POLITECNICO DI TORINO

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Civile

Anno accademico: 2022/2023

Sessione di Laurea: luglio 2023

Sistemi di drenaggio sostenibile in ambito urbano: analisi di un caso studio nel comune di Torino

Relatore:

Prof. Ing. Fulvio Boano

Candidato:

Alessandro Pasella

Sommario

ABSTRACT 5

INTRODUZIONE 7

SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO 9

1.1 EFFETTI DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO SUI SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO 9

1.1.1 Aumento dello scorrimento superficiale (runoff) 11

1.1.2 Riduzione delle quantità d'acqua di infiltrazione necessarie per ricaricare le falde acquifere 14

1.1.3 Diminuzione dell'evapotraspirazione delle piante 16

SISTEMI DI DRENAGGIO SOSTENIBILE 18

2.1 BASI DI PROGETTAZIONE DEI SISTEMI DI DRENAGGIO SOSTENIBILE 18

2.1.1 Quantità dell'acqua 18

2.1.2 Qualità dell'acqua 20

2.1.3 Amenità del paesaggio urbano 21

2.1.4 Biodiversità 22

2.2 TIPOLOGIE DI SISTEMI DI DRENAGGIO SOSTENIBILE 22

2.2.1 Tetti verdi (green roof) 23

2.2.2 Serbatoi di raccolta acqua piovana 25

2.2.3 Altri esempi di sistemi di drenaggio sostenibile 26

SOFTWARE DI MODELLAZIONE IDRAULICA SWMM (STORM WATER MANAGEMENT MODEL) 29

3.1 REALIZZAZIONE SISTEMA DI DRENAGGIO SU SWMM 31

3.1.1 Modulo idrologico (Hydrology) 31

3.1.2 Modulo idraulico (Hydraulics) 32

3.1.3 Modulo qualità (Quality) 35

3.2 PROCESSO DI SIMULAZIONE SU SWMM 35

3.2.3 Deflusso superficiale 40

3.2.4 Infiltrazione (Horton) 43

3.2.4 Onda dinamica 45

3.3 IMPLEMENTAZIONE UNITA' LID SU SWMM 46

3.3.1 Tetti verdi (green roof) 48

CASO STUDIO: NUVOLA LAVAZZA 50

4.1 Inquadramento e cenni storici 50

4.2 Caratteristiche della Nuvola Lavazza 52

4.3 Sistemi di drenaggio sostenibile all'interno della Nuvola Lavazza 56

4.3.1 Tetti verdi e aiuole 56

4.3.2 Vasche di raccolta acqua piovana 59

REALIZZAZIONE DEL MODELLO DEL SISTEMA DI DRENAGGIO DEL CASO STUDIO NUVOLA LAVAZZA SU SWMM 61

5.1 Modellazione comparto idraulico 62

5.1.1 Giunzioni (Junctions) 62

5.1.2 Scarichi (Outfalls) 63

5.1.3 Serbatoi (Storage Units) 64

5.1.4 Condotte (Links) 65

5.1.5 Pompe (Pumps) 66

5.2 Modellazione comparto idrologico 68

5.2.1 Sottobacini (subcatchments) 68

5.2.2 Pluviometro (rain gage) 70

5.3 Modellazione unità LID 71

5.4 Settaggio dati di evapotraspirazione 76

PROCESSO DI SIMULAZIONE E OSSERVAZIONI SUI RISULTATI 77

6.1 Simulazioni annuali relative allo storico 77

6.1.1 Anno (medio) a più bassa piovosità 78

6.1.2 Anno (medio) a più elevata piovosità 81

6.2 Simulazioni annuali relative a scenari di cambiamento climatico 84

6.2.1 Anno (medio) a più bassa piovosità 85

6.2.2 Anno (medio) a più elevata piovosità 88

6.3 Analisi e osservazioni sui dati di precipitazione dei modelli CMIP6 92

CONCLUSIONI..... 93

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA..... 95

ABSTRACT

Il documento di Tesi corrente si inserisce all'interno dello studio dei sistemi di drenaggio sostenibili (SuDS). Il lavoro è stato sviluppato con lo scopo di effettuare una valutazione completa e dettagliata riguardo l'efficienza del sistema di raccolta e riutilizzo di acqua piovana della Nuvola Lavazza, situata presso il quartiere Aurora di Torino. Si è posta inoltre un'accurata attenzione nei confronti dell'analisi del comportamento delle unità LID (Low Impact Development) presenti nel quartier generale dell'azienda stessa, quali tetti verdi e aiuole.

L'intero processo di realizzazione del modello e le successive simulazioni sono stati portati avanti mediante il software SWMM (Storm Water Management Model). A partire dai risultati ottenuti sono poi state sviluppate una serie di osservazioni e riflessioni aventi lo scopo di mettere in evidenza i vantaggi a breve e lungo termine dell'utilizzo di sistemi di drenaggio sostenibile all'interno del contesto urbano, tenendo conto soprattutto dei cambiamenti climatici in atto.

«Non possiamo dirigere il vento, ma orientare le vele»

Seneca

INTRODUZIONE

Oggigiorno, la gran parte della popolazione mondiale vive nelle città. Questo processo di continua urbanizzazione porta con sé una serie di problematiche non di poco conto, quali il consumo e l'impermeabilizzazione del suolo. L'Ispra stima che, solo in Italia, nel 2021 sono stati "consumati" e impermeabilizzati «circa 19 ettari al giorno» (2022, openpolis- https://www.openpolis.it/consumo-di-suolo-e-urbanizzazione/). E' facilmente deducibile che un suolo impermeabilizzato è incapace di assorbire l'acqua piovana, per cui si solleva in maniera importante il problema relativo allo smaltimento delle acque meteoriche e il conseguente sovraccarico dei sistemi di drenaggio. Inoltre l'impermeabilizzazione dei suoli ha un impatto considerevole anche sulla ricarica delle falde e sulla qualità delle acque dei corsi d'acqua poiché in caso di eventi meteorici ad alta intensità la quantità di acque bianche che giunge al depuratore è talmente elevata da superare la capacità di carico dello stesso. Perciò l'unica azione possibile da eseguire in questi casi consiste nello scolmare l'insieme globale di acque bianche e inquinanti direttamente nel ricettore finale, ossia il fiume ad esempio.

I sistemi di drenaggio sostenibile (SuDS – Sustainable Drainage Systems) si propongono proprio l'obiettivo di gestire nella maniera più rispettosa dell'ambiente possibile le acque di pioggia con i seguenti scopi:

- Equilibrare il bilancio idrologico;
- Abbassare il carico inquinante dei corpi idrici;
- Migliorare l'estetica del paesaggio urbano e il microclima;

L'idea che sta alla base di essi consiste nel replicare i modelli di drenaggio naturale in un contesto urbano mediante un processo di raccolta e pulizia delle acque economicamente vantaggioso e allo stesso tempo a basso impatto ambientale.

In questo ambito si inserisce il caso studio esaminato, ossia l'edificio della "Nuvola", un vero e proprio quartier generale della Lavazza che sorge nel quartiere Aurora a Torino e inaugurato l'8 giugno 2018. La particolarità di questo edificio risiede nell'attenzione rivolta alla gestione delle acque meteoriche poiché annovera una serie di tetti verdi, un articolato sistema di aiuole e in ultimo due vasche di raccolta acqua piovana. Per cui la Nuvola è in grado di accumulare una parte delle acque di pioggia, evitando che sovraccarichino la fognatura. Oltre a ciò l'edificio è in grado di riutilizzare tale risorsa idrica tramite un opportuno sistema di pompaggio per un duplice scopo:

- irrigazione delle aree verdi del complesso architettonico;
- scarico dei WC.

Lo scopo della tesi è dunque quello di andare ad indagare tramite il software di modellazione idraulica SWMM (Storm Water Management Model) la capacità e l'efficienza dell'impianto di accumulo e recupero acqua piovana tramite una serie di simulazioni annuali che tengono conto di dati di pioggia noti relativi al passato e previsionali relativi al futuro. Questi ultimi risultano fortemente influenzati del fenomeno ormai attuale e inesorabile dei cambiamenti climatici.

Nello specifico, questo lavoro di tesi è stato impostato secondo la seguente suddivisione in capitoli:

Capitolo 1: espone l'argomento dell'impermeabilizzazione del suolo e i conseguenti problemi che si innescano relativamente ai sistemi di drenaggio urbano.

Capitolo 2: spiega le soluzioni di sistemi di drenaggio sostenibile (SuDS) che possono essere impiegate in un contesto urbano per riuscire a compensare l'impatto negativo del fenomeno dell'impermeabilizzazione del suolo sulla gestione delle acque di pioggia.

Capitolo 3: definisce le caratteristiche e le equazioni di base su cui si fonda il software di modellazione idraulica SWMM (Storm Water Management Model).

Capitolo 4: descrive il caso studio della "Nuvola" della Lavazza, situata presso il quartiere Aurora di Torino.

Capitolo 5: definisce i passaggi che hanno portato alla costruzione del modello dell'impianto di raccolta e riutilizzo delle acque meteoriche della Nuvola Lavazza su SWMM.

Capitolo 6: presenta i risultati ottenuti relativi alle simulazioni annuali effettuate tramite SWMM.

Capitolo 7: fornisce le considerazioni finali e la valutazione dell'efficienza dell'impianto di raccolta e riutilizzo delle acque meteoriche analizzato.

CAPITOLO 1

SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO

I sistemi di drenaggio urbano hanno lo scopo di «raccogliere le acque meteoriche, evitando allagamenti e/o ristagni, nonché le acque di rifiuto, civili o dell'industria come pure di ogni altra attività» (Pococco P., Pococco M., 2012). Tranne rarissime eccezioni, si tratta di sistemi di condotte "a gravità" e si suddividono in due differenti tipologie:

- reti di drenaggio unitarie o miste, nelle quali le acque di rifiuto o "nere" e le acque meteoriche o "bianche" sono convogliate mediante un'unica rete di canalizzazioni;
- reti di drenaggio separate, nelle quali invece le acque "nere" e "bianche" scorrono in tubazioni differenti tra loro.

1.1 EFFETTI DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO SUI SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO

Al giorno d'oggi più della metà della popolazione mondiale vive nelle città e il trend è sempre più in crescita. Ciò significa che i centri urbani sono in continua e rapida espansione, portando con sé l'esacerbazione del fenomeno della cosiddetta "impermeabilizzazione" del suolo. In sostanza con impermeabilizzazione del suolo si intende la copertura di terreno mediante manufatti e materiali "impermeabili" come asfalto e cemento a discapito della vegetazione. Ciò incide negativamente sul ciclo di uno dei beni più preziosi di cui l'umanità dispone: l'acqua. Infatti è necessario specificare che quando piove, l'acqua si infiltra nel terreno, evapora, viene prelevata dalla vegetazione, confluisce nei laghi e fiumi. Quando però aumenta l'impermeabilizzazione del terreno, vanno ad essere modificati negativamente tali processi.

Figura 1.1-Confronto tra l'aumento di urbanizzazione nel tempo e relativi effetti sul ciclo dell'acqua (Gibelli G., 2015)

Come mostrato in figura 1.1, si generano una serie di problemi, come l'aumento dello scorrimento superficiale, la riduzione delle quantità d'acqua di infiltrazione necessarie per ricaricare le falde acquifere e la diminuzione dell'evapotraspirazione delle piante.

1.1.1 Aumento dello scorrimento superficiale (runoff)

Il fenomeno del runoff comporta innanzitutto l'intensificazione dei fenomeni alluvionali, che possono essere classificati in:

- allagamenti superficiali: fenomeni dovuti alla incapacità del terreno di riuscire drenare il volume d'acqua associato alla pioggia a causa della sua scarsa permeabilità (figura 1.2);

Figura 1.2-allagamento superficiale (P. Piro, 2013- https://www.serviziarete.it/allagamenti-in-area-urbana-analisi-soluzioni-progettuali/)

- allagamenti della rete fognaria: fenomeni dovuti all'incapacità del sistema di condotte fognarie di riuscire a svolgere il proprio compito di raccolta e trasporto delle acque meteoriche evitando la messa in pressione del sistema e conseguenti risalite verso l'alto dell'acqua (figura 1.3);

Figura 1.3-allagamento di una rete fognaria (2022, Redazione Alpa Uno- https://www.alpauno.com/nubifragio-a-selinunte-saltati-tombini-e-acqua-di-fogna-riversata-in-mare/)

- allagamenti dei corsi d’acqua: fenomeni dovuti all’innalzamento repentino del livello del corso d’acqua a causa di fenomeni di precipitazione locale (figura 1.4).

Figura 1.4-allagamento di un corso d’acqua (2022, Crescenti U.- https://www.meteoweb.eu/2022/09/la-naturalissima-alluvione-delle-marche-e-le-speculazioni-sui-cambiamenti-climatici/1001150364/)

Allo stesso tempo lo scorrimento superficiale porta con sé dei problemi accessori non di poco conto, tra i quali l’aumento dell’erosione. Infatti l’aumento della portata e della velocità dell’acqua proveniente dalla rete fognaria provoca cambiamenti considerevoli sulla morfologia dei corsi d’acqua destinatari del flusso idrico e conseguentemente influenza negativamente l’ecosistema di piante ed animali che caratterizza il luogo interessato dall’evento meteorico. Infine il runoff, tanto più è severo, tanto più accentua il processo di dilavamento degli inquinanti che si depositano nel tempo sulla superficie del terreno. Questi, una volta giunti in fognatura a causa degli eventi meteorici vengono indirizzati verso il depuratore; se l’intensità di pioggia è talmente elevata da superare la capacità del depuratore, allora gran parte dell’acqua raccolta e trasportata viene “scolmata” direttamente nel ricettore finale (ex. Corpo idrico, figura 1.5).

Situazione ancor peggiore da un punto di vista di impatto ambientale è quella nella quale la rete fognaria risulta essere di tipo “misto”, ossia nel caso in cui i collettori trasportano contemporaneamente sia acque bianche che acque nere.

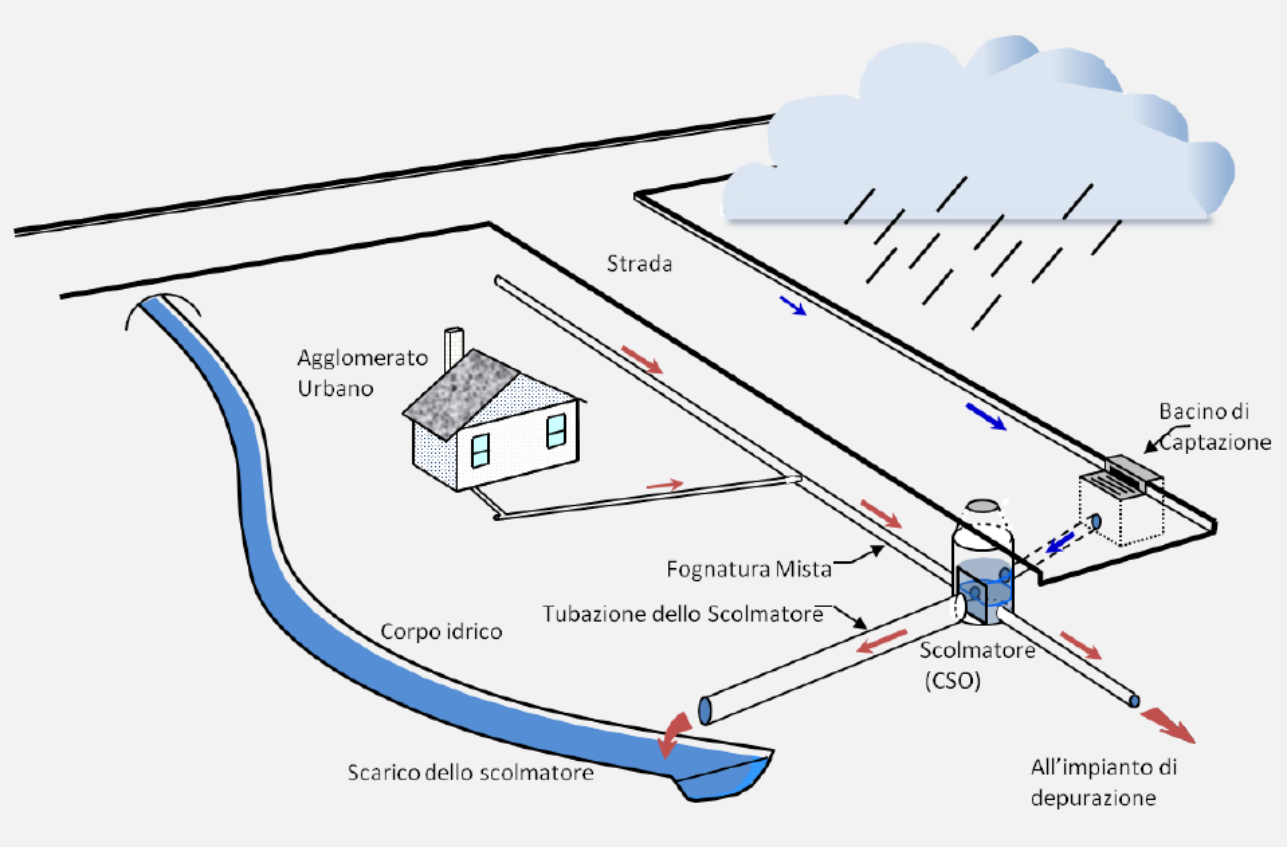


Figura 1.5-Schema del percorso dell’acqua raccolta da un sistema di condotte durante un evento meteorico (Gibelli G., 2015)

1.1.2 Riduzione delle quantità d’acqua di infiltrazione necessarie per ricaricare le falde acquifere

Le falde acquifere sono dei serbatoi naturali di acqua dolce situati in profondità. Si suddividono in 2 differenti tipologie a seconda della profondità:

- Falde freatiche, le quali sono situate a bassa profondità e comprese tra uno strato inferiore impermeabile e uno superiore permeabile;
- Falde artesiane, le quali sono situate a elevata profondità e comprese tra due strati impermeabili. Di conseguenza l’acqua presente in questa tipologia di falde, essendo più confinata e preservata, risulta mostrare una maggiore qualità per poter essere estratta tramite opportuni pozzi.

Le falde acquifere si formano a partire dalle infiltrazioni di acqua dovute alle acque meteoriche e alle acque superficiali (fiumi, canali, laghi), come schematizzato in figura 1.6.

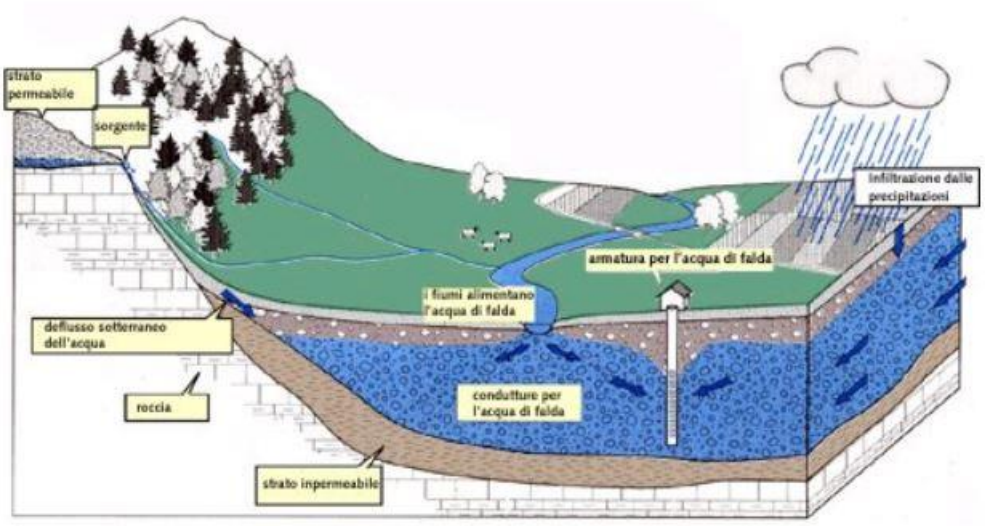


Figura 1.6-Schema di formazione falde acquifere (2022, Acqua del Rubinetto- https://acquadelrubinetto.gruppocap.it/acqua-e-scienza/falda-acquifera-cose-e-come-si-forma)

L'acqua di falda è una risorsa fondamentale per rispondere al fabbisogno idrico della popolazione mondiale in quanto costituisce «più del 97% delle riserve di acqua dolce» (Smith RJ, Paterson JS, Sibley CA, Hutson JL, Mitchell JG, 2015). Di conseguenza, specialmente presso i centri urbanizzati, dove la percentuale di suolo impermeabilizzato cresce, a causa della diminuzione della capacità di infiltrazione del terreno e, contemporaneamente, ad un aumento dello sfruttamento di risorsa idrica, ne deriva che la capacità di ricarica della falda stessa va a peggiorare. I danni che ne conseguono sono estremamente importanti e influenzano non solo la sopravvivenza delle comunità locali ma anche degli ecosistemi in termini di vegetazione e fauna.

1.1.3 Diminuzione dell'evapotraspirazione delle piante

All'interno del ciclo idrologico di un bacino, «l'evapotraspirazione è definita come la quantità di acqua che si trasferisce in atmosfera per i fenomeni di evaporazione diretta dagli specchi d'acqua, dal terreno e dalla vegetazione (intercezione) e di traspirazione della vegetazione» (2020, ISPRA - https://indicatoriambientali.isprambiente.it/sys_ind/report/html/1227#C1227), come illustrato in figura 1.7.

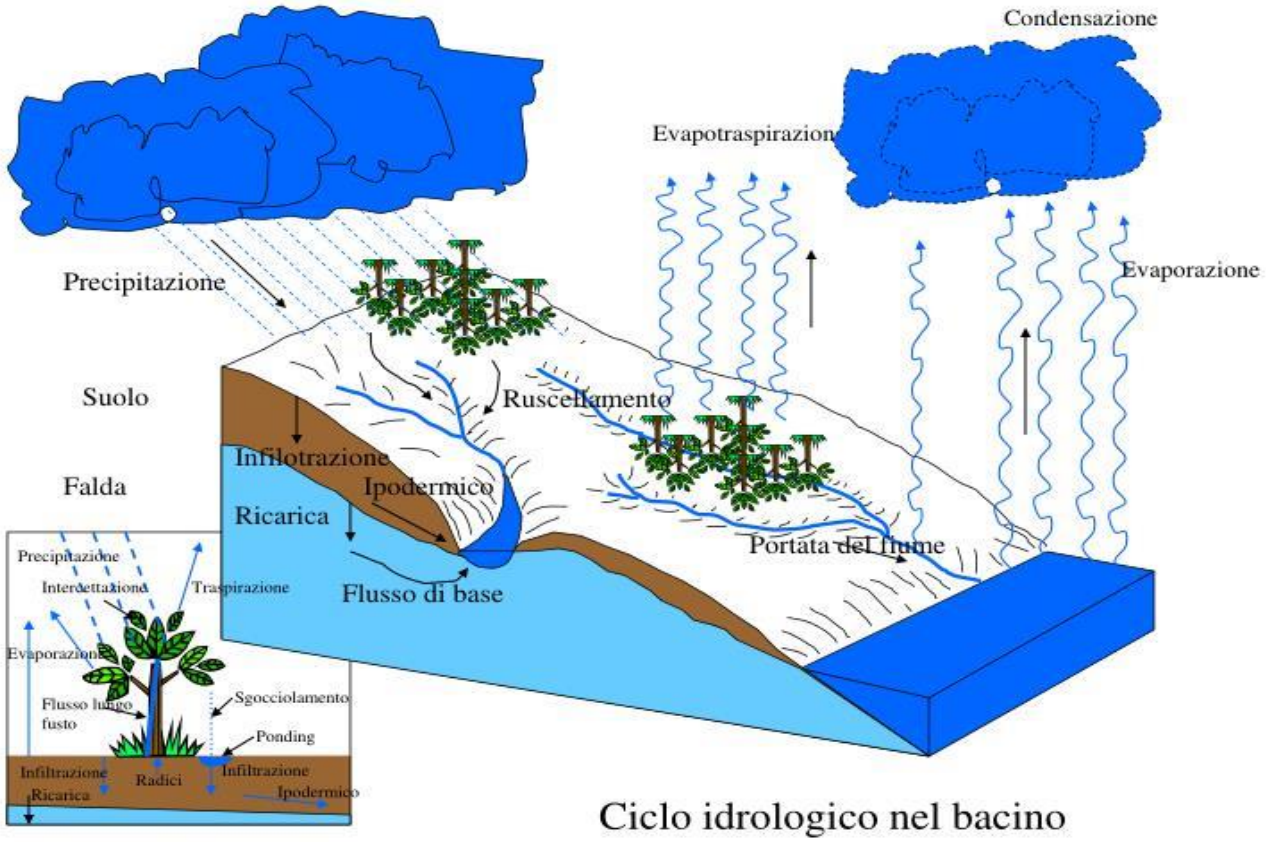


Figura 1.7-Processo di evapotraspirazione all'interno del ciclo idrologico di un bacino (E. Lopez, 2014- https://www.slideserve.com/erasmus-lopez/evapotraspirazione)

In un contesto urbanizzato, in cui aumenta la percentuale di suolo impermeabile, la vegetazione occupa una quota parte di terreno esigua rispetto a un contesto extra-urbano, per cui l'evapotraspirazione ne risente in maniera negativa. Eppure il verde urbano svolge un ruolo fondamentale per la salute in quanto è in grado di contrastare e mitigare un serie di fenomeni, quali:

- l'abbassamento della qualità dell'aria dovuto alla concentrazione di polveri sottili;
- l'inquinamento acustico causato dai rumori del traffico;
- la formazione di isole di calore (porzioni interne e localizzate nelle città in cui si registrano picchi di temperatura innescati dall'utilizzo dei generici materiali da costruzione, i quali presentano una capacità di assorbire calore superiore rispetto alla vegetazione);

- il dissesto idrogeologico;
- l’assenza di biodiversità.

CAPITOLO 2

SISTEMI DI DRENAGGIO SOSTENIBILE

I sistemi di drenaggio sostenibile o SuDS (Sustainable drainage systems) sono dei particolari sistemi di drenaggio che hanno lo scopo di equilibrare il ciclo dell'acqua dell'ambiente urbano, cercando di ottenere i seguenti obiettivi principali:

- Diminuire gli effetti negativi di tipo idrologico-idraulico dovuti all'impermeabilizzazione del suolo;
- Salvaguardare la qualità delle acque in cui vengono indirizzati i flussi idrici provenienti dagli scolmatori fognari;
- Migliorare l'estetica del paesaggio urbano e il microclima;

I SuDS più comuni e diffusi sono ad esempio i tetti verdi, i "rain garden", i bacini di detenzione e tanti altri ancora; essi hanno la particolarità di costituire un'alternativa assai valida rispetto ai sistemi di drenaggio convenzionali ed inoltre una elevata capacità di poter essere inseriti in un contesto paesaggistico per rivalorizzare opere preesistenti. Per esempio, i rain garden possono essere inseriti all'interno di tutte quelle opere il cui scopo è gestire i flussi del traffico stradale come le rotatorie e marciapiedi oppure i bacini di detenzione possono essere utilizzati anche come aree a scopo ricreativo.

