



Ricerca di Sistema elettrico

Applicabilità di Nature Based Solutions (NBS) in ambito urbano per la gestione delle acque meteoriche In integrazione con sistemi di real time control ed early warning

Marco Maglionico, Margherita Altobelli, Sara Simona Cipolla



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

APPLICABILITÀ DI NATURE BASED SOLUTIONS (NBS) IN AMBITO URBANO PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE IN INTEGRAZIONE CON SISTEMI DI REAL TIME CONTROL ED EARLY WARNING

M. Maglionico, M. Altobelli, S. S. Cipolla (Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali)

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Area: "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori energetici"

Progetto: "D.7 - Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano"

Obiettivo: "Gestione sostenibile e circolare dell'ambiente urbano"

Sub-obiettivo f.1: "Un sistema integrato di gestione e valorizzazione della risorsa idrica e del rifiuto organico"

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sistemi di Early Warning e di Real Time Control per la gestione intelligente dei sistemi di drenaggio urbano"

Responsabile scientifico ENEA: Davide Mattioli

Responsabile scientifico Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna: Marco Maglionico

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 GESTIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI: NATURE BASED SOLUTIONS (NBS) E VASCHE DI ACCUMULO IN AMBITO URBANO.....	6
2.1 INTERVENTI LOCALIZZATI: INVASI	7
2.2 INTERVENTI DIFFUSI	13
2.2.1 A scala di edificio.....	13
2.2.2 A scala di quartiere	16
2.3 INTERVENTI NON STRUTTURALI: SISTEMI DI REAL TIME CONTROL (RTC) E EARLY WORNING (EW)	22
3 COPERTURE VERDI	25
3.1 STRUTTURA E BENEFICI IDRAULICI	25
3.2 ESEMPIO DI COPERTURA VERDE E RELATIVA MODELLAZIONE IDRAULICA A SCALA DI EDIFICIO.....	30
3.3 MODELLAZIONE E ANALISI DEI BENEFICI AMBIENTALI DERIVANTI DALL'APPLICAZIONE DI COPERTURE VERDI A SCALA DI QUARTIERE.....	37
4 IMPIANTI PER IL RECUPERO E IL RIUSO DELLE ACQUE METEORICHE	40
4.1 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO.....	40
4.2 DIMENSIONAMENTO DEL SERBATOIO DI ACCUMULO	47
4.3 ESEMPIO DI IMPIANTO PER IL RECUPERO E RIUSO E RELATIVA MODELLAZIONE IDRAULICA A SCALA DI EDIFICIO	51
4.4 MODELLAZIONE E ANALISI DEI BENEFICI AMBIENTALI DERIVANTI DALL'APPLICAZIONE DEGLI IMPIANTI PER IL RECUPERO E IL RIUSO DELLE ACQUE METEORICHE A SCALA DI QUARTIERE.....	56
5 SOLUZIONE COMBINATA DI COPERTURE VERDI CON IMPIANTI PER IL RECUPERO E IL RIUSO DELLE ACQUE METEORICHE.....	58
5.1 MODELLAZIONE E ANALISI DEI BENEFICI AMBIENTALI DERIVANTI DALL'APPLICAZIONE DELLE TECNOLOGIE COMBinate A SCALA DI EDIFICIO	58
5.2 MODELLAZIONE E ANALISI DEI BENEFICI AMBIENTALI DERIVANTI DALL'APPLICAZIONE DELLE TECNOLOGIE COMBinate AD UN CASO DI STUDIO A SCALA DI QUARTIERE	58
6 INVASI E AREE AD INFILTRAZIONE CONTROLLATA.....	62
6.1 MODELLAZIONE E ANALISI DEI BENEFICI AMBIENTALI DERIVANTI DALL'APPLICAZIONE DI AREE AD INFILTRAZIONE CONTROLLATA A SCALA DI QUARTIERE	62
6.2 MODELLAZIONE E ANALISI DEI BENEFICI AMBIENTALI DERIVANTI DALL'INSERIMENTO DI INVASI A SCALA DI QUARTIERE	64
6.3 INSERIMENTO DI INVASI SU RETI DOTATE DI SISTEMA RTC.....	67
7 CONCLUSIONI.....	69
8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	73
9 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	75

