ufficio Tecnico del Politecnico. Grazie al software *AutoCAD*, è stata misurata l'ampiezza dell'area verde (A_{Verde}), pari a 5386.379 m².

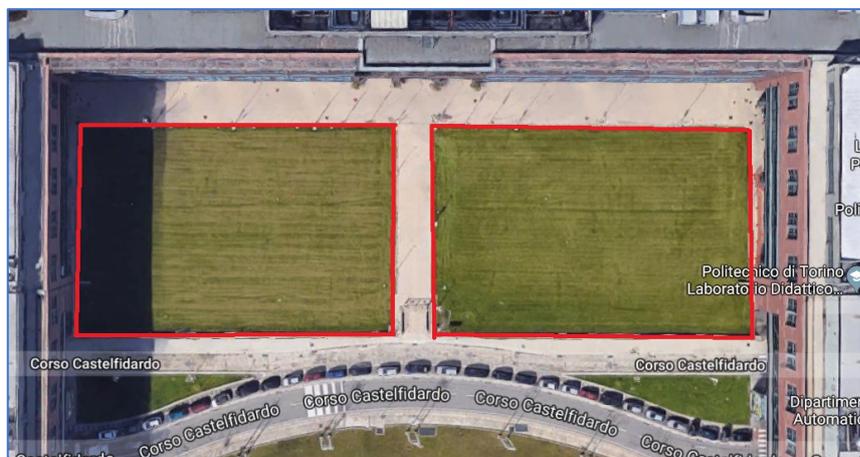


Figura 8.26 Vista aerea ottenuta con Google Maps Zona C dove la linea rossa evidenzia le aree verdi facenti parte della zona C

8. Analisi dei benefici

Le planimetrie hanno permesso inoltre di determinare come:

- area convogliata data dalle aree e tetti limitrofi;
- le caratteristiche della rete fognaria bianca come: collocazione rispetto all'area verde, le dimensioni delle tubazioni;
- punti quotati sia del piano campagna che di fondo scavo, dove passano le tubazioni in PVC.

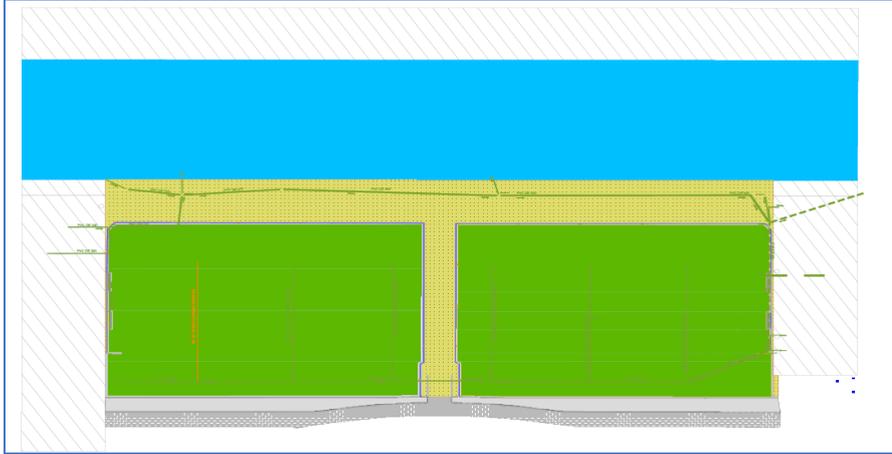


Figura 8.27 Ricostruzione su AutoCAD della Zona C

Nello studio preliminare che ha preceduto questo elaborato di tesi la raccolta di dati quali:

- ampiezza dell'area convogliata (A_{Conv}) = 4984.957 m²;
- lunghezza del percorso di corrivazione (L_{pr}) = 10.75 m;
- tempo di ingresso in rete (t_{ir}) = 1.5 min

attraverso la formula (8.4) riportata nel paragrafo 8.1.3 è stato possibile determinare il tempo di corrivazione (t_c) delle aree convogliate verso l'area verde A pari a $2.90 \cdot 10^{-2}$ h (circa 2 min).

8.4.2 Andamento delle precipitazioni

Come è stato descritto nel paragrafo 8.1.2, nello studio preliminare al seguente elaborato di tesi, sono state individuate le curve di possibilità pluviometrica per diversi periodi di ritorno grazie all' "Atlante delle piogge intense". Come tempo di ritorno è stato scelto 2 anni. Anche se le direttive del manuale SuDS indicano un periodo di ritorno di un anno, la scelta fatta risulta essere a favore di sicurezza.

8.4.3 Parametri di infiltrazione

Come parametri di infiltrazione si sono considerati i valori trovati in letteratura corrispondenti alla capacità di infiltrazione di un terreno da giardino sabbioso ed un terreno da giardino ghiaioso. I valori dei parametri utilizzati corrispondono a quelli presentati precedentemente in Tabella 8.2

8.4.4 Analisi dei benefici

L'area C si distingue dalle altre zone prese in esame, per la sua estensione. Si compone di due aree di ugual estensione pari a 2693 m³ cadauna. Nell'analisi dei benefici si è considerata l'applicazione della stessa soluzione stratigrafica ad entrambe le aree. Data l'importante estensione di quest'area ci si aspetta un notevole incremento delle prestazioni rispetto ai due casi precedenti

8.4.4.1 Soluzione con sabbia

Nella prima analisi condotta sulla zona C si è considerata la configurazione con sabbia. I dati di input utilizzati sono riportati in tabella

Tabella 8.13 Parametri identificativi della prima configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	<i>m</i>	%	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>m/h</i>
Mix terreno - sabbia	0,2	28	45,7	584,5	32,71
Sabbia pulita	0,5	30	-	-	-

Dal grafico si osserva che il sistema inizia a riversare acqua in rete bianca al raggiungimento di poco più di un'ora dall'inizio dell'evento di pioggia. Il sistema termina il proprio effetto di laminazione alla saturazione della vasca ovvero quando si è raggiunto il massimo volume accumulabile nella vasca che in questo caso avviene dopo 6.61 h. Il massimo volume accumulabile all'interno del sistema durante un evento piovoso con tempo di ritorno 2 anni raggiunge i 1.514 m³. Dopo aver raggiunto la saturazione, come si può osservare del grafico, la portata uscente coincide con quella entrante. Ciò indica che, raggiunta la saturazione, il sistema diventa "trasparente" rispetto alle portate in ingresso le quali entrando in vasca vengono immediatamente raccolte dal sistema di "troppo pieno" come illustrato nel Capitolo 5.

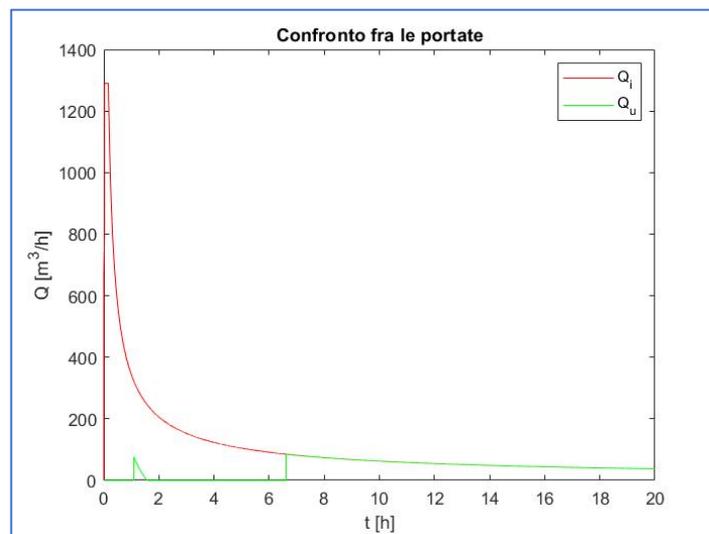


Figura 8.28 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con sabbia la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante di 0.5 m con porosità 30%.

8. Analisi dei benefici

Le prestazioni di quest'area in termini di laminazione delle portate vengono espresse dal *tasso di abbattimento* delle portate in ingresso:

$$\eta = 0.07$$

La riduzione della portata in uscita è notevole in quanto il rapporto tra area drenante ed area convogliata risulta essere quasi di 1 ad 1 ($A_{Verde} = 5386.379 \text{ m}^2$ $A_{Comv} = 4984.957 \text{ m}^2$). Questa proporzione consente di arrivare ad ottimi livelli di laminazione. La portata massima uscente dal sistema risulta essere di:

$$Q_{u \text{ MAX}} = 85 \text{ m}^3/\text{h}.$$

8.4.4.2 Soluzione con ghiaia

La seconda configurazione utilizza come dati di input quelli riportati in Tabella 8.18:

Tabella 8.14 Parametri identificativi della seconda configurazione proposta dove con *S* si intende lo spessore dello strato, *n* la porosità del materiale, *f_c*, *f₀* e *k* i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f _c	f ₀	k
	<i>m</i>	%	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>m/h</i>
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	30	61,5	158,5	4,7
Ghiaia grossa	0,5	40	-	-	-

La sostituzione della sabbia con un materiale a granulometria maggiore comporta un incremento del volume che raggiunge i 1804 m³. Un maggiore possibilità di immagazzinamento ed una diversa capacità di infiltrazione su un'area così estesa hanno come effetto la convergenza tra *t_u* e *t_{Sat}* a 10.46 h. Questo fenomeno avviene poiché quando si verifica il superamento della capacità di infiltrazione del terreno il volume d'acqua che si forma al di sopra della superficie distribuendosi sull'area C diminuisce notevolmente le altezze in vasca generando una bassa portata in uscita dal sistema.

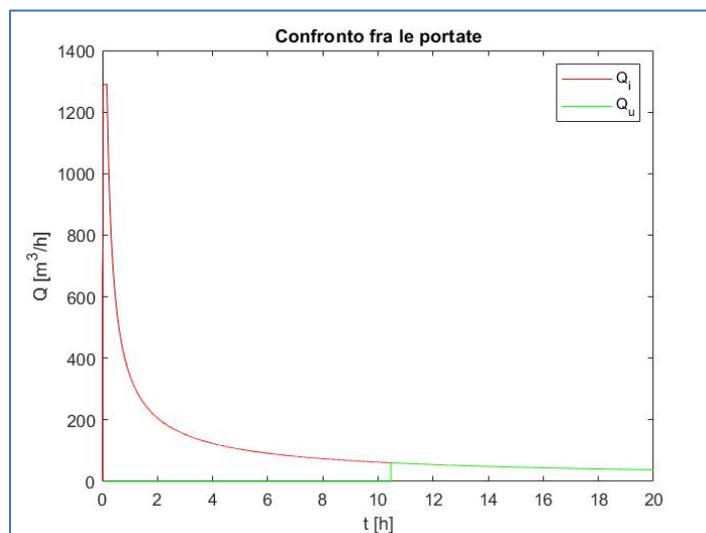


Figura 8.29 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con ghiaia la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 30% ed uno drenante di 0.5 m con porosità 40%.

Il tasso di abbattimento di questa area verde è pari a:

$$\eta = 0,05$$

che implica un effetto di laminazione migliore rispetto alla configurazione precedente in quanto la portata in uscita raggiunge un massimo di $Q_{u\text{MAX}} = 61 \text{ m}^3/\text{h}$ rispetto a $81 \text{ m}^3/\text{h}$ della prima configurazione.

8.4.4.3 Soluzione con materiale alveolare

Nella terza configurazione si fa utilizzo dei seguenti dati di input:

Tabella 8.15 Parametri identificativi della terza configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - sabbia	0,2	28	45,7	584,5	32,71
Alveolare	0,3	90	-	-	

La combinazione tra l'estensione dell'area C e l'impiego della soluzione alveolare, conferisce a questa configurazione il massimo volume stoccabile rispetto a tutti i casi presi in analisi. Il volume accumulabile è di circa 2.160 m^3 . Essendo però lo strato vegetale costituito da un mix di terreno preesistente e sabbia la capacità di infiltrazione è dettata dalle caratteristiche di quest'ultimo. Come nel caso della configurazione sabbiosa si verifica una portata uscente dopo 1 h circa. La saturazione però arriva solamente dopo 18 h. Tale valore si spiega poiché la velocità di filtrazione è governata dal mix di sabbia e terreno. Essendo il volume stoccabile molto grande e la velocità di filtrazione all'interno dello strato vegetale relativamente bassa, rispetto ad un terreno ghiaioso i tempi di saturazione risultano molto più grandi.

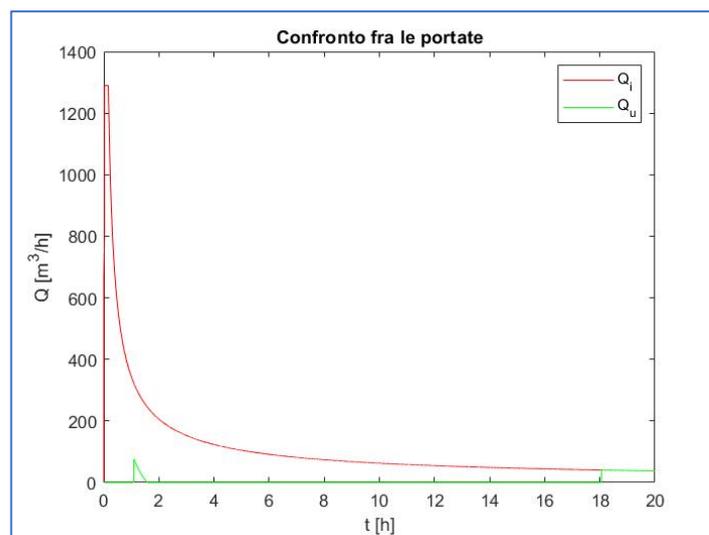


Figura 8.30 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con sabbia e materiale alveolare la quale prevede uno strato vegetale pari a 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante di 0.3 m con porosità 90%.

8. Analisi dei benefici

Si riporta in seguito il valore del tasso di abbattimento

$$\eta = 0.06$$

che conferma una notevole riduzione delle portate in uscita dove il massimo valore che viene raggiunto è di:

$$Q_{u\text{MAX}} = 76 \text{ m}^3/\text{h}.$$

8.4.4.4 Soluzione calpestabile

L'analisi della quarta configurazione utilizza i dati di input riportati in tabella:

Tabella 8.16 Parametri identificativi della quarta configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	Porosità	f_c	f_0	k
	<i>m</i>	<i>%</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>m/h</i>
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	30	61,5	158,5	4,7
Ghiaia media	0,2	36	-	-	-
Ghiaia grossa	0,4	40	-	-	-

Per la realizzazione di questa soluzione sono state impiegate due stratigrafie, oltre a quella vegetale, necessarie per garantire stabilità al calpestio. La stratigrafia comporta un importante volume di immagazzinamento pari a 1977 m^3 . Si verifica nuovamente (come descritto nel paragrafo 8.4.4.2 per la soluzione con ghiaia) una convergenza del tempo di portata in uscita del sistema (t_u) con il tempo di saturazione (t_{Sat}). La portata massima raggiunta dal sistema è di $50 \text{ m}^3/\text{h}$ che corrisponde al seguente tasso di abbattimento:

$$\eta = 0.38$$

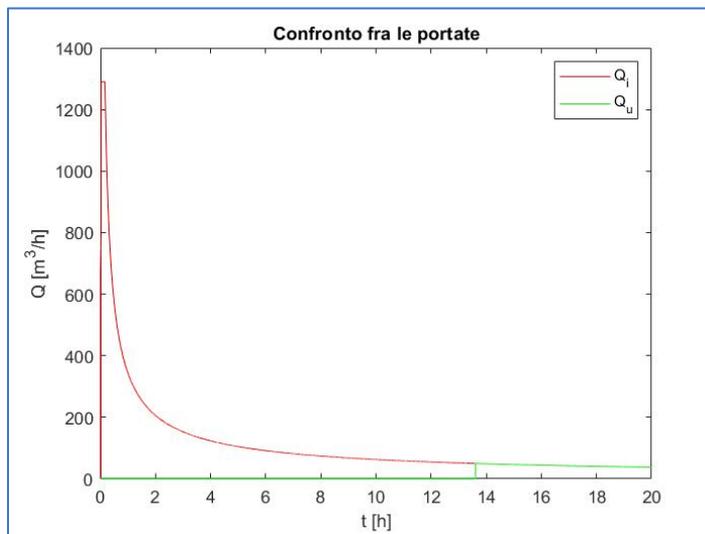


Figura 8.31 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione calpestabile realizzata con diversi strati di ghiaia. Prevede uno strato vegetale pari a 0.2 m con porosità 30% uno primo strato drenante di 0.2 m con porosità 36% ed un secondo di 0.4 m con porosità 40%.

8.4.4.5 Riepilogo parametri

L'applicazione delle quattro tipologie di stratigrafie proposte trova nell'area verde C la migliore efficienza secondo ogni parametro, permettendo di gestire comodamente le portate convogliate e quelle di pioggia diretta.

Tabella 8.17 Parametri di valutazione ottenuti mediante le analisi condotte sull'area verde C considerando l'applicazione delle quattro soluzioni proposte.

	$V_T (m)^3$	$t_{sat} (h)$	$t_u (h)$	η
Sabbia	1514	6,61	1,09	0,07
Ghiaia	1804	10,46	10,46	0,05
Alveolare	2160	18,60	1,09	0,06
Calpestabile	1977	13,60	13,60	0,04

8.5 AREA VERDE D

Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi delle aree verdi A, B e C, l'attenzione si è focalizzata su altre dodici zone verdi, corrispondenti alle aree verdi D indicate al paragrafo 3.1.1.5. Esse sono situate all'interno della Cittadella del Politecnico di Torino, in corrispondenza della cosiddetta Corte Interrata, tra l'Incubatore Imprese Innovative del Politecnico di Torino (I3P) e l'Istituto Superiore Mario Boella (I.S.M. Boella). In Figura 8.32(a) ne viene riportata una foto aerea (in cui le aree verdi sono delimitate da una linea rossa), mentre in Figura 8.32(b) una foto ripresa sul luogo.