2.1 BASI DI PROGETTAZIONE DEI SISTEMI DI DRENAGGIO SOSTENIBILE

Nello specifico, come riportato in "The SuDS Manual" la progettazione dei sistemi di drenaggio sostenibile si fonda su quattro pilastri fondamentali da garantire e controllare:

1. Quantità dell'acqua;
2. Qualità dell'acqua;
3. Amenità del paesaggio urbano;
4. Biodiversità.

2.1.1 Quantità dell'acqua

Il primo obiettivo da rispettare quando si progettano dei sistemi di drenaggio sostenibile è quello di realizzare delle opere in grado di controllare la velocità e la quantità di runoff (scorrimento superficiale) delle acque meteoriche nella maniera più adeguata possibile. Infatti ciò comporta un abbassamento del rischio di inondazioni e preservazione del ciclo dell'acqua. Nello specifico si deve

riuscire ad abbassare e dilazionare nel tempo i picchi di portata per eventi di breve, media e lunga durata in maniera tale da omologarli in termini di ordine di grandezza a quelli che si otterrebbero in una situazione di suolo pre-impermeabilizzato. In figura 2.1 si può chiaramente notare la differenza tra un'opera progettata in maniera erronea (blu) e una invece progettata in maniera corretta (rossa) tenendo come riferimento il picco di portata del terreno non urbanizzato (verde).

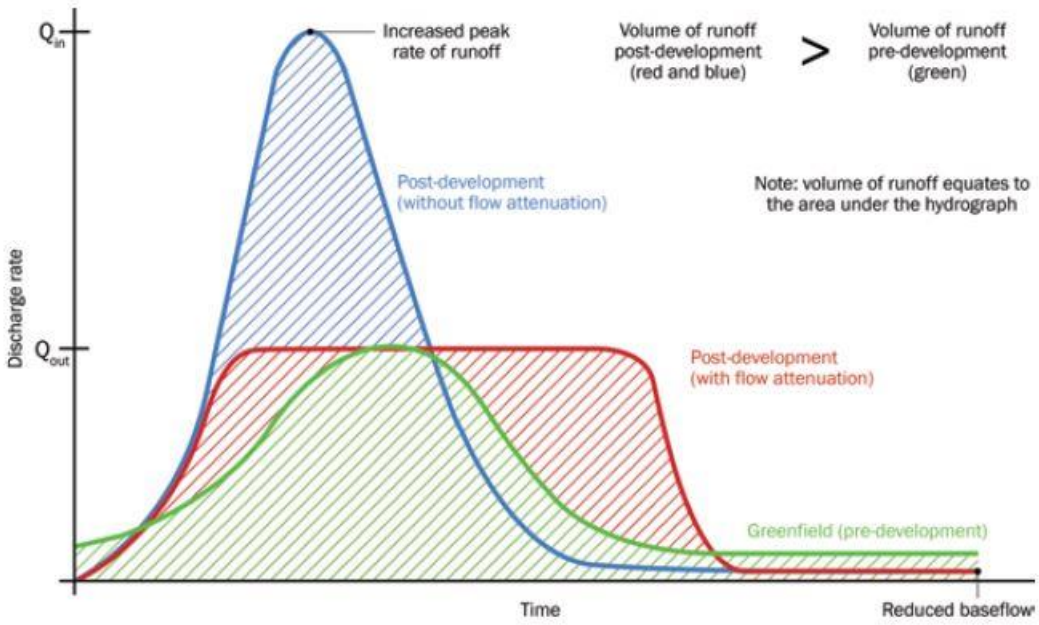


Figura 2.1-Grafico dei picchi di portata pre e post realizzazione di un sistema di drenaggio sostenibile (The SuDS manual, 2015)

Per raggiungere gli obiettivi precedentemente esposti è necessario cambiare l'approccio alla base della progettazione. Innanzitutto è necessario considerare il deflusso superficiale di acque meteoriche non solo come una minaccia ma bensì come una risorsa che possa, ad esempio, andare a riempire dei "contenitori" predisposti alla funzione di accumulo all'interno di un contesto cittadino. Ciò porta una serie di vantaggi. Il primo consiste nell'abbattimento del rischio di inondazione relativo al fenomeno di precipitazione in quanto l'azione contemporanea dei SuDS con la rete di drenaggio tradizionale permette di alleggerire quest'ultima da situazioni spiacevoli legate a eventuali eventi con tempi di ritorno più elevati, i quali potrebbero portare facilmente all'intasamento delle condotte e al collasso del sistema fognario. Un altro vantaggio risiede nel fatto di riuscire a confinare e quindi non disperdere, per poi eventualmente riutilizzare la risorsa idrica, sempre più preziosa in questi tempi.

2.1.2 Qualità dell'acqua

In genere le condotte tradizionali sono progettate per riuscire a mantenere una velocità del flusso idrico elevata cosicché il le particelle trasportate rimangano in sospensione senza sedimentare prima di giungere a destinazione. D'altra parte tra le particelle trasportate, specialmente in un contesto urbano, spicca una elevata percentuale di inquinanti tra i quali idrocarburi, componenti organici e metalli pesanti, i quali hanno una elevata tendenza a sedimentare. Nello specifico, osservando la figura 2.2 si può notare che nella rete di condotte fognarie, durante un evento meteorico, nella fase iniziale si ha il picco principale di concentrazione degli inquinanti (curva rossa), seguito da un ulteriore picco di più modesta entità, determinando dunque, a fine dell'evento meteorologico, una considerevole quantità di inquinanti mobilitati (curva verde) dal punto di partenza a monte a quello di arrivo a valle del sistema di condotte.

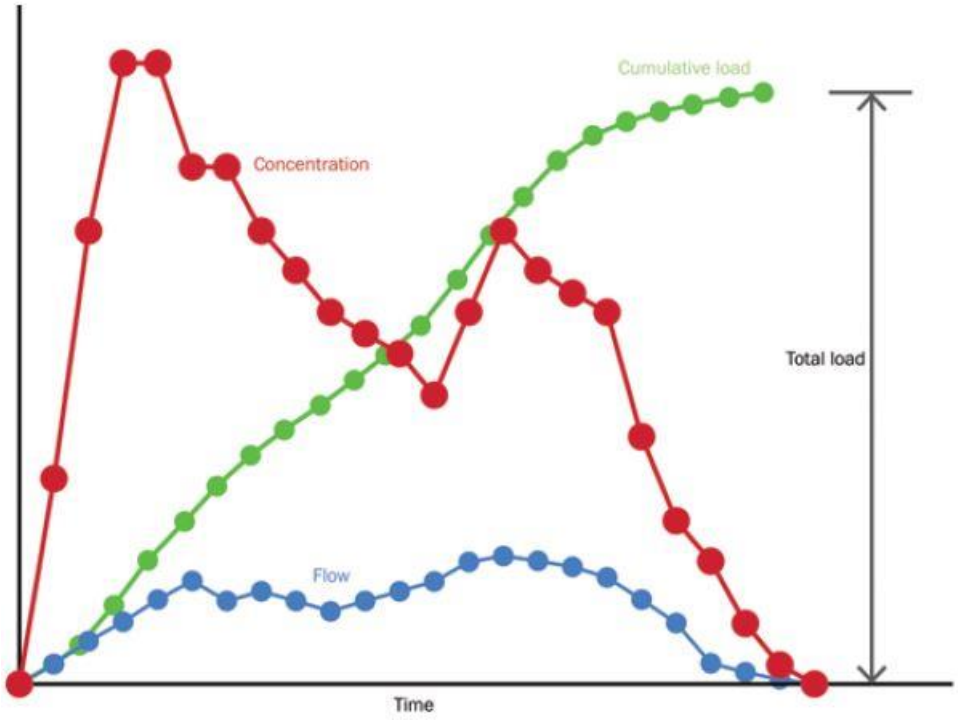


Figura 2.2-Grafico dei picchi e del carico cumulato di inquinanti durante evento di precipitazione (The SuDS manual, 2015)

Il problema della sedimentazione e concentrazione di inquinanti viene risolto parzialmente grazie all'inserimento di pozzetti di ispezione i quali però necessitano di continua manutenzione per svolgere i propri compiti. In questo senso quindi l'utilizzo e la diffusione nei contesti cittadini di SuDS porterebbe a enormi giovamenti in quanto tali sistemi di drenaggio sono in grado di trattare e

filtrare in maniera efficiente e specifica tali inquinanti. Per esempio, si ha la possibilità di trattare il runoff superficiale direttamente a livello della superficie cosicchè si generano molteplici vantaggi come la possibilità di servirsi dei raggi UV per stimolare processi di fotolisi e volatilizzazione dei contaminanti (ex. Idrocarburi) oppure di semplificare il processo di individuazione di eventuali concentrazioni anomale di inquinanti, senza dimenticare infine la straordinaria capacità naturale della vegetazione tipicamente inserita nei SuDS di filtrare le sostanze inquinanti.

2.1.3 Amenità del paesaggio urbano

Al giorno d'oggi quando si parla di città svolge un ruolo sempre più importante la vivibilità, a sua volta strettamente collegata al concetto di amenità. Per amenità si intende qualcosa che rallegra lo spirito, che sia piacevole e armonico. I sistemi di drenaggio sostenibili sono proprio in grado di essere inseriti all'interno di contesti urbani per riuscire a trasmettere alle comunità tali sensazioni. Infatti è appurato che gli spazi verdi, ricoperti di vegetazione e provvisti di specchi d'acqua (elementi tipici dei SuDS) siano in grado di essere promosse facilmente come aree ricreative e di svago e dunque svolgano un ruolo positivo per la salute della cittadinanza. Per fare esempi pratici, in figura 2.3 si può vedere un sistema di drenaggio sostenibile in Svezia, il quale è in grado di fungere da attenuatore dei picchi di portata e da serbatoio di recupero acque meteoriche durante gli eventi di pioggia, ma allo stesso tempo da area ricreativa nei periodi di secca.

Figura 2.3-Esempio di sistema di drenaggio sostenibile situato a Londra (The SuDS manual, 2015)

2.1.4 Biodiversità

Proseguendo il discorso già introdotto nel precedente paragrafo sull'amenità, quando si realizza un sistema di drenaggio sostenibile si ha la possibilità di poter creare dei luoghi che fungono da aree ricreative ma contemporaneamente anche delle zone in cui far prosperare una serie di specie vegetali ed animali (anfibi, uccelli e mammiferi) e quindi far crescere e preservare la biodiversità all'interno di contesti urbani. Inoltre si ha la possibilità di far svolgere all'opera ingegneristica un ruolo didattico poiché stimola le persone a stabilire un rapporto diretto con la natura in contesti tendenzialmente lontani da essa e a sviluppare una visione d'insieme e di mutuo vantaggio tra l'uomo, gli esseri viventi e le piante. In figura 2.4 si può apprezzare un esempio di tetto verde (green roof) situato a Londra, il quale ospita su di esso una notevole varietà di specie vegetali, le quali possono prosperare in armonia e in un ambiente controllato fornendo inoltre vantaggi tangibili alla popolazione in termini di refrigerio durante le ore calde, senza dimenticare l'estetica.

Figura 2.4-Esempio di sistema di drenaggio sostenibile situato all' Horniman Museum, Londra (The SuDS manual, 2015)

2.2 TIPOLOGIE DI SISTEMI DI DRENAGGIO SOSTENIBILE

In questo paragrafo si procede ad esporre un elenco sintetico delle opere ingegneristiche ascrivibili a sistemi di drenaggio sostenibile, fissando l'attenzione in maniera particolare sui tetti verdi (green roof) e sui serbatoi di raccolta acqua piovana, in quanto trattate direttamente in questa Tesi.

2.2.1 Tetti verdi (green roof)

I tetti verdi sono delle aree costituite da vegetazione inserite nella parte superiore dei tetti degli edifici. Seppure a primo impatto i green roof costituiscono un investimento iniziale maggiore rispetto alla costruzione di un tetto ordinario, d'altra parte la realizzazione di tale opera ingegneristica porta con sé una serie di vantaggi a lungo termine, come ad esempio:

- Migliorare le prestazioni termiche degli edifici, riducendo i consumi energetici grazie all'azione di rinfresco fornita dall'evapotraspirazione della vegetazione durante l'estate e di isolamento durante la stagione invernale;
- Proteggere lo il tetto sottostante dall'azione degradante delle radiazioni ultraviolette e da eventuali danni meccanici;

In figura 2.5 si può notare una sezione rappresentativa di un generico tetto verde.

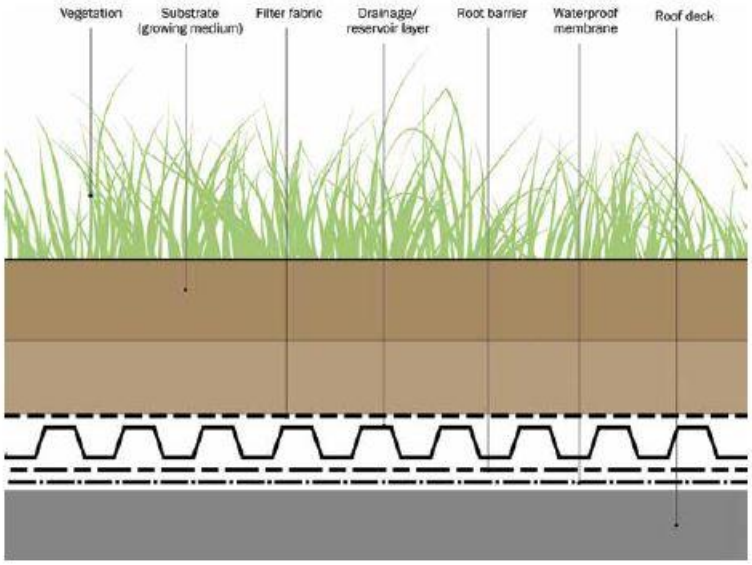


Figura 2.5-Sezione di un generico tetto verde (The SuDS manual, 2015)

Si può notare innanzitutto che la struttura analizzata presenta nella parte superiore la vegetazione (*vegetation*), la quale è poggiata su un substrato di terreno (*substrate*) che garantisce la crescita delle radici per l'attecchimento delle piante. Al di sotto si trova lo strato filtrante (*filler fabric*), il quale ha la funzione di confinare le radici e di permettere il solo passaggio di acqua verso il basso, dove si trova lo strato drenante (*drainage layer*), fondamentale per gestire i flussi di acqua piovana durante un evento meteorico. Infine si hanno rispettivamente la barriera antiradice (*root barrier*) e la membrana impermeabile (*waterproof mebrane*); quest'ultima risulta essere necessaria per

evitare eventuali infiltrazioni di acqua verso il basso, le quali andrebbero nel tempo a costituire problemi per il tetto dell'edificio (*roof deck*) su cui la stessa membrana poggia.

In generale i tetti verdi si suddividono in due categorie:

- Tetti verdi estensivi (figura 2.6), i quali sono inaccessibili, caratterizzati da strati di terreno sottili e da vegetazione che non necessita cura costante;

Figura 2.6-Esempio di tetto verde estensivo (The SuDS manual, 2015)

- Tetti verdi intensivi (figura 2.7), i quali sono accessibili, costituiti da strati di terreno spessi (e dunque carichi più elevati trasmessi al tetto) e da vegetazione che necessita cura costante.

Figura 2.7-Esempio di tetto verde intensivo (The SuDS manual, 2015)

2.2.2 Serbatoi di raccolta acqua piovana

I serbatoi di raccolta acqua piovana sono delle strutture di accumulo di acqua meteorica proveniente da tetti o altre strutture impermeabili, in grado quindi di limitare localmente la quantità di runoff (scorrimento superficiale). Inoltre la risorsa idrica, una volta confinata in tali contenitori può essere poi riutilizzata per uso domestico o commerciale rispettando i principi di economia circolare. Naturalmente, poiché l'acqua di pioggia presenta una certa percentuale di inquinanti e necessiterebbe dunque un minuzioso trattamento chimico-fisico, in genere la si utilizza per scopi che non richiedono la potabilizzazione come ad esempio per l'irrigazione oppure per gli scarichi dei WC. In funzione della modalità con la quale l'acqua viene distribuita dopo la raccolta, si possono citare i seguenti due tipi di impianto:

- Sistemi a gravità (gravity-based systems, figura 2.8), i quali hanno la peculiarità di presentare un serbatoio di accumulo nella parte superiore dell'edificio e perciò l'impianto di distribuzione della risorsa idrica funziona semplicemente sfruttando la forza di gravità;

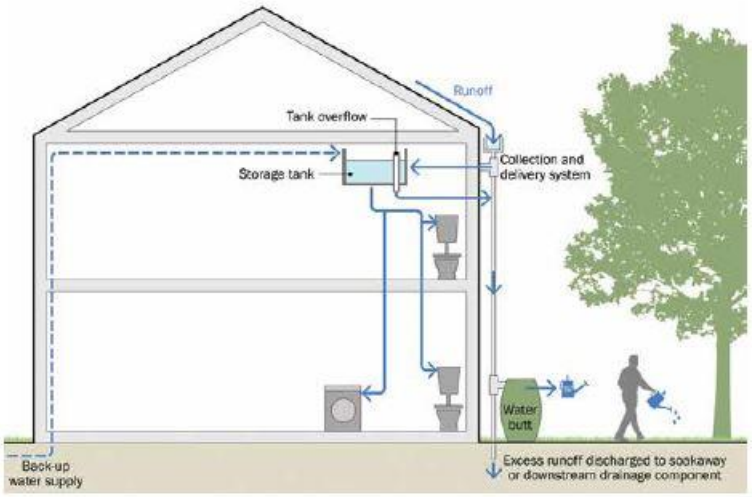


Figura 2.8-Esempio di gravity-based system (The SuDS manual, 2015)

- Sistemi di pompaggio (pumped systems, figura 2.9), i quali hanno la particolarità di avere il serbatoio di accumulo alla quota del terreno oppure interrato e dunque il sistema di distribuzione della risorsa idrica non può che essere legato alla messa in funzione di un sistema di pompaggio.

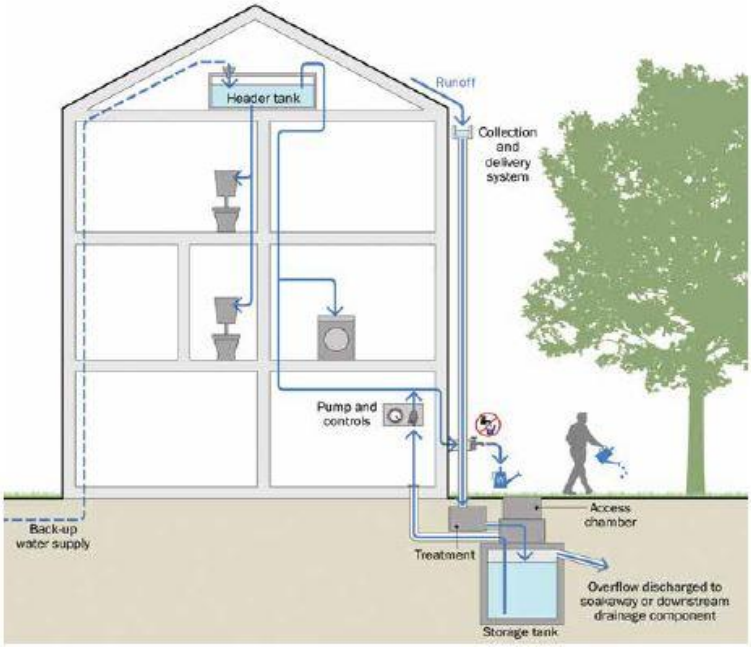


Figura 2.9-Esempio di pumped system (The SuDS manual, 2015)

2.2.3 Altri esempi di sistemi di drenaggio sostenibile

Oltre ai tetti verdi e i serbatoi di raccolta acqua piovana, tra i SuDS si annovera una moltitudine di altre tipologie di opere differenti tra loro, tra le quali si citano:

- Sistemi o aree di bioritenzione, le quali sono costituiti da depressioni poco profonde e vegetate in grado di accumulare acqua di pioggia durante gli eventi meteorici e svolgere contemporaneamente azione di filtrazione degli inquinanti mediante la vegetazione. Un esempio di sistema di bioritenzione sono i rain garden (figura 2.9);

Figura 2.9-Esempio di rain garden (The SuDS manual, 2015)

- Bacini di detenzione, i quali sono delle aree, provviste (figura 2.10) o meno (figura 2.11) di vegetazione, che in condizioni normali risultano essere prive di acqua, ma sono predisposte a svolgere la funzione di accumulo di risorsa idrica durante gli eventi di pioggia.

Figura 2.10-Esempio di bacino di detenzione vegetato (The SuDS manual, 2015)

Figura 2.11-Esempio di bacino di detenzione non vegetato (The SuDS manual, 2015)

- Wetlands (figura 2.12), le quali si presentano come degli spazi riempiti permanentemente d'acqua e ricchi di vegetazione in grado dunque di svolgere la doppia funzione di accumulare ulteriori quantità d'acqua durante gli eventi meteorici e svolgere allo stesso tempo azione di filtrazione degli inquinanti.

Figura 2.12-Esempio di Wetlands (The SuDS manual, 2015)

CAPITOLO 3

SOFTWARE DI MODELLAZIONE IDRAULICA SWMM (STORM WATER MANAGEMENT MODEL)

SWMM (Storm Water Management Model) è un software sviluppato e rilasciato nel 1971 da EPA (Environmental protection agency), l'agenzia del governo federale degli Stati Uniti d'America incaricata della protezione della protezione ambientale e della salute umana. SWMM è in grado di effettuare una simulazione dinamica degli eventi meteorici a breve e lungo termine riferiti ad una determinata area, implementando il percorso dell'acqua da quando cade su una superficie di riferimento fino a quando, tramite i sistemi di drenaggio, viene scaricata a destinazione (figura 3.1).

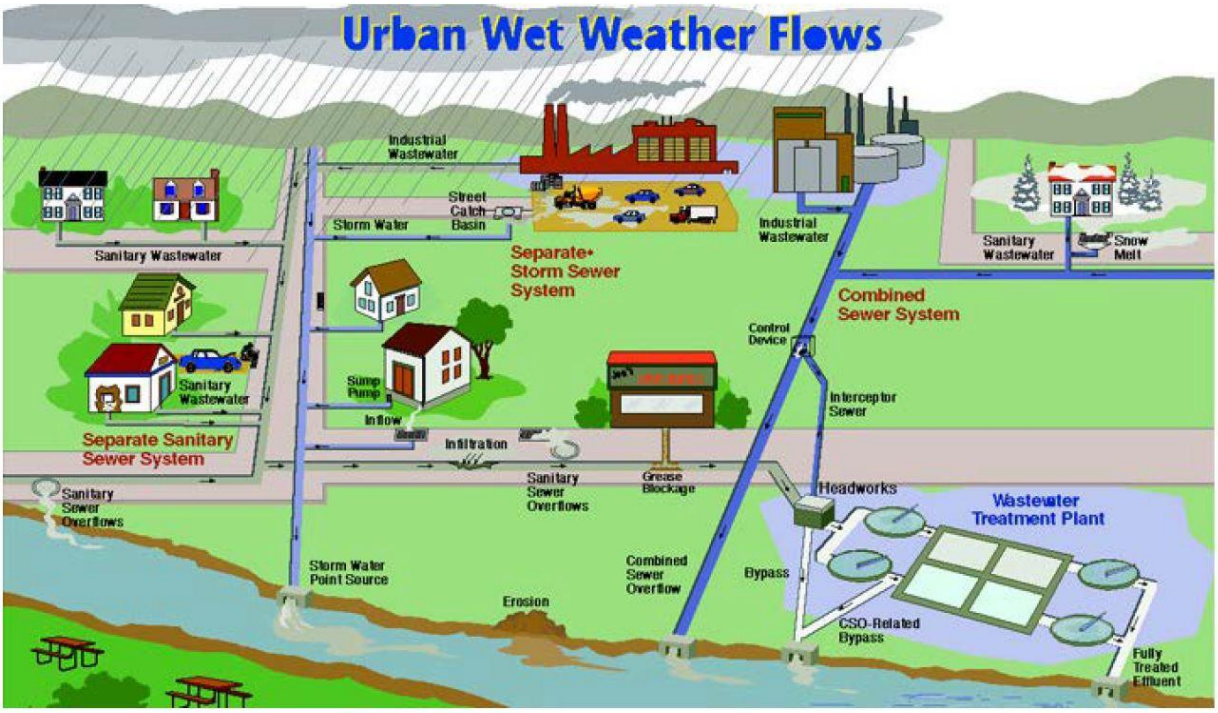


Figura 3.1-Esempio di sistema di drenaggio urbano durante evento meteorico implementato da SWMM (SWMM's manual)

A questo proposito, osservando la figura 3.2, si possono notare i differenti comparti su cui si fonda SWMM per esercitare le sue funzionalità:

- Comparto dell'atmosfera (atmospheric layer), che genera precipitazioni e deposita inquinanti sul comparto della superficie del terreno mediante l'elemento rain gage;
- Comparto della superficie del terreno (land area layer), il quale è costituito da uno o più subcatchment in grado di ricevere le precipitazioni in termini di acqua o neve dal comparto

dell'atmosfera, restituendo una parte della componente idrica ricevuta sotto forma di evaporazione; la rimanente parte viene diretta verso il comparto sub-superficiale tramite infiltrazione e verso il comparto di trasporto sotto forma di scorrimento superficiale (runoff) e carico di inquinanti.

- Comparto sub-superficiale o acque sotterranee (groundwater layer), che riceve acqua dal comparto della superficie del terreno e trasferisce una quota parte del flusso al comparto di trasporto;
- Comparto di trasporto (transport layer), il quale accoglie flusso idrico direttamente dal comparto della superficie del terreno e dal comparto sub-superficiale ed è caratterizzato da una serie di elementi come ad esempio condotte (conduits), pompe (pumps) e unità di stoccaggio (Storage Units) che convogliano le acque verso gli impianti di trattamento.