Sommario

I temi sviluppati nel presente documento, come da accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna, riguardano l'applicabilità di soluzioni basate sulla natura (Nature Based Solutions, NBS) in ambito urbano per la gestione delle acque meteoriche in integrazione con sistemi di Real Time Control (RTC) ed Early Warning (EW) al fine di contenere le problematiche di natura idraulica legate a fenomeni di allagamento delle aree urbane e all'inquinamento dei corpi idrici ricettori.

Sono state analizzate le differenti tipologie di NBS, a scala di edificio e di quartiere, valutando come esse migliorano il sistema urbano rendendolo paesaggistico e fruitivo e allo stesso tempo resiliente e tecnologico.

L'analisi svolta affiancata dalla modellazione, prima della singola tecnologia e poi di una rete urbana esistente presente nel comune di Bologna, ha permesso di valutare quanto queste tecnologie verdi influiscono sulla riduzione dei picchi di portata e sulla qualità dell'acqua inviata al corpo idrico ricettore.

Implementando un modello idraulico relativo ad una rete reale del comune di Bologna, è stato valutato l'impatto della tecnologia verde, singolarmente e combinata con sistema RTC, sul sistema fognario e sull'ambiente, confrontando differenti scenari.

1 Introduzione

Il presente documento di inserisce all'interno del progetto *D.7 "Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano"* relativo al tema di ricerca "smart cities and smart communities".

I temi sviluppati, come dall'accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna, riguardano l'applicabilità di soluzioni "verdi" quali le Nature Based Solutions (NBS) in ambito urbano per la gestione delle acque meteoriche, anche in integrazione ai sistemi di Early Warning e di Real Time Control.

Lo scopo principale dell'attività è valutare come queste tecnologie possano ottimizzare la gestione dell'intero sistema rendendolo resiliente e tecnologico.

Come previsto dall'attività di ricerca si analizzano le NBS a scala di edificio, principalmente tetti verdi e impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche, e a scala di quartiere, invasi distribuiti e aree ad infiltrazione, modellando casi semplici per valutare la risposta della singola tecnologia verde, per poi procedere alla modellazione di una rete esistente in ambito territoriale regionale per valutarne l'effetto a scala di quartiere anche in relazione all'inserimento di un sistema di EW e RTC ad esso connesso.

2 Gestione delle acque superficiali: Nature Based Solutions (NBS) e vasche di accumulo in ambito urbano

L'urbanizzazione determina un'importante alterazione del naturale ciclo idrologico. L'aumento delle superfici impermeabili, fenomeno tipico dell'espansione urbana, da un lato riduce i volumi di acqua meteorica che si infiltrano naturalmente nel sottosuolo ricaricando le falde, dall'altro determina l'incremento delle velocità, delle portate e dei volumi dei deflussi superficiali. A tali fenomeni si somma il deterioramento qualitativo dell'acqua che, scorrendo sulle superfici urbane, dilava un'ingente quantità di sostanze inquinanti. Un rapido confronto tra la situazione pre-urbana e quella urbana mostra quindi un importante aumento dei coefficienti di deflusso, la progressiva riduzione dei tempi di concentrazione e un significativo deterioramento qualitativo delle acque che scorrono per deflusso superficiale.