Figura 8.32 Foto delle aree verdi D (a) Vista aerea ottenuta con Google Maps Zona B evidenziata con linea rossa (b) Foto ripresa sul posto

Le zone verdi sono state scelte in base all'ampiezza propria e della potenziale superficie convogliata, oltre che per la disponibilità di informazioni precise sulla rete fognaria bianca. In questo frangente è stato necessario organizzare le dodici aree verdi in tre gruppi, riportati in Figura 8.33: essi sono delimitati da una linea rossa ed identificati con le lettere D1, D2 e D3.

Il gruppo D1 comprende quattro tetti verdi che presentano caratteristiche analoghe fra loro, sia come ampiezza che come struttura: per questo motivo si è scelto di valutarli come se fossero un'unica entità. Da questo punto in poi verrà utilizzato il termine "area verde D1" facendo riferimento ai quattro tetti verdi considerati. Lo stesso ragionamento è stato applicato sia al secondo gruppo di quattro tetti verdi, d'ora in poi identificato come "area verde D2", sia al gruppo di quattro aree verdi ubicate nel cortile interno della Corte Interrata, d'ora in poi identificato come "area verde D3".

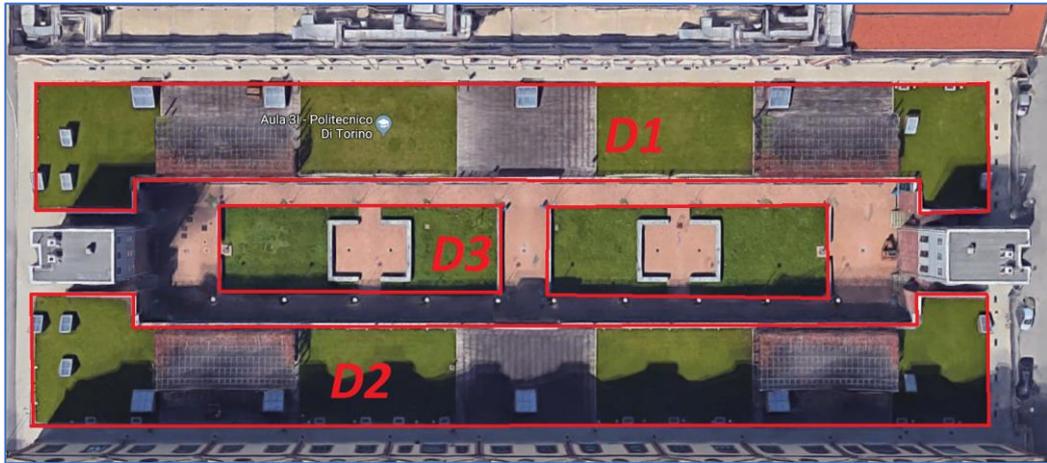
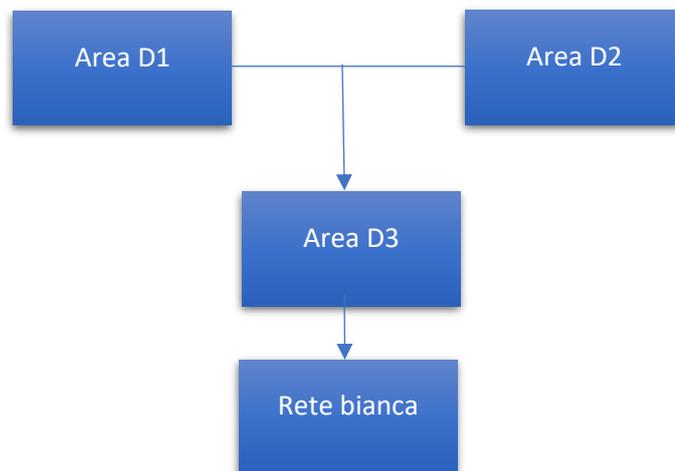


Figura 8.33 Foto aerea: zone verdi delimitate da una linea rossa (fonte: Google Earth)

L'ubicazione delle aree D1 e D2 rispetto alla "Corte Interrata" consente di sfruttare il processo di laminazione di 3 sistemi il cui funzionamento è illustrato dal seguente diagramma:



I sistemi D1 e D2 svolgono un processo di laminazione in parallelo, dove, ciascun sistema convoglia verso le proprie aree verdi le acque meteoritiche che si riversano sui pluviali dell'Incubatore Imprese Innovative del Politecnico di Torino e dell'Istituto Superiore Mario Boella. Quando questi sistemi esauriscono la propria capacità di stoccaggio i volumi d'acqua in esubero vengono direzionati verso la "Corte Interrata" dove vi sono le aree verdi D3. La consultazione delle planimetrie fornite dall'Ufficio Tecnico ha reso note le stratigrafie dei tetti verdi facenti parte delle aree D1 e D2, che verranno illustrate nel seguente paragrafo. Si è deciso così di valutare la prestazione di queste due aree e valutarne le portate in eccesso. Successivamente tali valori costituiranno le portate in ingresso del sistema D3 che sarà quindi analizzato con l'applicazione delle 4 configurazioni proposte.

8.5.1 Caratteristiche dell'aree D1 eD2

In primo luogo sono state valutate le caratteristiche principali dell'aree verdi esaminate: in questo frangente è stata indispensabile la planimetria fornita dall'Ufficio Tecnico del Politecnico. Grazie al software *AutoCAD*, sono state misurate le ampiezze delle aree verdi (A_{Verde}):

8. Analisi dei benefici

- $A_{Verde D1} = 1071,1 \text{ m}^2$
- $A_{Verde D2} = 1089,9 \text{ m}^2$

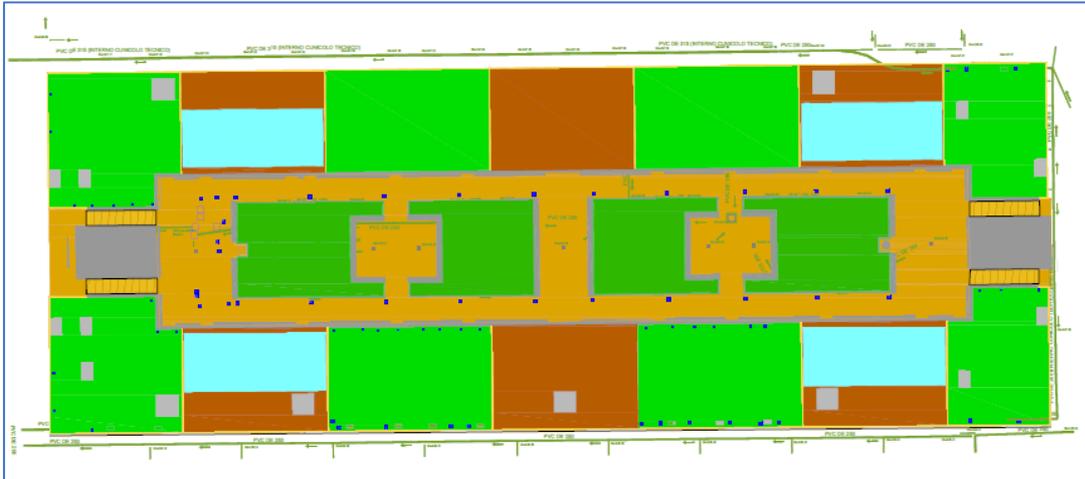


Figura 8.34 Ricostruzione su AutoCAD della Zona D

Le planimetrie hanno permesso inoltre di determinare informazioni come:

- area convogliata data dalle aree e tetti limitrofi;
- le caratteristiche della rete fognaria bianca come: collocazione rispetto all'area verde, le dimensioni delle tubazioni;
- punti quotati, sia del piano campagna che di fondo scavo, dove passano le tubazioni in PVC.
- stratigrafia delle aree D1 e D2 (vedere Figura 8.35) composte da uno strato di materiale alveolare spesso 6 cm avente porosità pari al 90%. queste strutture alveolari sono sovrastate da uno strato di terreno che viene ipotizzato essere (dopo le necessarie operazioni di sbancamento) realizzato con uno spessore di 20 cm

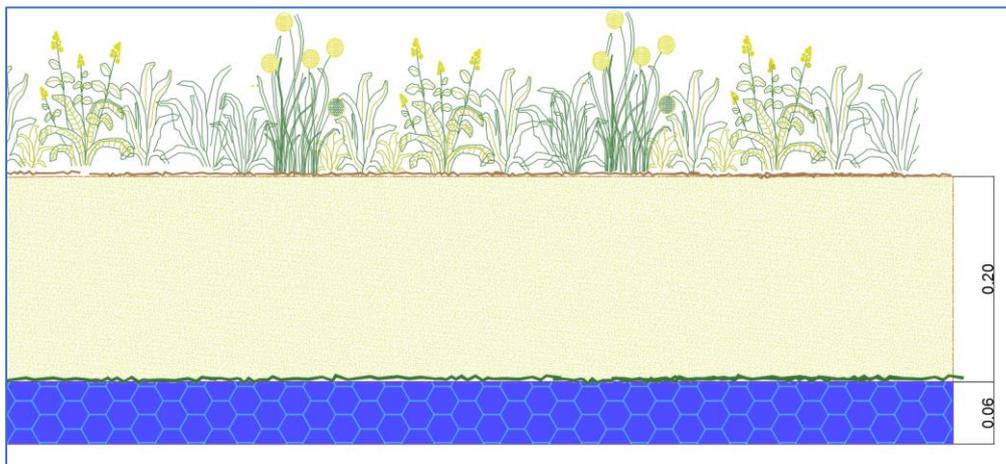


Figura 8.35 Stratigrafia esistente dei tetti verdi facenti parte delle aree D1 e D2. Le quote riportate sono in metri.

8. Analisi dei benefici

Nello studio preliminare che ha preceduto questo elaborato di tesi, la raccolta di dati quali area convogliata, lunghezza del percorso di corrivazione ha permesso tramite la formula (8.4) riportata nel paragrafo 8.1.3 ,di calcolare il tempo di corrivazione di entrambe le aree. Se ne riporta una tabella riepilogativa:

Tabella 8.18 Dati ricavati mediante le planimetrie fornite dall'Ufficio Tecnico

Area D1	Area D2
$A_{Conv} = 1737.12 \text{ m}^2$	$A_{Conv} = 3309.18 \text{ m}^2$
$L_{pr} = 19.46 \text{ m}$	$L_{pr} = 19.78 \text{ m}$
$t_{ir} = 1.5 \text{ min}$	$t_{ir} = 1.5 \text{ min}$
$t_c = 3.22 \cdot 10^{-2} \text{ h}$	$t_c = 3.23 \cdot 10^{-2} \text{ h}$

8.5.2 Andamento delle precipitazioni

Come è stato descritto nel paragrafo 8.1.2, nello studio preliminare al seguente elaborato di tesi, sono state individuate le curve di possibilità pluviometrica, per diversi periodi di ritorno grazie all'Atlante delle piogge intense". Come tempo di ritorno è stato scelto 2 anni. Anche se le direttive del manuale SuDS indicano un periodo di ritorno di un anno la scelta fatta risulta essere a favore di sicurezza.

8.5.3 Parametri di infiltrazione

Come parametri di infiltrazione si sono considerati i valori trovati in letteratura corrispondenti alla capacità di infiltrazione di un terreno da giardino sabbioso in quanto si ipotizza di riportare come strato vegetale al di sopra della struttura alveolare preesistente uno strato vegetale dello spessore di 0.2 m frutto della miscelazione di terra che si trova in loco e sabbia. Vengono riportati i parametri usati nell'analisi di Horton condotta sulle aree verdi D1 e D2.

Terreno da giardino sabbioso

- $f_0 = 584.45 \text{ mm/h}$
- $f_c = 45.7 \text{ mm/h}$
- $k = 32.71 \text{ h}^{-1}$

8.5.4 Analisi dei benefici

Si procede quindi con l'analizzare per primi i parametri caratterizzanti l'area verde descritti nel paragrafo 8.1.6 delle aree D1 e D2 delle quali si considera la stratigrafia esistente riportata dalle sezioni fornite dall'Ufficio Tecnico.

8.5.4.1 Analisi del comportamento dell'area D1

La stratigrafia dei Tetti Verdi ed i parametri considerati nell'analisi di infiltrazione vengono visualizzati nella tabella seguente.

Tabella 8.19 Parametri identificativi della stratigrafia delle aree verdi D1 dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Soluzione alveolare - Tetti Verdi - zona D1					
Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	<i>m</i>	<i>%</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>m/h</i>
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	0,28	45,7	584,5	32,71
Alveolare	0,06	0,9	-	-	

Il volume trattenuto dall'area verde D1 raggiunge i 198 m³ che rappresenta una buona capacità di stoccaggio dell'acqua paragonabile a quella delle prime due aree analizzate A e B. La portata in uscita si verifica dopo 0.4 h che corrispondono a 24 min. Il massimo valore che la portata uscente raggiunge in questo sistema è pari a $Q_{u\ MAX} = 133.39$ m³/h. La saturazione avviene a 2.17 h dopo l'inizio dell'evento piovoso.

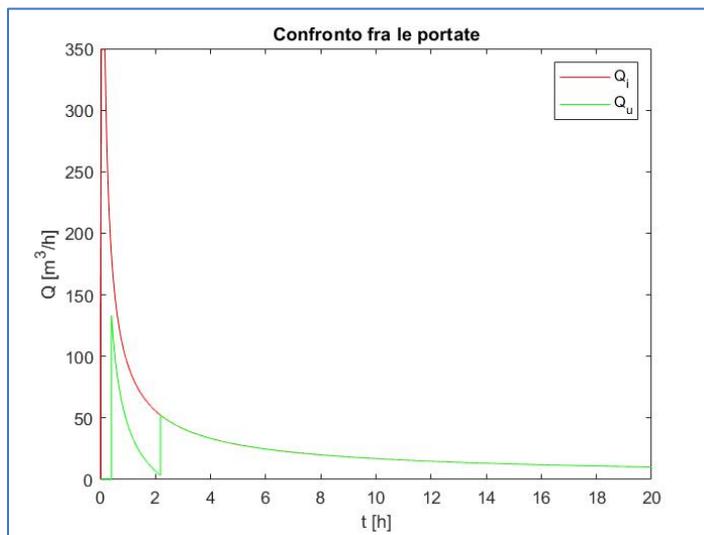


Figura 8.36 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde) dell'area Verde D1. L'analisi è stata condotta sulla stratigrafia esistente la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante formato da materiale alveolare di 0.06 m con porosità 90%.

L'efficienza del sistema è decisamente alta se confrontata con l'applicazione delle altre configurazioni proposte:

$$\eta = 0.38$$

ovvero la massima portata uscente corrisponde a circa un terzo della massima entrante, questo rappresenta quindi un buon lavoro di laminazione.

8.5.4.2 Analisi del comportamento dell'area D2

La stratigrafia dei Tetti Verdi ed i parametri considerati nell'analisi di infiltrazione vengono visualizzati nella tabella seguente.

Tabella 8.20 Parametri identificativi della stratigrafia delle aree verdi D2 dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Soluzione alveolare - Tetti Verdi - zona D1					
Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	<i>m</i>	<i>%</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>m/h</i>
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	0,28	45,7	584,5	32,71
Alveolare	0,06	0,9	-	-	

Il volume trattenuto dall'area verde D2 raggiunge i 202 m³ che, come per le aree D1, rappresenta una buona capacità di stoccaggio dell'acqua paragonabile a quella delle prime due aree analizzate A e B. La portata in uscita si verifica dopo 0.21 h che corrispondono a 13 min. Il massimo valore che la portata uscente raggiunge in questo sistema è pari a $Q_{u\ MAX} = 404$ m³/h. La saturazione avviene a 2.17 h dopo l'inizio dell'evento piovoso. Si può osservare che le prestazioni di questo gruppo di aree verdi sono scese rispetto alle aree D1. Ciò si spiega dall'aumento dell'area convogliata, che passa da 1737,12 m² per le aree D1 a 3309,18 m²; quasi il doppio del volume, mentre l'area drenante aumenta rispetto al caso precedente solamente di circa 20 m².

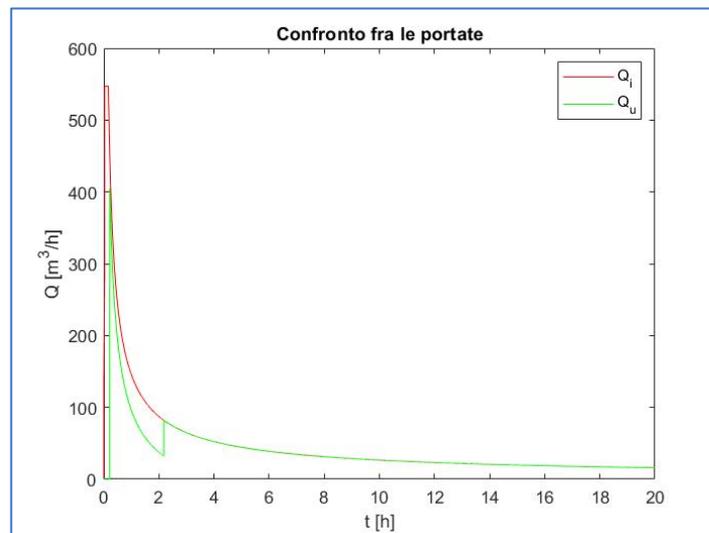


Figura 8.37 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde) dell'area Verde D1. L'analisi è stata condotta sulla stratigrafia esistente la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante formato da materiale alveolare di 0.06 m con porosità 90%.