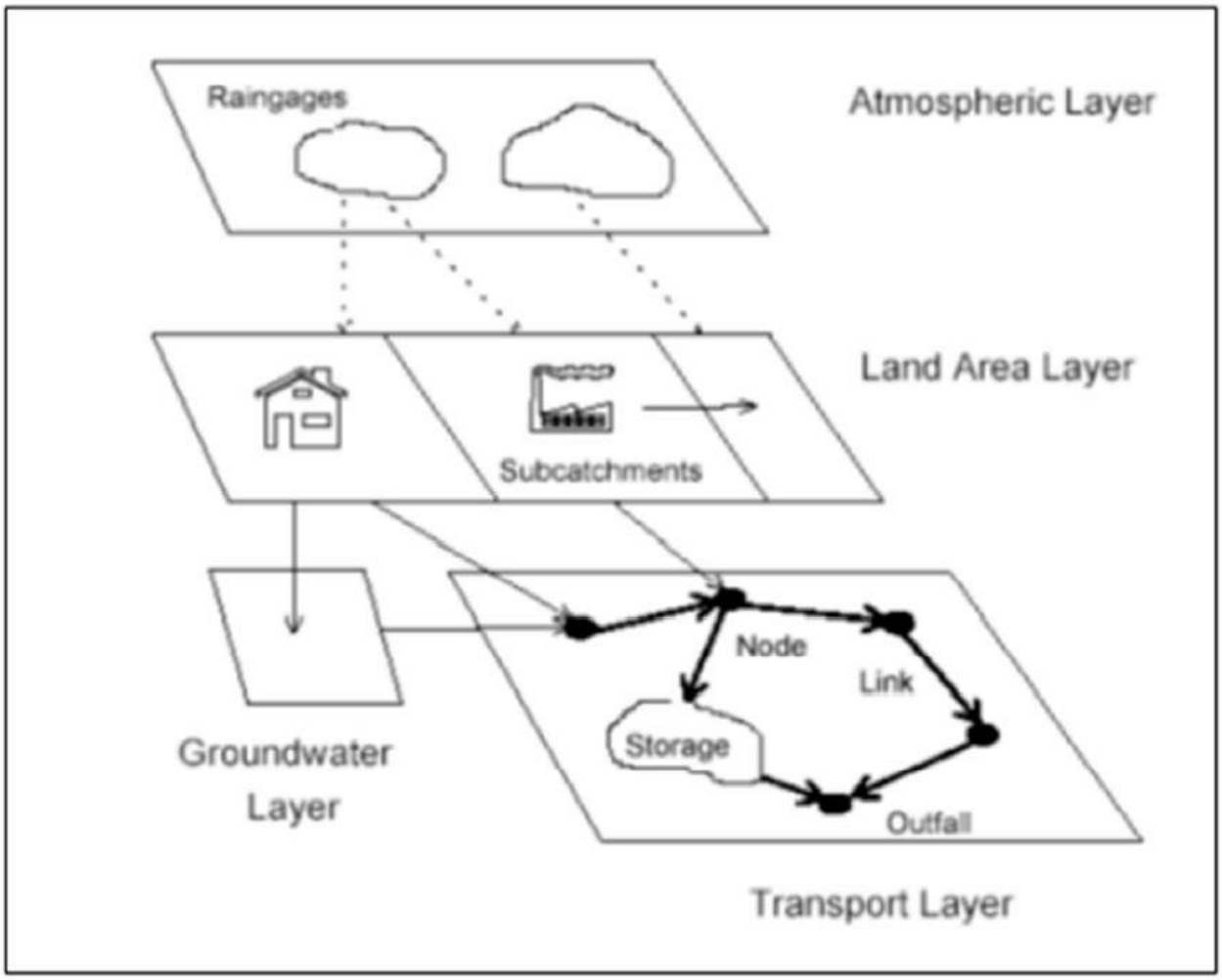


Figura 3.2-Schema dei comparti caratterizzanti SWMM (Cavallaro P., 2022)

3.1 REALIZZAZIONE SISTEMA DI DRENAGGIO SU SWMM

Per realizzare un sistema di drenaggio sul software SWMM si procede avviando il software, che presenta una specifica interfaccia (figura 3.3) dalla quale si può proseguire per step successivi alla definizione dei vari elementi, raggruppati nella trattazione in tre moduli principali:

1. Modulo idrologico (Hydrology);
2. Modulo idraulico (Hydraulics);
3. Modulo qualità (Quality).
4. le acque verso gli impianti di trattamento.

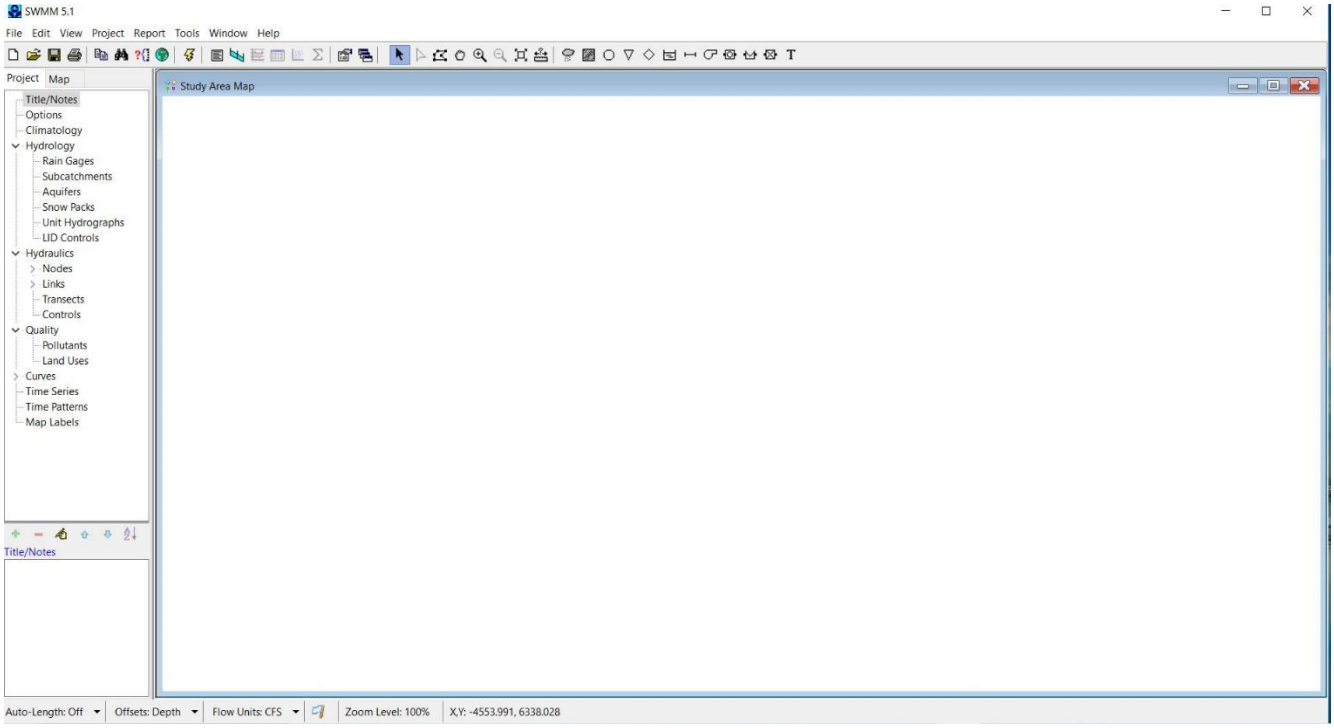


Figura 3.3-Interfaccia SWMM

3.1.1 Modulo idrologico (Hydrology)

Il modulo idrologico risulta essere caratterizzato dai seguenti elementi:

- Rain gage, il quale risulta essere lo strumento che nella realtà si occupa di registrare i dati di pioggia, ossia il pluviometro. In SWMM tale oggetto ha quindi il compito di fornire la possibilità di inserire serie temporali (Time series) in termini di intensità o altezza di precipitazione. Queste possono essere immesse nel software direttamente dall'utente oppure tramite file esterni.
- Subcatchment, che viene associato al concetto di sottobacino, ossia un'area in grado di ricevere la precipitazione riportata e registrata nel rain gage. Tale area è in grado di generare

a sua volta una serie di fenomeni naturali come lo scorrimento superficiale (runoff), l'infiltrazione e l'evaporazione. All'atto pratico su SWMM per realizzare un Subcatchment è necessario associarlo innanzitutto a un rain gage noto e definito. In seguito si devono specificare una serie di dati utili come l'area, la pendenza, la percentuale di area impemeabile con relativo coefficiente di Manning, nodo di uscita del runoff (ad esempio un outfall o junction, vedere "3.1.2 Modulo Idraulico" per relative definizioni) ed infine si deve scegliere il modello di infiltrazione (SWMM imposta come predefinito quello di "Horton", ma si possono scegliere anche altri come il Green ampt e Curve Number). Una importante funzionalità che è in grado di presentare SWMM risiede anche nel fatto che è possibile associare ad ogni subcatchment una unità LID. Il termine LID deriva dall'acronimo di Low Impact Development e si riferisce a "sistemi e pratiche che usano o si ispirano a processi naturali come l'infiltrazione, evapotraspirazione o utilizzo di acque meteoriche per proteggere la qualità dell'acqua e l'ambiente", come riportato nel sito dell'EPA. All'atto pratico dunque con unità LID si intendono tutti i sistemi come ad esempio i tetti verdi (green roof), rain garden, celle di bioritenzione, la cui implementazione in SWMM, rende lo stesso un software fondamentale nell'ambito dello studio dell'efficienza dei sistemi di drenaggio sostenibili.

3.1.2 Modulo idraulico (Hydraulics)

Il modulo idraulico risulta essere caratterizzato dai seguenti elementi:

- Junction Nodes, ossia i nodi di giunzione tra le condotte. In sostanza hanno lo scopo di collegare tra loro le condotte essendo al contempo forniti di un ridotta (quasi trascurabile) capacità di stoccaggio di acqua (da qui deriva la denominazione di "pozzetti"); durante gli eventi meteorici molto consistenti proprio dai punti in cui sono presenti i junction nodes si sviluppano le inondazioni. In SWMM, per definire un nodo di giunzione è necessario inserire due dati fondamentali, cioè l'invert elevation (quota della base rispetto al piano di riferimento) e la max depth (altezza massima del pozzetto, superata la quale parte l'allagamento). Inoltre è necessario inserire eventualmente anche una serie di dati come l'altezza iniziale dell'acqua.
- Outfall Nodes, ossia i punti terminali o scarichi di un sistema di condotte aventi il compito di convogliare l'acqua in un impianto di trattamento ad esempio. In analogia a quanto visto per

i Junction Nodes, il dato principale da inserire è l'invert elevation. D'altro canto è possibile ad esempio sfruttare, a seconda delle esigenze, la funzionalità che prevede di indirizzare il flusso d'acqua uscente dall'outfall verso un subcatchment specifico in maniera tale da far rimanere nel sistema l'acqua stessa (ex. Simulare un processo di irrigazione ecc.).

- Storage Units, ossia le unità di stoccaggio della risorsa idrica, comunemente conosciute come serbatoi. Sulla falsa riga di quanto già esposto per i Junction nodes, anche in questo caso è necessario rispettivamente andare a inserire i valori di Invert elevation e la max depth, senza dimenticare l'eventuale profondità iniziale. D'altra parte la caratteristica principale di questo elemento in SWMM risiede nella curva che viene associata allo stesso in maniera tale da specificarne la superficie in termini di forma e grandezza. Si può definire tale curva importandola da file esterni oppure direttamente in SWMM, assegnando specifici valori alle variabili "A, B, C" che definiscono la formula seguente:
  $AREA\ SERBATOIO = A * (ALTEZZA\ SERBATOIO)^B + C.$
- Divider Nodes, ossia i separatori di portata. Essi hanno la funzione di dividere il flusso in arrivo al nodo in due condotte in base a determinate condizioni ed esigenze.
- Regulators, ossia i regolatori di portata. Si suddividono a loro volta in Orifices (Orifizi), Weirs (Sbarramenti) e Outlets (Uscite). Hanno la particolarità di essere modellati in SWMM come collegamento tra due nodi riuscendo a controllare e regolare il flusso passante da uno all'altro.
- Conduits, ossia le condotte del sistema di drenaggio, incaricate di trasportare la risorsa idrica da un punto ad un altro. Per implementare questo elemento in SWMM si deve innanzitutto definire la forma della sezione della condotta, di cui si dispone un ampio spettro di possibilità, come mostrato in figura 3.4. Dopodiché è necessario inserire altre importanti informazioni quali la lunghezza e la scabrezza. Infine bisogna anche specificare i nodi in ingresso e in uscita della condotta e le rispettive quote riferite alla base degli dei Junction, Outfall oppure Storage Units associati ai nodi stessi.

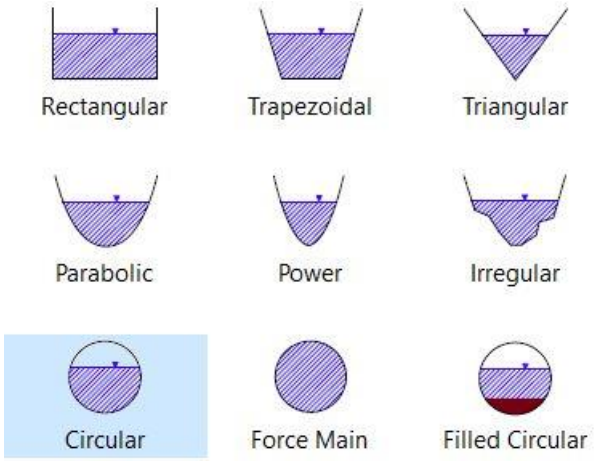


Figura 3.4-Elenco di alcune delle differenti forme delle sezioni delle condotte proposte da SWMM

- Pumps, ossia le pompe, le quali hanno l'obiettivo di sollevare l'acqua da un punto ad un altro situato a quota più elevata. Per definire su SWMM le pumps si procede a specificare il nodo di ingresso e il nodo di uscita ed infine la curva della pompa, di cui è necessario specificarne la tipologia. Infatti esistono ben quattro tipi di curve di pompe (figura 3.5), che vanno a esprimere il flusso rispetto a volume e altezza oppure il carico in funzione del flusso stesso.

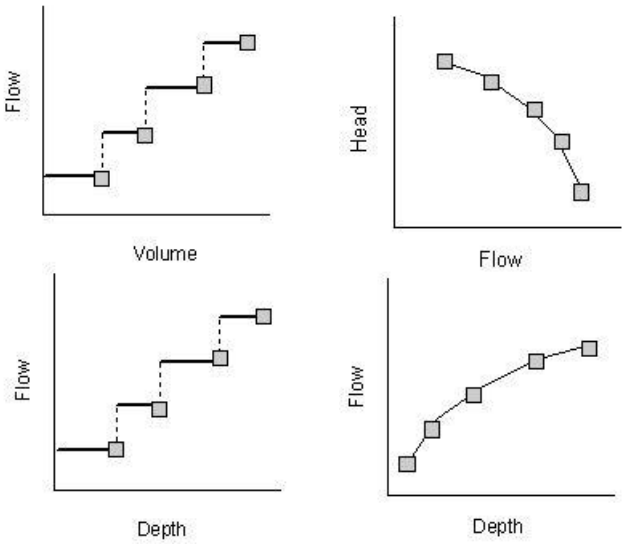


Figura 3.5-Schema delle quattro curve per pompe proposte da SWMM (SWMM's manual)

3.1.3 Modulo qualità (Quality)

Il modulo qualità risulta essere caratterizzato dai seguenti elementi:

- Pollutants, ossia gli inquinanti, i quali possono essere intercettati dallo scorrimento superficiale (runoff) e immessi nella rete di drenaggio. SWMM è in grado di simularne il percorso e le caratteristiche, quali la concentrazione nelle piogge, nelle acque sotterranee e superficiali.
- Land uses, ossia gli usi del suolo. Essi servono essenzialmente per classificare i subcatchments e tra essi figurano suoli di tipo residenziale, commerciale, industriale e non sviluppato.

Di seguito, in figura 3.6, per scopo esemplificativo, si presenta uno schema di una rete di drenaggio base caratterizzata da rain gage, subcatchments, junctions, conduits e outfall realizzata col software SWMM.

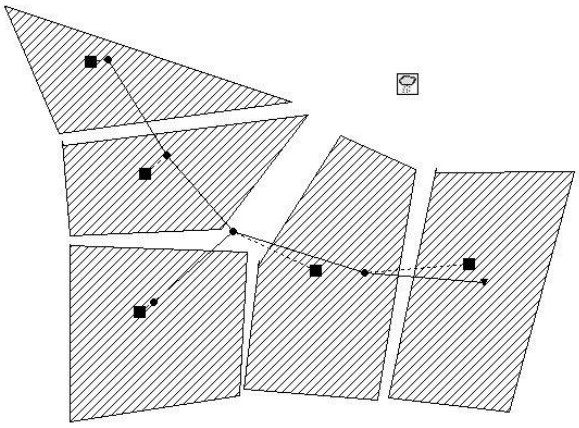


Figura 3.6-Schema di una rete base realizzata in SWMM

3.2 PROCESSO DI SIMULAZIONE SU SWMM

Una volta definiti gli elementi necessari per costruire il modello associato alla rete di drenaggio e noti i valori delle serie temporali di precipitazione si procede alla fase successiva, che consiste nella procedura di simulazione. Essa prevede in primo luogo il settaggio di una serie di opzioni, le quali sono di seguito elencate.

- General (figura 3.7), la finestra nella quale è possibile selezionare i processi da includere nell'analisi (deflusso, scioglimento neve, qualità dell'acqua), i modelli di infiltrazione (Horton, Green-Ampt, Curve number), modello di propagazione (Modello dell'onda

cinematica, dinamica o modello stazionario) e opzioni di propagazione (fissaggio della minima pendenza condotte).

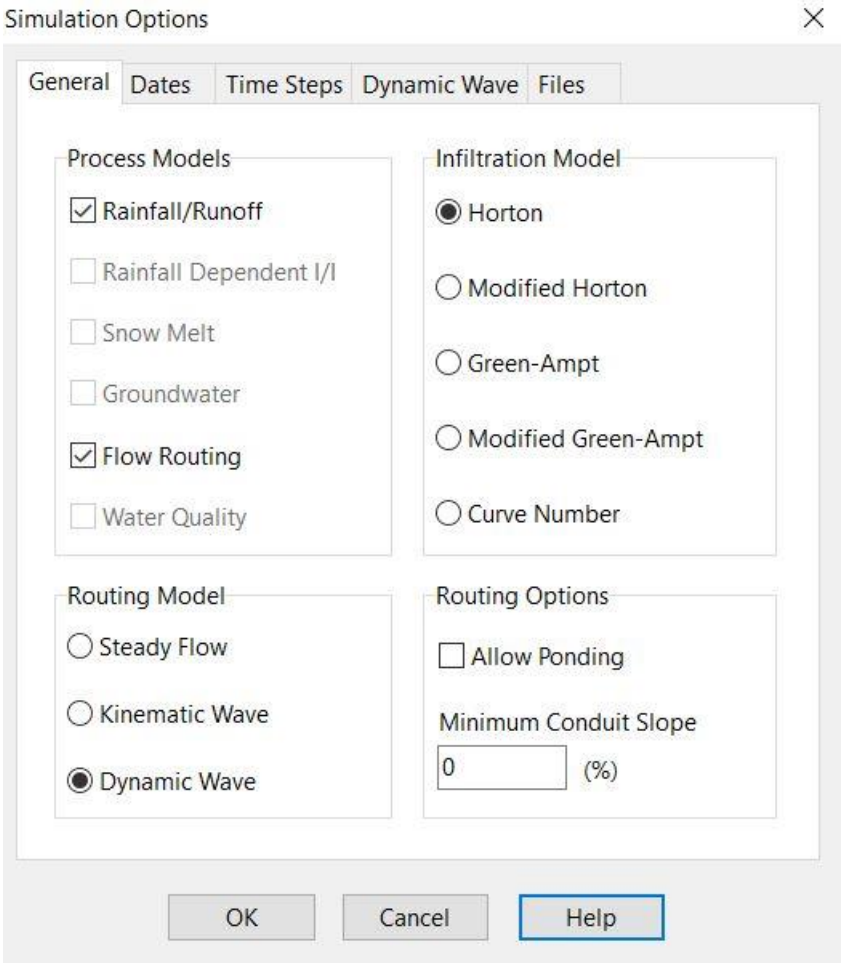


Figura 3.7-Finestra General nelle opzioni di simulazione

- Dates (figura 3.8), la finestra nella quale è possibile impostare la data e l'ora di inizio e fine simulazione e un insieme di istruzioni accessorie come i giorni privi di precipitazione antecedenti all'inizio della simulazione.

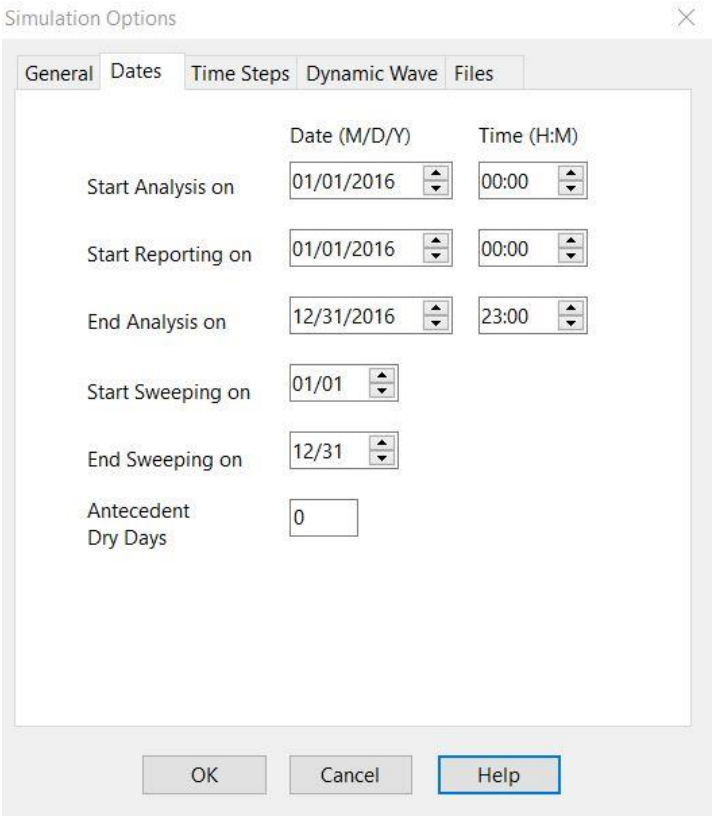


Figura 3.8-Finestra Dates nelle opzioni di simulazione

- Time steps (figura 3.9), la finestra in cui è possibile regolare gli step temporali di calcolo durante la simulazione.

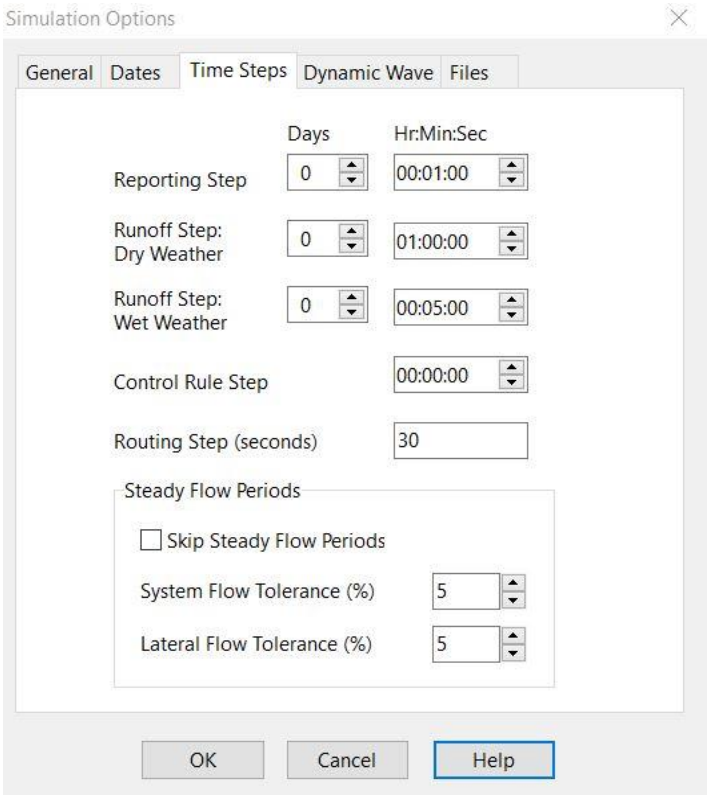


Figura 3.9-Finestra Time steps nelle opzioni di simulazione

- Dynamic Wave (figura 3.10), la finestra dove si settano tutti i parametri relativi al modello dell'onda dinamica (ex. Termini inerziali). Dunque è necessario precisare che se si sceglie di utilizzare gli altri modelli (stazionario o dell'onda cinematica) questa finestra non è da considerare.

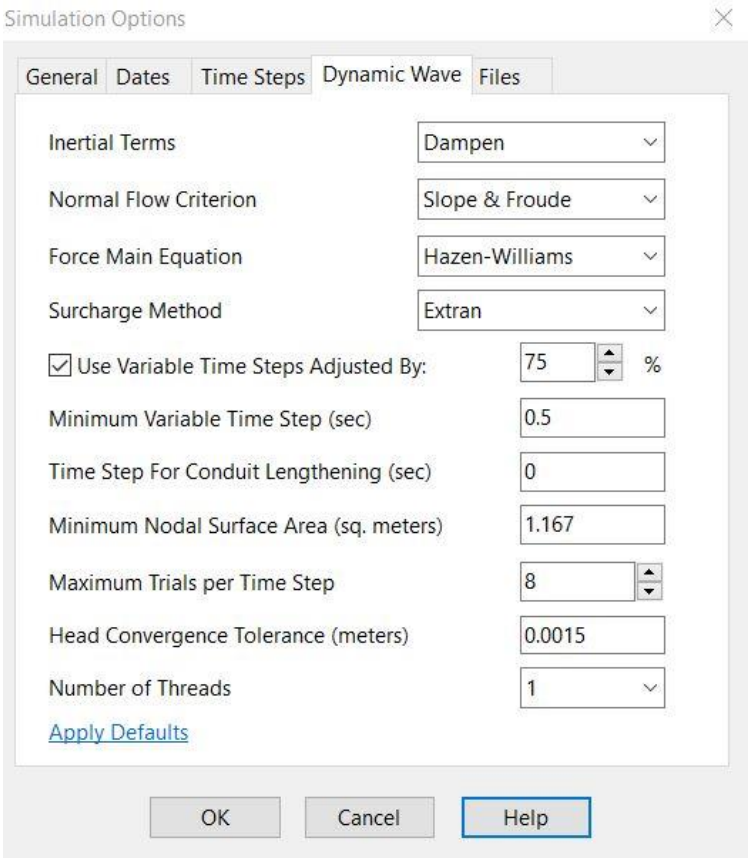


Figura 3.10-Finestra Dynamic Wave nelle opzioni di simulazione

- Files (figura 3.11), la finestra nella quale è possibile specificare quale tipologia di file salvare durante la simulazione.

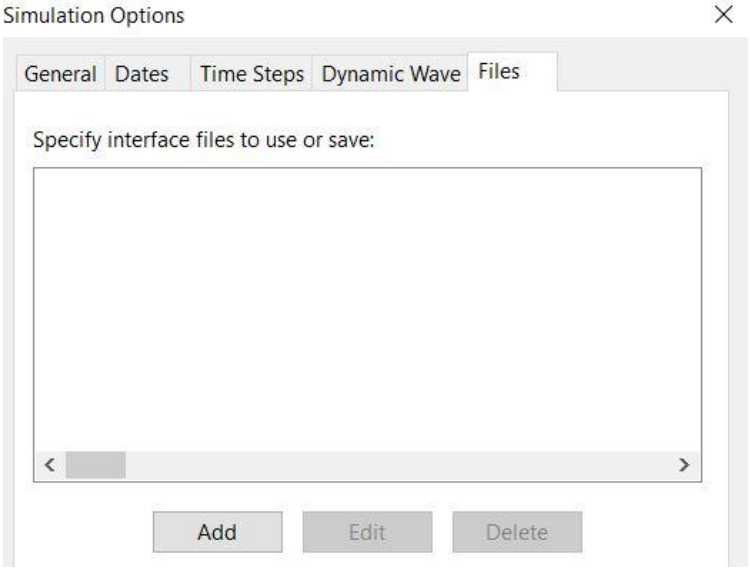


Figura 3.11-Finestra Files nelle opzioni di simulazione

A questo punto è necessario entrare nel merito di quali siano le equazioni su cui si fonda il processo di simulazione di SWMM, che si presenta come un modello di simulazione su base fisica tenente conto dei principi di conservazione dell'energia, della quantità di moto e della massa. Nello specifico le equazioni sopracitate sono le seguenti:

- Deflusso superficiale;
- Infiltrazione (Horton);
- Onda dinamica.