I sistemi di drenaggio urbano nascono con l'obiettivo di risolvere tutte queste problematiche attraverso il convogliamento delle acque reflue verso il depuratore o il ricettore. Negli ultimi anni assistiamo tuttavia ad un progressivo invecchiamento e deterioramento qualitativo delle condotte e a un incremento della frequenza e delle intensità degli eventi meteorici estremi a causa dei cambiamenti climatici. Per risolvere queste criticità, aumentando al contempo la resilienza delle nostre città, nel tempo si sono introdotti sistemi e manufatti capaci di ridurre il rischio di allagamento urbano e di minimizzare il volume di sostanze inquinanti sversate nei ricettori. Ciò avviene principalmente mediante l'introduzione di interventi strutturali usualmente collocati "end of pipe" quali gli invasi di laminazione e prima pioggia. Negli ultimi anni inoltre si sta cercando di risolvere tali criticità attraverso un approccio olistico capace di combinare i benefici idraulici, il miglioramento del microclima urbano, la salvaguardia della biodiversità e l'amenità dei luoghi pubblici attraverso l'introduzione di interventi strutturali che si ispirano alla natura, noti a livello internazionale con il nome di Nature Based Solutions (NBS). Tali tecnologie operano direttamente all'origine favorendo l'infiltrazione e riducendo i volumi di acque meteoriche convogliati in fognatura, ripristinando quindi una situazione idrologica comparabile a quella pre-urbana.

L'introduzione di tutte questi interventi determina un incremento della complessità dei sistemi di drenaggio urbano che viene sempre più risolta attraverso l'introduzione di interventi non strutturali, quali i sistemi di controllo in tempo reale (RTC) che consentono di ottimizzare il funzionamento delle singole tecnologie e della rete nel suo complesso, sfruttando al contempo la massima capacità di invaso della rete.

Riassumendo quanto sopra i provvedimenti più comunemente adottati per la risoluzione o riduzione delle problematiche idraulico-ambientali legate alle precipitazioni possono essere suddivisi in due categorie:

Interventi strutturali: prevedono la realizzazione di manufatti o strutture e si suddividono in:

- **Interventi localizzati:** consistono nella realizzazione di invasi che hanno la funzione di trattenere provvisoriamente una parte dei volumi idrici derivanti dagli eventi meteorici, per inviarli successivamente alla depurazione (vasche di prima pioggia) o per restituirli alla rete a valle o al ricettore con portata con essi compatibile (vasche volano);
- **Interventi diffusi:** nature based solutions distribuite sull'area urbanizzata:
 - **a scala di edificio** → coperture e pareti verdi, recupero e riuso dell'acqua meteorica nelle abitazioni;
 - **a scala di quartiere** → aree ad allagamento controllato, fasce filtro, pavimentazioni e aree permeabili;

Interventi non strutturali: non comportano la realizzazione di manufatti o strutture; hanno lo scopo di sfruttare al meglio la rete di drenaggio esistente, massimizzandone la capacità d'invaso, o di ridurre gli inquinanti che entrano in fognatura come i sistemi di controllo in tempo reale RTC.

Le Nature Based Solutions (NBS) sono strategie e tecnologie per il drenaggio urbano sostenibile che puntano alla riduzione del picco di portata e, allo stesso tempo, alla limitazione del carico inquinante indirizzato al corpo idrico ricettore. Sono soluzioni che agiscono "a monte", riducendo i deflussi meteorici mediante politiche urbanistiche "verdi" di incremento della capacità di infiltrazione e di invaso. Le NBS sono soluzioni ispirate e basate sulla natura, nate per conciliare i benefici idraulici con quelli ambientali. Sono

soluzioni economicamente vantaggiose, in grado di fornire benefici per l'ambiente, la società e l'economia e di contribuire ad aumentare la resilienza dello spazio urbano.

I punti di forza delle NBS si possono sintetizzare in:

- Uso sostenibile dei materiali e dell'energia;
- Resilienza al cambiamento climatico;
- Gestione dell'acqua in relazione al rischio di siccità e inondazione;
- Qualità dell'acqua e dell'aria;
- Relazioni tra spazio fisico e urbano e benessere dei cittadini;
- Equità e coesione sociale;
- Rigenerazione urbana.