Le prestazioni in termini di tasso di abbattimento risultano minori:

$$\eta = 0.74$$

8.5.4.3 Analisi dell'area D3

Applicando il software AutoCAD sulla planimetria a disposizione, è stata misurata l'ampiezza dell'area verde (Averde), pari a 766.79 m². Per analizzare l'area D3 occorre modificare nello script Matlab il sistema di convogliamento inserendo come portate in ingresso le portate uscenti dai sistemi precedentemente analizzati D1 e D2 e considerare come stratigrafia le 4 configurazioni proposte. La portata in ingresso risulta, quindi, essere pari alla somma tra la portata di pioggia e la portata convogliata. Quest'ultima corrisponde alla somma delle due curve di Q_{uD1} e Q_{uD2} (portate uscenti nel sistema D1 e D2). L'andamento nel tempo delle portate uscenti dai sistemi presentano generalmente due picchi uno corrispondente al tempo di portata in uscita (t_u) e l'altro all'arrivo delle condizioni di saturazione (t_{Sat}). Questo spiega come mai la portata in ingresso possiede 4 picchi. Nel grafico riportato in Figura 8.38 si possono individuare solamente 3 picchi. Questo fenomeno si spiega poiché entrambi i sistemi D1 e D2 vanno a saturazione per un tempo $t_{Sat} = 2.17$ h e quindi nel grafico della portata convogliata il terzo picco in figura rappresenta la somma dei due contributi di portata al tempo di saturazione.

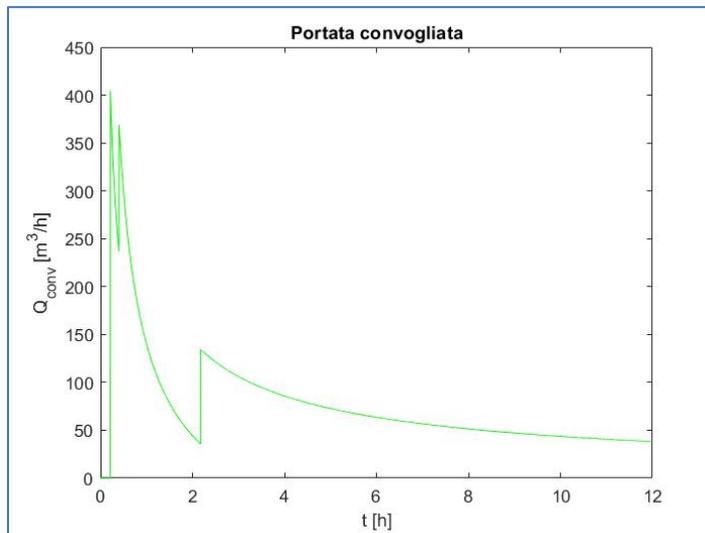


Figura 8.38 Andamento della portata convogliata nella zona D3. La portata convogliata risulta essere la somma delle portate uscenti dai due sistemi sovrastanti D1 e D2. Il grafico riporta 3 picchi: i primi due corrispondono al tempo di portata in uscita dei sistemi convogliati mentre il terzo corrisponde al tempo per il quale sia i sistemi D1 e D2 giungono a saturazione.

Soluzione con sabbia

La prima configurazione presume di utilizzare i dati di input riportati in tabella:

Tabella 8.21 Parametri identificativi della prima configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - sabbia	0,2	28	45,7	584,5	32,71
Sabbia pulita	0,5	30	-	-	-

Osservando il grafico in Figura 8.39 si può notare come al raggiungimento di un tempo di 0.29 h, circa 17 min, si verifica una portata uscente dal sistema. Responsabile della portata in uscita è il superamento della capacità di infiltrazione da parte dell'intensità in arrivo. La portata massima raggiunge il seguente

8. Analisi dei benefici

valore: $Q_{u\ MAX} = 383\ m^3/h$. Il sistema termina il proprio effetto di laminazione dopo che si verifica la saturazione della vasca, ovvero quando si è raggiunto il massimo volume accumulabile nella vasca che in questo caso avviene dopo 3.69 h. Il massimo volume accumulabile all'interno del sistema durante un evento piovoso con tempo di ritorno 2 anni raggiunge i $173\ m^3$. Dopo aver raggiunto la saturazione come si può osservare dal grafico in Figura 8.39 la portata uscente coincide con quella entrante. Ciò indica che, raggiunta la saturazione, il sistema diventa “trasparente” rispetto alle portate in ingresso le quali, entrando in vasca, vengono immediatamente raccolte dal sistema di “troppo pieno” come illustrato nel Capitolo 5.

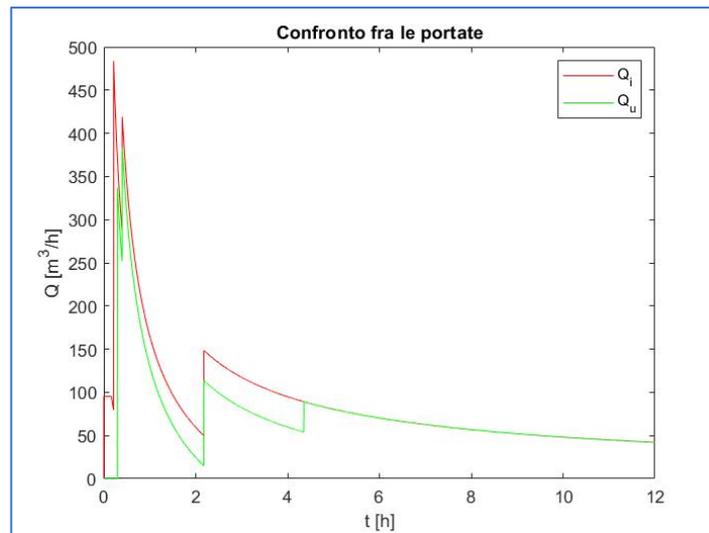


Figura 8.39 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde) nel sistema D3. L'analisi è stata condotta sulla soluzione con sabbia la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante di 0.5 m con porosità 30%.

Le prestazioni di quest'area in termini di laminazione delle portate vengono espresse dal *tasso di abbattimento* delle portate in ingresso:

$$\eta = 0.79$$

Questa efficienza risulta essere più bassa rispetto a quella ottenuta applicando la medesima soluzione sulle altre aree.

Soluzione con ghiaia

La seconda configurazione prevede l'utilizzo dei seguenti dati di input:

Tabella 8.22 Parametri identificativi della seconda configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	30	61,5	158,5	4,7
Ghiaia grossa	0,5	40	-	-	-

La sostituzione della sabbia con un materiale a granulometria maggiore comporta un incremento del volume che raggiunge i $238\ m^3$. Un maggiore possibilità di immagazzinamento ed una diversa capacità di infiltrazione hanno come effetto (come si può osservare in Figura 8.40) una modesta dilatazione dei

8. Analisi dei benefici

tempi rispetto alla precedente soluzione, infatti, si verifica una portata in uscita dopo circa 0.39 h ovvero 24 min con un massimo di $Q_{u,MAX} = 360.16 \text{ m}^3/\text{h}$ mentre la saturazione viene raggiunta a 3.92 h dall'inizio dell'evento di pioggia.

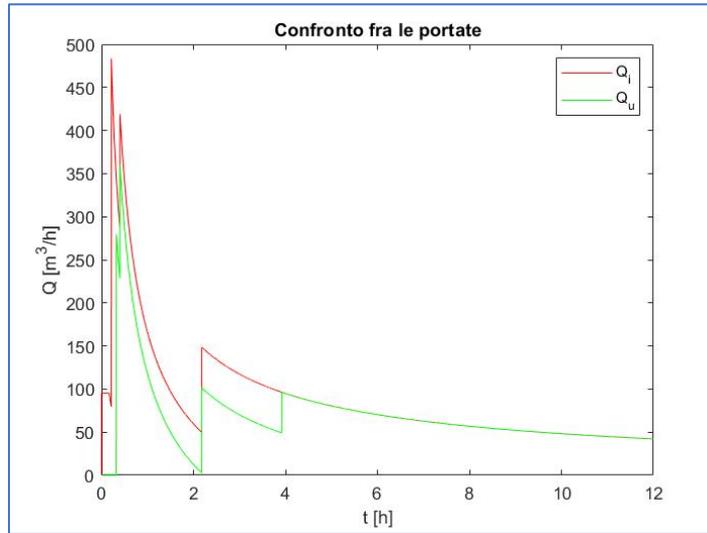


Figura 8.40 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con ghiaia la quale prevede uno strato vegetale di 0.2 m con porosità 30% ed uno drenante di 0.5 m con porosità 40%.

Il tasso di abbattimento di questa area verde è pari a:

$$\eta = 0.74$$

che implica un effetto di laminazione leggermente migliore rispetto alla configurazione precedente.

Soluzione alveolare

La terza configurazione presume di utilizzare i dati di input riportati in tabella:

Tabella 8.23 Parametri identificativi della terza configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	m	%	mm/h	mm/h	m/h
Mix terreno - sabbia	0,2	28	45,7	584,5	32,71
Alveolare	0,3	90	-	-	

L'impiego del materiale alveolare consente di ampliare notevolmente i volumi di accumulo passando a 288 m^3 . Essendo però lo strato vegetale costituito da un mix di terreno preesistente e sabbia la capacità di infiltrazione è dettata dalle caratteristiche di quest'ultimo. Come nel caso della configurazione sabbiosa si verifica una portata uscente dopo 0.29 h ovvero 17.4 min. con un massimo che raggiunge i $Q_{u,MAX} = 383.43 \text{ m}^3/\text{h}$. La saturazione subisce però una traslazione temporale notevole passando a 9 h. Tale valore si spiega poiché la velocità di filtrazione è governata dal mix di sabbia e terreno. Essendo il volume stoccabile maggiore rispetto alle altre soluzioni e la velocità di filtrazione all'interno dello strato

8. Analisi dei benefici

vegetale relativamente bassa, rispetto ad un terreno ghiaioso i tempi di saturazione risultano molto più grandi. Si riporta in seguito il valore del tasso di abbattimento:

$$\eta = 0.79$$

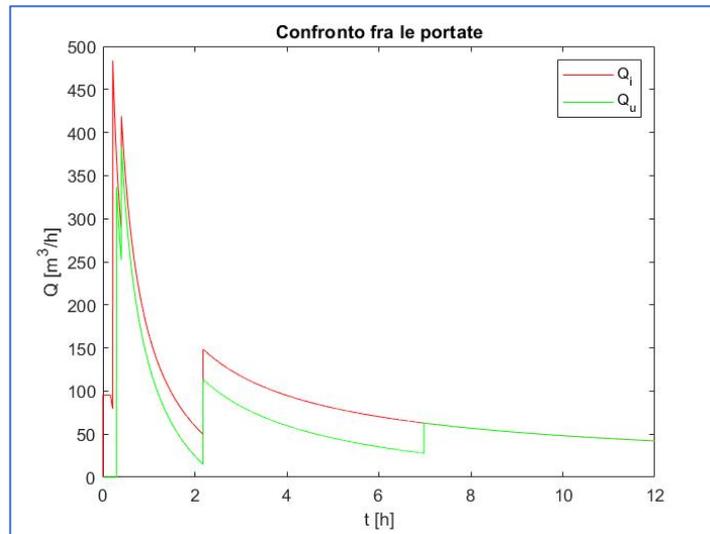


Figura 8.41 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione con sabbia e materiale alveolare la quale prevede uno strato vegetale pari a 0.2 m con porosità 28% ed uno drenante di 0.3 m con porosità 90%.

Soluzione calpestabile

La quarta configurazione presume di utilizzare i dati di input riportati in tabella:

Tabella 8.24 Parametri identificativi della quarta configurazione proposta dove con S si intende lo spessore dello strato, n la porosità del materiale, f_c , f_0 e k i parametri di Horton riferiti allo strato vegetale.

Materiale	S	n	f_c	f_0	k
	<i>m</i>	%	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>m/h</i>
Mix terreno - ghiaia fine	0,2	30	61,5	158,5	4,7
Ghiaia media	0,2	36	-	-	-
Ghiaia grossa	0,4	40	-	-	-

Per la realizzazione di questa soluzione sono stati impiegate due stratigrafie, oltre a quella vegetale, necessarie per garantire stabilità al calpestio. La stratigrafia comporta un importante volume di immagazzinamento pari a 262 m³. si verifica una portata in uscita dopo 23.4 min con un massimo di Q_u MAX= 360 m³/h, mentre la saturazione avviene dopo 4.44 h. La prestazione di quest'area verde da punto di vista della laminazione viene rappresentata dal seguente valore:

$$\eta = 0.74$$

In Figura 8.42 viene riportato il confronto tra l'andamento delle portate entranti ed uscenti dall'area verde D3.

8. Analisi dei benefici

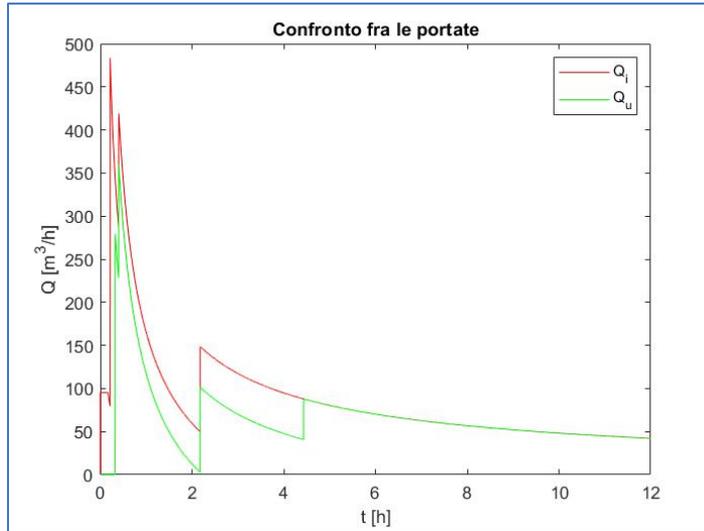


Figura 8.42 Confronto tra l'andamento delle portate in ingresso Q_i (rosso) e quelle uscenti dal sistema Q_u (verde). L'analisi è stata condotta sulla soluzione calpestabile realizzata con diversi strati di ghiaia. Prevede uno strato vegetale pari a 0.2 m con porosità 30% uno primo strato drenante di 0.2 m con porosità 36% ed un secondo di 0.4 m con porosità 40%.

8.5.4.4 Riepilogo parametri

Nella tabella seguente si vuole riportare i parametri identificativi delle aree D1, D2 e delle quattro configurazioni applicate all'area verde D3.

Tabella 8.25 Parametri di valutazione ottenuti mediante le analisi condotte sulle aree verdi D1 e D2 considerando l'applicazione delle stratigrafie esistenti.

	V_T	t_{sat}	t_u	η
Aree D1	198	2,177	0,4005	0,3819
Aree D2	202	2,171	0,2125	0,7391

Tabella 8.26 Parametri di valutazione ottenuti mediante le analisi condotte sull'area verde D3 considerando l'applicazione delle quattro soluzioni proposte.

	$V_T (m^3)$	$t_{sat} (h)$	$t_u (h)$	η
Sabbia	173	3,69	0,29	0,79
Ghiaia	238	3,92	0,39	0,74
Alveolare	288	6,98	0,29	0,79
Calpestabile	262	4,44	0,39	0,74

Come si può osservare dalla Tabella 8.26 i valori di efficienza in termini di laminazione non sono molto soddisfacenti. Se si considera però che i sistemi D1, D2 e D3 lavorano insieme (i primi due in parallelo ed il terzo in serie) allora si possono ottenere dei valori di tasso di abbattimento diversi. Considerando il sistema globale inteso come area D, e quindi analizzando la totalità delle portate in ingresso e le portate effettivamente immesse in rete bianca, come mostrato nella formula (8.13) si ottengono i valori riportati in tabella:

$$\eta = + \frac{\max(Q_{i D1}) + \max(Q_{i D2})}{\max(Q_{u D3})} \quad (8.13)$$

8. Analisi dei benefici

Tabella 8.27 Tasso di abbattimento relativo al sistema D

	η Sistema
Sabbia	0,43
Ghiaia	0,40
Alveolare	0,43
Calpestabile	0,40

Da questi valori si può capire che il processo di laminazione riduce le portate di ingresso di più della metà passando da $Q_{i\ MAX\ Tot} = 897\ m^3/h$ a $Q_{u\ MAX\ Tot} = 360 - 380\ m^3/h$.

8. Analisi dei benefici

9 SISTEMI DI SCARICO

Con i sistemi di scarico si intendono i sistemi idraulici necessari per lo scarico dell'acqua della vasca. Tali sistemi vengono realizzati dopo la fase di scavo. Occorre collegare queste tubazioni alla rete bianca tramite una camera di ispezione che convoglierà l'acqua dei sistemi di *troppo pieno* e di *drenaggio* in rete bianca vedasi Figura 9.1.