3.2.3 Deflusso superficiale

Come rappresentato in figura 3.12, SWMM è in grado di concettualizzare l'elemento subcatchment (sottobacino) come una superficie rettangolare di larghezza pari a W (Width) e pendenza pari a S (Slope), la quale è in grado di indirizzare il flusso idrico verso un singolo canale di scolo.

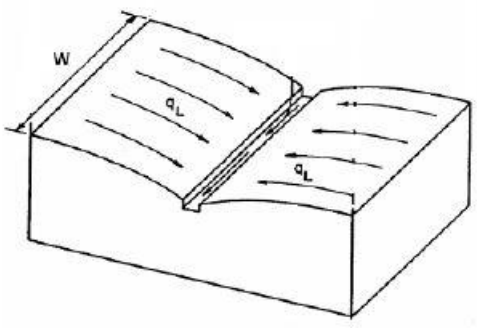


Figura 3.12-Modello concettuale di un subcatchment in SWMM (SWMM's manual Vol.I, 2016)

Definito ciò, il software si basa su un modello di serbatoio non lineare (figura 3.13) per gestire il bilancio idrico del subcatchment durante la simulazione. Tale modello si basa su un'equazione di conservazione della massa così impostata:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \ (1)$$

Dove:

d=altezza di pioggia nel subcatchment [ft]

i= quantità di pioggia (o neve) caduta sul subcatchment [ft/s];

e=quota parte di evaporazione [ft/s];

f=quota parte di infiltrazione [ft/s];

q=quota parte di runoff o deflusso superficiale [ft/s] (osservando la figura 3.13 si può notare che diventa runoff la quantità complessiva di risorsa idrica che supera una determinata altezza d_s, nota come profondità di stoccaggio).

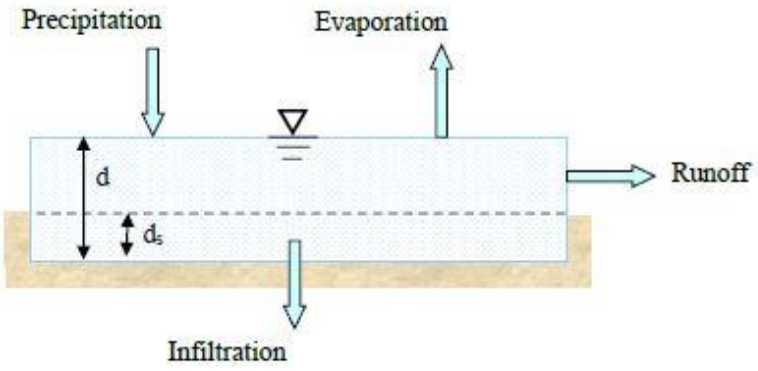


Figura 3.12-Rappresentazione del modello di serbatoio non lineare di un subcatchment in SWMM (SWMM's manual Vol.I, 2016)

Ora, se si assume che il flusso idrico agente sul subcatchment si comporti come un flusso uniforme su una superficie rettangolare di pendenza S, larghezza W, e altezza (d-d_s) e coefficiente di Manning n, viene utilizzata l'equazione di Manning per esprimere il la portata Q di runoff:

$$Q = \frac{1.49}{n} W S^{\frac{1}{2}} (d - d_S)^{\frac{5}{3}} \quad (2)$$

Tale equazione può essere inoltre scritta equivalentemente in funzione della portata per unità di superficie q di deflusso superficiale andando a dividere ambo i membri per A (area del subcatchment):

$$q = \frac{1.49}{nA} W S^{\frac{1}{2}} (d - d_S)^{\frac{5}{3}} \quad (3)$$

Dunque, sostituendo il valore appena ottenuto di q all'interno di (1) è possibile andare a riscrivere tale equazione di conservazione della massa nella sua forma più generica:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \frac{1.49}{nA} W S^{\frac{1}{2}} (d - d_S)^{\frac{5}{3}} \quad (4)$$

L'equazione differenziale ordinaria non lineare appena scritta ha la particolarità di poter essere risolta solo numericamente noti i valori di i, e, f, d_s, W, S, A, n, da cui poi si ricava il valore di d per ogni step temporale di calcolo imposto. Dunque una volta ottenuto d, si può definire conseguentemente q tramite (3). Bisogna infine notare che qualora il valore di d sia minore di d_s allora il contributo di deflusso superficiale sarà nullo, per cui (4) assume la seguente forma semplificata:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f \ (5)$$

3.2.4 Infiltrazione (Horton)

Il processo di infiltrazione dell'acqua può essere gestito da SWMM mediante una serie di modelli. Nel documento in questione si è scelto di utilizzare il metodo di Horton, di cui sono state esposte di seguito le principali caratteristiche. Il modello di Horton è un metodo empirico di infiltrazione, oltreché il più conosciuto. Esso si basa sulla seguente equazione esponenziale:

$$f_p = f_\infty + (f_0 - f_\infty)e^{-k_d t} \ (6)$$

Dove:

f_p=capacità di infiltrazione nel suolo [ft/s];

f_∞=valore minimo o di equilibrio di f_p(per t=∞) [ft/s];

f_0= valore massimo o iniziale di f_p(per t=0) [ft/s];

t= tempo che passa dall'inizio dell'evento meteorico [s];

k_d=coefficiente di decadimento [s^{-1}];

Tale equazione ha lo scopo di predire la riduzione nel tempo in termini di infiltrazione osservata nelle misurazioni effettuate sul campo ed ha la sua rappresentazione grafica nella figura 3.13 (nella quale si riesce ad apprezzare la quota parte di pioggia infiltrata e quella che diviene runoff grazie alla variabilità cromatica).

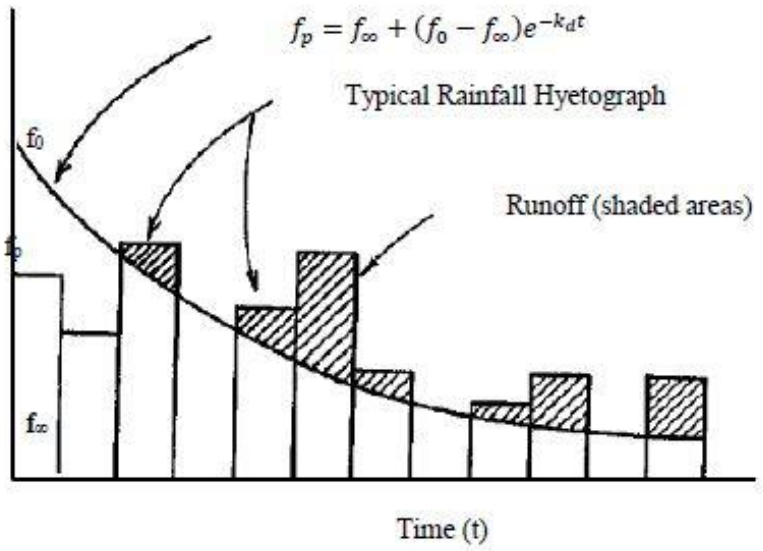


Figura 3.13-Rappresentazione grafica dell'equazione del Modello di Horton (SWMM's manual Vol.I, 2016)

Nel caso di simulazioni caratterizzate da più eventi meteorici separati nell'arco di uno specifico tempo di studio, la capacità di infiltrazione del terreno tenderà a rigenerarsi durante i periodi di secca. Per tener conto di questo fenomeno, SWMM introduce una particolare equazione (detta curva di "recovery") esponenziale derivante dell'equazione di Horton:

$$f_p = f_0 - (f_0 - f_\infty)e^{-k_r(t-t_w)} \quad (7)$$

Dove:

k_r=coefficiente di decadimento per la curva di recovery [s^{-1}];

t_w= istante ipotetico di progetto nel quale $f_p = f_\infty$ nella curva di recovery [s].

Tale curva dunque succede temporalmente alla (6), dando vita alla seguente rappresentazione grafica generale (figura 3.14) che illustra l'andamento della filtrazione nel tempo nel caso di eventi meteorici con durata inferiore rispetto al range temporale in analisi:

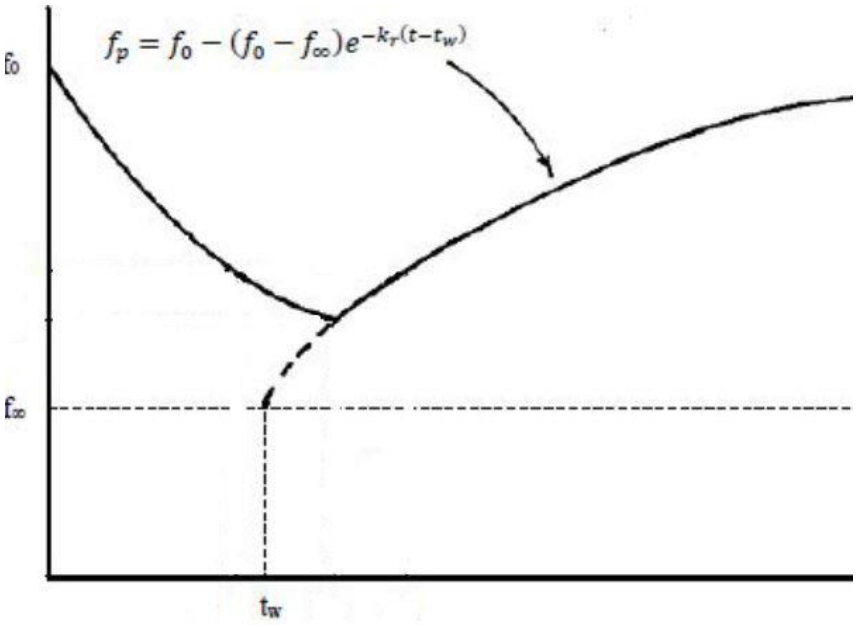


Figura 3.14-Rappresentazione grafica dell'equazione del Modello di Horton e dell'equazione di recovery (SWMM's manual Vol.I, 2016)

3.2.4 Onda dinamica

Il moto dell'acqua lungo il sistema di drenaggio è gestito da SWMM tramite differenti modelli, tra i quali il più accurato risulta essere quello dell'onda dinamica, utilizzato nel documento corrente. Esso è governato dalle equazioni di De St. Venant. Si tratta rispettivamente di una equazione di continuità (8) e di un'equazione di conservazione della quantità di moto (9):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \ (8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \ (9)$$

Dove:

x = distanza [ft];

t = tempo [s];

A = Area della sezione trasversale [ft^2];

Q = Portata [cfs];

$H = Z + Y$ = Carico totale nella condotta [ft];

Z = Quota del fondo della condotta [ft];

Y = altezza del flusso idrico all'interno della condotta [ft];

g = accelerazione di gravità [ft];

S_f = pendenza d'attrito [perdite di carico per unità di lunghezza];

Nello specifico S_f può essere definita, a partire dall'equazione di Manning, nella maniera seguente:

$$S_f = \left(\frac{n}{1.486}\right)^2 + \frac{Q|U|}{AR^{\frac{4}{3}}} \quad (10)$$

Dove:

n = coefficiente di scabrezza di Manning [s/m$^{1/3}$];

R = raggio idraulico [ft];

U = velocità del flusso [ft/s];

1.486 = coefficiente che permette la conversione tra m$^{1/3}$ e ft$^{1/3}$ [-];

Si può osservare che la presenza del valore assoluto applicato alla velocità U permette alla pendenza d'attrito S_f di essere una quantità avente sempre segno opposto al moto del flusso idrico. In conclusione è possibile notare che il modello di De St. Venant può essere, per comodità, anche espresso in una forma più compatta rispetto a quanto detto in precedenza; per fare ciò si deve inserire (8) in (9), ottenendo dunque la seguente equazione:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 2U\frac{\partial A}{\partial t} + U^2\frac{\partial A}{\partial x} - gA\frac{\partial H}{\partial x} - gAS_f = 0 \quad (11)$$

3.3 IMPLEMENTAZIONE UNITA' LID SU SWMM

Con il termine LID (Low Impact development) si fa riferimento a tutte quelle pratiche aventi lo scopo di catturare, conservare e recuperare l'acqua piovana ricadente sulle area a forte impermeabilizzazione, le quali in condizioni normali trasformerebbero tutta la risorsa idrica in questione in runoff. Per cui il concetto di LID è strettamente correlato e dunque sovrapponibile a quello dei sistemi di drenaggio sostenibile. SWMM, in questo senso, è in grado di implementare molteplici unità LID, tra le quali si possono citare ad esempio:

- Celle di bioritenzione (Bio-Retention Cell);
- Rain garden;
- Tetti verdi (Green roof);
- Pavimentazioni permeabili (Permeable Pavement);
- Trincee drenanti (Infiltration trench);
- Serbatoi (Rain barrel);
- Disconnessioni dei tetti (Roof disconnection);
- Canali vegetati (Vegetative Swale).

Nel software, le unità LID sono rappresentate mediante una successione di layer lungo la direzione verticale. Di seguito sono elencati tutti i layer di cui SWMM dispone:

- Surface Layer (strato di superficie), il quale è lo strato su cui ricade l'acqua derivante dalle precipitazioni.
- Pavement layer (strato di pavimentazione), il quale è caratterizzato da calcestruzzo poroso o conglomerato bituminoso tipico dei sistemi di pavimentazioni permeabili.
- Soil layer (strato di suolo), che consiste nella miscela di suolo progettata e inserita per fornire un supporto alla crescita della vegetazione.
- Storage layer (strato di stoccaggio), il quale è costituito da materiale ghiaioso o roccioso avente la funzione di accumulare acqua.
- Drain System (sistema di drenaggio), che ha il compito di convogliare l'acqua proveniente dal layer superiore (storage layer) verso un punto di scarico predefinito tramite condotte.
- Drainage Mat Layer (tappeto di drenaggio), il quale è in grado di raccogliere l'acqua proveniente dallo strato di suolo (soil layer) e indirizzarla verso l'esterno.

Dunque, andando a combinare tutti gli strati appena definiti si possono ottenere tutte le unità LID citate in precedenza, come esposto sisteticamente nella tabella in figura 3.15 (Si noti che con "x" si intende "obbligatorio" e con "o" si intende opzionale, facoltativo).

LID Type	Surface	Pavement	Soil	Storage	Drain	Drainage Mat
Bio-Retention Cell	x		x	o	o	
Rain Garden	x		x			
Green Roof	x		x			x
Permeable Pavement	x	x	o	x	o	
Infiltration Trench	x			x	o	
Rain Barrel				x	x	
Roof Disconnection	x				x	
Vegetative Swale	x					

Figura 3.15-Tabella delle unità LID implementabili in SWMM (SWMM's manual)

3.3.1 Tetti verdi (green roof)

In questa trattazione ci si concentrerà nella descrizione dell'implementazione su SWMM dei tetti verdi poiché unica unità LID caratterizzante il caso reale analizzato. Le equazioni che, dunque, governano questa unità LID sono le seguenti e si riferiscono rispettivamente al surface layer (12), al soil layer (13) e al drainage mat layer (14):

$$\phi_1 \frac{\partial d_1}{\partial t} = i - e_1 - f_1 - q_1 \ (12)$$

$$D_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial t} = f_1 - e_2 - f_2 \ (13)$$

$$\phi_3 \frac{\partial d_3}{\partial t} = f_2 - e_3 - q_3 \ (14)$$

Dove:

t= tempo [s];

ϕ_1= frazione di vuoti superficiali [-];

d_1= profondità dell'acqua accumulata in superficie o surface layer [ft];

i = precipitazione caduta sul surface layer [ft/s];

e_1= quota parte di evapotraspirazione dal surface layer [ft/s];

f_1= quota parte di infiltrazione dal surface layer [ft/s];

D_2= spessore dello strato di suolo [ft];

θ_2= contenuto di umidità nel soil layer [-]

e_2= quota parte di evapotraspirazione dal soil layer [ft/s];

f_2= quota parte di infiltrazione dal soil layer [ft/s];

ϕ_3= frazione dei vuoti del drainage mat layer [-];

d_3= profondità dell'acqua accumulata nel drainage mat layer [ft];

e_3= quota parte di evapotraspirazione dal drainage mat layer [ft/s];

q_1= quota parte di deflusso superficiale o runoff dal surface layer [ft/s];

q_3= quota parte di deflusso superficiale o runoff dal drainage mat layer [ft/s].

Ponendo l'attenzione sul runoff totale del green roof, esso è dato dalla somma di due contributi q_1 e q_2. Partendo da q_1, SWMM lo computa sulla base dell'equazione di Manning, sotto l'ipotesi che la larghezza dell'area in cui si muove il flusso d'acqua sia più grande della profondità dell'acqua accumulata:

$$q_1 = \frac{1.49}{n_1} \sqrt{S_1} \left(\frac{W_1}{A_1}\right) \phi_1 (d_1 - D_1)^{\frac{5}{3}} \quad (15)$$

Dove:

n_1= coefficiente di scabrezza superficiale di Manning [-];

S_1= pendenza superficiale [-];

W_1= lunghezza totale lungo li bordo del tetto dove il deflusso superficiale è accumulato [ft];

D_1= profondità di stoccaggio superficiale [ft];

A_1= superficie del tetto [ft^2].

Allo stesso modo, q_3 è definito in SWMM come segue:

$$q_1 = \frac{1.49}{n_3} \sqrt{S_1} \left(\frac{W_1}{A_1}\right) \phi_3 (d_3)^{\frac{5}{3}} \quad (16)$$

In primo luogo si osserva che in (16) compaiono diversi valori di ϕ (frazione dei vuoti) e d (profondità dell'acqua cumulata in superficie) rispetto a (15). In ultimo, soprattutto si nota un valore del coefficiente di Manning n_3 differente rispetto a n_1 in (15). Si registra questa situazione per ovvi motivi dovuti alla natura differente dello strato (layer) cui i coefficienti di scabrezza si riferiscono.

CAPITOLO 4

CASO STUDIO: NUVOLA LAVAZZA

Il capitolo in questione ha come obiettivo quello di contestualizzare e descrivere un esempio reale di un edificio che si pone l'obiettivo di rispondere alle esigenze odierne in termini di drenaggio urbano sostenibile: La Nuvola Lavazza.

4.1 Inquadramento e cenni storici

La Nuvola Lavazza si trova nel quartiere Aurora di Torino, conosciuto anche come "Borgo Aurora", situato nella circoscrizione 7. Il quartiere sorge nella zona centro-nord del capoluogo piemontese e, come mostrato in figura 4.1, risulta essere delimitato da corso Regina, corso Principe Oddone, corso Vigevano, corso Novara, e dal fiume Dora, affluente del principale corso d'acqua della città, il Po.

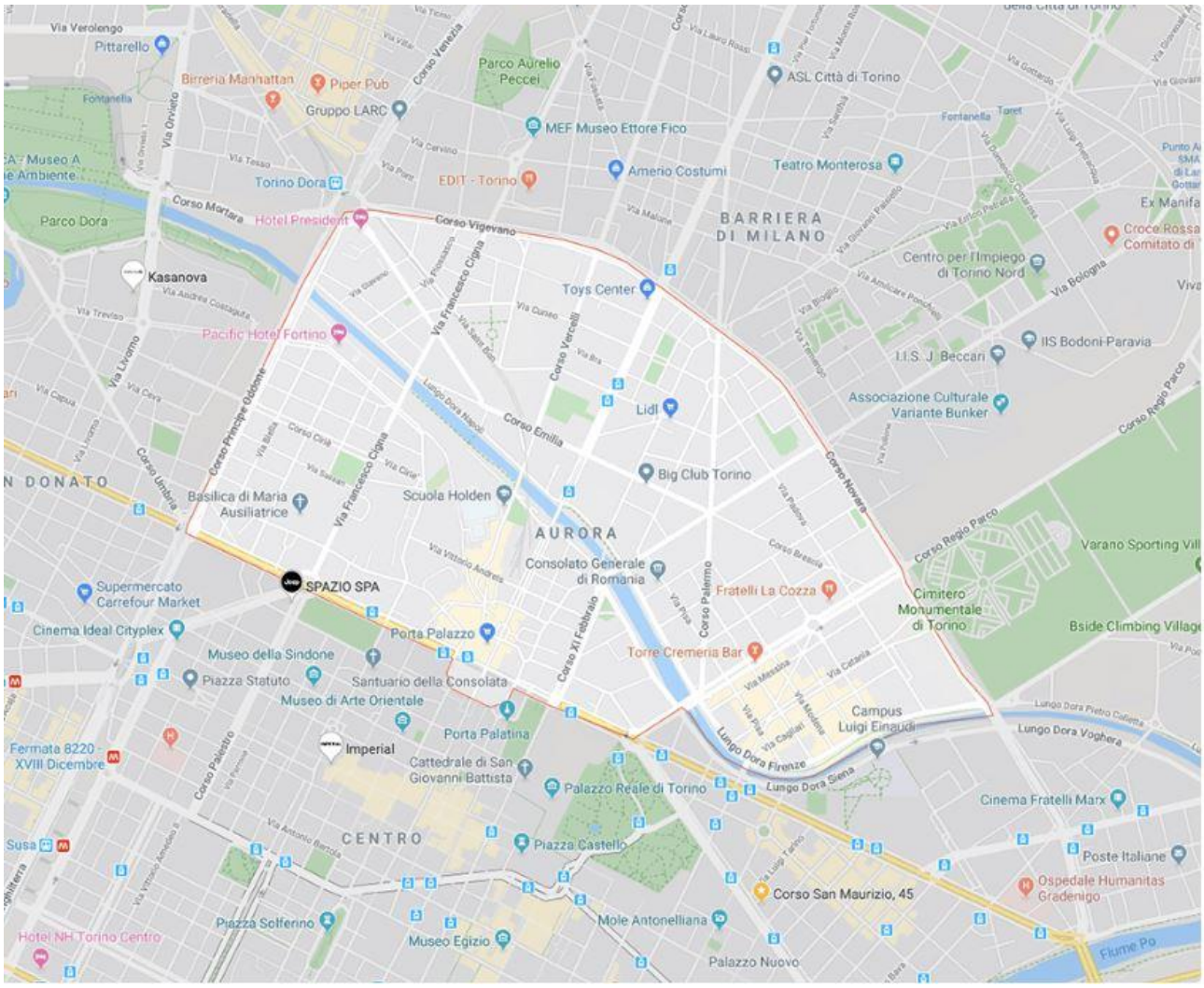


Figura 4.1-Pianta del quartiere Aurora a Torino (http://www.atlanteditorino.it/quartieri/Aurora.html)

Il borgo nei primi decenni del ‘900 si presentava come uno dei più importanti quartieri operai e poli produttivi presenti a Torino, grazie alla presenza di una serie di attività tra le quali è necessario citare l’edificio “Cascina l’Aurora” (da cui deriva il nome del quartiere stesso), nata nella fine del 1800 come opificio tessile, trasformata nel secolo successivo in sede del Gruppo Finanziario Tessile (GFT) ed infine negli ultimi decenni adibito a sede di vari uffici e palestre. Al fin di ridare lustro e riqualificare l’area, l’8 giugno 2018 è stato ufficialmente inaugurato quello che si pone come nuovo centro nevralgico del borgo, ossia la Nuvola Lavazza, quartier generale dell’omonima e famosa azienda torinese. Lavazza è nata come semplice drogheria nel 1895 in Via San Tommaso, a Torino e grazie alla capacità del suo capostipite, Luigi Lavazza, ha creato una delle miscele di caffè più apprezzate nel corso dei decenni, prima in Italia e poi all’estero. Oggigiorno infatti Lavazza è divenuto un colosso nel settore del caffè in ambito globale.

4.2 Caratteristiche della Nuvola Lavazza

La Nuvola Lavazza si trova tra via Bologna, largo Brescia, Corso Palermo e via Ancona, come mostrato in figura 4.2.

Figura 4.2-Posizione Nuvola Lavazza nel quartiere Aurora a Torino (Google Earth)

Il quartier generale della Lavazza ha un'estensione pari a 30000 m^2 e presenta una serie di strutture che lo costituiscono quali:

1. il Museo Lavazza (figura 4.3), avente come tema centrale il mondo del caffè.

Figura 4.3-Museo Lavazza (https://www.lavazza.it/it/museo-lavazza/scopri-nuvola.html)

2. Area Archeologica (figura 4.4), la quale comprende una basilica paleocristiana e una necropoli venute alla luce durante la costruzione dell'Headquarter Nuvola Lavazza.

Figura 4.4- Area archeologica (https://www.lavazza.it/it/museo-lavazza/scopri-nuvola.html)

3. La Centrale Nuvola Lavazza (figura 4.5), uno spazio di 1400 m^2 capace di ospitare eventi di vario genere.

Figura 4.5- Centrale Nuvola Lavazza (https://www.lavazza.it/it/museo-lavazza/scopri-nuvola.html)

4. La Piazza Verde (figura 4.6), un'ampia area verde a disposizione dell'azienda, ma anche dell'intero quartiere in quanto provvista di libero accesso.

Figura 4.6- Piazza Verde (https://www.lavazza.it/it/museo-lavazza/scopri-nuvola.html)

5. Headquarter Nuvola Lavazza (figura 4.7, 4.8), cuore dell'azienda e sede di uffici, sale riunioni, sale relax e palestra. La struttura si suddivide in due parti: la porzione lato nord (sei piani) e la porzione lato sud (quattro piani).

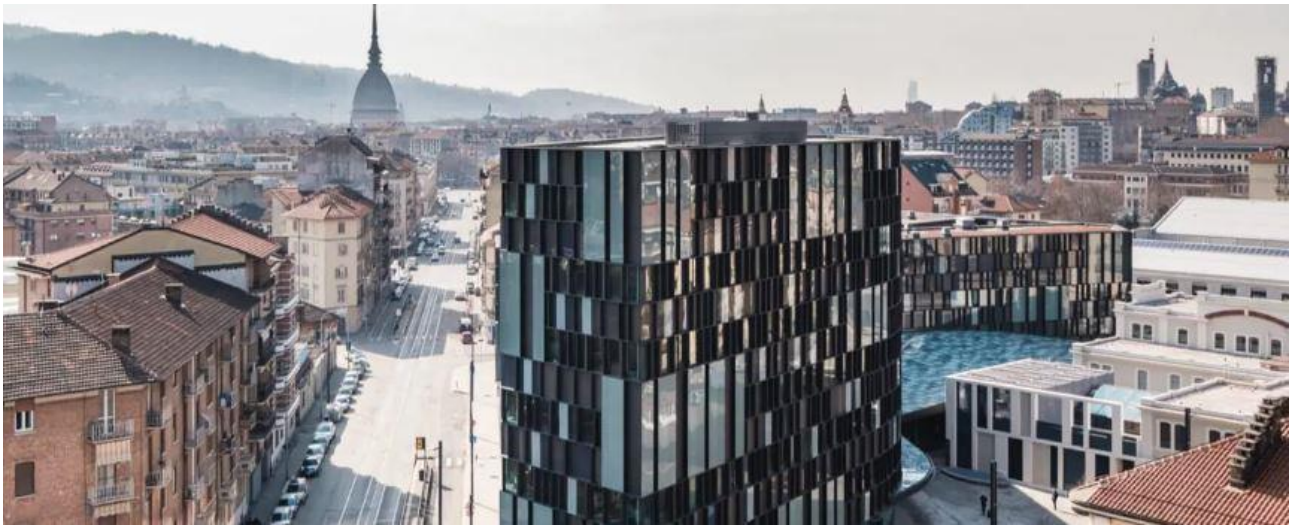


Figura 4.7- Headquarter Nuvola Lavazza (https://www.lavazza.it/it/museo-lavazza/scopri-nuvola.html)

Figura 4.8- Headquarter Nuvola Lavazza lato via Bologna (a sinistra) e lato via Ancona (a destra)

4.3 Sistemi di drenaggio sostenibile all'interno della Nuvola Lavazza

La Nuvola Lavazza è stata realizzata ponendo molta attenzione al concetto di sostenibilità. Ciò si riflette, tra le tante positive implicazioni, nel fatto che presenta una serie di elementi considerabili come sistemi di drenaggio sostenibile (SuDS), di cui si è esposta la definizione ed effettuata una panoramica nel capitolo 2.