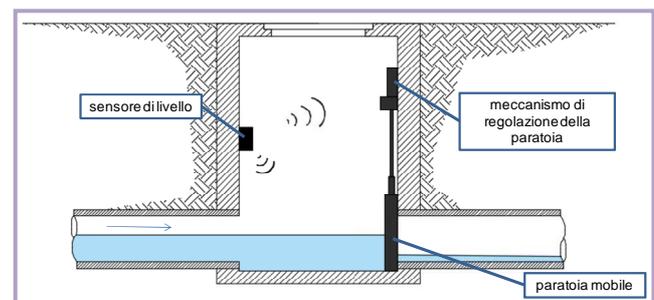
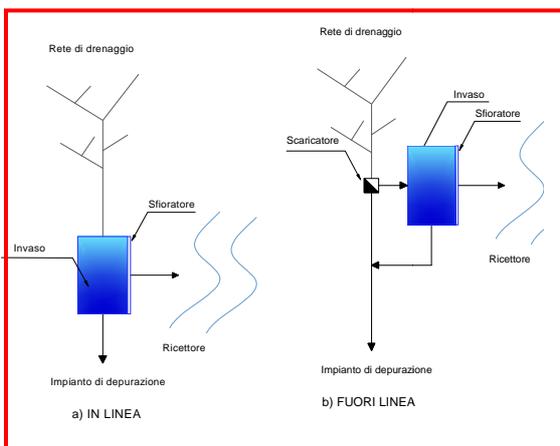


Figura 2.1: esempi dei provvedimenti più comunemente adottati per la risoluzione o riduzione delle problematiche idraulico-ambientali legate alle precipitazioni

2.1 Interventi localizzati: invasi

Gli invasi rappresentano il mezzo più efficace per garantire la protezione idraulica e ambientale del territorio urbano. Vengono inseriti nelle reti di drenaggio con la funzione di accumulare provvisoriamente una parte dei deflussi superficiali che successivamente vengono inviati alla depurazione (vasche di prima pioggia) o alla rete a valle o al ricettore finale con portata ridotta (vasche di laminazione). La prima tipologia viene utilizzata per contenere il volume di sostanze inquinanti dilavato dalla prima pioggia, le seconde vengono utilizzate per garantire l'invarianza idraulica del bacino abbattendo le portate al colmo e rallentando la propagazione della piena a valle.

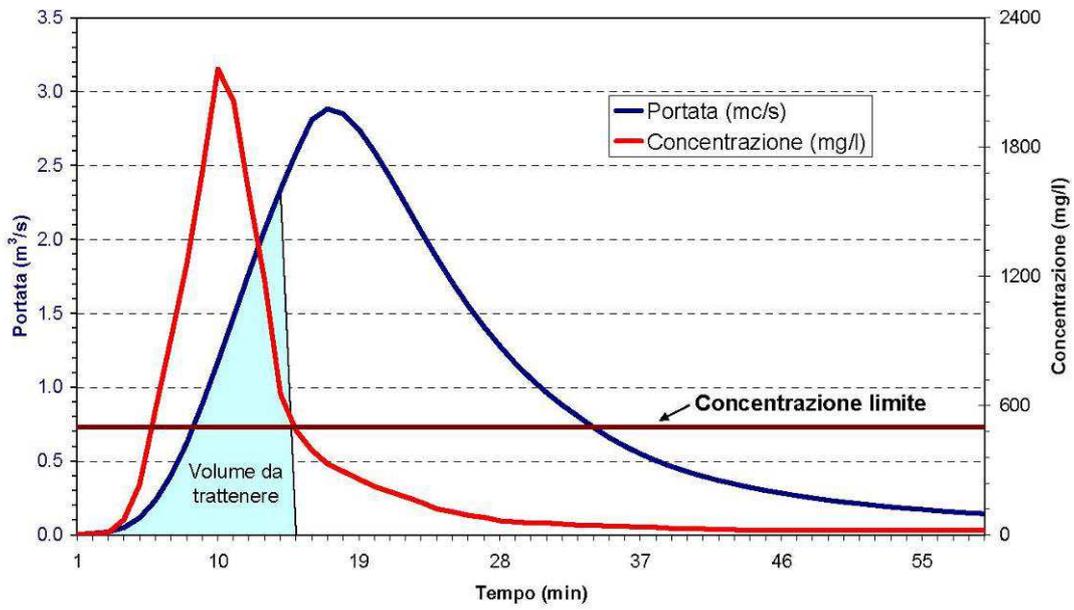


Figura 2.2: Schema di idrogramma e pollutogramma per individuare il volume da assegnare alla vasca di prima pioggia.