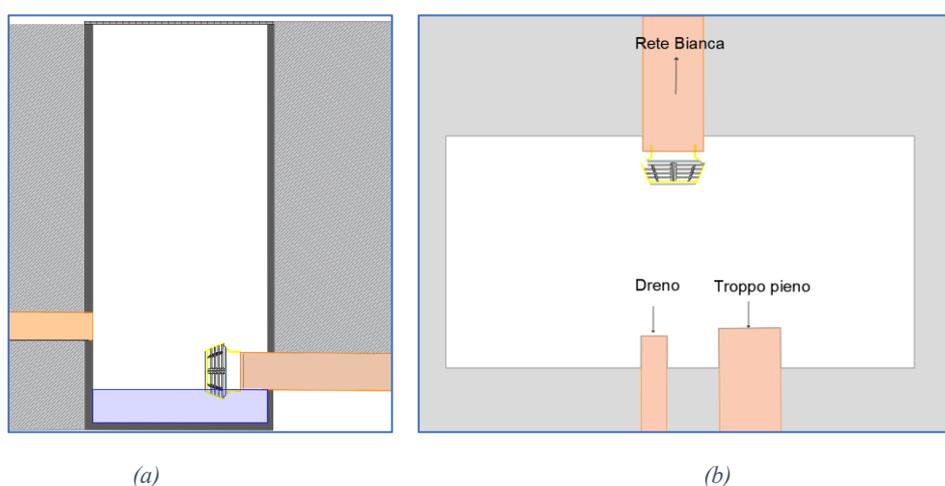


Figura 9.1 Camera di ispezione interposta tra il sistema di troppo pieno e la rete bianca in modo da poter controllare il flusso in caso di otturazioni

Lo scopo del pozzetto di ispezione infatti è quella di consentire la manutenzione e la pulizia dei sistemi. Esso permette inoltre di comprendere, in caso di malfunzionamento dei sistemi, se l'otturazione delle tubazioni si trova a valle o a monte della camera d'ispezione. In Figura 9.1 (a) si può notare come, la camera d'ispezione permette un controllo tra le portate convogliate dai sistemi di troppo pieno e drenaggio. L'eventuale presenza di detriti viene ostacolata dal posizionamento di un filtro nella condotta di uscita collegata direttamente con la rete bianca. In Figura 9.1 (b) si può osservare che i due sistemi confluiscono nella camera d'ispezione con due tubazioni differenti. Questa disposizione consente, in caso di mal funzionamento di individuare in quale sistema vi sono delle problematiche, ed inoltre evita che, l'otturazione di un sistema comprometta il funzionamento dell'altro isolando l'area verde dalla rete bianca. Nel dimensionamento dei sistemi di scarico durante le analisi sono state adottati i seguenti diametri commerciali riferiti a delle tubazioni in PVC.

Tabella 9.1 Diametri commerciali riferiti alle tubazioni in PVC utilizzati nelle simulazioni

D	(m)
1°	0.05
2°	0.075
3°	0.11

9.1 PROGETTO DEL SISTEMA TROPPO PIENO

Per ogni area verde analizzata, occorre fornire un sistema di “troppo pieno” ed una condotta per far passare in sicurezza i flussi superiori alla capacità di stoccaggio del sistema. Questo, deve essere dimensionato, per convogliare l’evento piovoso caratterizzato da uno tempo di ritorno di progetto che è stato scelto pari a 2anni. Come base di partenza occorre fissare l’altezza alla quale si vuole rendere attivo il sistema di sfioro.

Il posizionamento del sistema di troppo pieno deve essere tale da minimizzare il percorso che la portata in ingresso nella vasca deve compiere nel caso in cui il massimo livello di acqua in vasca sia superato, vedasi Figura 9.2.

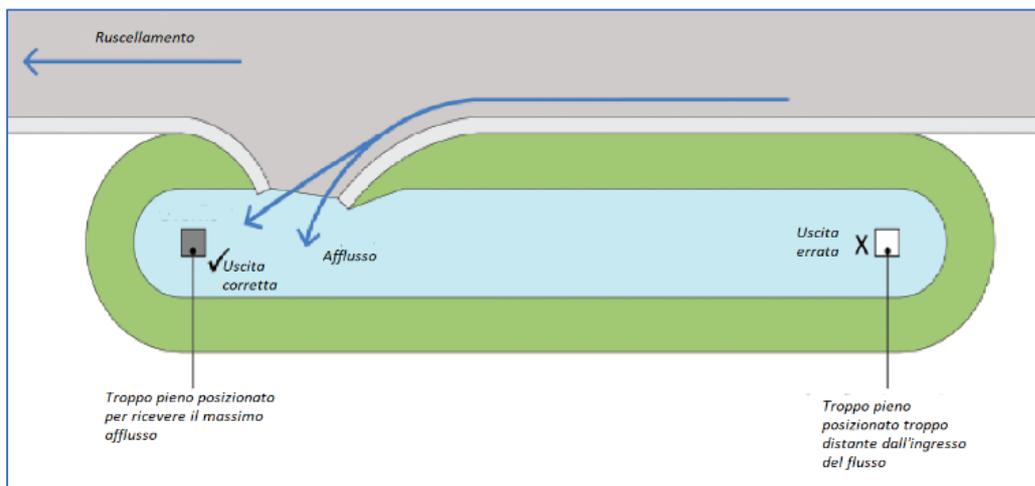


Figura 9.2 Corretto posizionamento del sistema di troppo pieno

9.1.1 Applicazione alle aeree verdi del Politecnico

Si è deciso di analizzare il comportamento del sistema troppo pieno ipotizzandone la realizzazione attraverso tubazioni in PVC schematizzate in Figura 9.3, le quali forniscono una portata alla rete bianca solamente quando lo strato d’acqua accumulata al di sopra dello strato vegetale raggiunge un livello di 0,075 m sullo strato vegetale. In tal modo il volume della lamina d’acqua superficiale sfocia le sue portate in rete bianca. Sarà importante posizionare al di sopra delle bocche dei troppi pieni degli appositi filtri che prevengono l’otturazione del sistema da parte di materiale galleggiante sollevato dallo strato d’acqua superficiale. La collocazione del sistema prevede inoltre la collocazione di un pozzetto di controllo il quale, in caso di mal funzionamento del sistema permette svolgere lavori di manutenzione e pulizia. Per dimensionare il diametro e numero di bocche di sfioro necessarie a smaltire l’acqua in eccesso, occorre che la massima portata effluente dalle tubazioni in PVC sia maggiore o uguale alla massima portata in eccesso uscente dal sistema.

$$Q_{\text{Troppo pieno}} \geq Q_{U\text{max}}$$

Nel calcolo della massima portata, le tubazioni in PVC sono state considerate come delle “brevi condotte” schematizzate come in Figura 9.3. Si è assunto un comportamento “a luce battente” dove la differenza di carico ΔH è data dalla differenza tra la quota di massimo livello in vasca (corrispondente alla quota del piano campagna circostante) e quella relativa all’immissione della tubazione nella rete bianca.

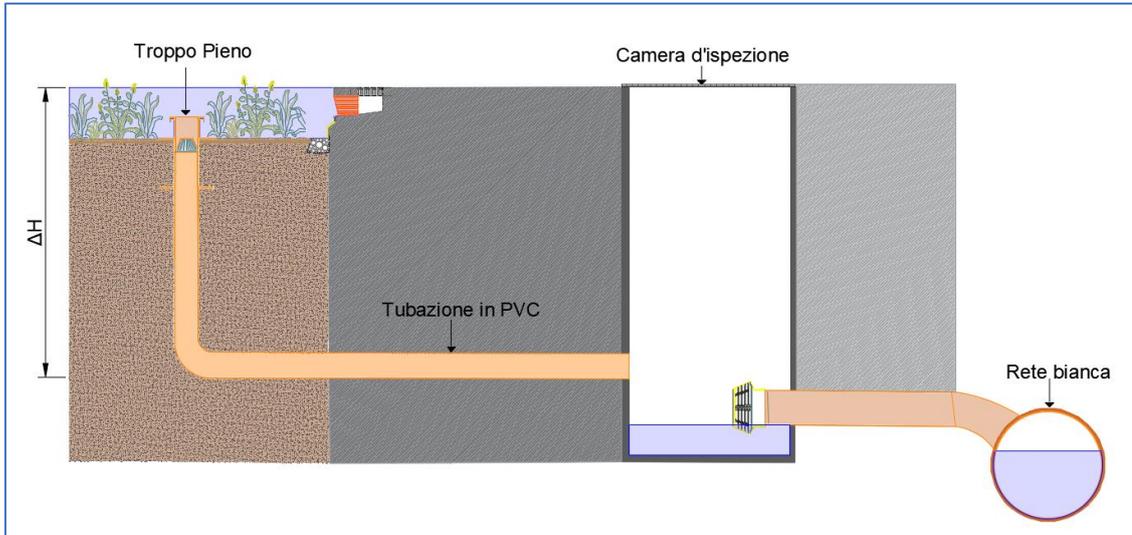


Figura 9.3 Schema del collegamento tra tubazione in PVC e rete bianca dove ΔH indica la massima differenza di carico possibile nel sistema troppo pieno.

9.1.2 Dati geometrici

Per il reperimento di dati geometrici riferiti al dimensionamento si è fatto riferimento alle planimetrie fornita dall'Edilog. La collocazione di un sistema determina le caratteristiche di un sistema come:

- *Lunghezza condotta*: calcolata dopo aver stabilito distanza planimetrica tra imbocco del troppo pieno e l'ingresso in rete bianca;
- *Carico massimo in vasca*: calcolato dopo aver determinato la quota massima del cordolo pari alla quota delle aree limitrofe;

Si è scelta un'area, per ciascuna vasca, idonea per il collocamento del sistema di troppo pieno. Vedremo, nei successivi paragrafi, che un sistema può richiedere anche più di una sola condotta. Per la valutazione di questi dati sono state considerate delle quote medie di distanza planimetrica e altezza del cordolo in modo da considerare il comportamento di un troppo pieno che sia rappresentativo dell'area in questione. Si riporta in Figura 9.4 un esempio di dati forniti dalla planimetria dell'Edilog.

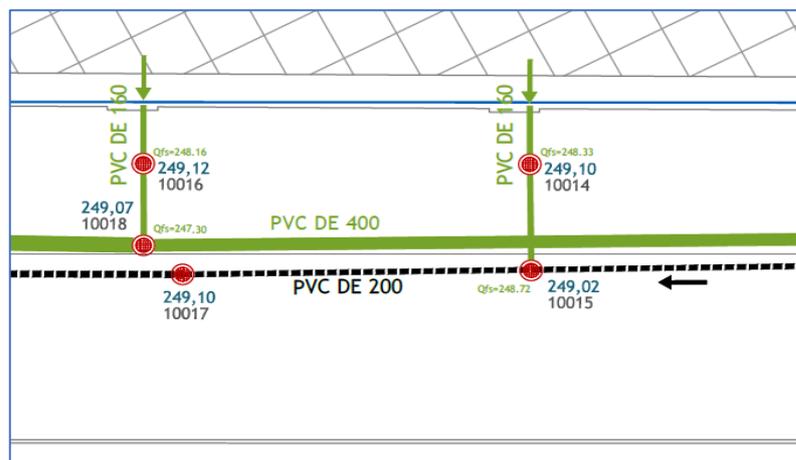


Figura 9.4 Porzione di planimetria fornita dall'Edilog dove si possono individuare le quote del piano campagna in blu (relative a caditoie e tombini) e le quote di fondo scavo della trincea di rete bianca in verde. Sono forniti in oltre i diametri della rete bianca e la numerazione delle caditoie.

Ricavata la portata massima trasportabile da una tubazione con uno specifico diametro D, si ottiene il numero di tubazioni necessario per smaltire la massima portata in ingresso in vasca:

$$n^{\circ}_{TUBAZIONI} = \frac{\max Q_{ingresso}}{\max Q_{\phi}}$$

9.1.3 Calcolo della Portata Massima

Come riportato dallo schema in Figura 9.3 si può osservare come la portata massima si ottiene quando il livello d'acqua in vasca raggiunge quello del cordolo perimetrale. Si è deciso di porsi in condizioni di sicurezza e quindi valutare la portata della condotta nella condizione peggiore, ovvero considerare un comportamento della condotta a pressione con un carico che corrisponde al massimo livello d'acqua raggiungibile nel sistema quindi 0.15 m sommato alla profondità della tubazione (si considera quindi la condizione in cui lo strato d'acqua supera di 0.075 m la bocca del troppo pieno).

Si è fatto ricorso all'equazione di bilancio energetico:

$$\Delta H = H_{concentrate} + H_{distribuite} \quad (9.1)$$

dove:

ΔH : *Massima differenza di carico nel sistema*

$H_{distribuite}$: *Perdite di carico distribuite*

$H_{concentrate}$: *Perdite di carico concentrate*

Le perdite di carico dipendono dalla forma della condotta e dalla sua estensione. La collocazione di un sistema di troppo pieno rispetto all'ingresso in rete bianca determina, quindi, perdite di carico differenti da zona a zona a seconda della distanza e profondità della rete bianca dall'area verde.

Per il calcolo delle perdite di carico sono state usate le formulazioni illustrate nei seguenti paragrafi.

9.1.3.1 Perdite concentrate

La schematizzazione sistema di troppo pieno ha permesso di individuare alcune perdite concentrate dovute alla forma della condotta.

Spigolo vivo

$$H_{sv} = \frac{v^2}{2g} K_{sv} \quad K_{sv} = 1$$

Gomito standard

$$H_{gs} = \frac{v^2}{2g} K_{gv} \quad K_{gs} = 0.6$$

nel calcolo delle portate si è visto che tali perdite non costituiscono un importante contributo alla riduzione della portata. Un'incidenza maggiore è stata data dalle perdite di carico distribuite.

9.1.3.2 Perdite distribuite

Per il calcolo di queste perdite si è fatto ricorso a due formulazioni:

- "formule pratiche" per il moto uniforme dell'acqua, che fanno riferimento alla nota espressione di Chézy
- *Hazen Williams*, che è anch'essa una formula pratica si utilizza per diversi tipi di tubazioni

Formule pratiche

La prima tipologia fa riferimento alla nota espressione di Chézy:

$$v = \chi \sqrt{RJ}$$

che per le condotte circolari, con raggio idraulico $R = D / 4$, si può riscrivere:

$$J = \beta \frac{Q^2}{D^5}$$

Il coefficiente β dipende dalla scabrezza del materiale della condotta e per esso sono state fornite diverse espressioni dai vari autori:

➤ *Bazin*:

$$\beta = 0.000648 \left(1 + \frac{2\gamma}{\sqrt{D}}\right)^2$$

con indice di scabrezza γ espresso in $m^{1/2}$;

➤ *Kutter*:

$$\beta = 0.000648 \left(1 + \frac{2m}{\sqrt{D}}\right)^2$$

con indice di scabrezza m espresso in $m^{1/2}$;

9. Sistemi di scarico

➤ *Gauckler-Strickler*:

$$\beta = \frac{10.3}{K^2 D^{\frac{1}{3}}}$$

con indice di scabrezza K espresso in $m^{1/3} s^{-1}$;

➤ *Darcy*:

$$\beta = 0.00164 + \frac{0.000042}{D}$$

con D in metri.

Come parametri γ , m e K sono stati scelti valori di scabrezza di tubi con incrostazioni e depositi per valutare la portata in condizioni di usura nel tempo.

Hazen Williams

È un'espressione di tipo monomio e pertanto consente agevolmente la soluzione oltre che rispetto a J , anche rispetto a Q e D . Essa è valida per più tipi di tubazioni

$$H = J * L = \frac{10.29 Q^2 L}{K_s^2 D^{5.33}}$$

il coefficiente di scabrezza C assume i seguenti valori:

$$K_s = 145$$

per tubi PE, PVC e PRFV.

Sostituendo queste formulazioni nell'equazione di bilancio di energia si ricava la velocità e, quindi, la portata in condotta.

9.1.4 Dimensionamento del sistema troppo pieno

In questo paragrafo vengono riportati i diametri commerciali necessari allo smaltimento della massima portata in uscita dal sistema con un T.R. di 2 anni in condizione di massimo riempimento e la possibile area di collocazione all'interno della vasca per rispettare i requisiti suggeriti dal manuale SuDS come precedente illustrato in Figura 9.3.

9.1.4.1 Area verde A

Nella zona A sono state proposte 4 configurazioni le cui diverse caratteristiche quali: profondità di scavo, stoccaggio dell'acqua e capacità di filtrazione determinano diversi valori di portata in uscita massima. Osservando la leggera variazione di numero di bocche da una configurazione all'altra si è deciso di adottare i risultati forniti dalla configurazione che necessita del maggior numero di bocche.

La tabella seguente mostra le caratteristiche geometriche del sistema utilizzate per il calcolo della portata captata da una bocca di diametro D:

Tabella 9.2 Caratteristiche geometriche del sistema troppo pieno adottato nella configurazione scelta

Distanza planimetrica	3,000	m
ΔH_{\max}	0,650	m
Lunghezza condotta	3,575	m

Vengono quindi riportate nella tabella successiva i valori di portata garantiti da una bocca con uno specifico diametro D ed il numero di tubazioni necessarie n° . Di queste se ne considera un valore medio rispetto a quelli ottenuti con le diverse formule empiriche.

Tabella 9.3 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 5 cm.

$D = 0,05 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	22,69	m ³ /h	7	9
Bazen	12,92	m ³ /h	8	
Q Kutter	10,42	m ³ /h	10	
Gauckler-Strickler	13,79	m ³ /h	11	
Darcy	17,23	m ³ /h	9	

Tabella 9.4 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 7.5 cm.

$D = 0,075$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	65,92	m ³ /h	3	4
Bazen	40,13	m ³ /h	3	
Q Kutter	32,87	m ³ /h	4	
Gauckler-Strickler	40,67	m ³ /h	4	
Darcy	50,42	m ³ /h	3	

9. Sistemi di scarico

Tabella 9.5 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 11 cm.