4.3.1 Tetti verdi e aiuole

Le aree verdi occupano una considerevole porzione rispetto al totale dell'estensione del quartier generale Lavazza. Osservando la pianta di progetto del quarto piano della porzione sud dell'Headquarter Nuvola Lavazza (figura 4.9) si può notare che la copertura del piano ospita un green roof di tipo estensivo, il quale si sviluppa per la completa estensione del tetto.

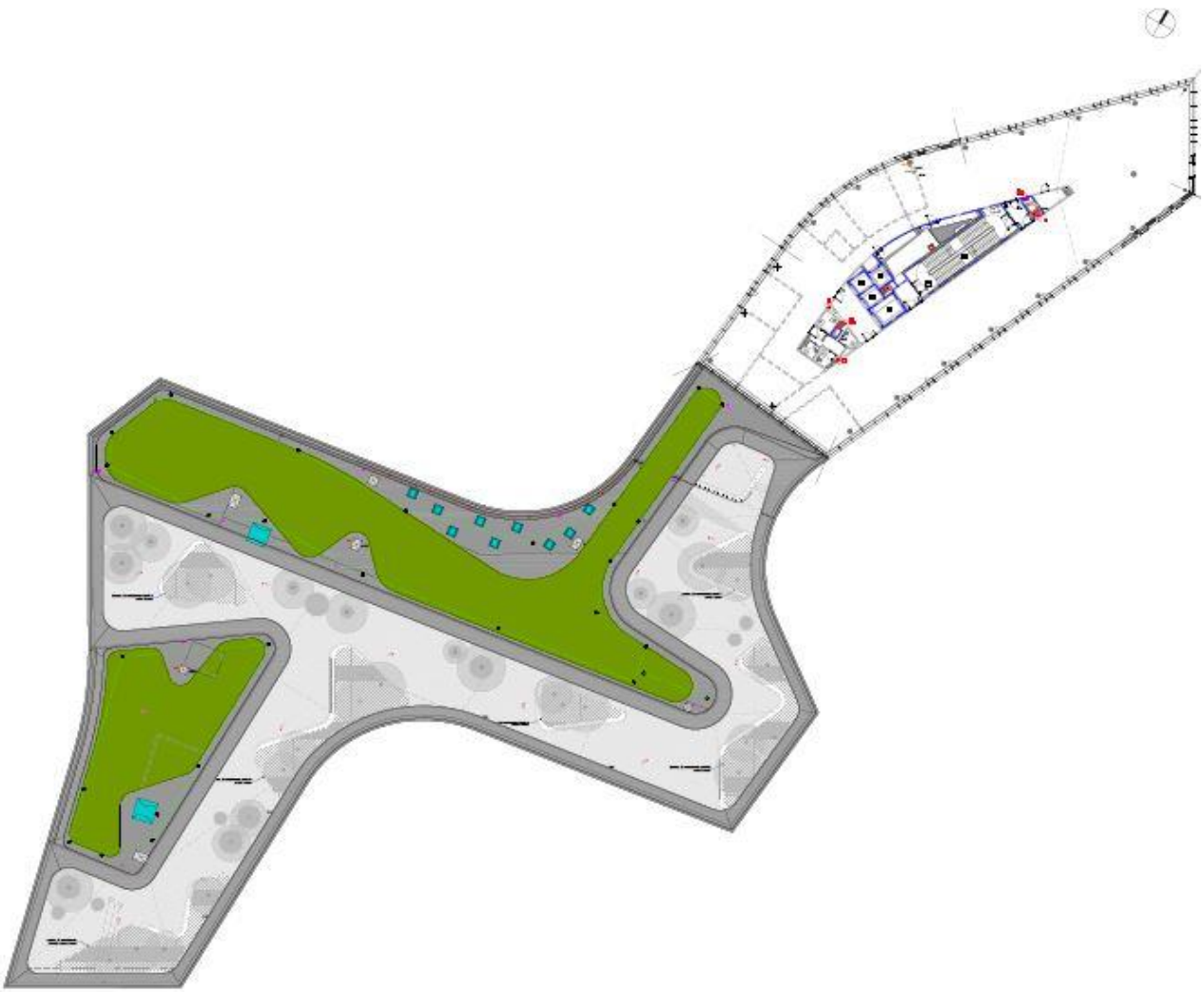
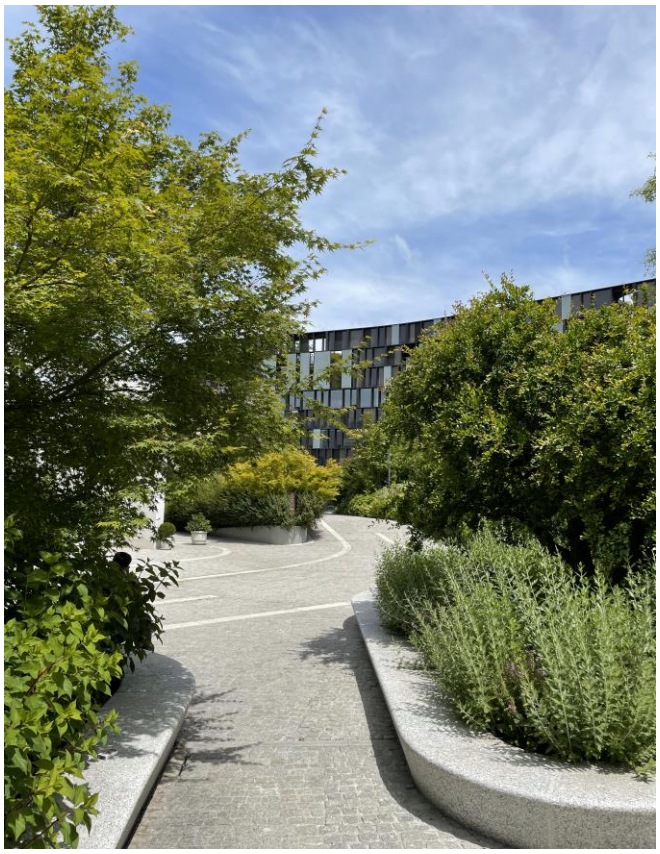


Figura 4.9- tetto verde estensivo del quarto piano Headquarter Nuvola Lavazza (Documenti di progetto Lavazza)

La restante parte del verde è garantita dalla presenza di molteplici aiuole di varie dimensioni e ospitanti varie specie vegetali. Le aiuole sono distribuite all'aperto lungo il piano terzo dell'ala sud dell'Headquarter Nuvola Lavazza (figura 4.10) e lungo il piano terra (figura 4.11). In quest'ultimo, entrando nel dettaglio, si sviluppano in tre zone:

1- Incrocio corso Palermo e largo Brescia;
2- Incrocio via Ancona e corso Palermo;
3- Tra via Ancona e via Bologna (lato sud), in cui vanno a costituire, assieme a una fontana e una serie di percorsi pedonali il complesso della sopracitata Piazza Verde.

Figura 4.10- aiuole del terzo piano Headquarter Nuvola Lavazza (Documenti di progetto Lavazza)



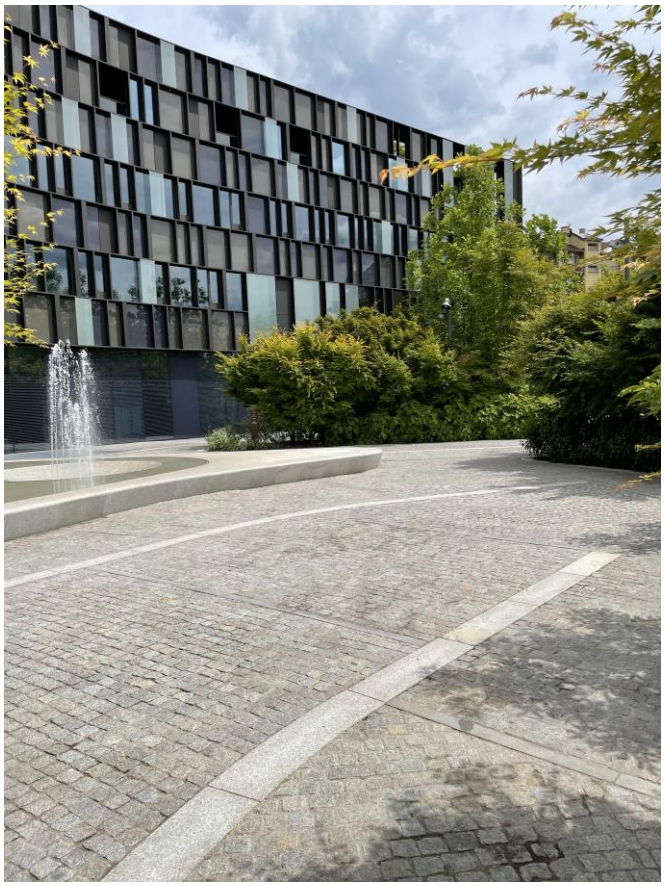
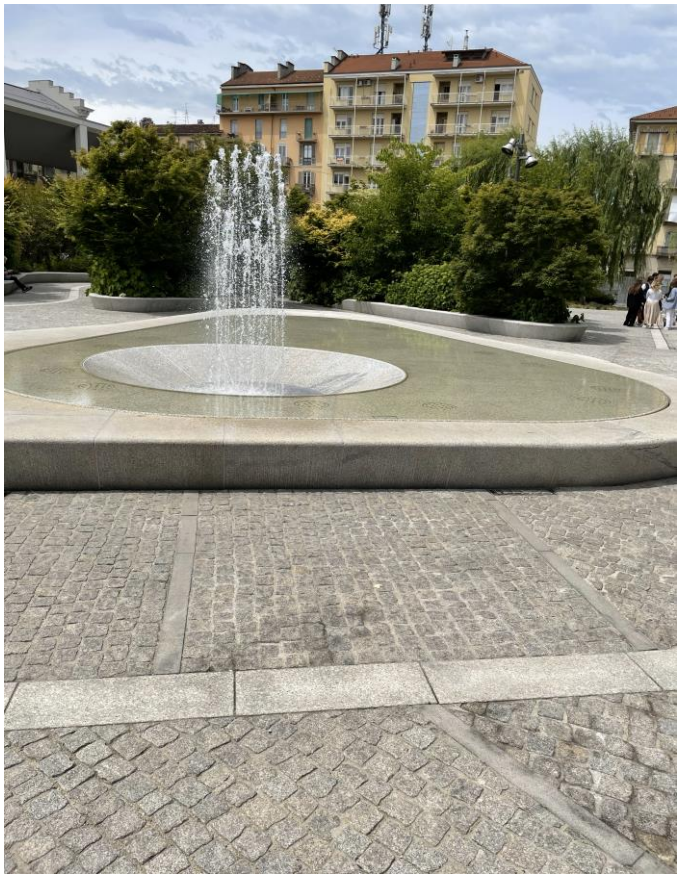



Figura 4.11- aiuole del piano terra Headquarter Nuvola Lavazza

4.3.2 Vasche di raccolta acqua piovana

Il complesso della Nuvola Lavazza è caratterizzato dalla presenza di due vasche di raccolta di acqua piovana, una lato Nord e l'altra lato Sud, rispettivamente in aventi volumi di accumulo di 283 m^3 e 183 m^3. I due serbatoi hanno lo scopo di accogliere le acque di pioggia proveniente dai vari pluviali e caditoie distribuiti lungo pressoché tutto il perimetro dell'area in esame. Di conseguenza si è in grado di evitare il sovraccarico della fognatura durante gli eventi di precipitazione e poi di riutilizzare tale risorsa idrica tramite un opportuno sistema di pompaggio (figura 4.12) per un duplice scopo:

- irrigazione delle aree verdi;
- scarico dei WC.

Figura 4.12- Pompe vasca Nord della Nuvola Lavazza

Come rappresentato schematicamente in figura 4.13, Il sistema di pompaggio parte dalla vasca Nord, per cui la vasca Sud ha l'unico scopo di trasferire l'acqua meteorica raccolta verso tale direzione. Inoltre è importante sottolineare che solo la vasca nord è provvista di un collegamento alla rete acquedottistica. Da quest'ultima infatti proviene la quantità di risorsa idrica necessaria a soddisfare il fabbisogno complessivo del quartier generale Lavazza quando il livello idrico nella vasca Nord scende al di sotto di quello del galleggiante inferiore.

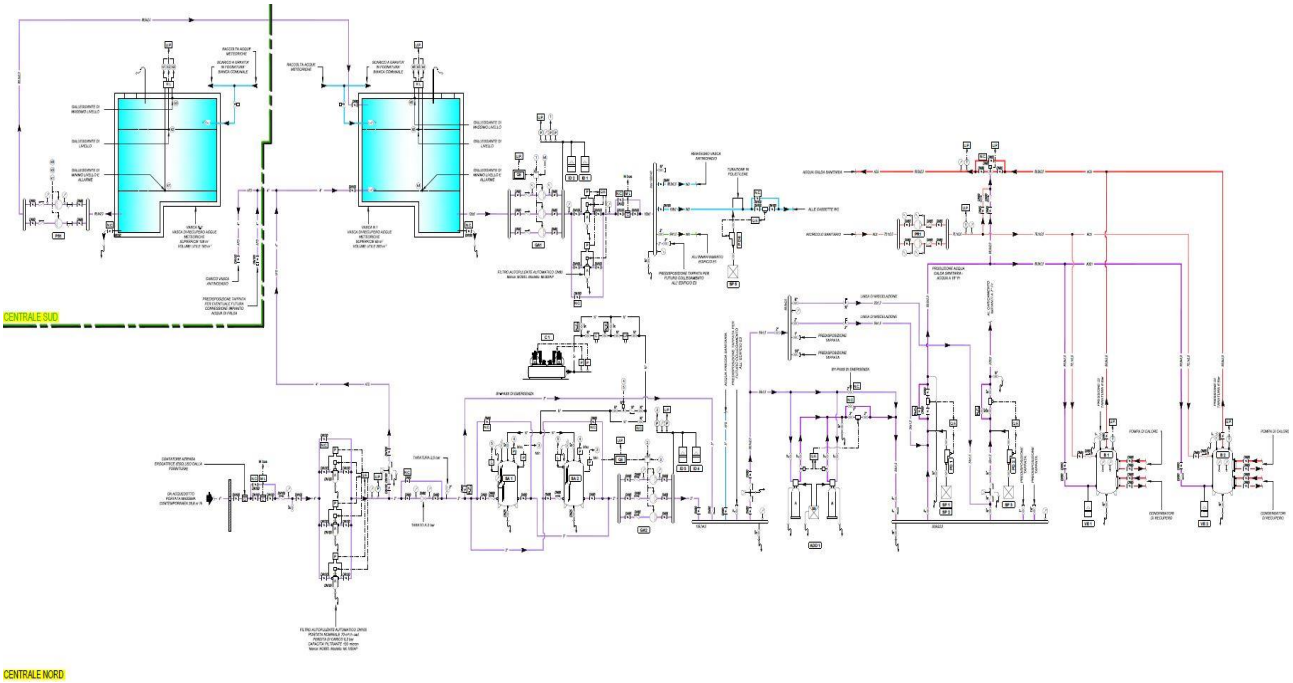


Figura 4.13- Schema del sistema di ricarica e di pompaggio delle due vasche (Nord e Sud) all'interno della Nuvola Lavazza (Documenti di progetto Lavazza)

CAPITOLO 5

REALIZZAZIONE DEL MODELLO DEL SISTEMA DI DRENAGGIO DEL CASO STUDIO NUVOLA LAVAZZA SU SWMM

Nel seguente capitolo si procede a spiegare le modalità e i passaggi con i quali è stato realizzato il modello del sistema di drenaggio della nuvola Lavazza sul software SWMM (Figura 5.1). In primo luogo si riporta la definizione della parte idraulica (junctions, outfalls, storage units, links, pumps) per poi specificare la parte idrologica (subcatchments e rain gage). Infine si espongono un approfondimento sull'inserimento delle unità LID (green roofs) e sul settaggio dei dati relativi all'evapotraspirazione.

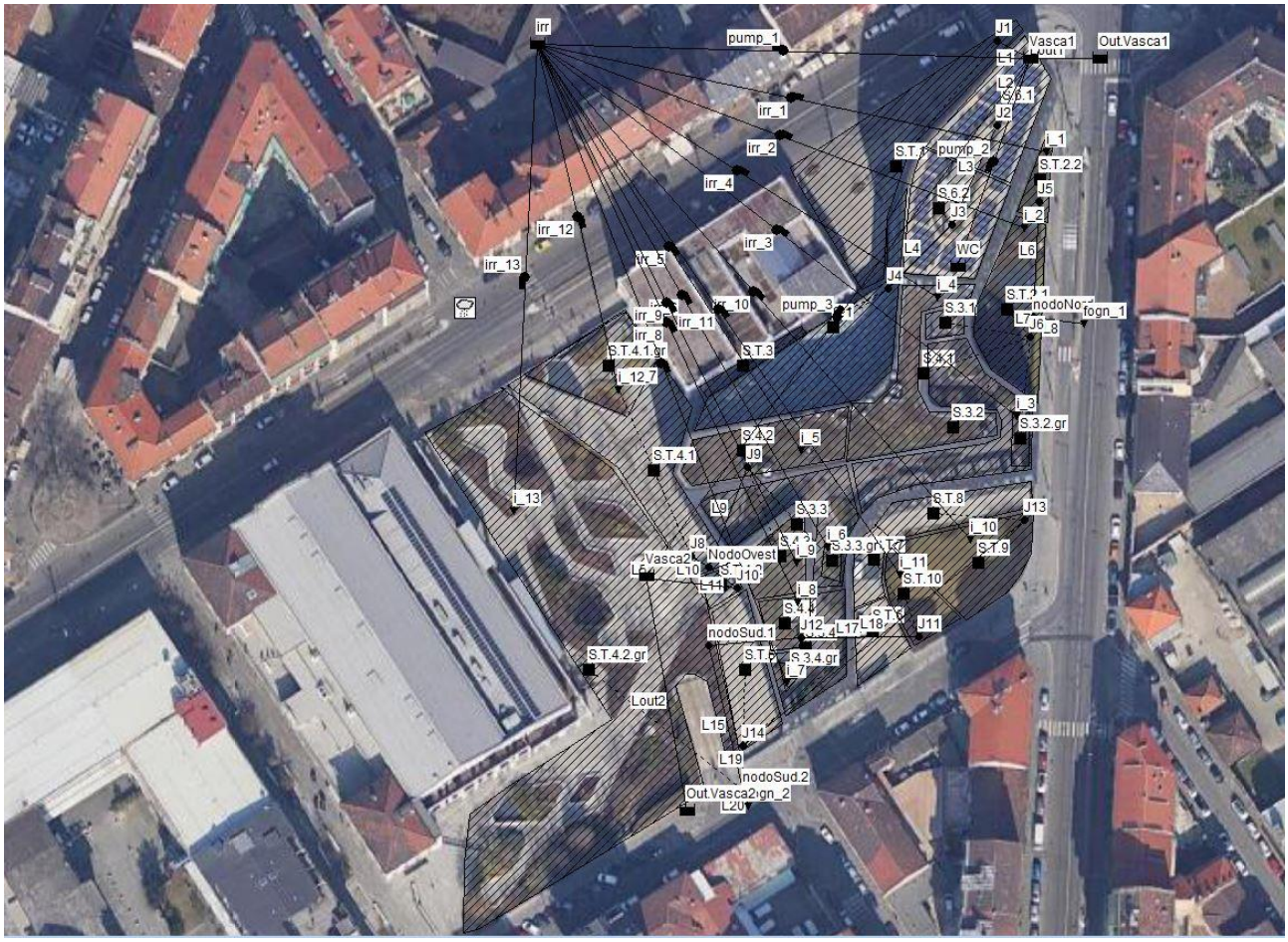


Figura 5.1- Modello del sistema di drenaggio della Nuvola Lavazza realizzato su SWMM

5.1 Modellazione comparto idraulico

Di seguito sono elencate le modalità tramite le quali sono stati modellati gli elementi del comparto idraulico su SWMM. Bisogna specificare che preliminarmente a tale processo è stata importata su SWMM una immagine georeferenziata dell'area di studio tramite il software Qgis, in maniera tale da posizionare gli elementi stessi in coordinate e dimensioni aderenti alla realtà.

5.1.1 Giunzioni (Junctions)

In primo luogo è stata effettuata un'attenta analisi della disposizione dei pluviali e caditoie all'interno del perimetro della Nuvola, a partire dai profili e planimetrie di progetto forniti da Lavazza. Dunque è stato deciso di realizzare 17 Junctions, riferiti a loro volta a specifici pluviali o gruppi di pluviali numerati in accordo con la documentazione a disposizione. Di seguito, nella tabella in figura 5.2, sono sinteticamente elencate le caratteristiche delle giunzioni in termini di invert elevation (quota della base rispetto al piano di riferimento, posto a 7 metri di profondità dal piano campagna) e max depth (altezza massima del pozzetto, superata la quale parte l'allagamento):

Nome	Invert elevation [m]	Max Depth [m]
J1 (Pluviali 15,16,17,18)	4.23	2.77
nodoNord	3.05	0.4
J14 (Pluviali 48,47,46,34,33,32)	3.06	3.94
J3 (Pluviale 2)	4.37	27.63
J13 (Pluviali 42,41,22,53)	3.39	3.61
J5 (Pluviale 19)	3.16	3.84
J12 (Pluviali 12, can3)	3.25	20.76
J4 (Pluviali 9,11,13,13a,14,24,25,26,27,28,29,4,11a,14a)	4.45	7.55
J9 (Pluviali 5b,3b,3d,3c,3,can2,10,12b)	1.92	22.08
J2 (Pluviale 1)	4.27	27.73
J6 (Pluviali 6,8,7,7a,7b,5,8a, can1,20,21)	3.07	3.93
J8 (Pluviali 43,38,44,45)	1.84	5.16
J10 (Pluviale 37)	1.79	5.21
nodoSud.1	3.16	0.4
J11 (Pluviali 30,31,49,23)	3.35	3.65
NodoOvest	1.82	0.4
nodoSud.2	3.02	0.4

Figura 5.2- Sintesi caratteristiche Junctions Nuvola Lavazza

5.1.2 Scarichi (Outfalls)

Si è deciso di modellare due tipologie differenti di scarichi a seconda della destinazione del flusso idrico:

- 2 Outfalls per fognatura, la cui collocazione (lato corso Palermo e lato via Ancona) è stata definita in base alla documentazione a disposizione fornita da Lavazza;
- 13 Outfalls per irrigazione, i quali sono stati posizionati in prossimità di tutte le aree verdi irrigate. A livello pratico, a differenza dei precedenti non scaricano l'acqua fuori dal sistema, ma la depositano su un subcatchment (contenente aiuole o tetti verdi) di riferimento tramite la funzione "route to"di SWMM.

Di seguito, nella tabella in figura 5.3, sono sinteticamente elencate le caratteristiche degli scarichi in termini di invert elevation (quota della base rispetto al piano di riferimento, posto a 7 metri di profondità dal piano campagna) ed eventuale subcatchment di riferimento in cui si prevede irrigazione:

Nome	Elevation [m]	Sottobacino (subcatchment) irrigato
fogn_1	3	-
fogn_2	3	-
i_1	7	S.T.2.2
i_2	7	S.T.2.1
i_3	14	S.3.2.gr
i_4	17	S.4.1
i_5	17	S.4.2
i_6	14	S.3.3.gr
i_7	14	S.3.4.gr
i_8	17	S.4.4
i_9	17	S.4.3
i_10	7	S.T.9
i_11	7	S.T.10
i_12	7	S.T.4.1.gr
i_13	7	S.T.4.2.gr

Figura 5.3- Sintesi caratteristiche Outfalls Nuvola Lavazza

5.1.3 Serbatoi (Storage Units)

Data la presenza di due vasche di raccolta acqua piovana da progetto, sono stati inseriti altrettanti serbatoi nelle rispettive posizioni lato nord e lato sud. Noti i volumi utili di accumulo si è deciso di modellare le due storage units come elementi a sezione rettangolare per semplicità, assegnando loro inoltre dei valori iniziali di livello idrico proporzionalmente ragionevoli. D'altra parte sono state inserite altre 4 vasche fittizie a sezione rettangolare di dimensioni molto elevate al fin di sfruttare la loro capacità di immagazzinamento per andare a quantificare la risorsa idrica durante le simulazioni eseguite con SWMM. Nello specifico i serbatoi introdotti sono i seguenti:

- "WC", ossia la storage unit incaricata di accogliere e quantificare i volumi annuali di acqua indirizzati agli scarichi dei WC.
- "Irr", ossia una storage unit intermedia che ha lo scopo di ricevere flusso idrico dalla vasca nord e dunque, tramite un sistema di pompe adeguatamente dimensionato in SWMM procedere a ridistribuire l'acqua verso le aree verdi da irrigare in maniera proporzionale all'estensione delle stesse.
- "Out.Vasca1" e "Out.Vasca2", ossia le storage units incaricate di accogliere e quantificare i volumi annuali di risorsa idrica indirizzati in fognatura derivanti dal troppo pieno delle due vasche di raccolta acqua piovana (Vasca1 e Vasca2).