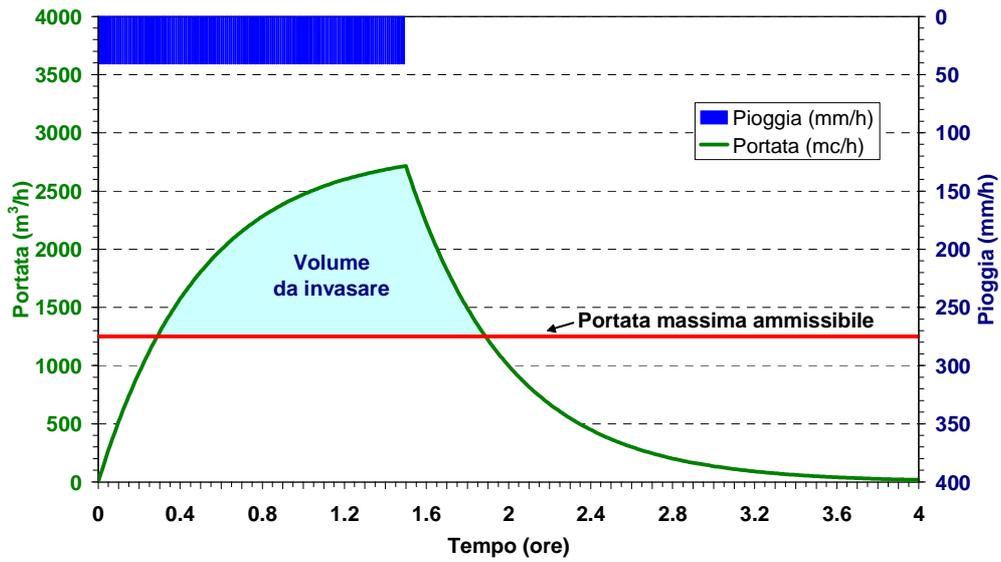


Figura 2.3: Grafico che evidenzia il volume da assegnare all'invaso di laminazione. Noto l'idrogramma in ingresso e la portata massima ammissibile in uscita costante.