$D = 0,11 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	180,47	m ³ /h	1	2
Bazen	116,04	m ³ /h	1	
Q Kutter	96,51	m ³ /h	2	
Gauckler-Strickler	112,94	m ³ /h	2	
Darcy	137,00	m ³ /h	2	

Si può quindi scegliere di utilizzare un numero maggiore di sistemi di troppo pieno per migliorarne la distribuzione sull'area indicata in Figura 9.5 oppure utilizzare maggiori diametri che riducono il rischio di intasamento dovuto da materiale galleggiante che entra nel sistema.

Per essere a favore di sicurezza si utilizza lo stesso numero di tubazioni scelto per tutte le configurazioni adattabili all'area verde B.

Viene mostrata in Figura 9.5 l'area dove si è pensato di collocare il sistema di troppo pieno.

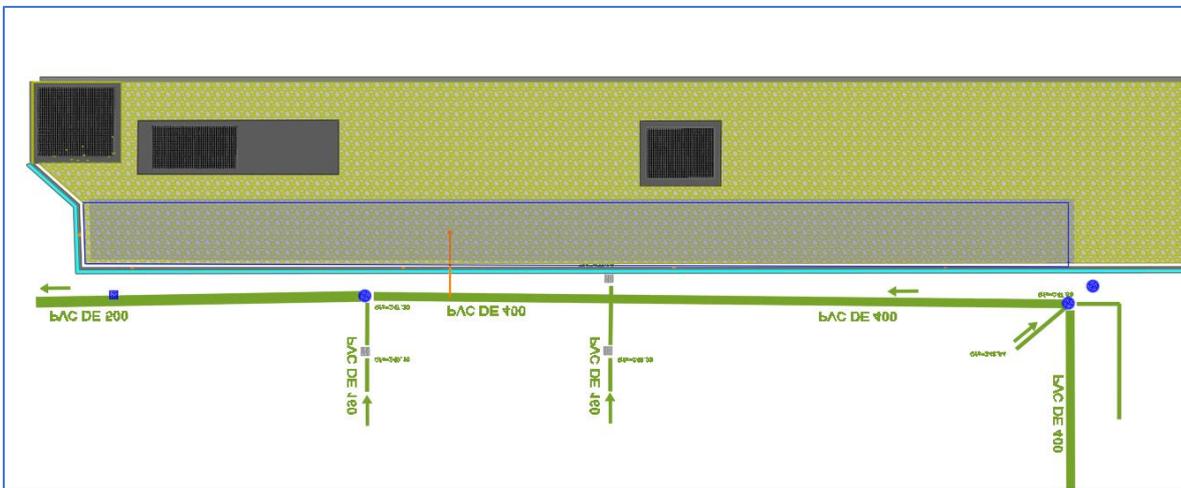


Figura 9.5 L'area blu rappresenta la collocazione dei possibili sistemi di troppo pieno mentre la tubazione arancione mostra la collocazione adottata per la valutazione delle portate smaltite dal sistema

La cordatura della vasca distribuisce in modo uniforme l'acqua convogliata dalle aree limitrofe. Si cerca allora di posizionare il sistema di troppo pieno nell'area blu dove vengono convogliate le aree limitrofe ed i pluviali del tetto della mensa universitaria "Castelfidardo". L'area blu rappresenta la zona dove vengono convogliate le portate maggiori che necessitano di essere smaltite velocemente dal sistema di troppo pieno.

9.1.4.2 Area verde B

Nella zona B sono state proposte 4 configurazioni le cui diverse caratteristiche quali: profondità di scavo, stoccaggio dell'acqua e capacità di filtrazione determinano diversi valori di portata in uscita massima. Osservando la leggera variazione di numero di bocche da una configurazione all'altra si è deciso di adottare i risultati forniti dalla configurazione che necessita del maggior numero di bocche.

La tabella seguente mostra le caratteristiche geometriche del sistema utilizzate per il calcolo della portata captata da una bocca di diametro D:

9. Sistemi di scarico

Tabella 9.6 Caratteristiche geometriche del sistema troppo pieno adottato nella configurazione scelta

Distanza planimetrica	5,200	m
ΔH_{\max}	0,650	m
Lunghezza condotta	5,775	m

Vengono quindi riportate nella tabella successiva i valori di portata garantiti da una bocca con uno specifico diametro D ed il numero di tubazioni necessarie n° . Di queste se ne considera un valore medio rispetto a quelli ottenuti con le diverse formule empiriche.

Tabella 9.7 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 5 cm.

$D = 0,05 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	17,52	m ³ /h	10	14
Bazen	10,16	m ³ /h	12	
Q Kutter	8,20	m ³ /h	15	
Gauckler-Strickler	10,85	m ³ /h	16	
Darcy	13,56	m ³ /h	13	

Tabella 9.8 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 7.5 cm.

$D = 0,075 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	50,88	m ³ /h	4	5
Bazen	31,58	m ³ /h	4	
Q Kutter	25,87	m ³ /h	5	
Gauckler-Strickler	32,00	m ³ /h	6	
Darcy	39,67	m ³ /h	5	

Tabella 9.9 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 11 cm.

$D = 0,11 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	139,30	m ³ /h	2	2
Bazen	91,30	m ³ /h	2	
Q Kutter	75,93	m ³ /h	2	
Gauckler-Strickler	88,86	m ³ /h	2	
Darcy	107,79	m ³ /h	2	

Si può quindi scegliere di utilizzare un numero maggiore di sistemi di troppo pieno per migliorarne la distribuzione sull'area indicata in Figura 9.6 oppure utilizzare maggiori diametri che riducono il rischio di intasamento dovuto da materiale galleggiante che entra nel sistema.

Per essere a favore di sicurezza si utilizza lo stesso numero di tubazioni scelto per tutte le configurazioni adattabili all'area verde B.

Viene mostrata in Figura 9.6 l'area dove si è pensato di collocare il sistema di troppo pieno.

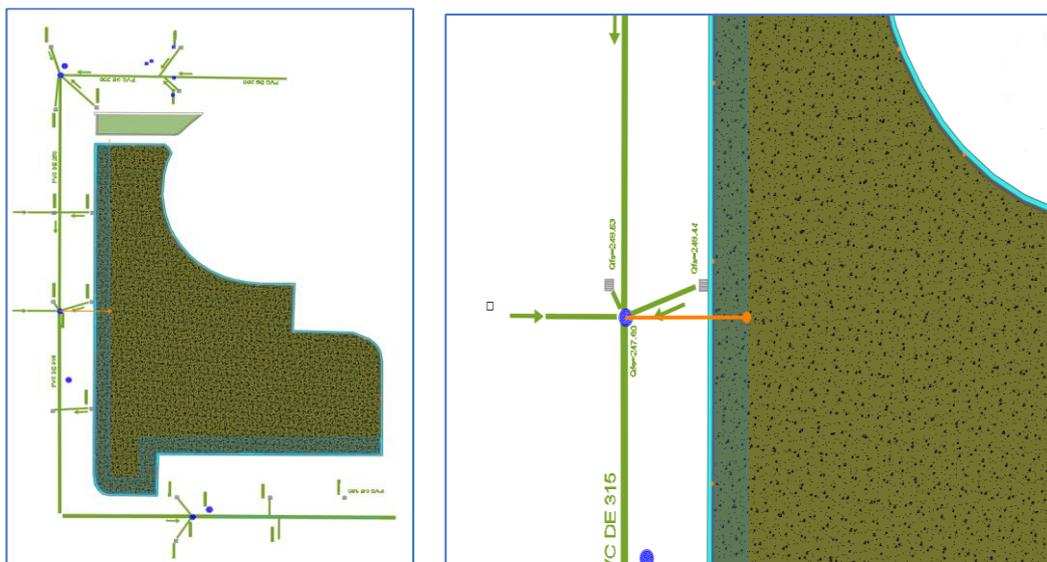


Figura 9.6 L'area blu rappresenta la collocazione dei possibili sistemi di troppo pieno mentre la tubazione arancione mostra la collocazione adottata per la valutazione delle portate smaltite dal sistema.

Il posizionamento deve essere vicino alle condotte di rete bianca per limitare la lunghezza delle condotte. Inoltre, nonostante la cordolatura della vasca, distribuisce in modo uniforme l'acqua convogliata dalle aree limitrofe, le maggiori portate convogliate entrano nell'area B proprio in corrispondenza del lato dove vengono diretti i pluviali del "SiTI" (Istituto Superiore sui Sistemi territoriali per l'Innovazione). Si cerca allora di posizionare il sistema di troppo pieno nell'area blu dove vengono soddisfatte entrambe le esigenze.

9.1.4.3 Area verde C

Nella zona C sono state proposte 4 configurazioni le cui diverse caratteristiche quali: profondità di scavo, stoccaggio dell'acqua e capacità di filtrazione determinano diversi valori di portata in uscita massima. Osservando la leggera variazione di numero di bocche da una configurazione all'altra si è deciso di adottare i risultati forniti dalla configurazione che necessita del maggior numero di bocche. L'area verde C si compone di due aree il cui sistema di troppo pieno viene dimensionato per ognuna delle due sotto aree facendo riferimento alla portata che effettivamente entra nel sistema. Essendo le due aree di uguale estensione e forma ed ipotizzando di distribuire in egual modo le portate convogliate, si può procedere dimensionando ciascuna di esse utilizzando come portata massima uscente da ciascun sistema la portata che si è ottenuta simulando il processo di filtrazione che considera l'estensione delle singole aree (corrispondente alla metà dell'area totale) e metà delle portate convogliate.

La tabella seguente mostra le caratteristiche geometriche del sistema utilizzate per il calcolo della portata captata da una bocca di diametro D:

Tabella 9.10 Caratteristiche geometriche del sistema troppo pieno adottato nella configurazione scelta

Distanza planimetrica	3,200	m
ΔH_{\max}	0,850	m
Lunghezza condotta	3,975	m

9. Sistemi di scarico

Vengono quindi riportati nella tabella successiva i valori di portata garantiti da una bocca con uno specifico diametro D ed il numero di tubazioni necessarie n° . Di queste se ne considera un valore medio rispetto a quelli ottenuti con le diverse formule empiriche. Essendo i risultati del dimensionamento uguali, i valori riportati sono rappresentativi per entrambe le aree della zona C.

Tabella 9.11 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 5 cm.

$D = 0,05 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	24,77	m ³ /h	2	4
Bazen	14,01	m ³ /h	4	
Q Kutter	11,30	m ³ /h	4	
Gauckler-Strickler	14,96	m ³ /h	3	
Darcy	18,69	m ³ /h	3	

Tabella 9.12 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 7.5 cm.

$D = 0,075 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	71,95	m ³ /h	1	2
Bazen	43,53	m ³ /h	1	
Q Kutter	35,65	m ³ /h	2	
Gauckler-Strickler	44,11	m ³ /h	1	
Darcy	54,67	m ³ /h	1	

Tabella 9.13 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 11 cm.

$D = 0,11 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	196,99	m ³ /h	1	1
Bazen	125,85	m ³ /h	1	
Q Kutter	104,66	m ³ /h	1	
Gauckler-Strickler	122,48	m ³ /h	1	
Darcy	148,58	m ³ /h	1	

Si può quindi scegliere di utilizzare un numero maggiore di sistemi di troppo pieno per migliorarne la distribuzione sull'area indicata in Figura 9.7 oppure utilizzare maggiori diametri che riducono il rischio di intasamento dovuto da materiale galleggiante che entra nel sistema. Per essere a favore di sicurezza si utilizza lo stesso numero di tubazioni scelto per tutte le configurazioni adattabili all'area verde B. Viene mostrata in Figura 9.7 l'area dove si è pensato di collocare il sistema di troppo pieno.

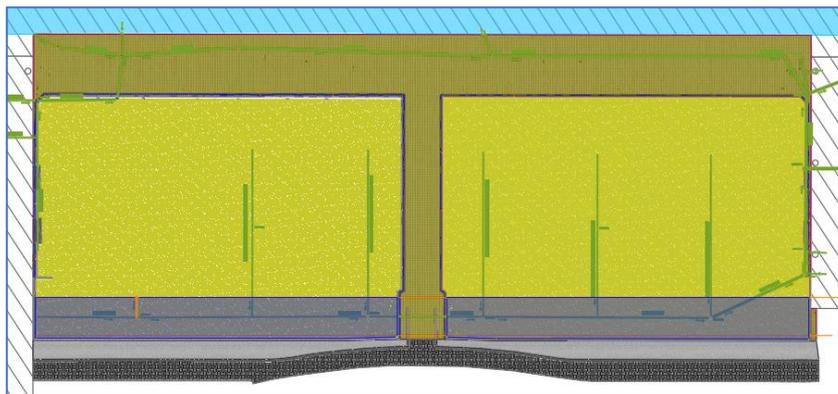


Figura 9.7 L'area blu rappresenta la collocazione dei possibili sistemi di troppo pieno mentre la tubazione arancione mostra la collocazione adottata per la valutazione delle portate smaltite dal sistema.

Anche in questo caso il posizionamento del troppo pieno deve essere vicino alle condotte di rete bianca per limitare la lunghezza delle condotte. Esso però, non può essere posto al di sopra della rete bianca in quanto tra le due condotte deve essere collocato il pozzetto di ispezione. A differenza delle precedenti aree, il troppo pieno viene posto distante dall'ingresso delle portate maggiori. Infatti l'area C possiede una leggera pendenza che permette il deflusso dell'acqua che si accumula sullo strato superficiale, dai lati dell'area C vicini alla G.M. (General Motors) verso i lati dell'area C che ubicati verso Corso Castelfidardo. Si cerca allora di posizionare il sistema di troppo pieno nell'area blu in modo da evitare l'uscita dell'acqua dai cordoli perimetrali nelle zone più depresse delle due vasche.

9.1.4.4 Area verde D1

Per l'area verde D1 si è condotto un dimensionamento come avvenuto in precedenza per le aree facenti parte della zona C. Quest'area si compone di 4 aree verdi. L'estensione di queste aree è uguale a due a due come descritto dalla Figura 8.34. Misurata l'estensione e suddividendo l'area convogliata in egual modo tra le 4 aree, si sono condotte le analisi per poter determinare il diametro e numero di tubazioni per ciascun'area facente parte del gruppo D1. La configurazione considerata nel dimensionamento è quella esistente già descritta nel paragrafo 8.5.1.

La tabella seguente mostra le caratteristiche geometriche del sistema utilizzate per il calcolo della portata:

Tabella 9.14 Caratteristiche geometriche del sistema troppo pieno adottato nella configurazione scelta

Distanza planimetrica	3,000	m
ΔH_{\max}	0,410	m
Lunghezza condotta	3,335	m

Vengono quindi riportati nella tabella successiva i valori di portata garantiti da una bocca con uno specifico diametro D ed il numero di tubazioni necessarie n° . Di queste se ne considera un valore medio rispetto a quelli ottenuti con le diverse formule empiriche. Essendo i risultati del dimensionamento uguali, i valori riportati sono rappresentativi delle aree della zona D1.

Tabella 9.15 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 5 cm. Questi valori sono validi per ogni sotto area D1.

$D = 0,05 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	18,37	m ³ /h	2	4
Bazen	10,62	m ³ /h	4	
Q Kutter	8,57	m ³ /h	4	
Gauckler-Strickler	11,34	m ³ /h	3	
Darcy	14,17	m ³ /h	3	

Tabella 9.16 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 7.5. Questi valori sono validi per ogni sotto area D1.

$D = 0,075 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	53,36	m ³ /h	1	2
Bazen	33,00	m ³ /h	2	
Q Kutter	27,03	m ³ /h	2	
Gauckler-Strickler	33,44	m ³ /h	1	
Darcy	41,46	m ³ /h	1	

9. Sistemi di scarico

Tabella 9.17 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 11 cm. Questi valori sono validi per ogni sotto area D1.

$D = 0,11 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	146,10	m ³ /h	1	1
Bazen	95,42	m ³ /h	1	
Q Kutter	79,36	m ³ /h	1	
Gauckler-Strickler	92,87	m ³ /h	1	
Darcy	112,66	m ³ /h	1	

Si può quindi scegliere di utilizzare un numero maggiore di sistemi di troppo pieno per migliorarne la distribuzione sull'area indicata in Figura 9.8 oppure utilizzare maggiori diametri che riducono il rischio di intasamento dovuto da materiale galleggiante che entra nel sistema.

Viene mostrata in Figura 9.8 l'area dove si è pensato di collocare il sistema di troppo pieno.



Figura 9.8 L'area blu rappresenta la collocazione dei possibili sistemi di troppo pieno mentre la tubazione arancione mostra la collocazione adottata per la valutazione delle portate smaltite dal sistema

A differenza dei casi precedenti ora i sistemi di troppo pieno vengono convogliati nelle aree centrali D3. Le tubazioni vengono poste vicino ai lati interni delle aree appartenenti alle zone D1 e D2 per minimizzare in percorso planimetrico.