Di seguito, nella tabella in figura 5.4, sono sinteticamente elencate le caratteristiche dei serbatoi in termini di invert elevation (quota della base rispetto al piano di riferimento, posto a 7 metri di profondità dal piano campagna), max depth (altezza massima della vasca, superata la quale parte l'acqua viene sfiorata in fognatura tramite opportuna condotta), initial depth (altezza iniziale del livello idrico), shape curve (forma) e valore del coefficiente "A" della shape curve (cioè l'area della sezione trasversale vasca):

Nome	Invert elevation [m]	Max Depth [m]	Initial Depth [m]	Shape curve	Area sezione trasversale [m^2]
Vasca1	0	5	2.5	FUNCTIONAL	66
Vasca2	0	2.5	1	FUNCTIONAL	106
WC	0	3	0	FUNCTIONAL	100000
irr	0	3	0	FUNCTIONAL	100000
Out.Vasca2	0	5	0	FUNCTIONAL	100000000
Out.Vasca1	0	5	0	FUNCTIONAL	100000000

Figura 5.4- Sintesi caratteristiche Storage Units Nuvola Lavazza

5.1.4 Condotte (Links)

Si è proceduto a rappresentare su SWMM la fitta rete di 19 links a sezione circolare che andasse a collegare i junctions, storage units e outfalls sulla falsa riga di quanto proposto nella documentazione a disposizione fornita dalla Lavazza. Di seguito, nella tabella in figura 5.5, sono sinteticamente elencate le caratteristiche delle condotte in termini di lunghezza, scabrezza, nodi in ingresso e in uscita della condotta e le rispettive quote (Inlet e Outlet offset) riferite alla base degli dei Junction, Outfall oppure Storage Units associati ai nodi stessi:

Nome	Nodo di partenza	Nodo di arrivo	Lunghezza [m]	Scabrezza [-]	InOffset [m]	OutOffset [m]
L1	J1	Vasca1	11	0.01	0	4.2
L4	J4	J3	27	0.01	0	0
L3	J3	J2	33	0.01	0	0
L7	J6	nodoNord	7	0.01	0	0
L6	J5	nodoNord	36	0.01	0	0
L15	nodoSud.1	nodoSud.2	46	0.01	0	0
L19	J14	nodoSud.2	14	0.01	0	0
L16	J12	nodoSud.1	29	0.01	0	0
L17	J11	J12	36	0.01	0	0
L10	J8	NodoOvest	7	0.01	0	0
L11	NodoOvest	J10	11	0.01	0	0
L9	J9	NodoOvest	33	0.01	0	0
L18	J13	J14	110	0.01	0	0
L8	nodoNord	fogn_1	16	0.01	0	0
Lout1	Vasca1	Out.Vasca1	22	0.01	4.2	1
Lout2	Vasca2	Out.Vasca2	72	0.01	1.7	1
L2	J2	Vasca1	23	0.01	0	4.2
L5	J10	Vasca2	29	0.01	0	1.7
L20	nodoSud.2	fogn_2	6	0.01	0	0

Figura 5.5- Sintesi caratteristiche Links Nuvola Lavazza

Bisogna specificare che per quanto riguarda le condotte “Lout1” (da vasca nord al serbatoio fittizio relativo alla fognatura “Out.Vasca1”) e “Lout2” (da vasca sud al serbatoio fittizio relativo alla fognatura “Out.Vasca2”) sono state introdotte delle regole di funzionamento che prevedono di aprire le condotte solo se determinate condizioni di altezza di flusso idrico massimo (altezze galleggianti superiori) nei serbatoi di partenza siano rispettate. Le suddette regole sono implementabili su SWMM andando a inserire opportune linee di codice all’interno del pannello “Controls” (figura 5.6), situato nella sezione “Links”, a sua volta dentro la finestra “Hydraulics”.

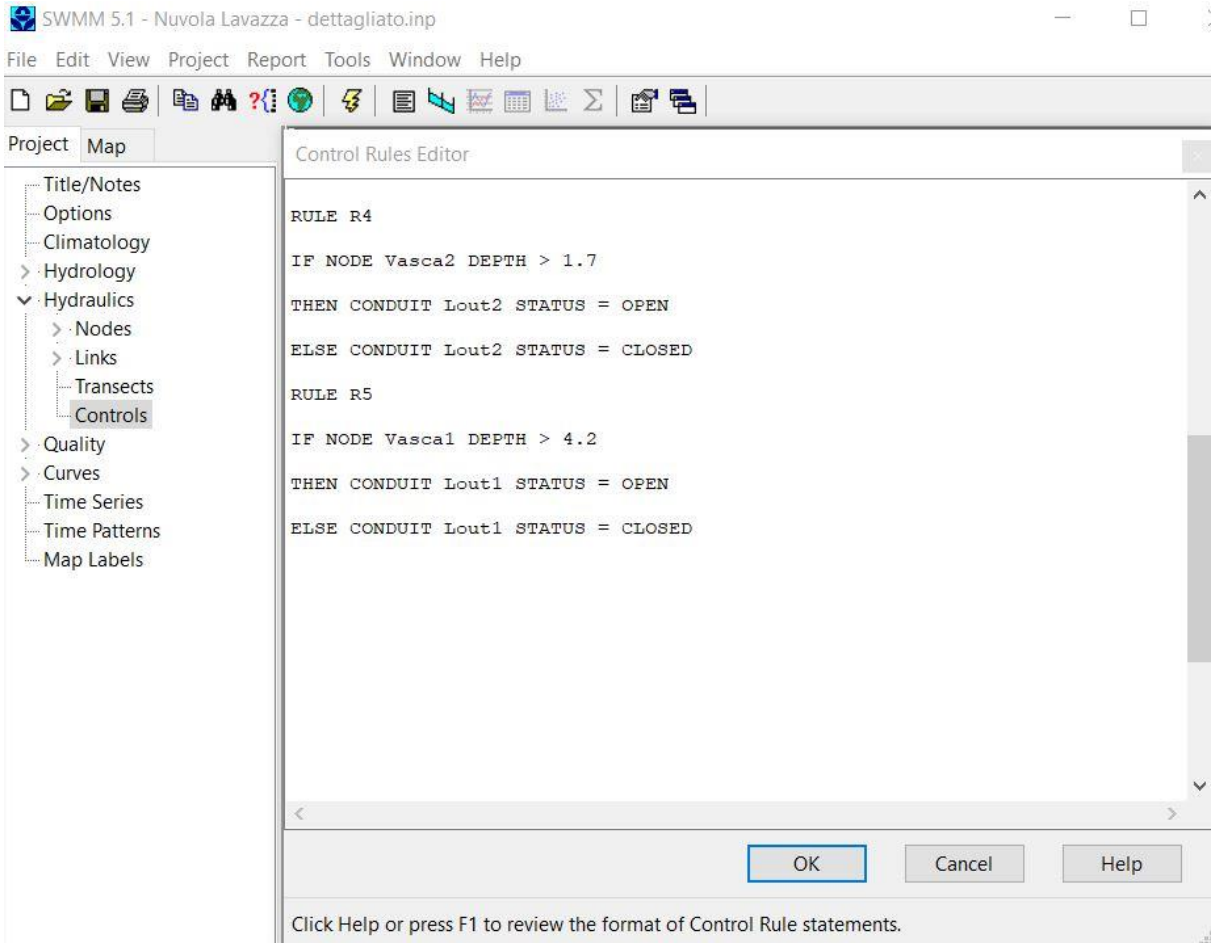


Figura 5.6- Codici relativi alle regole di funzionamento condotte Lout1 e Lout2

5.1.5 Pompe (Pumps)

Si è introdotta primariamente un elemento pump in grado di indirizzare flusso idrico dalla vasca sud alla vasca nord, seguendo il processo di funzionamento dell'impianto di pompaggio reale della Nuvola Lavazza. Dopodiché si è proceduto a inserire una coppia di pompe aventi l'obiettivo di prelevare l'acqua presente nella vasca nord e mandarla rispettivamente nel serbatoio fittizio "WC" (adibito a contenere i volumi annuali di acqua destinata ai WC) e nel serbatoio fittizio intermedio "irr" (adibito a contenere i volumi annuali di acqua destinata all'irrigazione). A quel punto sono state immesse nel modello ulteriori 13 pompe necessarie per irrigare le altrettante aree verdi (tetti verdi e sistemi di aiuole), le quali sono riconosciute da SWMM come subcatchments. Di seguito, nella tabella in figura 5.7, sono sinteticamente elencate le caratteristiche delle pompe in termini di nodi in ingresso e in uscita della pompa, nomi identificativi delle rispettive curve di funzionamento e infine stati iniziali:

Nome	Nodo di partenza	Nodo di arrivo	Curva	Stato iniziale
pump_1	Vasca1	irr	Irrigazione	OFF
pump_2	Vasca1	WC	WC	OFF
pump_3	Vasca2	Vasca1	riemp_vascaNord	OFF
irr_1	irr	i_1	Irrigazione_1	ON
irr_2	irr	i_2	Irrigazione_2	ON
irr_3	irr	i_3	Irrigazione_3	ON
irr_4	irr	i_4	Irrigazione_4	ON
irr_5	irr	i_5	Irrigazione_5	ON
irr_6	irr	i_6	Irrgiazione_6	ON
irr_7	irr	i_7	Irrigazione_7	ON
irr_8	irr	i_8	Irrigazione_8	ON
irr_9	irr	i_9	Irrigazione_9	ON
irr_10	irr	i_10	Irrigazione_10	ON
irr_11	irr	i_11	Irrigazione_11	ON
irr_12	irr	i_12	Irrigazione_12	ON
irr_13	irr	i_13	Irrigazione_13	ON

Figura 5.7- Sintesi caratteristiche Pumps Nuvola Lavazza

Bisogna specificare che la totalità delle curve associate alle pompe prevede di emettere portata in funzione dell'altezza del livello idrico nel nodo di partenza, ma naturalmente i valori di portata di ciascuna pompa differiscono tra loro sulla base di una molteplicità di considerazioni effettuate relativamente ai differenti consumi legati all'irrigazione e alla ricarica delle cassette dei WC. Inoltre, per quanto riguarda le pompe "pump_1" (da vasca nord al serbatoio fittizio intermedio dell'irrigazione "irr"), "pump_2" (da vasca nord al serbatoio fittizio "WC") e "pump_3" (da vasca sud a vasca nord) sono state introdotte delle regole di funzionamento che prevedono di accendere le pompe solo se determinate condizioni di altezza di flusso idrico minimo (altezze galleggianti inferiori) nei serbatoi di partenza siano rispettate. Nel caso dell'irrigazione, sono stati dettati dei comandi al fin di impostare un periodo specifico dell'anno in cui spegnere le pumps (da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre nell'arco di un funzionamento annuale). Le suddette regole sono

implementabili su SWMM andando a inserire opportune linee di codice all'interno del pannello "Controls" (figura 5.8), situato nella sezione "Links", a sua volta dentro la finestra "Hydraulics".

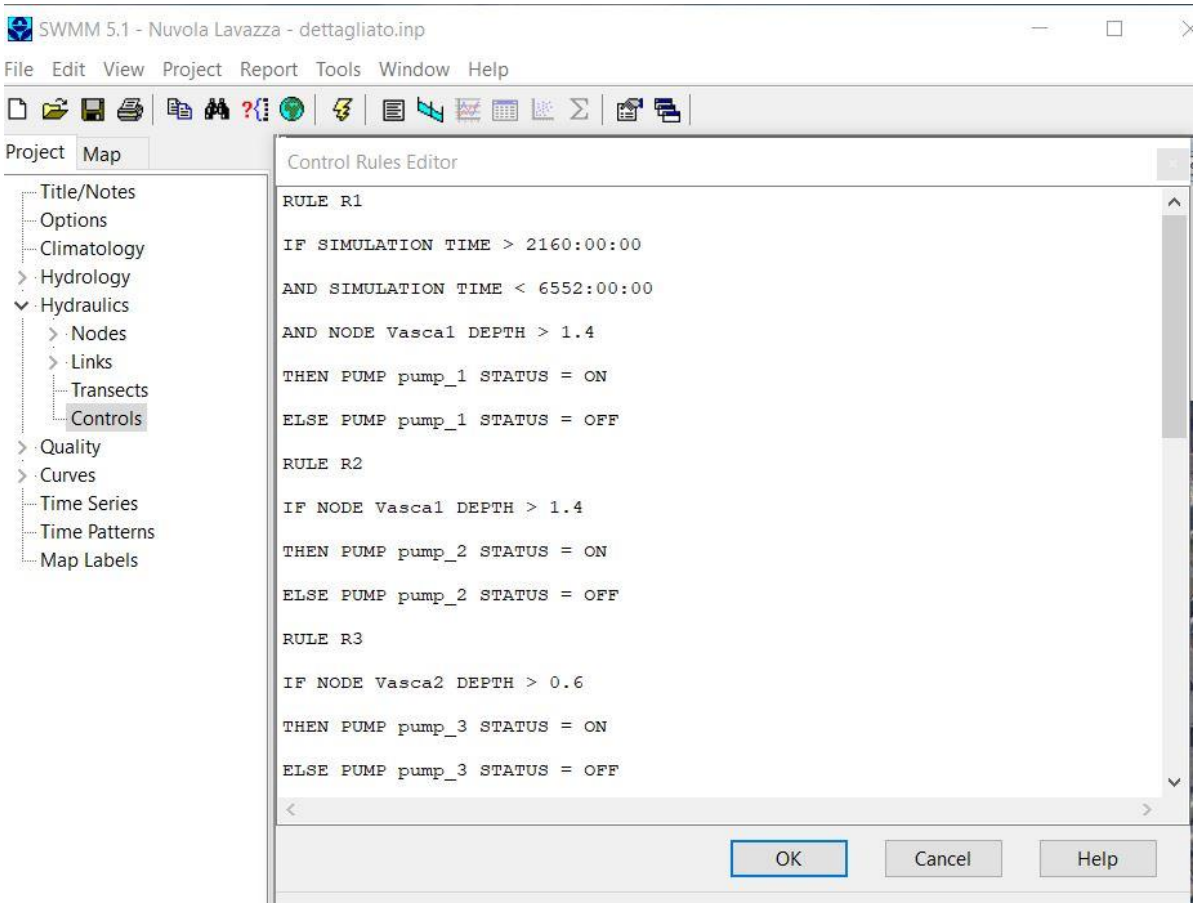


Figura 5.8- Codici relativi alle regole di funzionamento pompe pump_1, pump_2 e pump_3

5.2 Modellazione comparto idrologico

Di seguito sono elencate le modalità tramite le quali sono stati modellati gli elementi del comparto idrologico su SWMM.

5.2.1 Sottobacini (subcatchments)

Osservando le posizioni dei vari pluviali e caditoie nei documenti forniti, si è deciso di suddividere l'area di interesse in 28 sottobacini in grado di accogliere risorsa idrica. Di seguito, nella tabella in figura 5.9, sono sinteticamente elencate le caratteristiche dei sottobacini in termini di nodi in uscita, aree, width (larghezza), pendenza, % imperv (percentuale di area impermeabile nel subcatchment), coefficiente di Manning delle aree impermeabili e infine pluviometro associato:

Nome	Pluviometro	Nodo in uscita	Area [ha]	Imperv [%]	Coefficiente Manning aree impermeabili [-]	Width	Pendenza [%]
S.1	Pluviometro_Torino	J4	0.134	100	0.01	18.1	1.5
S.T.8	Pluviometro_Torino	J13	0.049	100	0.01	10	0.6
S.T.5	Pluviometro_Torino	J14	0.058	100	0.01	11.4	1
S.T.1	Pluviometro_Torino	J1	0.166	100	0.01	12.7	0.5
S.T.6	Pluviometro_Torino	J14	0.029	100	0.01	4	1
S.T.7	Pluviometro_Torino	J11	0.019	100	0.01	4.3	0.5
S.T.3	Pluviometro_Torino	J4	0.013	100	0.01	1.8	1
S.4.1	Pluviometro_Torino	J6	0.093	100	0.01	11.6	2
S.4.2	Pluviometro_Torino	J9	0.081	100	0.01	19.3	2
S.4.3	Pluviometro_Torino	J9	0.036	100	0.01	9.7	1.5
S.4.4	Pluviometro_Torino	J12	0.019	100	0.01	7.6	1.5
S.3.1	Pluviometro_Torino	J6	0.09	100	0.01	20	1
S.T.9	Pluviometro_Torino	J13	0.08	100	0.01	20	0.5
S.T.10	Pluviometro_Torino	J11	0.034	100	0.01	11.3	1.5
S.3.4	Pluviometro_Torino	J12	0.024	100	0.01	8	0.5
S.3.3	Pluviometro_Torino	J9	0.051	100	0.01	7	1.5
S.3.2	Pluviometro_Torino	J6	0.0799	100	0.01	9.5	1.5
S.6.2	Pluviometro_Torino	J3	0.09	100	0.01	36	1
S.6.1	Pluviometro_Torino	J2	0.078	100	0.01	27.9	1
S.T.2.1	Pluviometro_Torino	J6	0.057	100	0.01	13.3	1
S.T.2.2	Pluviometro_Torino	J5	0.013	100	0.01	6.2	1
S.T.4.2	Pluviometro_Torino	J10	0.011	100	0.01	8.5	1
S.T.4.1	Pluviometro_Torino	J8	0.174	100	0.01	20.2	1.5
S.T.4.1.gr	Pluviometro_Torino	J8	0.027	100	0.01	3.6	1.5
S.3.2.gr	Pluviometro_Torino	J6	0.0281	100	0.01	3.3	1.5
S.3.3.gr	Pluviometro_Torino	J9	0.028	100	0.01	3.8	1.5
S.3.4.gr	Pluviometro_Torino	J12	0.026	100	0.01	8.7	0.5
S.T.4.2.gr	Pluviometro_Torino	nodoSud.2	0.362	100	0.01	3	0.5

Figura 5.9- Sintesi caratteristiche Subcatchments Nuvola Lavazza

Inoltre, una buona parte dei subcatchment sono stati associati a unità LID di tipo “green roof” sia nel caso in cui presentassero veri e propri tetti verdi (quarto piano Nuvola Lavazza) o invece aiuole (piano terra e terzo piano Nuvola Lavazza) in quanto SWMM li riconosce come un unico elemento. Di seguito dunque si presenta una tabella riepilogativa (figura 5.10) che mette in evidenza i sottobacini provvisti di unità LID e la tipologia di area verde presente in essi nella realtà:

Subcatchment	LID associata	Tipologia di area verde
S.4.1	ROOFP4	tetto verde
S.4.2	ROOFP4	tetto verde
S.4.3	ROOFP4	tetto verde
S.4.4	ROOFP4	tetto verde
S.T.9	RoofPT.9.10	aiuole
S.T.10	RoofPT.9.10	aiuole
S.T.2.1	RoofPT.2	aiuole
S.T.2.2	RoofPT.2	aiuole
S.T.4.1.gr	RoofPT.4	aiuole
S.3.2.gr	RoofP3.2	aiuole
S.3.3.gr	RoofP3.3	aiuole
S.3.4.gr	RoofP3.4	aiuole
S.T.4.2.gr	RoofPT.4	aiuole

Figura 5.10- Sintesi Subcatchments provvisti di unità LID Nuvola Lavazza

5.2.2 Pluviometro (rain gage)

Affinchè SWMM possa svolgere i propri compiti di simulazione, è stato necessario introdurre un elemento rain gage. Tramite esso è stato possibile inserire i dati di pioggia (Timeseries) legati all'area in esame in termini di intensità di pioggia con intervallo un determinato (ex.orario). Sono state inserite molteplici timeseries con durata annuale rispettivamente legate a dati pluviometrici di anni passati e di anni futuri. Questi ultimi sono stati elaborati tenendo conto degli scenari di cambiamento climatico attesi dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Di seguito, nella tabella in figura 5.11, sono sinteticamente elencate le caratteristiche del pluviometro relativo all'area di studio, mentre in figura 5.12 si riporta un esempio di porzione di timeseries inserita nel rain gage di interesse.

Nome	Formato	Intervallo	Fonte dati pioggia	Nome Timeseries
Pluviometro_Torino	INTENSITY	1:00	TIMESERIES	ACCESS-CM2_Historical_1

Figura 5.11- Sintesi caratteristiche Rain gage Nuvola Lavazza

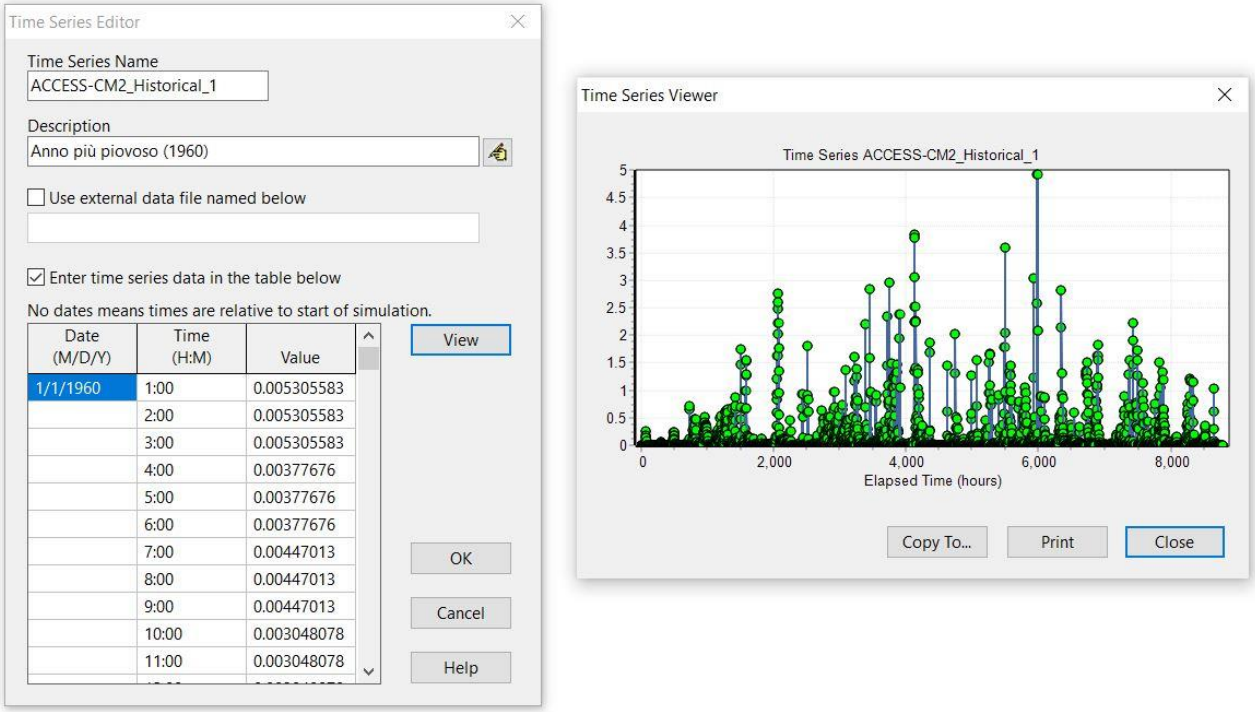


Figura 5.12- Esempio di timeseries inserita nel rain gage Nuvola Lavazza

5.3 Modellazione unità LID

Come già anticipato nel sotto paragrafo 5.2.1, a una buona parte dei subcatchment unità LID sottoforma di green roof. Per andare a realizzare un green roof su SWMM è stato necessario sfruttare, nella finestra Hydrology, una particolare opzione denominata “LID controls”. A quel punto, selezionato un opportuno subcatchment e aperta la finestra (figura 5.13) associata ad esso, il software è stato in grado di associare ad sottobacino un’unità LID che può andarlo a ricoprire parzialmente o totalmente.

Subcatchment S.T.4.1.gr

Property	Value
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	1
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	

Figura 5.13-Opzione Lid Controls nella finestra dedicata di un generico Subcatchment

Una volta effettuata tale operazione si ha come effetto quello di modificare la capacità di deflusso superficiale (runoff) e infiltrazione del subcatchment , sulla falsa riga di ciò che avviene nella realtà. A questo punto si è entrati nel merito della definizione dei parametri del green roof, che il software schematizza come un insieme di tre strati sovrapposti (surface, soil e drainage mat), osservabili in figura 5.14.

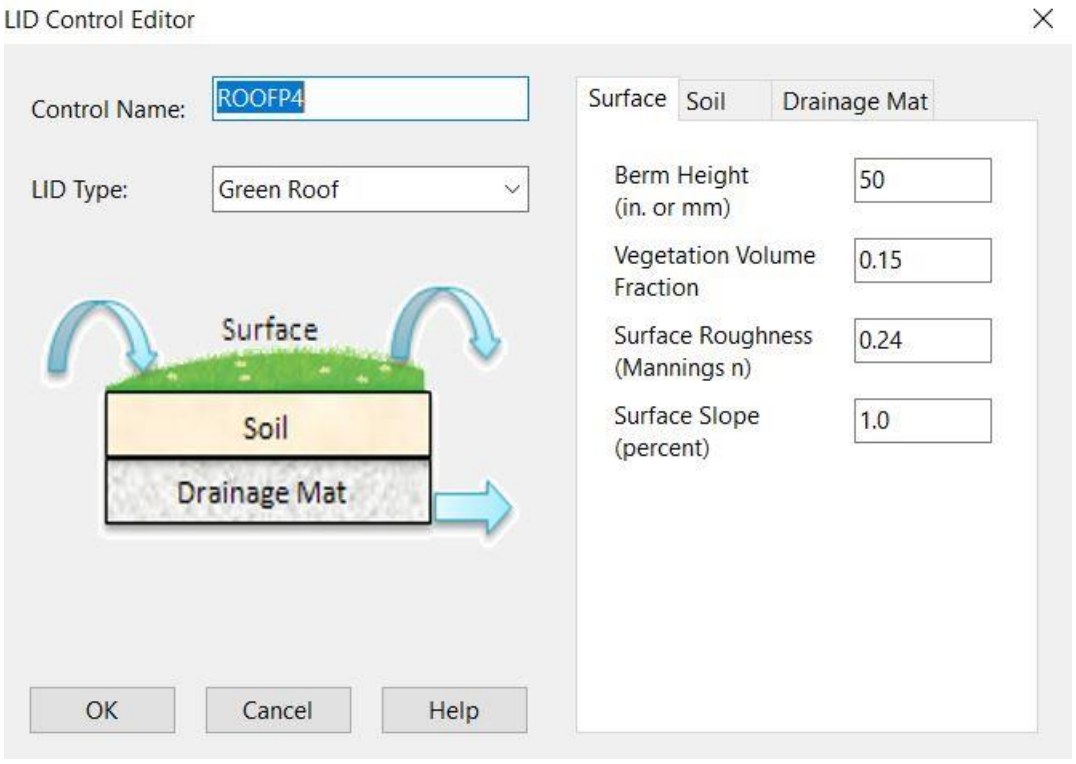


Figura 5.14-Schema dei layer caratterizzanti i green roof su SWMM

Di seguito sono elencati i parametri da definire relativamente al surface layer (strato superficiale):

1- Berm height (o storage depth), ossia l'altezza massima che l'acqua può raggiungere al di sopra della superficie prima del trabocco;
2- Vegetaztion Volume fraction, ossia la quota parte di volume superficiale occupata da vegetazione;
3- Surface Roughness, ossia la scabrezza superficiale espressa tramite il coefficiente di Manning;
4- Surface slope, ossia la pendenza dello strato superficiale.

Di seguito sono elencati i parametri da definire relativamente al soil layer (strato di suolo):

1- Thickness, ossia lo spessore dello strato di suolo;
2- Porosity, ossia la porosità dello strato di suolo;
3- Field capacity, ossia il volume di acqua all'interno dei pori quando lo strato di suolo è completamente saturo rapportato al volume totale;
4- Wilting Point, ossia il volume di acqua minima all'interno dei pori quando il terreno è asciutto rapportato al volume totale;
5- Conductivity, ossia la conduttività idraulica nel caso di terreno completamente saturo;
6- Conductivity slope, ossia la pendenza della curva logaritmica della conducibilità rispetto al contenuto di umidità;
7- Suction Head, ossia il valore medio della suzione capillare lungo il fronte umido.

Di seguito sono elencati i parametri da definire relativamente al drainage mat layer (tappeto di drenaggio):

1- Thickness, ossia lo spessore dello strato di tappeto di drenaggio;
2- Void fraction, ossia la frazione di vuoti nel tappeto di drenaggio;
3- Roughness, ossia la scabrezza del tappeto di drenaggio espressa tramite il coefficiente di Manning.

In conclusione si riportano una serie di tabelle (figura 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22) aventi lo scopo di sintetizzare i valori assegnati ai parametri dei layer dei green roof (tetti verdi e aiuole) posti negli opportuni sottobacini del quartier generale della Lavazza. Tali parametri sono stati definiti in seguito a suggerimenti del software, ricerche bibliografiche e opportuno sopralluogo sul posto.