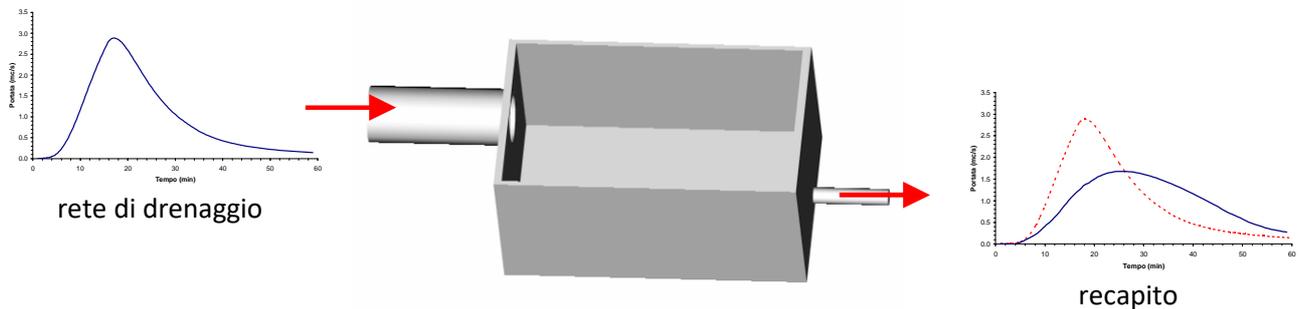


Figura 2.4: Schema semplificato di funzionamento di una vasca di laminazione

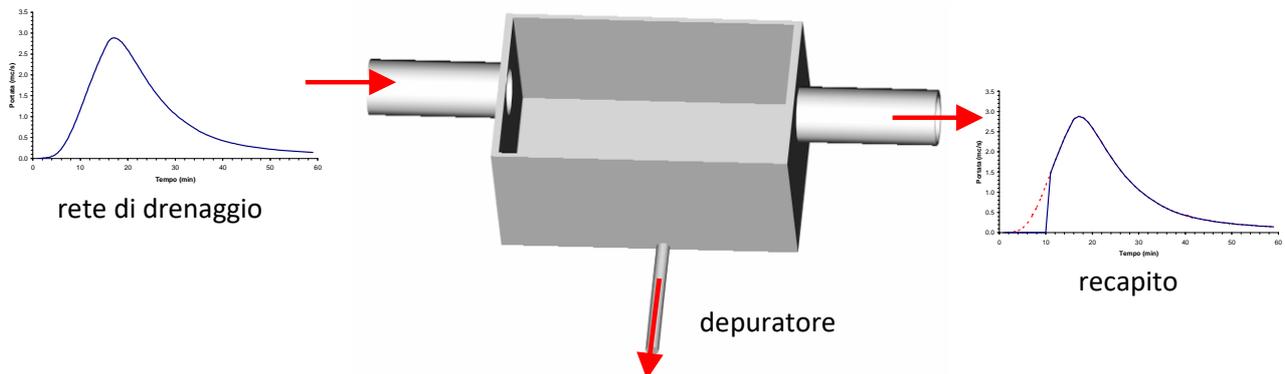


Figura 2.5: semplificato di funzionamento di una vasca di "prima pioggia"

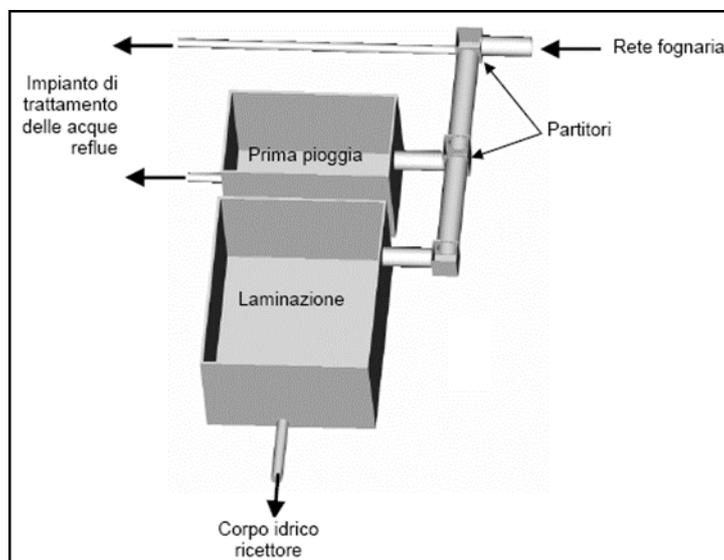


Figura 2.6: Vasca di prima pioggia abbinata ad un invaso di laminazione [Maglionico, 2004]

Le vasche di prima pioggia, spesso realizzate in accoppiamento ad uno scaricatore di piena, mirano all'accumulo temporaneo del volume iniziale di piena che, ad evento meteorico terminato, verrà inviato alla depurazione. Lo svuotamento di tali invasi avviene o mediante scarico di fondo opportunamente tarato e dotato di paratoia o mediante l'utilizzo di un impianto di sollevamento. Le vasche di prima pioggia possono essere realizzate *in linea* o *fuori linea*. Nel primo caso la vasca è posta lungo il sistema fognario, al suo completo riempimento la portata eccedente quella inviata alla depurazione viene inviata al corpo ricettore o all'invaso di laminazione. Le vasche fuori linea invece sono usualmente alimentate attraverso uno scolmatore che, quando la portata in ingresso supera un determinato valore di soglia, invia le portate in eccesso al ricettore/vasca di laminazione. Tutte le portate inferiori al valore di soglia vengono invece

convogliate in vasca e successivamente inviate al depuratore. Le vasche fuori linea sono spesso munite di una paratoia che, a riempimento avvenuto, esclude la vasca dal sistema per evitare la miscelazione e la diluizione delle acque di prima pioggia con le acque meno inquinate (vasche di cattura). Generalmente le vasche di "prima pioggia" sono dei manufatti di modesta dimensione il cui volume è orientativamente pari a 50 m³ per ogni ettaro di superficie impermeabile drenata. Sono invasi impermeabilizzati e dotati di un sistema automatico di manutenzione e pulizia.