9.1.4.5 Area verde D2

L'area verde D2 possiede praticamente la stessa estensione dell'area D1 ma l'area convogliata risulta essere molto superiore quindi occorre analizzare nello specifico le aree della zona D2. Per ognuna sotto area della zona D2 si è condotto un dimensionamento come avvenuto in precedenza per le aree facenti parte della zona D1. La configurazione considerata nel dimensionamento è quella esistente già descritta nel paragrafo 8.5.1. La tabella seguente mostra le caratteristiche geometriche del sistema utilizzate per il calcolo della portata:

Tabella 9.18 Caratteristiche geometriche del sistema troppo pieno adottato nella configurazione scelta

Distanza planimetrica	3,000	m
ΔH_{\max}	0,410	m
Lunghezza condotta	3,335	m

9. Sistemi di scarico

Vengono quindi riportati nella tabella successiva i valori di portata garantiti da una bocca con uno specifico diametro D ed il numero di tubazioni necessarie n° . Di queste se ne considera un valore medio rispetto a quelli ottenuti con le diverse formule empiriche. Essendo i risultati del dimensionamento uguali, i valori riportati sono rappresentativi di tutte le aree della zona D2.

Tabella 9.19 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 5 cm. Questi valori sono validi per ogni sotto area D2.

$D = 0,05 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	18,37	m ³ /h	6	9
Bazen	10,62	m ³ /h	10	
Q Kutter	8,57	m ³ /h	12	
Gauckler-Strickler	11,34	m ³ /h	9	
Darcy	14,17	m ³ /h	8	

Tabella 9.20 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 7.5 cm. Questi valori sono validi per ogni sotto area D2.

$D = 0,075 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	53,36	m ³ /h	2	4
Bazen	33,00	m ³ /h	4	
Q Kutter	27,03	m ³ /h	4	
Gauckler-Strickler	33,44	m ³ /h	4	
Darcy	41,46	m ³ /h	3	

Tabella 9.21 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 11 cm. Questi valori sono validi per ogni sotto area D2.

$D = 0,11 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	146,10	m ³ /h	1	2
Bazen	95,42	m ³ /h	2	
Q Kutter	79,36	m ³ /h	2	
Gauckler-Strickler	92,87	m ³ /h	2	
Darcy	112,66	m ³ /h	1	

Si può quindi scegliere di utilizzare un numero maggiore di sistemi di troppo pieno per migliorarne la distribuzione sull'area indicata in Figura 9.9, oppure utilizzare maggiori diametri che riducono il rischio di intasamento dovuto da materiale galleggiante che entra nel sistema.

Viene mostrata in Figura 9.9 l'area dove si è pensato di collocare il sistema di troppo pieno.



Figura 9.9 L'area blu rappresenta la collocazione dei possibili sistemi di troppo pieno mentre la tubazione arancione mostra la collocazione adottata per la valutazione delle portate smaltite dal sistema

A differenza dei casi precedenti ora i sistemi di troppo pieno vengono convogliati nelle aree centrali D3. Le tubazioni vengono poste vicino ai lati interni delle aree appartenenti alle zone D1 e D2 per minimizzare in percorso planimetrico.

9.1.4.6 Area verde D3

Nella zona D3 sono state proposte le 4 configurazioni proposte nel Capitolo 6 dove diverse caratteristiche quali: profondità di scavo, stoccaggio dell'acqua e capacità di filtrazione determinano diversi valori di portata in uscita massima. Osservando la leggera variazione di numero di bocche da una configurazione all'altra si è deciso di adottare i risultati forniti dalla configurazione che necessita del maggior numero di bocche. L'area verde D3 si compone di 4 aree il cui sistema di troppo pieno viene dimensionato in tutte le sotto aree facendo riferimento all'effettiva portata entrante. È stata quindi condotta un'analisi su ognuna delle 4 aree considerando un quarto della portata in ingresso (ipotizzando di dividere egualmente i contributi derivanti dalle aree D1 e D2) e l'effettiva superficie della sotto area della zona D3.

La tabella seguente mostra le caratteristiche geometriche del sistema utilizzate per il calcolo della portata captata da una bocca di diametro D:

Tabella 9.22 Caratteristiche geometriche del sistema troppo pieno adottato nella configurazione scelta

Distanza planimetrica	1,000	m
ΔH_{\max}	0,850	m
Lunghezza condotta	1,775	m

Vengono quindi riportati nella tabella successiva i valori di portata garantiti da una bocca con uno specifico diametro D ed il numero di tubazioni necessarie n° . Di queste se ne considera un valore medio rispetto a quelli ottenuti con le diverse formule empiriche.

Essendo i risultati del dimensionamento uguali, i valori riportati sono rappresentativi di tutte le aree della zona D3.

Tabella 9.23 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 5 cm. Questi valori sono validi per ogni sotto area D3.

$D = 0,05 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	38,28	m ³ /h	3	5
Bazen	20,96	m ³ /h	5	
Q Kutter	16,91	m ³ /h	6	
Gauckler-Strickler	22,39	m ³ /h	5	
Darcy	27,96	m ³ /h	4	

Tabella 9.24 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 7.5 cm. Questi valori sono validi per ogni sotto area D3.

$D = 0,075 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	111,19	m ³ /h	1	2
Bazen	65,14	m ³ /h	2	
Q Kutter	53,35	m ³ /h	2	
Gauckler-Strickler	66,00	m ³ /h	2	
Darcy	81,82	m ³ /h	2	

9. Sistemi di scarico

Tabella 9.25 Valori di portata smaltita ottenuti con formule empiriche e numero di bocche necessarie a smaltire la portata massima con un T.R. di 2 anni e un diametro pari a 11 cm. Questi valori sono validi per ogni sotto area D3.

$D = 0,11 \text{ m}$	Q	u.m.	n° bocche	n° bocche utilizzate
Hazen Williams	304,44	m ³ /h	1	1
Bazen	188,33	m ³ /h	1	
Q Kutter	156,62	m ³ /h	1	
Gauckler-Strickler	183,29	m ³ /h	1	
Darcy	222,34	m ³ /h	1	

Si può quindi scegliere di utilizzare un numero maggiore di sistemi di troppo pieno per migliorarne la distribuzione sull'area indicata in Figura 9.10 oppure utilizzare maggiori diametri che riducono il rischio di intasamento dovuto da materiale galleggiante che entra nel sistema.

Viene mostrata in Figura 9.10 l'area dove si è pensato di collocare il sistema di troppo pieno.

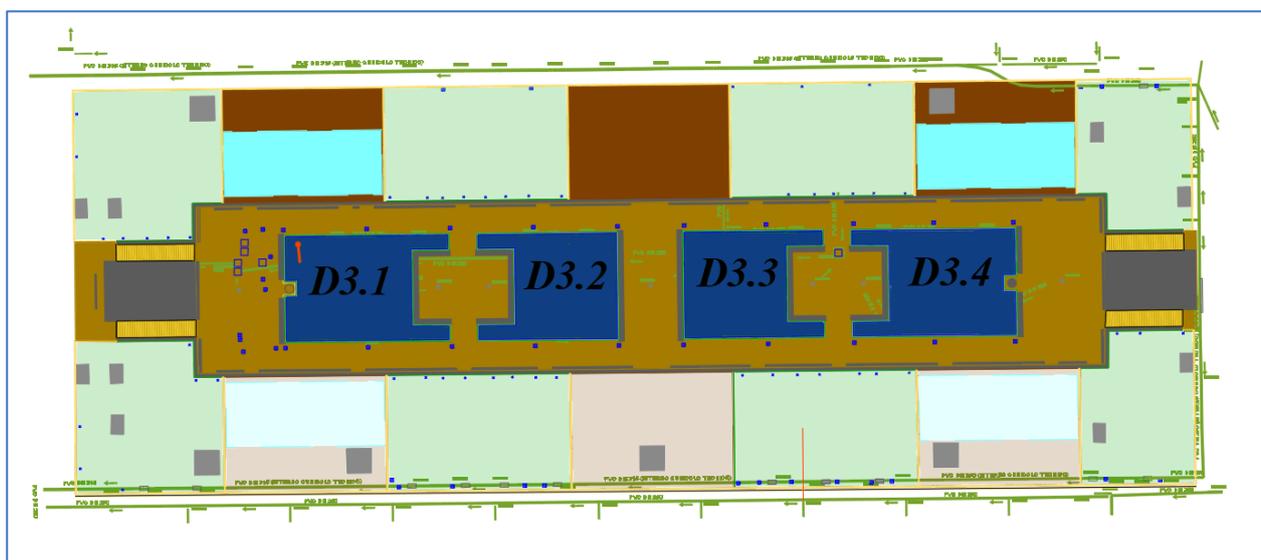


Figura 9.10 L'area blu rappresenta la collocazione dei possibili sistemi di troppo pieno mentre la tubazione arancione mostra la collocazione adottata per la valutazione delle portate smaltite dal sistema.

Come per l'area C anche l'area D3 è attraversata dalle condotte di rete bianca. Il sistema di troppo pieno deve essere posizionato ad una distanza minima pari alle dimensioni del pozzetto di controllo.

9.2 PROGETTO DEL SISTEMA DI SCOLO INFERIORE

Nel Capitolo 8 sono stati analizzati i benefici di ciascuna area verde in termini di laminazione delle portate. La qualità dell'acqua ed il processo di depurazione sono attribuibili alla presenza della vegetazione ed il tempo di permanenza nel mezzo poroso. Facendo riferimento alle tipologie di intervento che possono essere attuate nell'ambito del drenaggio urbano sostenibile, esaminate nel Capitolo 4 ,si è progettato il sistema di scolo inferiore come avviene per i sistemi di bioritenzione, ovvero per avere tempi di drenaggio delle acque accumulate, dopo l'evento atmosferico, non superiori alle 24-48 h, così da garantire tempi di residenza sufficienti per la rimozione degli inquinanti e, allo stesso tempo, prevenire il ristagno delle acque e la proliferazione degli insetti.

9.2.1 Applicazione alle aree verdi del Politecnico

La posizione della tubazione drenante all'interno delle aree verdi è centrale, in modo da poter distribuire l'effetto di drenaggio su tutto il volume della vasca. Il sistema considerato prevede l'utilizzo di una tubazione con bocca tarata posta su fondo della vasca fornita di apposito filtro per prevenire l'otturazione della tubazione. Il sistema di drenaggio è collegato alla rete bianca mediante una camera di ispezione la cui funzione è stata descritta nel Capitolo 5 come si può osservare in Figura 9.11.

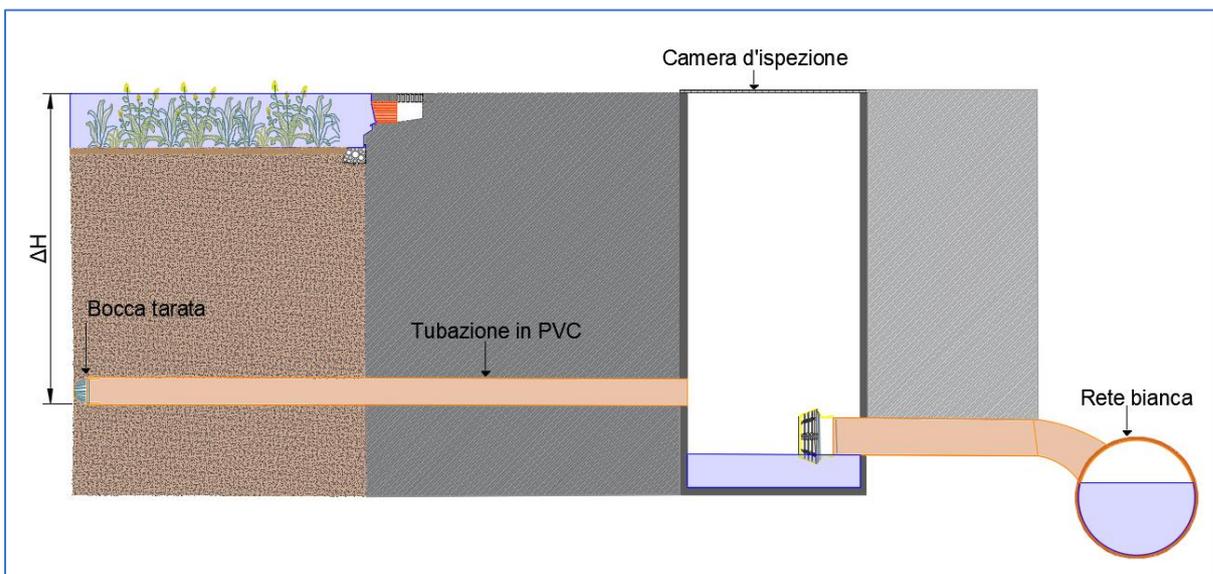


Figura 9.11 Schema del collegamento tra tubazione in PVC e rete bianca dove ΔH indica la massima differenza di carico possibile nel sistema di drenaggio.

9.2.1.1 Dati geometrici

Per il reperimento di dati geometrici riferiti al dimensionamento si è fatto riferimento alle planimetrie fornita dall'Edilog. La collocazione di un sistema determina le caratteristiche di un sistema come:

- *lunghezza condotta*: che corrisponderà alla lunghezza minima tra il centro dell'area verde e la rete bianca. Se quest'ultima passa all'interno dell'area studiata, la distanza minima da considerare è legata alle dimensioni del pozzetto di ispezione;
- *carico massimo in vasca*: calcolato dopo aver determinato la quota massima del cordolo pari alla quota delle aree limitrofe. esso viene ricavato mediante la seguente espressione:

$$H_{max} = \text{Quota cordoli} - \text{Quota fondo vasca}$$

9.2.2 Calcolo della portata drenata

Nella schematizzazione riportata in Figura 9.11 per la valutazione del tempo di svuotamento della vasca bisogna tenere in considerazione non soltanto il processo di efflusso attraverso la bocca tarata del dreno, ma anche del processo di infiltrazione all'interno del terreno. In funzione dell'area della bocca di scarico, vi è la prevalenza di uno dei due processi sul valore del tempo di smaltimento del volume d'acqua immagazzinato dalla vasca. Infatti nel caso in cui l'area della bocca di scarico presenti un valore basso, si può ipotizzare che la portata di uscita sia governata dalla velocità di efflusso attraverso la luce in quanto utilizzando un mezzo poroso si può assumere che:

$$v_{inf} \geq v_{drenaggio}$$

Per il dimensionamento del sistema in ciascun'area è stato necessario calcolare la portata necessaria a smaltire il volume accumulabile da ogni soluzione. Dopo di che sono state dimensionate le tubazioni attraverso le formule empiriche descritte precedentemente nel paragrafo 9.1.3

9.2.3 Dimensionamento del sistema di scolo inferiore

Per dimensionamento del sistema di scolo inferiore bisogna valutare due grandezze:

- *tempo di smaltimento della lama superficiale (t_{lama})*
- *tempo di svuotamento dell'intero sistema ($t_{svuotamento}$)*

In questo paragrafo vengono riportati gli andamenti del livello di acqua all'interno della vasca nel tempo utilizzando i diametri commerciali proposti in Tabella 9.26. In tutte le aree verdi sono state proposte 4 configurazioni le cui diverse caratteristiche quali: profondità di scavo, stoccaggio dell'acqua e capacità di filtrazione determinano, a parità di diametro, una variazione dei tempi di smaltimento dell'acqua accumulata.

L'andamento del carico nel tempo è dovuto al fatto che la portata drenante in ogni istante espelle un volume che si va a sottrarre a quello in vasca. Ciò implica che il livello in vasca diminuisca ma la riduzione del carico comporta una variazione di portata. Questo processo iterativo è stato implementato su uno script Matlab che ha fornito i dati ottenuti.

Vengono riportati quindi i valori di carico relativi alle 4 configurazioni per ogni zona.