RoofPT.9.10 (Aiuole piano terra incrocio corso Palermo-via Ancona)					
Parametri	SURFACE	Parametri	SOIL	Parametri	DRAINMAT
Berm Height [mm]	50	Thickness [mm]	700	Thickness [mm]	25
Vegetation Volume fraction [-]	0.15	Porosity [-]	0.437	Void Fraction [-]	0.5
Surface Roughness (Manning) [-]	0.24	Field Capacity [-]	0.105	Roughness (Manning) [-]	0.25
Surface Slope [%]	1	Wilting Point [-]	0.047		
		Conductivity [mm/h]	30		
		Conductivity slope [-]	40		
		Suction Head [mm]	61		

Figura 5.15-Schema dei parametri dei layer caratterizzanti le aiuole piano terra incrocio tra corso Palermo e via Ancona

ROOFP4 (Tetto verde quarto piano)					
Parametri	SURFACE	Parametri	SOIL	Parametri	DRAINMAT
Berm Height [mm]	50	Thickness [mm]	115	Thickness [mm]	25
Vegetation Volume fraction [-]	0.15	Porosity [-]	0.437	Void Fraction [-]	0.5
Surface Roughness (Manning) [-]	0.24	Field Capacity [-]	0.105	Roughness (Manning) [-]	0.25
Surface Slope [%]	1	Wilting Point [-]	0.047		
		Conductivity [mm/h]	6000		
		Conductivity slope [-]	40		
		Suction Head [mm]	61		

Figura 5.16-Schema dei parametri dei layer caratterizzanti il tetto verde quarto piano

RoofP3.4 (Aiuole terzo piano)					
Parametri	SURFACE	Parametri	SOIL	Parametri	DRAINMAT
Berm Height [mm]	50	Thickness [mm]	650	Thickness [mm]	25
Vegetation Volume fraction [-]	0.15	Porosity [-]	0.437	Void Fraction [-]	0.5
Surface Roughness (Manning) [-]	0.24	Field Capacity [-]	0.105	Roughness (Manning) [-]	0.25
Surface Slope [%]	1	Wilting Point [-]	0.047		
		Conductivity [mm/h]	30		
		Conductivity slope [-]	40		
		Suction Head [mm]	61		

Figura 5.17-Schema dei parametri dei layer caratterizzanti le aiuole terzo piano

RoofP3.2 (Aiuole terzo piano)					
Parametri	SURFACE	Parametri	SOIL	Parametri	DRAINMAT
Berm Height [mm]	50	Thickness [mm]	650	Thickness [mm]	25
Vegetation Volume fraction [-]	0.15	Porosity [-]	0.437	Void Fraction [-]	0.5
Surface Roughness (Manning) [-]	0.24	Field Capacity [-]	0.105	Roughness (Manning) [-]	0.25
Surface Slope [%]	1	Wilting Point [-]	0.047		
		Conductivity [mm/h]	30		
		Conductivity slope [-]	40		
		Suction Head [mm]	61		

Figura 5.18-Schema dei parametri dei layer caratterizzanti le aiuole terzo piano

RoofP3.3 (Aiuole terzo piano)					
Parametri	SURFACE	Parametri	SOIL	Parametri	DRAINMAT
Berm Height [mm]	50	Thickness [mm]	650	Thickness [mm]	25
Vegetation Volume fraction [-]	0.15	Porosity [-]	0.437	Void Fraction [-]	0.5
Surface Roughness (Manning) [-]	0.24	Field Capacity [-]	0.105	Roughness (Manning) [-]	0.25
Surface Slope [%]	1	Wilting Point [-]	0.047		
		Conductivity [mm/h]	30		
		Conductivity slope [-]	40		
		Suction Head [mm]	61		

Figura 5.19-Schema dei parametri dei layer caratterizzanti le aiuole terzo piano

RoofPT.2 (Aiuole piano terra corso Palermo)					
Parametri	SURFACE	Parametri	SOIL	Parametri	DRAINMAT
Berm Height [mm]	50	Thickness [mm]	500	Thickness [mm]	25
Vegetation Volume fraction [-]	0.15	Porosity [-]	0.437	Void Fraction [-]	0.5
Surface Roughness (Manning) [-]	0.24	Field Capacity [-]	0.105	Roughness (Manning) [-]	0.25
Surface Slope [%]	1	Wilting Point [-]	0.047		
		Conductivity [mm/h]	30		
		Conductivity slope [-]	40		
		Suction Head [mm]	61		

Figura 5.20-Schema dei parametri dei layer caratterizzanti le aiuole piano terra corso Palermo

RoofPT.4 (Aiuole piano terra via Bologna)					
Parametri	**SURFACE**	**Parametri**	**SOIL**	**Parametri**	**DRAINMAT**
Berm Height [mm]	**50**	**Thickness [mm]**	**650**	**Thickness [mm]**	**25**
Vegetation Volume fraction [-]	**0.15**	**Porosity [-]**	**0.437**	**Void Fraction [-]**	**0.5**
Surface Roughness (Manning) [-]	**0.24**	**Field Capacity [-]**	**0.105**	**Roughness (Manning) [-]**	**0.25**
Surface Slope [%]	**1**	**Wilting Point [-]**	**0.047**		
		Conductivity [mm/h]	**30**		
		Conductivity slope [-]	**40**		
		Suction Head [mm]	**61**		

Figura 5.21-Schema dei parametri dei layer caratterizzanti le aiuole piano terra comprese tra via Bologna e via Ancona

5.4 Settaggio dati di evapotraspirazione

Affinché le simulazioni in SWMM forniscano risultati attendibili è necessario inserire gli adeguati dati di evapotraspirazione ai subcatchment. In seguito a ricerche bibliografiche legate alla zona di studio, è stata sfruttata la specifica funzionalità del software che permette di inserire i valori di evaporation con cadenza mensile espressi in figura 5.22:

Monthly Evaporation (mm/day)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
0.17	0.42	1.16	1.75	3.1	4.33

Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
4.93	4.48	2.76	1.5	0.58	0.2

Figura 5.21-Valori mensili di evapotraspirazione

CAPITOLO 6

PROCESSO DI SIMULAZIONE E OSSERVAZIONI SUI RISULTATI

In questo capitolo si procede a definire i differenti processi di simulazione annuale effettuati per comprendere l'efficienza dell'impianto di recupero delle acque meteoriche all'interno della Nuvola Lavazza, effettuando un confronto tra la situazione attuale e quella futura, fortemente influenzata dai cambiamenti climatici. Per una maggiore comprensione, nel corrente capitolo sono inoltre stati allegati un insieme di tabelle e grafici. Infine, a partire dai risultati ottenuti, sono stati sviluppati opportune osservazioni.

6.1 Simulazioni annuali relative allo storico

La prima parte dell'analisi è stata improntata sulla simulazione delle condizioni idrologiche attuali, relative alla Nuvola Lavazza. Tali serie temporali hanno risoluzione pari a 3 ore, sono definite come "Historical" e coprono l'arco temporale che va dal 1850 al 2014. In sostanza sono state elaborate e ricavate a partire da 16 modelli CMIP6, i quali sono stati realizzati facendo coincidere le medie annuali di precipitazione nel periodo che va dal 1971 al 2000 con quelle registrate effettivamente a Torino nello stesso periodo, ossia 872.1 mm/anno. Proprio per questo motivo le serie temporali in questione sono definite come "bias corrected". Di seguito sono elencati i modelli sopra citati:

1) ACCESS-CM2;
2) AWI_CM-1-1MR;
3) BCC-CSM2-MR;
4) CMCC-CM2-SR5;
5) CMCC-ESM2;
6) EC-Earth3;
7) EC-Earth3-Veg;
8) GFDL-ESM4;
9) IITM_ESM;
10) KIOST-ESM;
11) MIROC6;
12) MPI-ESM1-2-HR;
13) MPI-ESM1-2-LR;
14) NESM3;

15) IPSL-CM6A-LR;

16) MRI-ESM2-0.

Successivamente, dopo un'attenta analisi delle serie disponibili, sono state selezionate due tipologie di anni rappresentativi, cioè l'anno a più bassa piovosità e l'anno a più alta piovosità per ogni modello. Per cui sono state ottenute due categorie di 16 serie, per un totale di 32 serie temporali da inserire in altrettante simulazioni in SWMM. Data la mole elevata di dati, al fin di raggruppare in maniera sintetica e allo stesso tempo concisa gli output ottenuti si è deciso di calcolare la media e deviazione standard dei risultati più interessanti fuoriusciti dai processi simulativi del software.

6.1.1 Anno (medio) a più bassa piovosità

Di seguito si presenta una selezione relativa agli output forniti da SWMM ritenuti di maggior interesse per gli scopi del documento realizzato.

	Media	Dev standard
Parametri sistema	Altezza [mm]	Altezza [mm]
Precipitazione	574.6	44.7
Evapotraspirazione	212.8	20.2
Runoff	189.3	24.5

Figura 6.1-Tabella riepilogativa dei parametri del sistema Nuvola Lavazza (storico)

Come mostrato dalla tabella in figura 6.1, si mostra il comportamento globale del sistema relativo alla Nuvola Lavazza sotto forma di altezza di precipitazione, evapotraspirazione e runoff (inteso naturalmente come scorrimento superficiale sul sottobacino al netto della quantità d'acqua drenata dalle unità LID). Si registra un comportamento complessivamente accettabile del sistema in quanto il valore di runoff totale risulta praticamente dimezzato rispetto a quello di precipitazione ricadente nell'area, grazie in particolare alla presenza delle unità LID.

Nello specifico, tramite grafico in figura 6.2, si riesce ad apprezzare in maniera chiara il bilancio idrologico del sistema Nuvola Lavazza, ponendo in risalto il flusso in entrata e in uscita dovuto alle sole acque meteoriche, fulcro del problema in analisi.

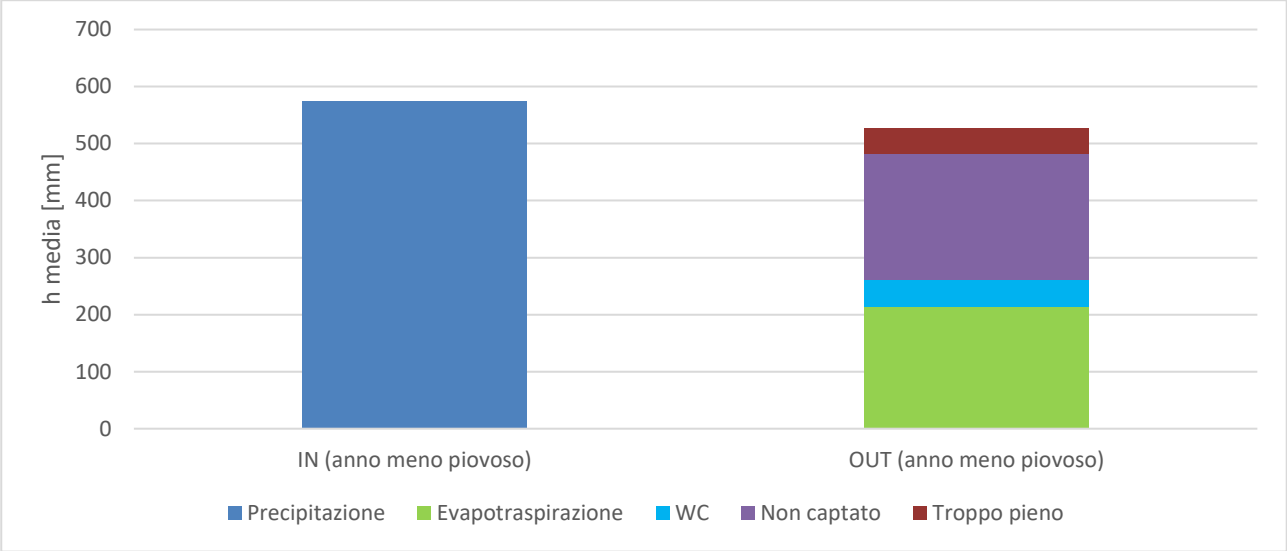


Figura 6.2- Bilancio idrologico del sistema Nuvola Lavazza (storico)

Si evidenzia, a questo proposito, che la percentuale più grande di acqua piovana caduta nella zona di interesse viene gettata in fognatura. D'altra parte, osservando il grafico in figura 6.2, è stata messa in evidenza una importante distinzione in due voci riguardo l'acqua indirizzata in fognatura:

- "Non captato" (219.2 mm), ossia la quantità di acqua non indirizzata verso le vasche di raccolta, ma direttamente in fognatura. Infatti, all'interno del quartier generale della Lavazza, vi sono una serie di aree il cui complesso di pluviali e caditoie non risulta essere collegato alle vasche, ma direttamente alla rete fognaria;
- "Troppo pieno" (45.6 mm), ossia la quantità di risorsa idrica in eccesso mandata in fognatura dalle vasche di raccolta una volta terminato il riempimento delle stesse da parte del complesso di pluviali e caditoie predisposto a indirizzare acqua verso le stesse. Questo è quindi il parametro da osservare con attenzione per valutare l'efficienza dell'impianto di recupero delle acque meteoriche.

Dopo questa importante precisazione, si può dunque affermare che l'acqua scaricata in fognatura per il troppo pieno delle vasche risulta una quantità discreta (45.6±18.5 mm), ma non eccessiva. Per quanto concerne l'acqua recuperata per scopi utili (evapotraspirazione e ricarica WC) emergono valori comunque incoraggianti poiché nel complesso si raggiungono i 212.8±20.2 mm per evapotraspirazione e il 49±1.8 mm per ricarica WC.

A questo proposito, nel grafico in figura 6.3, si riporta l'incidenza media dell'acqua piovana necessaria a soddisfare la domanda idrica annuale complessiva (espressa in millimetri) legata alla gestione del sistema dei WC (88.1 mm) e dell'evapotraspirazione (776.1 mm). Si nota che l'acqua piovana riesce a soddisfare rispettivamente il 56% del complessivo annuale relativo alle ricariche dei WC e il 27% di quello relativo all'evapotraspirazione. Le restanti quote parti del fabbisogno d'acqua annuale sono di competenza dell'acquedotto.

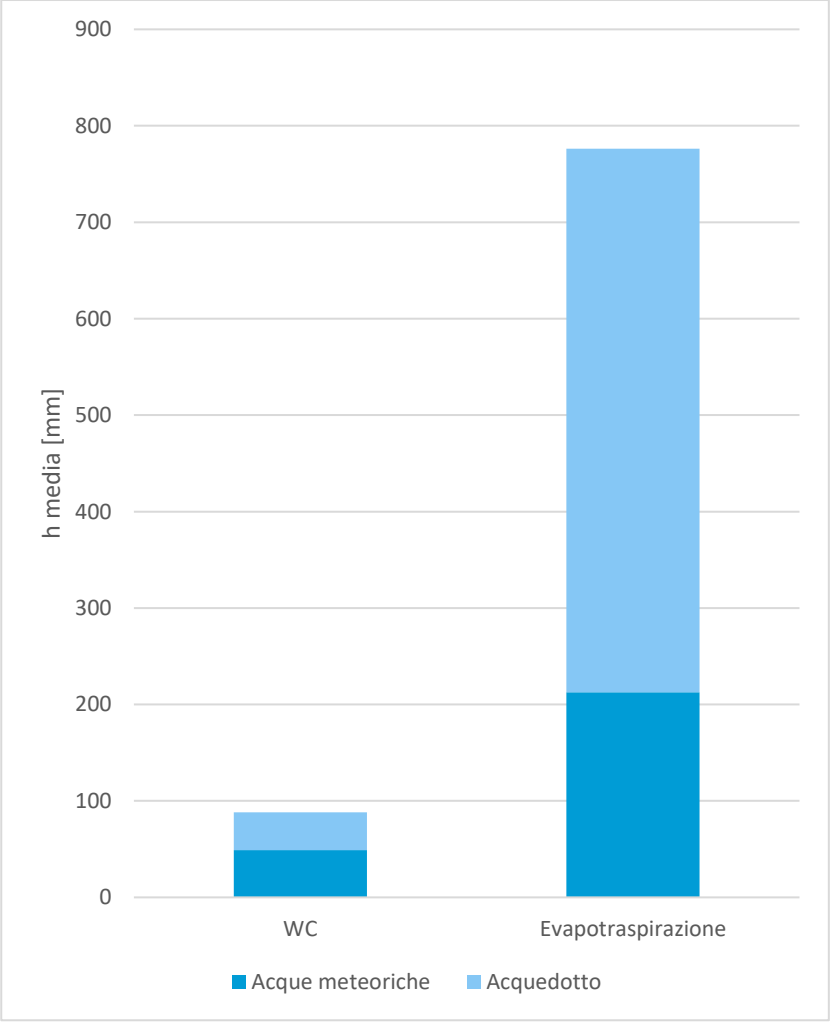


Figura 6.3- Grafico della ripartizione media dei consumi idrici totali annuali legati ai WC e evapotraspirazione presso Nuvola Lavazza (storico)

	Media	Dev standard
	Vasca di recupero acqua piovana (Vasca nord)	Vasca di recupero acqua piovana (Vasca nord)
Volume annuale in entrata [m^3]	3650	420
Volume annuale in uscita [m^3]	890	360
% risorsa idrica indirizzata in fognatura	25	9

Figura 6.4-Tabella riepilogativa dei volumi annuali in entrata e uscita dalla vasca nord della Nuvola Lavazza (storico)

Infine, come mostrato nella tabella in figura 6.4, si riportano i valori dei volumi di afflusso totali annuali in entrata e in uscita relativi alla Vasca nord, la quale è la sorgente del pompaggio dell'acqua piovana volta a soddisfare i consumi idrici dovuti a irrigazione e ricarica WC del quartier generale della Lavazza. Emerge dunque che il troppo pieno del serbatoio sfiorato in fognatura ammonta al 25±9% del volume annuale in entrata.

6.1.2 Anno (medio) a più elevata piovosità

Di seguito si presenta una selezione relativa agli output forniti da SWMM ritenuti di maggior interesse per gli scopi del documento realizzato, in analogia a quanto visto nel paragrafo precedente (6.1.1).

	Media	Dev standard
Parametri sistema	Altezza [mm]	Altezza [mm]
Precipitazione	1224.9	97.5
Evapotraspirazione	223.4	15.5
Runoff	483.1	61.3

Figura 6.5-Tabella riepilogativa dei parametri del sistema Nuvola Lavazza (storico)

Come mostrato dalla tabella in figura 6.5, si registra anche in questo caso un comportamento complessivamente accettabile del sistema in quanto il valore di runoff risulta più che dimezzato rispetto a quello di precipitazione ricadente nell'area, grazie in particolare alla presenza delle unità LID.

Nello specifico, tramite grafico in figura 6.6, si riesce ad apprezzare in maniera chiara il bilancio idrologico del sistema Nuvola Lavazza, ponendo in risalto il flusso in entrata e in uscita dovuto alle sole acque meteoriche, fulcro del problema in analisi.

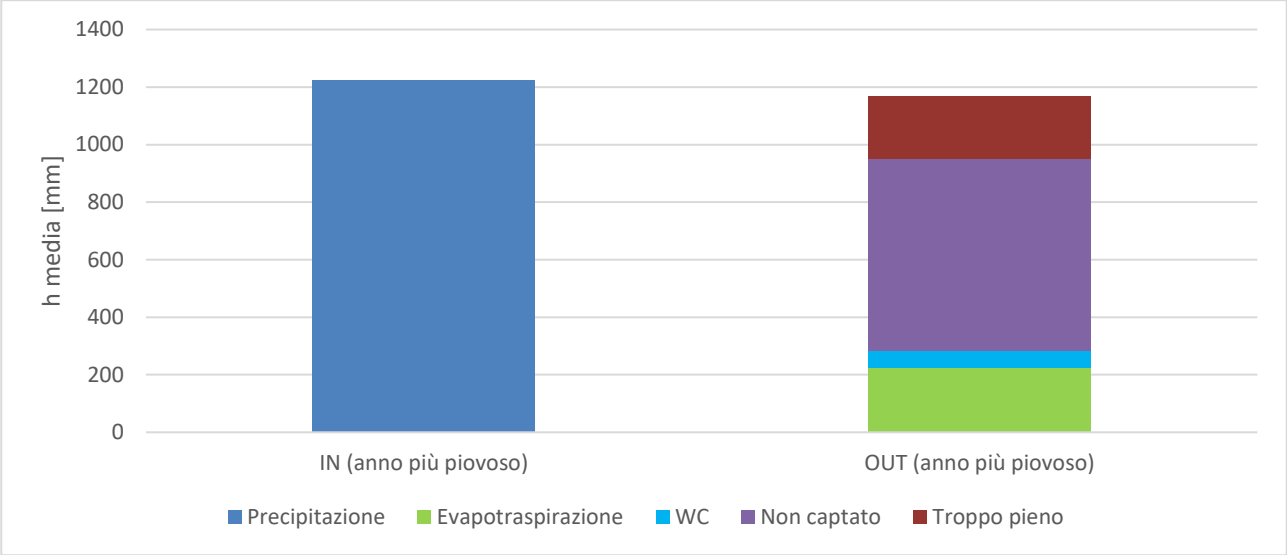


Figura 6.6- Bilancio idrologico del sistema Nuvola Lavazza (storico)

Si evidenzia, a questo proposito, che la percentuale più grande di acqua piovana caduta nella zona di interesse viene gettata in fognatura. D'altra parte, osservando il grafico in figura 6.6, seppur la risorsa idrica non captata sia molto elevata (667±71 mm) si può affermare che l'acqua scaricata in fognatura per il troppo pieno delle vasche risulta una quantità rilevante (216.3±51.5 mm), ma non eccessiva in proporzione alla precipitazione totale (1224.9±97.5 mm). Per quanto concerne l'acqua recuperata per scopi utili (evapotraspirazione e ricarica WC) emergono valori comunque incoraggianti poiché nel complesso si raggiungono 223.4±15.5 mm per evapotraspirazione e il 60.1±3.8 mm per WC.

A questo proposito, nel grafico in figura 6.7, si riporta l'incidenza media dell'acqua piovana necessaria a soddisfare la domanda idrica annuale complessiva (espressa in millimetri) legata alla gestione del sistema dei WC (88.1 mm) e dell'evapotraspirazione (776.1 mm). Si nota che l'acqua piovana riesce a soddisfare rispettivamente il 68% del complessivo annuale relativo alle ricariche dei WC, e il 29% di quello relativo all'evapotraspirazione. Le restanti quote parti del fabbisogno d'acqua annuale sono di competenza dell'acquedotto.

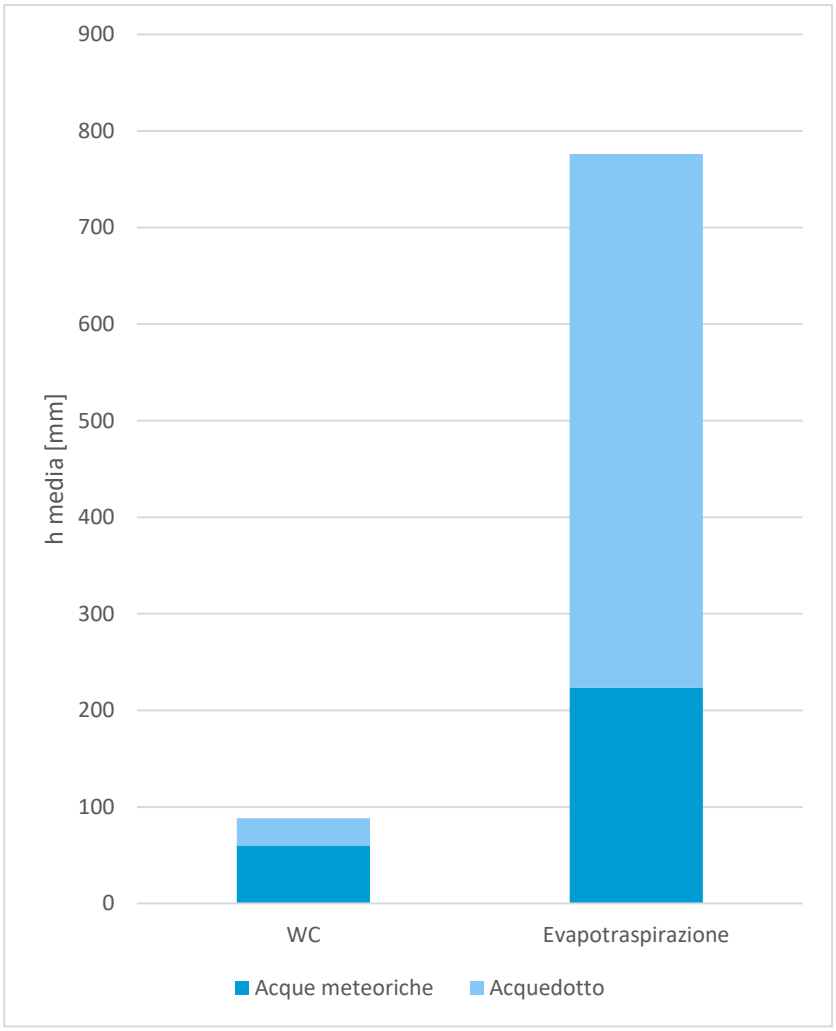


Figura 6.7- Grafico della ripartizione media dei consumi idrici totali annuali legati ai WC e evapotraspirazione presso Nuvola Lavazza (storico)

	Media	Dev standard
	Vasca di recupero acqua piovana (Vasca nord)	Vasca di recupero acqua piovana (Vasca nord)
Volume annuale in entrata [m^3]	9000	940
Volume annuale in uscita [m^3]	4120	950
% risorsa idrica indirizzata in fognatura	46	8

Figura 6.8-Tabella riepilogativa dei volumi annuali in entrata e uscita dalla vasca nord della Nuvola Lavazza (storico)

Infine, come mostrato nella tabella in figura 6.8, si riportano i valori dei volumi di afflusso totali annuali in entrata e in uscita relativi alla Vasca nord, la quale è la sorgente del pompaggio dell'acqua piovana volta a soddisfare i consumi idrici dovuti a irrigazione e ricarica WC del quartier generale della Lavazza. Emerge dunque che il troppo pieno del serbatoio sfiorato in fognatura ammonta al 46±8% del volume annuale in entrata.

6.2 Simulazioni annuali relative a scenari di cambiamento climatico

L'ultima parte dell'analisi è stata improntata sulla simulazione delle condizioni idrologiche future relative alla Nuvola Lavazza. Tali serie temporali sono definite come "ssp585", acronimo di "Shared Socioeconomic Pathways 585". In sostanza con "ssp585" ci si riferisce al peggiore dei tre principali scenari futuri relativi alle precipitazioni, i quali tengono conto degli effetti negativi dei cambiamenti climatici, di seguito definiti:

1) Scenario "ssp126", il quale viene definito come "molto ottimistico" e prevede una radiazione netta sulla superficie terrestre di 2.6 W/m^2 nel 2100;
2) Scenario "ssp245", il quale viene definito come "moderato" e prevede una radiazione netta sulla superficie terrestre di 4.5 W/m^2 nel 2100;
3) Scenario "ssp585", il quale viene definito come "estremo" e prevede una radiazione netta sulla superficie terrestre di 8.5 W/m^2 nel 2100.

Nello specifico, le serie temporali relative allo scenario "ssp585" hanno risoluzione pari a 3 ore coprono l'arco temporale che va dal 2015 al 2100 e sono state elaborate e ricavate a partire da 16 modelli CMIP6 di tipo "bias corrected" (già menzionati in precedenza nel paragrafo 6.1). Di seguito sono elencati i modelli sopra citati:

1) ACCESS-CM2;
2) AWI_CM-1-1MR;
3) BCC-CSM2-MR;
4) CMCC-CM2-SR5;

5) CMCC-ESM2;
6) EC-Earth3;
7) EC-Earth3-Veg;
8) GFDL-ESM4;
9) IITM_ESM;
10) KIOST-ESM;
11) MIROC6;
12) MPI-ESM1-2-HR;
13) MPI-ESM1-2-LR;
14) NESM3;
15) IPSL-CM6A-LR;
16) MRI-ESM2-0.

Successivamente, dopo un'attenta analisi delle serie disponibili, sono state selezionate due tipologie di anni rappresentativi, cioè l'anno a più bassa piovosità e l'anno a più alta piovosità per ogni modello. Per cui sono state ottenute due categorie di 16 serie, per un totale di 32 serie temporali da inserire in altrettante simulazioni in SWMM. Data la mole elevata di dati, al fin di raggruppare in maniera sintetica e allo stesso tempo concisa gli output ottenuti si è deciso di calcolare la media e deviazione standard dei risultati più interessanti fuoriusciti dai processi simulativi del software.

6.2.1 Anno (medio) a più bassa piovosità

Di seguito si presenta una selezione relativa agli output forniti da SWMM ritenuti di maggior interesse per gli scopi del documento realizzato, in analogia a quanto visto nei paragrafi precedenti (6.1.1, 6.1.2).

	Media	Dev standard
Parametri sistema	Altezza [mm]	Altezza [mm]
Precipitazione	492.3	69.1
Evapotraspirazione	209.01	28.3
Runoff	165.9	25.5

Figura 6.9-Tabella riepilogativa dei parametri del sistema Nuvola Lavazza (scenario ssp585)

Come mostrato dalla tabella in figura 6.9, anche in questo caso si registra anche in questo caso un comportamento complessivamente accettabile del sistema in quanto il valore di runoff totale risulta praticamente dimezzato rispetto a quello di precipitazione ricadente nell'area, grazie in particolare alla presenza delle unità LID.

Nello specifico, tramite grafico in figura 6.10, si riesce ad apprezzare in maniera chiara il bilancio idrologico del sistema Nuvola Lavazza, ponendo in risalto il flusso in entrata e in uscita dovuto alle sole acque meteoriche, fulcro del problema in analisi.

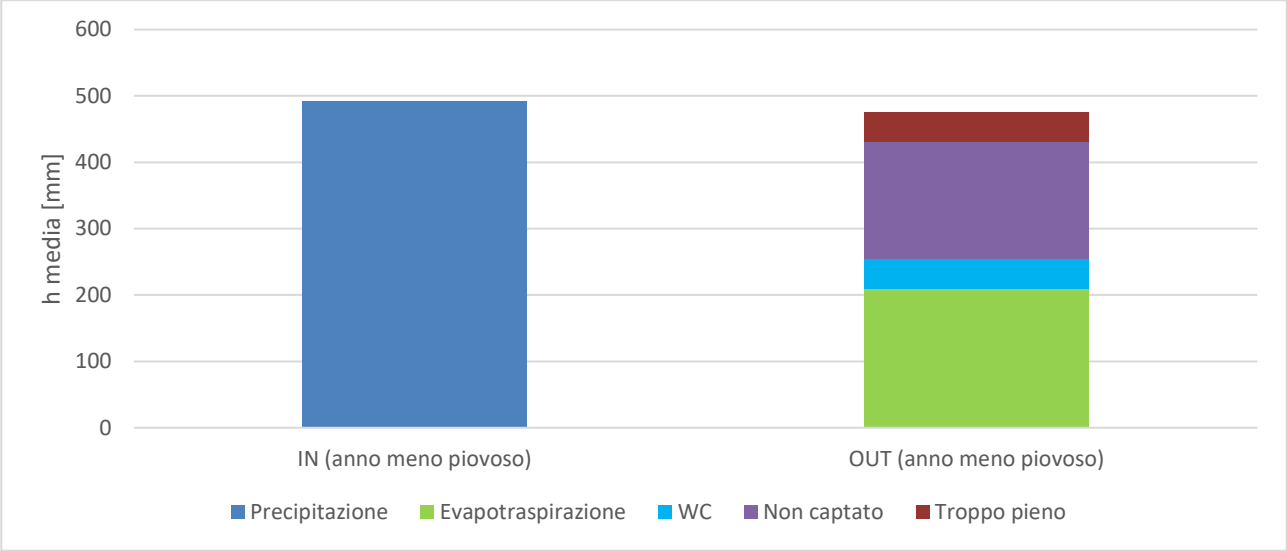


Figura 6.10-Bilancio idrologico del sistema Nuvola Lavazza (scenario ssp585)

Si evidenzia, a questo proposito, che la percentuale più grande di acqua piovana caduta nella zona di interesse viene gettata in fognatura. D'altra parte, osservando il grafico in figura 6.10, seppur la risorsa idrica non captata sia elevata (177.6±81.9 mm) si può affermare che l'acqua scaricata in fognatura per il troppo pieno delle vasche risulta una quantità discreta (44.1±18.1 mm), ma non eccessiva. Per quanto concerne l'acqua recuperata per scopi utili (evapotraspirazione e ricarica WC) emergono valori comunque incoraggianti poiché nel complesso si raggiungono i 209±28.3 mm per evapotraspirazione e il 44.6±4.3 mm per WC.

A questo proposito, nel grafico in figura 6.11, si riporta l'incidenza media dell'acqua piovana necessaria a soddisfare la domanda idrica annuale complessiva (espressa in millimetri) legata alla gestione del sistema dei WC (88.1 mm) e dell'evapotraspirazione (776.1 mm). Si nota che l'acqua piovana riesce a soddisfare rispettivamente il 51% del complessivo annuale relativo alle ricariche dei WC e il 27% di quello relativo all'evapotraspirazione. Le restanti quote parti del fabbisogno d'acqua annuale sono di competenza dell'acquedotto.

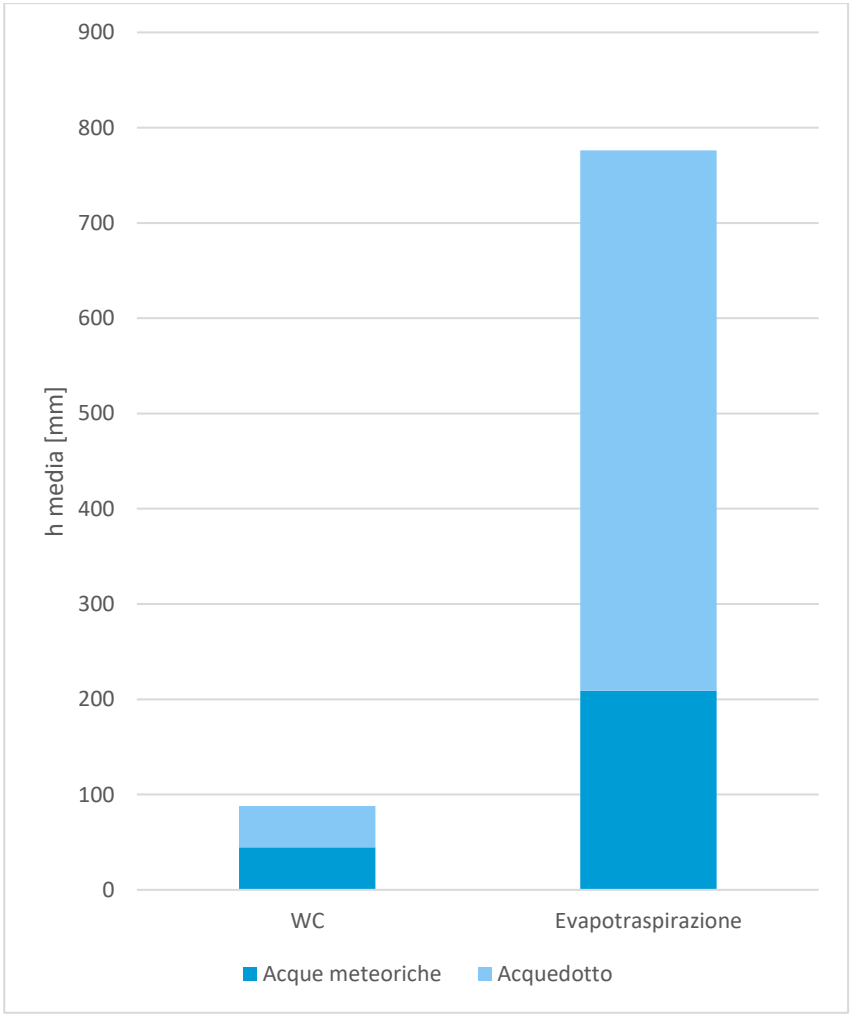


Figura 6.11- Grafico della ripartizione media dei consumi idrici totali annuali legati ai WC e evapotraspirazione presso Nuvola Lavazza (scenario ssp585)

	Media	Dev standard
	Vasca di recupero acqua piovana (Vasca nord)	Vasca di recupero acqua piovana (Vasca nord)
Volume annuale in entrata [m^3]	3030	520
Volume annuale in uscita [m^3]	850	350
% risorsa idrica indirizzata in fognatura	29	11

Figura 6.12-Tabella riepilogativa dei volumi annuali in entrata e uscita dalla vasca nord della Nuvola Lavazza (scenario ssp585)

Infine, come mostrato nella tabella in figura 6.12, si riportano i valori dei volumi di afflusso totali annuali in entrata e in uscita relativi alla Vasca nord, la quale è la sorgente del pompaggio dell'acqua piovana volta a soddisfare i consumi idrici dovuti a irrigazione e ricarica WC del quartier generale della Lavazza. Emerge dunque che il troppo pieno del serbatoio sfiorato in fognatura ammonta al 29±11% del volume annuale in entrata.

6.2.2 Anno (medio) a più elevata piovosità

Di seguito si presenta una selezione relativa agli output forniti da SWMM ritenuti di maggior interesse per gli scopi del documento realizzato, in analogia a quanto visto nei paragrafi precedenti (6.1.1, 6.1.2, 6.2.1).

	Media	Dev standard
Parametri sistema	Altezza [mm]	Altezza [mm]
Precipitazione	1281.6	162.3
Evapotraspirazione	228.1	16.4
Runoff	523.8	93.1

Figura 6.13-Tabella riepilogativa dei parametri del sistema Nuvola Lavazza (scenario ssp585)

Come mostrato dalla tabella in figura 6.13, si registra anche in questo caso un comportamento complessivamente accettabile del sistema in quanto il valore di runoff risulta più che dimezzato rispetto a quello di precipitazione ricadente nell'area, grazie in particolare alla presenza delle unità LID.

Nello specifico, tramite grafico in figura 6.14, si riesce ad apprezzare in maniera chiara il bilancio idrologico del sistema Nuvola Lavazza, ponendo in risalto il flusso in entrata e in uscita dovuto alle sole acque meteoriche, fulcro del problema in analisi.

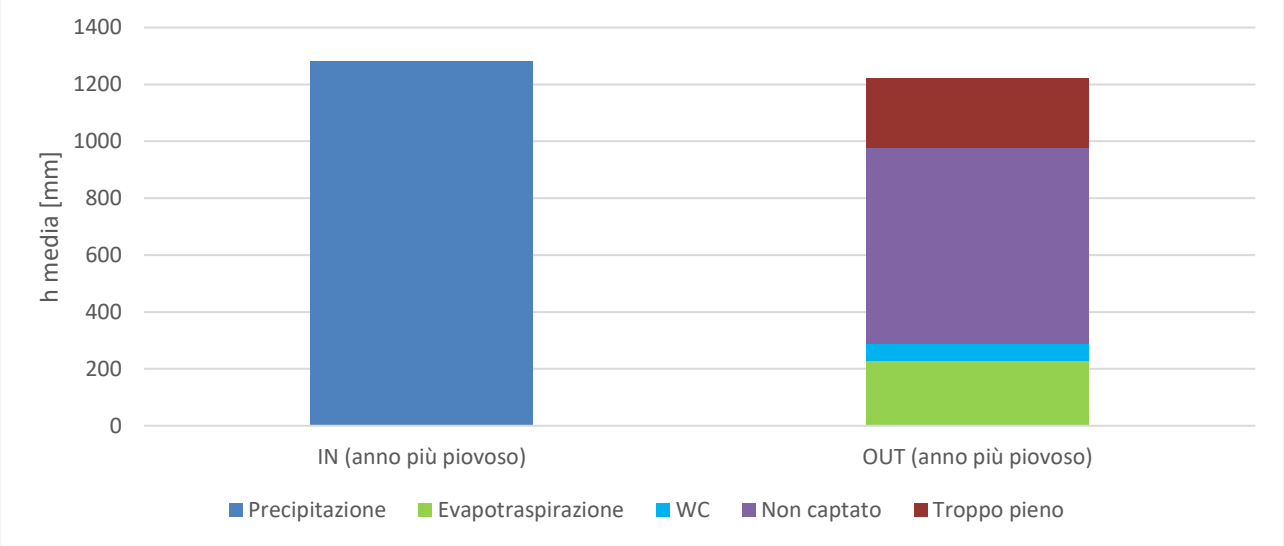


Figura 6.14-Tabella riepilogativa dei parametri del sistema Nuvola Lavazza (scenario ssp585)

Si evidenzia, a questo proposito, che la percentuale più grande di acqua piovana caduta nella zona di interesse viene gettata in fognatura. D'altra parte, osservando il grafico in figura 6.14, seppur la risorsa idrica non captata sia molto elevata (689.3±102.7 mm) si può affermare che l'acqua scaricata in fognatura per il troppo pieno delle vasche risulta una quantità rilevante (245±77.4 mm), ma non eccessiva in proporzione alla precipitazione totale (1281.6±162.3 mm). Per quanto concerne l'acqua recuperata per scopi utili (evapotraspirazione e ricarica WC) emergono valori comunque incoraggianti poiché nel complesso si raggiungono 228.1±16.4 mm per evapotraspirazione e il 60.7±3.6 mm per WC.

A questo proposito, nel grafico in figura 6.15, si riporta l'incidenza media dell'acqua piovana necessaria a soddisfare la domanda idrica annuale complessiva (espressa in millimetri) legata alla gestione del sistema dei WC (88.1 mm) e dell'evapotraspirazione (776.1 mm). Si nota che l'acqua piovana riesce a soddisfare rispettivamente il 69% del complessivo annuale relativo alle ricariche dei WC e il 29% di quello relativo all'evapotraspirazione. Le restanti quote parti del fabbisogno d'acqua annuale sono di competenza dell'acquedotto.

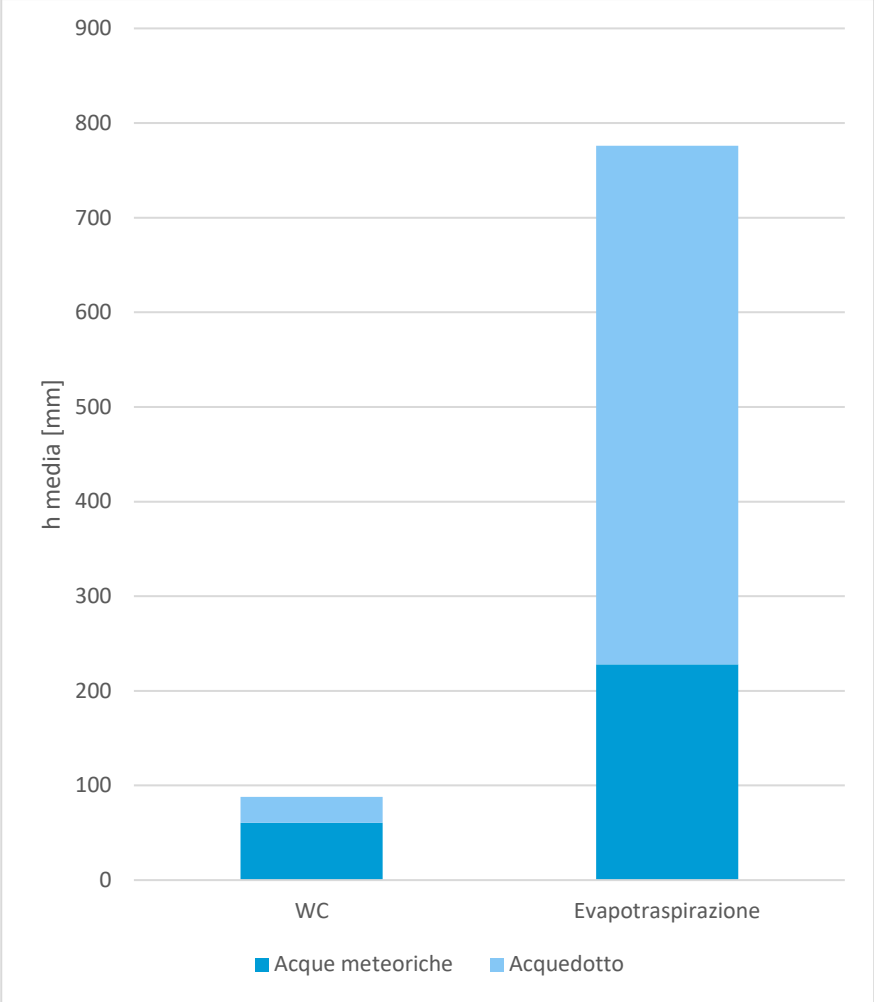


Figura 6.15- Grafico della ripartizione media dei consumi idrici totali annuali legati ai WC e evapotraspirazione presso Nuvola Lavazza (scenario ssp585)

	Media	Dev standard
	Vasca di recupero acqua piovana (Vasca nord)	Vasca di recupero acqua piovana (Vasca nord)
Volume annuale in entrata [m^3]	9510	1270
Volume annuale in uscita [m^3]	4590	1320
% risorsa idrica indirizzata in fognatura	48	9

Figura 6.16-Tabella riepilogativa dei volumi annuali in entrata e uscita dalla vasca nord della Nuvola Lavazza (scenario ssp585)

Infine, come mostrato nella tabella in figura 6.16, si riportano i valori dei volumi di afflusso totali annuali in entrata e in uscita relativi alla Vasca nord, la quale è la sorgente del pompaggio dell'acqua piovana volta a soddisfare i consumi idrici dovuti a irrigazione e ricarica WC del quartier generale della Lavazza. Emerge dunque che il troppo pieno del serbatoio sfiorato in fognatura ammonta al 48±9% del volume annuale in entrata.

6.3 Analisi e osservazioni sui dati di precipitazione dei modelli CMIP6

Al fin di avere una visione più completa del comportamento del sistema di recupero dell'acqua piovana in analisi è stato necessario comprendere l'andamento delle precipitazioni effettuando un confronto tra la situazione odierna e quella futura, tenendo presente dell'influenza dei cambiamenti climatici. Per far ciò sono state impostate parallelamente due tipologie di analisi relative rispettivamente all'intensità di precipitazione annuale e a quella trioraria (3 h). Tali analisi si basavano sulla determinazione dei rapporti tra i modelli CMIP6 associati allo scenario di cambiamento climatico "ssp585" e quelli associati allo storico (Historical), da cui poi sono state ricavate medie e deviazioni standard per maggiore comprensione.

	Rapporto di intensità di precipitazione modelli ssp585-Historical	
Modello	Annuale	Trioraria (3 h)
ACCESS-CM2	1.01	2.3
AWI_CM-1-1MR	1	1.14
BCC-CSM2-MR	0.9	1.23
CMCC-CM2-SR5	1	1.23
CMCC-ESM2	0.94	1.04
EC-Earth3	1.1	1.36
EC-Earth3-Veg	1.08	1.49
GFDL-ESM4	1.04	1.13
IITM_ESM	0.95	1.67
KIOST-ESM	0.94	1.24
MIROC6	0.92	0.91
MPI-ESM1-2-HR	0.99	1.3
MPI-ESM1-2-LR	0.97	1.14
NESM3	0.9	1.08
IPSL-CM6A-LR	0.97	2.59
MRI-ESM2-0	1	2.12
Media	0.98	1.44
Deviazione standard	0.06	0.47

Figura 6.17-Tabella riepilogativa dei rapporti di intensità di precipitazione tra i modelli ssp585 e Historical

Osservando quindi i risultati ottenuti (raggruppati nella tabella in figura 6.17), seppure non si attenda un'evidente variazione della quantità di pioggia annuale tra gli anni passati e futuri, si prospettano, a causa dei cambiamenti climatici, eventi meteorici sempre più di breve durata e di più elevata intensità.

CAPITOLO 7

CONCLUSIONI

Il documento di Tesi corrente è stato sviluppato con lo scopo di effettuare una valutazione completa e dettagliata relativamente all'efficienza del sistema di raccolta e riutilizzo di acqua piovana della Nuvola Lavazza, ponendo inoltre attenzione alle unità LID (tetti verdi e aiuole) presenti nel quartier generale dell'azienda stessa. L'intero processo di realizzazione del modello SWMM del caso studio in esame è stato realizzato a partire dalla consultazione di materiale bibliografico e di documenti forniti dalla Lavazza stessa mediante la figura dell'ing. Vigna, con il quale è stato anche effettuato un sopralluogo nel posto per approfondire una serie di dettagli sull'impianto. Le successive simulazioni, eseguite con il software SWMM, sono state basate su dati pluviometrici relativi allo storico e allo scenario di cambiamento climatico "ssp585". Tali dati sono stati ricavati da 16 modelli CMIP6 di tipo "bias corrected". Nello specifico, si è proceduto a impostare una durata annuale sia per quanto concerne le simulazioni relative alle serie storiche che quelle legate allo scenario di cambiamento climatico "ssp585". Emerge la capacità di vasche di recupero acqua piovana di riuscire a limitare il runoff (figure 6.1, 6.5, 6.9, 6.13) e a laminare le piene durante gli eventi meteorici riuscendo a limitare l'acqua ricadente in fognatura (figure 6.2, 6.6, 6.10, 6.14) accumulandola per scopi utili. Si evidenzia, a questo proposito, un'ottima risposta dell'impianto nella gestione della domanda annuale relativa ai WC, arrivando anche a richiedere solamente circa il 50% del totale dei consumi idrici annuali all'acquedotto negli anni meno piovosi (figure 6.3, 6.11) e circa il 30% negli anni più piovosi (figure 6.7, 6.15). Non sono da sottovalutare, allo stesso modo, i risultati ottenuti riguardo l'evapotraspirazione (figure 6.3, 6.7, 6.11, 6.15) considerando che il complesso delle aree verdi è molto esteso (circa 9000 m^2) e costituito da fitta vegetazione. D'altra parte, dal confronto tra gli anni delle serie storiche e di quelle legate allo scenario ssp585, considerando gli anni meno piovosi (figure 6.4, 6.12) e più piovosi (figure 6.8, 6.16) si nota in media un leggero calo dell'efficienza di funzionamento del sistema di recupero acque meteoriche. Sicuramente una parte di responsabilità è da imputare al fatto che nei prossimi decenni si prospettano, a causa dei cambiamenti climatici, eventi meteorici sempre più di breve durata e di più elevata intensità seppure non si attenda un'evidente variazione della quantità di pioggia annuali tra gli anni passati e futuri in base ai dati ottenuti a partire dai modelli CMIP6 (figura 6.17); ciò provoca come effetto principale quello di aumentare la risorsa idrica gettata in fognatura per incapacità da parte del sistema di vasche accumulo di poter raccogliere una quantità troppo elevata di acqua in un lasso di

tempo eccessivamente breve. In definitiva, si può comunque affermare che l'impianto di raccolta acqua piovana sarà in grado di mantenere in futuro pressoché la stessa efficienza odierna, anche a fronte dei cambiamenti climatici in corso.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Gibelli G., Manuale di drenaggio urbano, 2015

Ashley R., Illman S., Kellagher R., Scott T., Udale-Clarke H., Wilson S., e Woods Ballard B., The SuDS Manual - CIRIA C753, 2015

Le pubbliche fognature, Pocecco P., Pocecco M., 2012

Lewis A. Rossman, Storm Water Management Model: User's Manual Version 5.1, 2015

Lewis A. Rossman, Storm Water Management Model: Reference Manual - Volume I – Hydrology (Revised), 2016

Lewis A. Rossman, Storm Water Management Model: Reference Manual - Volume II – Hydraulics 2017

Lewis A. Rossman, Storm Water Management Model: Reference Manual - Volume III – Water Quality, 2016

Smith RJ, Paterson JS, Sibley CA, Hutson JL, Mitchell JG, Putative Effect of Aquifer Recharge on the Abundance and Taxonomic Composition of Endemic Microbial Communities, 2015

Tesi di laurea: Cavallaro P. (Politecnico di Torino, anno accademico 2021- 2022) –
Applicazione di sistemi di drenaggio sostenibile per l'adattamento ai cambiamenti climatici: analisi di un caso studio nel comune di Torino – Relatore: Boano F.

https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0129004

https://www.dkrz.de/en/communication/climate-simulations/cmip6-en/the-ssp-scenarios

http://uacdc.uark.edu/work/low-impact-development-a-design-manual-for-urban-areas

https://www.openpolis.it/consumo-di-suolo-e-urbanizzazione/

https://indicatoriambientali.isprambiente.it/sys_ind/report/html/1227#C1227

https://www.dkrz.de/en/communication/climate-simulations/cmip6-en/the-ssp-scenarios

http://www.iridra.eu/it/suds-drenaggio-urbano-sostenibile.html

https://www.soloecologia.it/che-cosa-sono-i-sistemi-di-drenaggio-urbano-sostenibile/

https://www.mdpi.com/2073-4441/6/4/976

https://www.reteirene.it/impermeabilizzazione-del-suolo/

https://awn.it/news/notizie/6786-ambiente-nel-2030-il-70-della-popolazione-mondiale-vivra-nelle-citta#:~:text=Attualmente%2C%20il%2054%25%20della%20popolazione,persone)%20vive%20in%20aree%20urbane.

https://acquadelrubinetto.gruppocap.it/acqua-e-scienza/falda-acquifera-cose-e-come-si-forma/

https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0129004

https://www.slideserve.com/erasmus-lopez/evapotraspirazione

https://www.michelettopavimenti.it/che-cosa-e-unisola-di-calore-o-isola-urbana-di-calore-e-quali-sono-le-migliori-soluzioni-per-renderla-piu-vivibile-specialmente-in-estate/#:~:text=Per%20effetto%20isola%20di%20calore,anche%20fino%20a%205%20gradi.

https://www.openpolis.it/il-verde-nelle-citta-come-servizio-ecologico-fondamentale/

https://www.ideegreen.it/stratigrafia-tetto-verde-estensivo-73710.html

https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.biblio.polito.it/doi/full/10.1002/ird.543

https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S0022169420307332?via%3Dihub

https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-low-impact-development

http://www.atlanteditorino.it/quartieri/Aurora.html

https://www.lavazza.it/it/mondo-lavazza/company/storia

https://www.lavazza.it/it/museo-lavazza/scopri-nuvola.html

https://www.serviziarete.it/allagamenti-in-area-urbana-analisi-soluzioni-progettuali/

https://www.alpauno.com/nubifragio-a-selinunte-saltati-tombini-e-acqua-di-fogna-riversata-in-mare/

https://www.meteoweb.eu/2022/09/la-naturalissima-alluvione-delle-marche-e-le-speculazioni-sui-cambiamenti-climatici/1001150364/