9.2.3.1 Area verde A

Per la valutazione dei tempi di drenaggio sono stati considerate delle tubazioni con le seguenti caratteristiche:

Tabella 9.26 Numero di tubazioni e diametri utilizzati nelle simulazioni

D (m)	n°
0,05	2
0,75	1
0,11	1

Si riportano i grafici raffiguranti l'andamento nel tempo del carico con l'applicazione delle tre tipologie di drenaggio riportate nella precedente tabella:

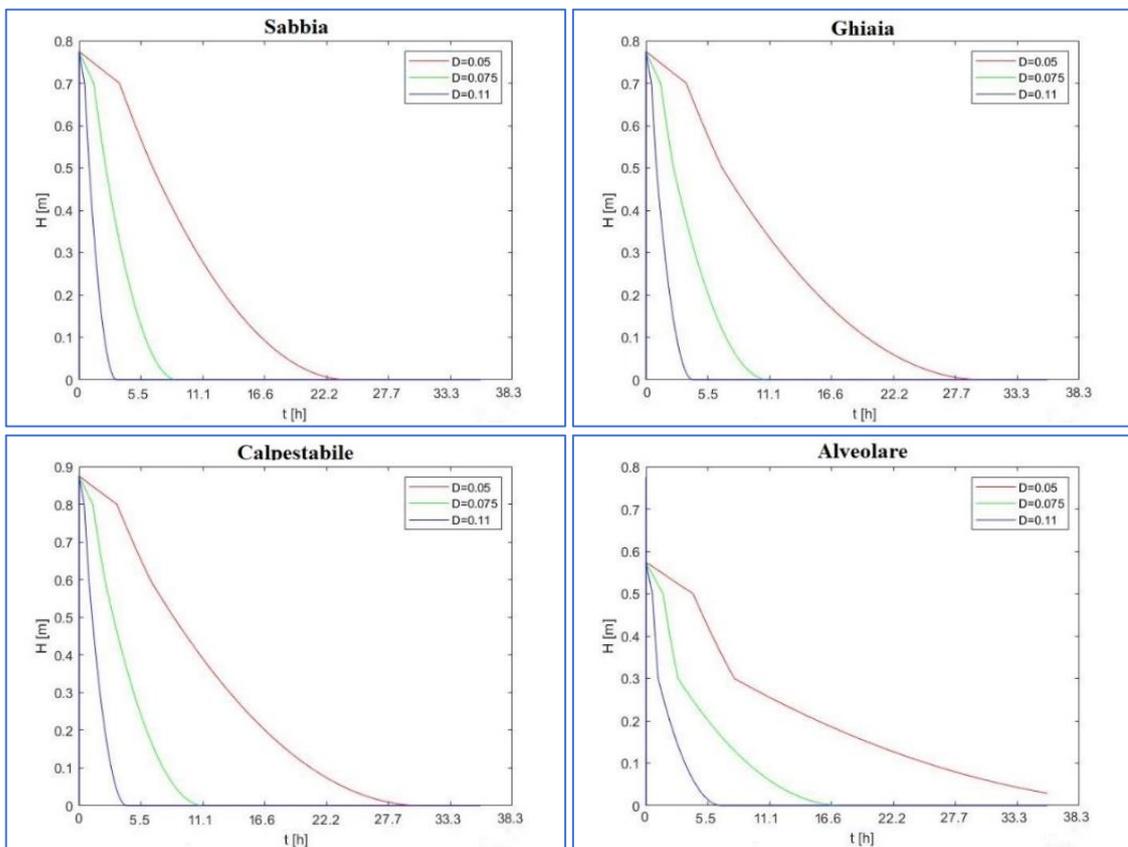


Figura 9.12 Andamenti del carico nelle 4 configurazioni adottate sull'area verde A utilizzando tre diametri diversi nella valutazione della portata drenata

9.2.3.2 Area verde B

Per la valutazione dei tempi di drenaggio sono stati considerate delle tubazioni con le seguenti caratteristiche:

Tabella 9.27 Numero di tubazioni e diametri utilizzati nelle simulazioni

D (m)	n°
0,05	2
0,75	1
0,11	1

Si riportano i grafici raffiguranti l'andamento nel tempo del carico con l'applicazione delle tre tipologie di drenaggio riportate nella precedente tabella:

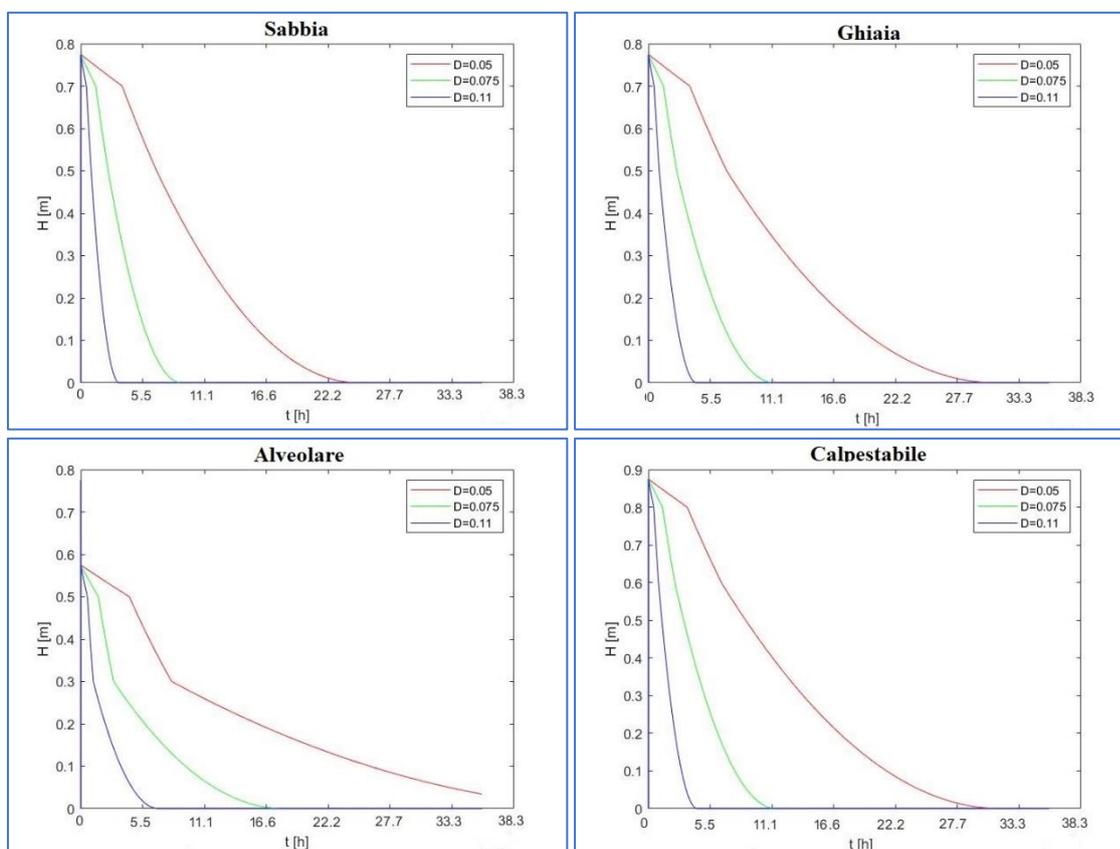


Tabella 9.28 Andamenti del carico nelle 4 configurazioni adottate sull'area verde B utilizzando tre diametri diversi nella valutazione della portata drenata

9.2.3.3 Area verde C

Le aree facenti parte di questa zona sono praticamente uguali. Ciò implica che il volume stoccato dalle aree è lo stesso. Siccome le due aree della zona C sono sistemi indipendenti occorre realizzare un sistema di drenaggio per ognuna delle due aree.

Per la valutazione dei tempi di drenaggio sono state considerate delle tubazioni con le seguenti caratteristiche:

Tabella 9.29 Numero di tubazioni e diametri utilizzati nelle simulazioni

D (m)	n°
0,05	2
0,75	1
0,11	1

Si riportano i grafici raffiguranti l'andamento nel tempo del carico con l'applicazione delle tre tipologie di drenaggio riportate nella precedente tabella:

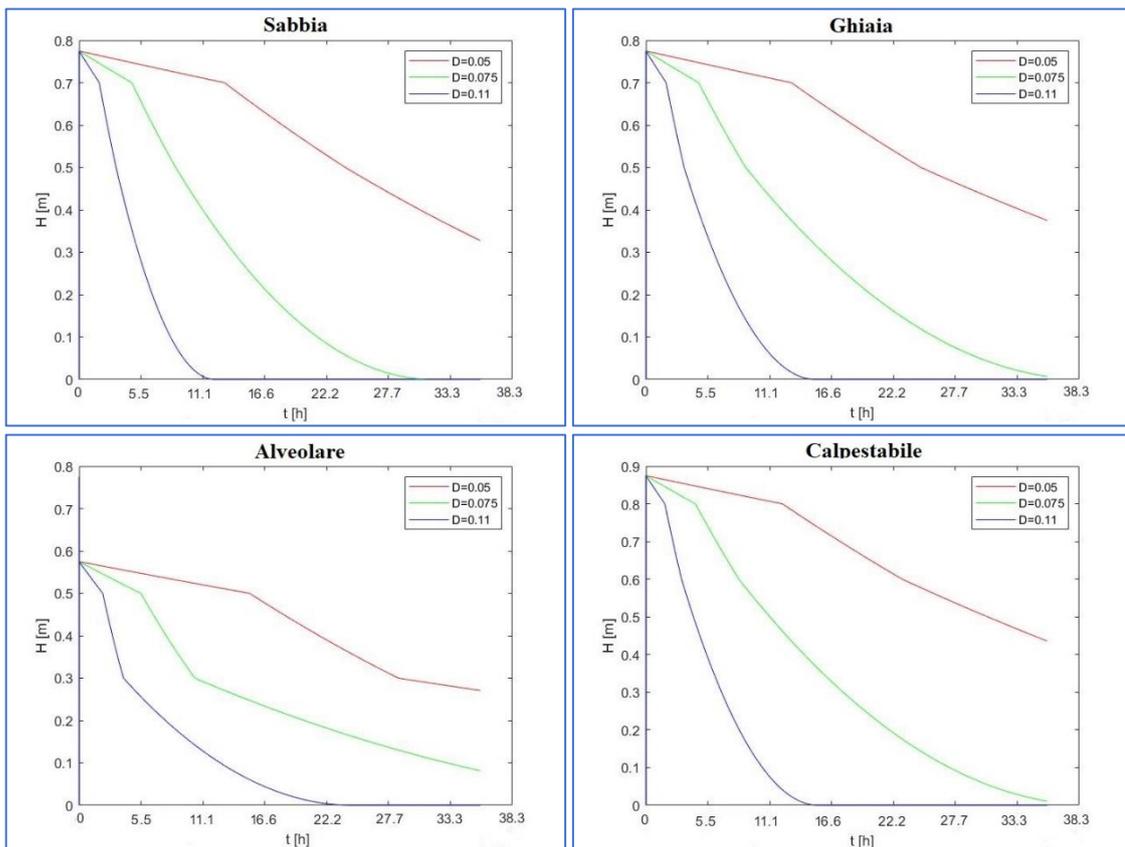


Tabella 9.30 Andamenti del carico nelle 4 configurazioni adottate su una delle due aree della zona verde C utilizzando tre diametri diversi nella valutazione della portata drenata

9.2.3.4 Area verde D1 E D2

Le aree facenti parte di queste due zone sono praticamente uguali. Ciò implica che il volume stoccato dalle aeree è lo stesso. Siccome ogni area del gruppo D1 e D2 è un sistema indipendente occorre realizzare un sistema di drenaggio per ogni singola area.

Per la valutazione dei tempi di drenaggio sono stati considerate delle tubazioni con le seguenti caratteristiche:

Tabella 9.31 Numero di tubazioni e diametri utilizzati nelle simulazioni

D (m)	n°
0,05	2
0,75	1
0,11	1

Si riportano i grafici raffiguranti l'andamento nel tempo del carico con l'applicazione delle tre tipologie di drenaggio riportate nella precedente tabella:

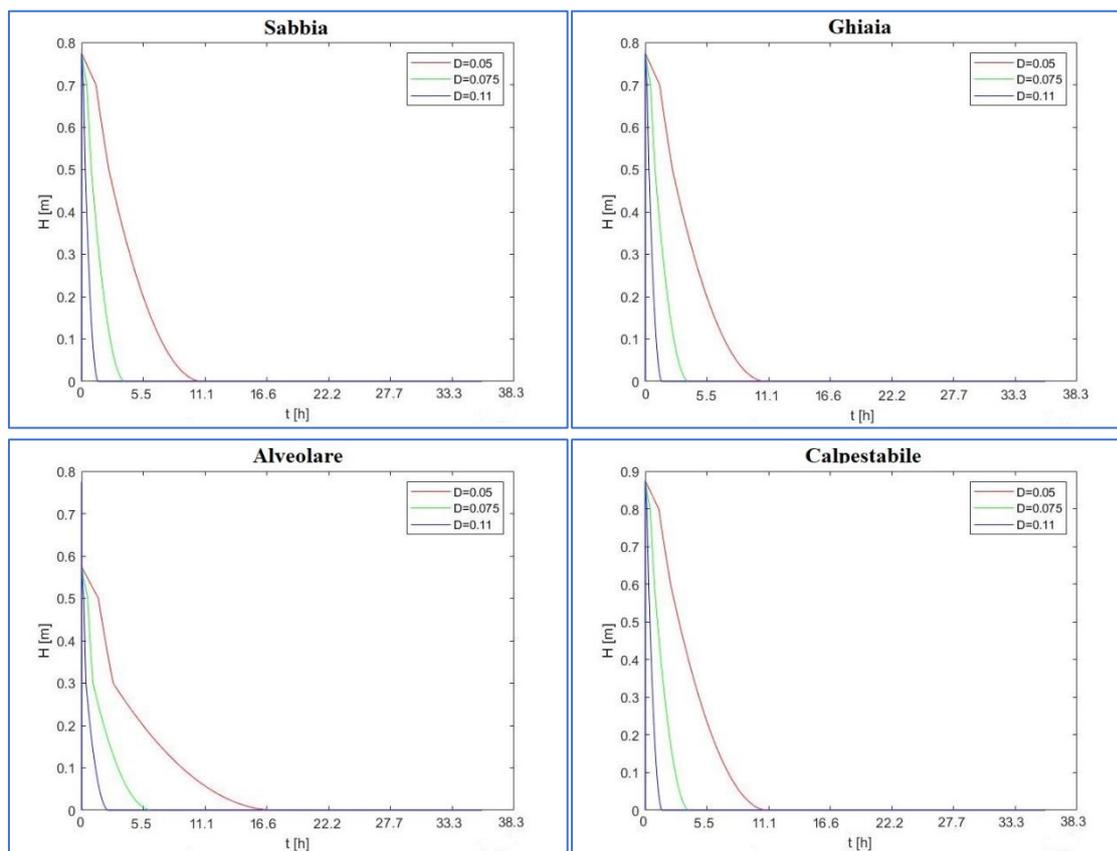


Figura 9.13 Andamenti del carico nelle 4 configurazioni adottate su una delle quattro aree della zona verde D1 (uguali a D2) utilizzando tre diametri diversi nella valutazione della portata drenata

9.2.3.5 Area verde D3

Le aree facenti parte di questa zona sono praticamente uguali. Ciò implica che il volume stoccato dalle aree è lo stesso. Siccome le quattro aree della zona D3 sono sistemi indipendenti occorre realizzare un sistema di drenaggio per ogni area.

Per la valutazione dei tempi di drenaggio sono state considerate delle tubazioni con le seguenti caratteristiche:

Tabella 9.32 Numero di tubazioni e diametri utilizzati nelle simulazioni

D (m)	n°
0,05	2
0,75	1
0,11	1

Si riportano i grafici raffiguranti l'andamento nel tempo del carico con l'applicazione delle tre tipologie di drenaggio riportate nella precedente tabella:

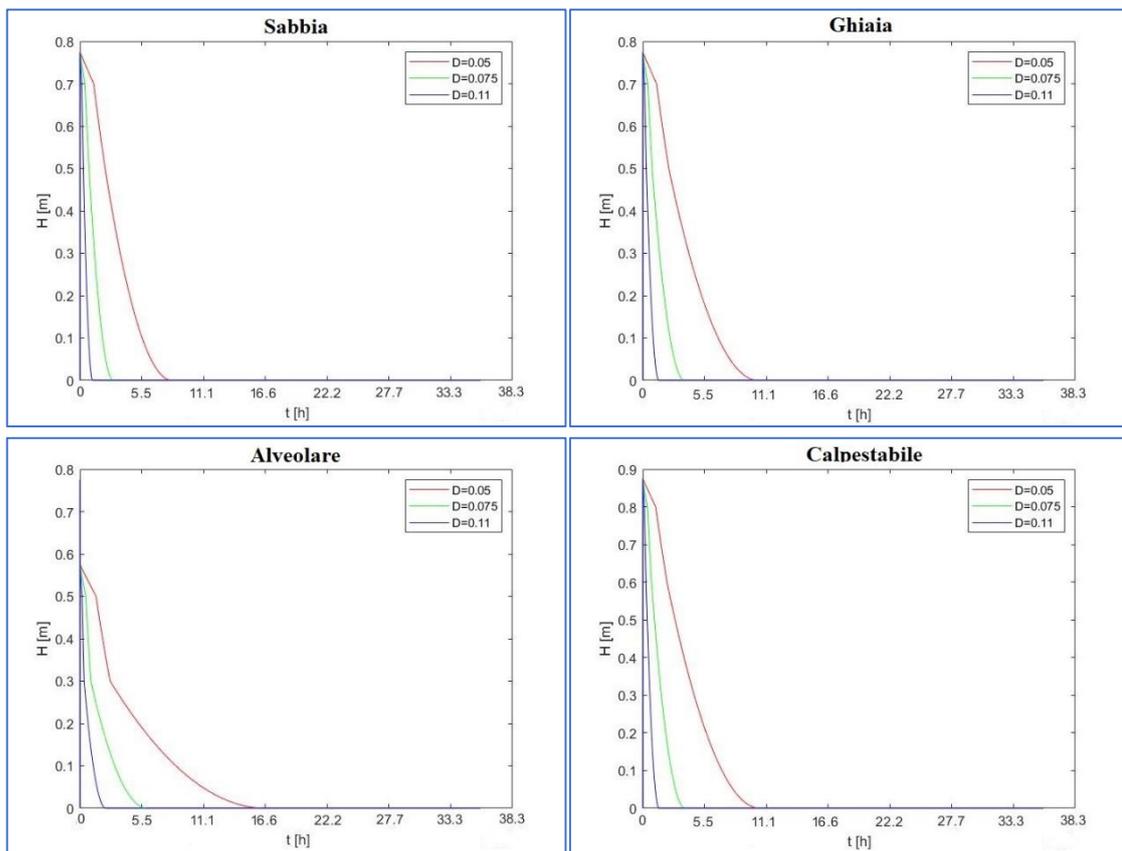


Figura 9.14 Andamenti del carico nelle 4 configurazioni adottate su una delle quattro aree della zona verde D3 utilizzando tre diametri diversi nella valutazione della portata drenata

9.2.3.6 Osservazioni generali

Le diverse pendenze delle curve di carico rappresentano i passaggi da uno strato ad un altro. Il tempo corrispondente al primo cambio di pendenza corrisponde a quello dello smaltimento della lama d'acqua superficiale. Si può notare che in tutte le configurazioni di tutte le zone il tempo t_{Lama} è inferiore alle 24 h come suggerito dal manuale SuDS.

Si può osservare che solo nell'area C la soluzione che prevede l'impiego di due tubazioni di diametri 0.05 m fornisce un tempo di smaltimento superiore alle 48 h. Negli altri casi occorre valutare quanto tempo si vuole far permanere l'acqua all'interno della vasca.

10 PROGETTO DELLA VEGETAZIONE

La selezione delle piante dipenderà dalle aspirazioni progettuali del sito. Piantare in un sistema di bioretention fornisce la riduzione volumetrica del deflusso, assorbimento di sostanze inquinanti attraverso il suolo e fisico e chimico processi nel suolo. Le piante influenzano anche la conducibilità idraulica a lungo termine del mezzo filtrante e aiutano prevenire l'erosione. Il tipo di piante utilizzate in un sistema di bioretention influenza le prestazioni del sistema. I criteri principali per la selezione delle piante sono:

- caratteristiche del paesaggio circostante;
- se le specie native o introdotte sono appropriate;
- disponibilità di piante da vivai locali;
- tolleranza alla siccità - in grado di sopravvivere a lunghi periodi di siccità,
- tolleranza del terreno sabbioso drenante;
- tolleranza di inondazioni occasionali;
- tolleranza dei carichi di inquinamento previsti;
- propensione alla struttura delle radici fibrose;
- diffondere la forma di crescita piuttosto che contrastare la propensione.

Due tipi specifici di aree di impianto possono essere differenziati come segue:

- *Aree di piantagione ornamentali* - queste possono anche fungere da aree di bioritenzione in cui l'estetica è di fondamentale importanza. Se si applica la piantagione ornamentale, l'area di ritenzione dovrebbe essere considerata come un letto di massa piantare, in modo che il fogliame coprirà l'intera area alla fine della seconda stagione di crescita. Una varietà di le specie dovrebbero essere utilizzate per dare interesse tutto l'anno, con piante perenni che danno colore dalla primavera all'autunno ed erbe ornamentali e arbusti sempreverdi o fruttiferi che garantiscono che l'area rimanga visivamente accettabile durante l'inverno. Le specie ornamentali a bassa manutenzione sono le più appropriate.
- *Prati di spazi aperti*: queste aree possono essere utilizzate per la bioritenzione e tendono ad avere significativamente requisiti di manutenzione ridotti. La piantagione utilizzata in questo caso tende ad essere una varietà di erbe native intrecciate con selezioni di fiori di campo.

Qualunque sia la tipologia di impianto, i seguenti aspetti sono importanti per il successo della creazione del sistema.

- È necessaria una semina densa (tipicamente nell'ordine di 6-10 piante / m² (anche se questa sarà specie specifico). Ciò aumenta la densità delle radici, il che aiuta a mantenere la permeabilità superficiale.

10. Progetto della vegetazione

- Nei sistemi più grandi e dotati di pendenza, prendere in considerazione la zonizzazione, con aree lontane dalle insenature che hanno specie diverse che devono essere più resistenti;
- Gli arbusti sono piante molto efficaci nei sistemi di bioritenzione a causa del loro apparato radicale moderatamente fibroso e grande biomassa di radice. Possono fornire dense barriere vegetative per dissuadere l'accesso pubblico, se necessario, e ridurre le erbacce. Un minimo di tre tipi di arbusti dovrebbe essere usato per dare diversità, che protegge contro parassiti e malattie. La copertura del suolo erbacea dovrebbe essere fornita se le condizioni del sito sono adatte (almeno tre o quattro specie) perché ha radici fibrose, è a crescita rapida ed è efficace a rimuovere sostanze inquinanti. Il tappeto erboso non è raccomandato a causa della limitata tolleranza ai periodi di siccità.
- Fornire una gamma di forme di crescita laddove possibile.

10.1 APPLICAZIONE ALLE AEREE VERDI DEL POLITECNICO

Nel nostro caso studio le aree verdi non presentano particolari pendenze del terreno. Non è quindi possibile applicare diverse tipologie di piante a seconda delle zone del Bioretention System in cui sono collocate. Tutte le tipologie di piante dovranno, quindi, soddisfare questi requisiti:

- apparato radicale non eccessivamente esteso e che possa svilupparsi in un massimo di 1 metro di spessore;
- resistenza ad un terreno drenante quindi particolarmente secco;
- resistenza ad allagamenti della vasca, per un livello massimo di 7,5 cm dal piano campagna. La vasca rimane allagata per 24 h dopo il termine dell'evento piovoso;
- resistenza al clima locale, rigido in inverno e caldo in estate.

Attraverso la consultazione di diversi vivai nella provincia di Torino e Cuneo sono state individuate le seguenti tipologie di piante:

10.1.1 *Ligustrum Ovalifolium*



Figura 10.1 Cespuglio di *Ligustrum Ovalifolium*

10. Progetto della vegetazione

CARATTERISTICHE: Vigorosa pianta da siepe sempreverde. È una pianta ad accrescimento veloce, se non potata cresce notevolmente, sono consigliati da 2 a 4 interventi di potatura all'anno. La fioritura bianca estiva, normalmente non si manifesta nelle siepi potate in forma. È una pianta rustica e vigorosa ottima per siepi potate, sempreverde, esposizioni da soleggiate a mezz'ombra, utilizzabile anche in montagna.

Tabella 10.1 Caratteristiche tecniche *Ligustrum Ovalifolium*

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
4.5	Fiori bianchi	Estiva	2/4 interventi l'anno	Sole

10.1.2 Ligustrum Sinense



Figura 10.2 Piantina di ligustro sinense cresciuta spontaneamente. Questa piantina ha superato un inverno freddo senza perdere le foglie che si sono solo arrossate.

CARATTERISTICHE: Arbusto cespuglioso o alberello che arriva a una altezza di 2 - 3 (4) m. La crescita è molto rapida. Questa pianta eliofila (amante della luce) e rustica cresce ai margini dei boschi. Dispone di radici estese con rizomi che facilitano la propagazione e la colonizzazione di terreni acidi.

Tabella 10.2 Caratteristiche tecniche *Ligustro sinense*

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
4	Fiori bianchi	Primaverile	2/4 interventi l'anno	Sole

10.1.3 Rosa Canina



Figura 10.3 Cespuglio di rosa Canina

CARATTERISTICHE: Questa pianta cresce come un cespuglio molto comune, caducifoglio rustico, molto spinoso, cresce in tutti i tipi di terreno e non teme il freddo. Questa rosa è molto apprezzata per la delicata fioritura primaverile a fiori rosa tenue, per poi produrre bacche allungate di color rosso brillante in tarda estate. La pianta si presta a crescere a gruppi o isolata.

Tabella 10.3 Caratteristiche tecniche rosa Canina

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
7	Fiori rosa	Primavererile	2/4 interventi l'anno	Sole

10.1.4 Rose tappezzanti: Aspirin Rose



Figura 10.4 Aspirin Rose

CARATTERISTICHE: La Aspirin Rose ha fiori dal diametro di 5-7 cm, pieni che formano un ricco bouquet di color bianco con sfumature di rosa confetto, autopulenti. Ha crescita compatta con getti vigorosi dallo sviluppo ampio ma che non superano i 60-70 cm. Il fogliame è folto, verde chiaro. Una delle migliori rose per bordure, molto resistente alle malattie e rifiorente.

Tabella 10.4 Caratteristiche tecniche Aspirin Rose

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
5	Fiori rosa	Tutto l'anno	2/4 interventi l'anno	Sole

10.1.5 Cotoneaster



Figura 10.5 Cespuglio di Cotoneaster

CARATTERISTICHE: Pianta rustica e di elevata resistenza alle basse temperature, indifferente al pH e tollerante di qualunque tipo di terreno. Il loro adattamento al suolo povero e privo di struttura è davvero straordinario, ma nella fase iniziale della messa a dimora bisogna porre una certa cura. In più, essi mostrano di sopportare molto bene l'inquinamento atmosferico, così che il loro impiego in ambito urbano è sempre consigliato. L'esposizione più indicata è al sole o anche in mezz'ombra, mentre l'ombra prevalente va scartata, perché in tal caso il loro portamento tende a rilasciarsi e la produzione di pomi si riduce in modo sensibile.

Tabella 10.5 Caratteristiche tecniche Cotoneaster

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
3.5	Bianco Baccatura rossa	Primaverile	2/4 interventi l'anno	Sole- Mezz'ombra

10.1.6 Bianco Spino



Figura 10.6 Bianco Spino: un arbusto o un piccolo albero molto ramificato, contorto e spinoso, appartenente alla famiglia delle Rosaceae e al genere dei Crataegus.

10. Progetto della vegetazione

CARATTERISTICHE: È un arbusto molto comune nelle zone temperate dell'emisfero nord, specialmente nei terreni incolti al limitare dei boschi. Spinoso e cespuglioso (5 m.), ha una corteccia giallastra che scurisce con l'età. Le foglie presentano lobi più o meno marcati. I fiori, riuniti in corimbi, compaiono in primavera, sono piccoli di colore bianco-rosato e molto profumati. I frutti sono delle piccole drupe rosse dalla polpa farinosa e insipida. Il suo habitat naturale è rappresentato dalle aree di boscaglia e tra i cespugli, in terreni prevalentemente calcarei. Vegeta a quote comprese tra 0 e 1.500 metri.

Tabella 10.6 Caratteristiche tecniche *Bianco Spino*

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
5	Bianco rosato	Primaverile	Ogni 2 anni	Sole-Mezzo'ombra

10.1.7 Ginepro



Figura 10.7 Ginepro con portamento strisciante sarà facile da rinvenire là dove agiscono venti impetuosi

CARATTERISTICHE: Pianta con foglie aghiformi e strutture riproduttive simili a frutti carnosi dette galbuli tipici del solo genere *Juniperus*. Il portamento può essere arboreo o strisciante a seconda del tipo di habitat in cui la pianta si trova a vivere: un portamento strisciante sarà facile da rinvenire là dove agiscono venti impetuosi. Il ginepro è una gimnosperma e, come tale, è una pianta con poche esigenze idriche, per cui è facile trovarla in luoghi non facilmente popolabili da altre piante: montagne, dove le frequenti gelate rendono l'acqua scarsamente biodisponibile e ambienti mediterranei, dove l'aridità la fa da padrona nei mesi estivi.

Tabella 10.7 Caratteristiche tecniche *Ginepro*

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
10	Bacche blu scuro	Autunnale	Ogni 2 anni	Sole-Mezzo'ombra

10.1.8 Sedum



Figura 10.8 Sedum: originarie dell'emisfero boreale, sono infatti piante succulente che non hanno bisogno di attenzioni, tanto che ci si può dimenticare perfino di annaffiarle e quasi sicuramente si avrà lo stesso una ricca fioritura.

CARATTERISTICHE: La Sedum è una pianta carnosa che può essere sia di fusto eretto che pendente, quasi sempre a cespi e con foglie che possono essere rotonde, alternate, ovali o verticali. I fiori possono essere sia solitari che riuniti in infiorescenze a corimbo, a grappolo o a pannocchia per lo più piccoli e a forma di stella e con i petali liberi. Molto adatte per giardini rocciosi, crescono molto bene anche nelle intercapedini dei muri. La terra deve avere un ottimo drenaggio in modo da evitare marciumi: sarà perciò integrata da una parte di sabbia molto grossa e porosa. Le Sedum non vanno innaffiate in inverno, e in estate solo quando la terra risulterà asciutta. Nascono con rosette basali di foglie carnose che poi si sviluppano in fusti alti fino a 50 cm.

Tabella 10.8 Caratteristiche tecniche *Sedum*

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
3.5	Azzurra Rosa Gialli Bianchi	Primavera Estate	Nessuna	Sole

10.1.9 Lonicera pileata



Figura 10.9 Lonicera pileata

CARATTERISTICHE:

Arbusto sempreverde molto folto e compatto, utilizzato per la realizzazione di bordure basse o per spettacolari effetti coprisuolo. In tarda primavera produce piccoli fiorellini bianchi, che danno poi origine durante l'estate a bacche color blu violaceo. Possiede un'alta velocità di crescita e resistenza al freddo (T. minima -15°C). Preferisce un'esposizione in Pieno Sole, Ombra, Mezz'Ombra. Le foglie sono di colore Verde. Fiorisce in Primavera con fiori di colore Bianco.

Tabella 10.9 Caratteristiche tecniche Lonicera pileata

Costo (€)	Colore	Fioritura	Manutenzione	Ubicazione
3.5	Bianco	Primavera	1 intervento all'anno	Sole, mezz'ombra

11 CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati ottenuti in termini di costi e analisi dei benefici sulle diverse aree verdi, è possibile trarre le conclusioni del lavoro compiuto.

L'obiettivo del presente elaborato di tesi consiste nell'applicare la filosofia del drenaggio urbano sostenibile dell'area del Politecnico di Torino: dal momento che quanto proposto rappresenta un primo approccio alla tematica nell'ambito dell'università, si è scelto di agire sulle zone verdi già presenti, rendendole soggetti attivi nella gestione delle acque di pioggia. Si è quindi promosso un cambiamento di concezione delle aree verdi, andando oltre la loro visione puramente estetica ed attribuendogli un ruolo fondamentale nell'ambito del drenaggio urbano. A livello pratico, si è ipotizzato il funzionamento di queste aree verdi: ciascun'area presa in esame è stata schematizzata come una vasca con base impermeabile. Sono quindi stati predisposti appositi sistemi di convogliamento, ingresso e smaltimento dell'acqua.

All'interno di ciascuna vasca si è deciso di adottare 4 configurazioni stratigrafiche al fine di massimizzare i benefici e soddisfare le esigenze di ciascun'area verde.

Al fine di attribuire a queste soluzioni una dimensione economica, sono stati valutati i prezzi di ciascun materiale necessario alla realizzazione del sistema. Per tale scopo sono stati consultati diversi prezzari di cave ed aziende situate nel torinese le quali hanno permesso di determinare il costo al m² di ciascuna soluzione. Successivamente attraverso un computo metrico è stato possibile stabilire il costo totale di realizzazione per ogni area presa in esame. I risultati ottenuti sono soddisfacenti in quanto il costo delle configurazioni si aggira attorno a 40 €/m² che risulta essere il valore di riferimento indicato dall'Ingegnere Rizzo nella realizzazione di questi sistemi.

In seguito si è voluto valutare i benefici legati all'applicazione di queste soluzioni. L'analisi di ogni area verde è avvenuta mediante l'utilizzo di uno script elaborato attraverso il software MATLAB che ha permesso di modellare il funzionamento di ogni sistema al variare dell'estensione dell'area considerata ed alla tipologia di soluzione applicata. Se si considera l'applicazione di questi sistemi su tutte le aree verdi considerate, il volume d'acqua immagazzinato, quindi il volume d'acqua che subisce un processo di trattamento e depurazione, varia da un minimo di 2553 m³ ad un massimo di 3456 m³. I benefici legati alla laminazione invece sono stati valutati attraverso al tasso di abbattimento η . I valori ottenuti ricadono all'interno di un range di variazione che va da 0,04 a 0,55. Questi risultati sono da considerarsi soddisfacenti in quanto il tasso di abbattimento minore "0,55" implica che la portata in uscita dal sistema risulta essere circa la metà della portata in ingresso offrendo quindi un buon lavoro di laminazione. È quindi necessario sottolineare l'importanza del ruolo svolto dalle zone verdi nel ridurre la portata che, in loro assenza, entrerebbe direttamente all'interno della rete fognaria bianca.

Determinati i volumi d'acqua gestiti da ogni area e da ogni soluzione, si è reso necessario dimensionare i sistemi di troppo pieno e di drenaggio che permettono il collegamento di ciascun'area verde con la condotta di rete bianca, in modo da evitare, nel caso in cui il tempo di ritorno dell'evento di pioggia fosse superiore a quello di progetto, allagamenti o ristagni d'acqua che possono verificarsi in seguito ad un evento pluviale. Per i sistemi di troppo pieno sono stati individuati i diametri ed il numero di tubazioni necessari per smaltire una portata in uscita dal sistema considerando un tempo di ritorno di due anni.

11. Conclusioni

Per il sistema di drenaggio invece è stato valutato il comportamento di ogni vasca applicando dreni di diversi diametri che comportano differenti tempi di svuotamento e conseguente trattamento dell'acqua. Infine è stata individuata la vegetazione che possedesse le giuste caratteristiche per sopravvivere in questi ambienti caratterizzati da un terreno molto drenante e occasionalmente allagato. Sono state selezionate, quindi, piante autoctone resistenti al clima rigido durante l'inverno e caldo in estate.

In conclusione al lavoro svolto, si può quindi considerare accertata l'efficacia dell'intervento proposto all'interno dell'area del Politecnico di Torino, sottolineandone anche l'adattabilità ai futuri cambiamenti climatici.

BIBLIOGRAFIA

- Di Molfetta A., Sethi R. (2012), Ingegneria degli Acquiferi, Springer
- Huber J. (2010), Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas, University of Arkansas Community Design Center
- Woods Ballard B., Wilson S., Udale-Clarke H., Illman S., Scott T., Ashley R., Kellagher R. (2015), The SuDS Manual, CIRIA [8] Comune di Reggio Emilia (2014), Linee guida per la gestione delle acque meteoriche
- Citrini D., Nosedà G., Idraulica, seconda edizione CEA
- IRIDRA, Comune di Bologna, Linee guida sull'adozione di tecniche di drenaggio urbano sostenibile per una città più resiliente ai cambiamenti climatici
- Camera di commercio Cuneo, Prezzario delle opere edili e impiantistiche in provincia di Cuneo

SITOGRAFIA

- <https://www.regione.piemonte.it>
- <http://www.igidra.eu/it/suds.html>
- <https://www.oppo.it/>
- <https://www.edilportale.com>
- <https://www.archweb.it/>
- <https://www.susdrain.org/>