Le vasche di laminazione nascono invece con l'obiettivo di creare un volume in cui l'acqua in arrivo dal sistema fognario si può espandere e invasare temporaneamente, attenuando e ritardando il valore di colmo della portata. Il volume attribuito all'invaso dipende dalle capacità di convogliamento delle portate da parte del sistema idraulico a valle ed è usualmente pari a 500 m³ per ogni ha di superficie drenata. Anche gli invasi di laminazione possono essere realizzati *in linea* o *fuori linea* e la deviazione dei flussi è affidata a scolmatori di piena o a paratoie telecontrollate.

Le vasche di laminazione richiedono ingenti volumi, spesso difficilmente inseribili all'interno del contesto urbano. Per ovviare a questa criticità, in particolare in passato, si sono costruiti grossi invasi di laminazione interrati mediante la realizzazione di vasche in calcestruzzo oppure utilizzando tubi di grandi dimensioni (fig. 2.9). In generale con le vasche in cemento armato, per la loro sezione rettangolare e per il fatto che forniscono un volume continuo, si ottiene un maggiore volume d'invaso per unità di area scavata rispetto a quello ottenibile con tubi circolari di grande diametro. Ciò è dovuto anche al fatto che i tubi devono essere reciprocamente distanziati di una quantità minima, per ragioni di integrità strutturale. D'altra parte i sistemi di tubi hanno una maggiore flessibilità di impiego e perciò si utilizzano laddove le caratteristiche dello spazio disponibile non consentono l'inserimento di una vasca. La massima altezza interna netta di una vasca di laminazione in calcestruzzo, in genere, non dovrebbe superare i 5÷6 metri. La capacità di ritenzione di una vasca volano può essere concentrata in un unico manufatto oppure suddivisa in diversi comparti. Si ricorre alla prima soluzione solo quando i volumi in gioco sono relativamente piccoli. Se il volume supera i 400÷500 m³ sarebbe opportuno realizzare invasi multicamera: in questo modo, infatti, gli invasi più frequenti interessano solo una parte della vasca, mentre solo per eventi pluviometrici più rilevanti vengono via via interessati gli altri comparti. Lo scopo è quello di razionalizzare le operazioni di pulizia e manutenzione, che devono essere frequenti nel comparto di più frequente invaso, mentre possono essere più diradate negli altri comparti. Tali manufatti hanno costi importanti in parte compensati dal fatto che lo spazio sovrastante può essere sfruttato massimizzando le potenzialità economiche dell'area.



Figura 2.7: esempi di invasi interrati

Una volta determinato il volume da assegnare all'invaso, la scelta dell'una o dell'altra tipologia costruttiva dipende da vari fattori: conformazione e caratteristiche fisiche dell'area oggetto di intervento, costo dei materiali, costo delle operazioni di scavo, regolamenti locali, ecc.

In generale con le vasche in cemento armato, per la loro sezione rettangolare e per il fatto che forniscono un volume continuo, si ottiene un maggiore volume d'invaso per unità di area scavata rispetto a quello ottenibile con tubi circolari di grande diametro. Ciò è dovuto anche al fatto che i tubi devono essere reciprocamente distanziati di una quantità minima, per ragioni di integrità strutturale. D'altra parte i

sistemi di tubi hanno una maggiore flessibilità di impiego e perciò si utilizzano laddove le caratteristiche dello spazio disponibile non consentono l'inserimento di una vasca.

Quando possibile si preferisce evitare la costruzione di invasi di laminazione interrati in materiale lapideo optando per la realizzazione di invasi in terra che presentano notevoli vantaggi dal punto di vista progettuale e gestionale.

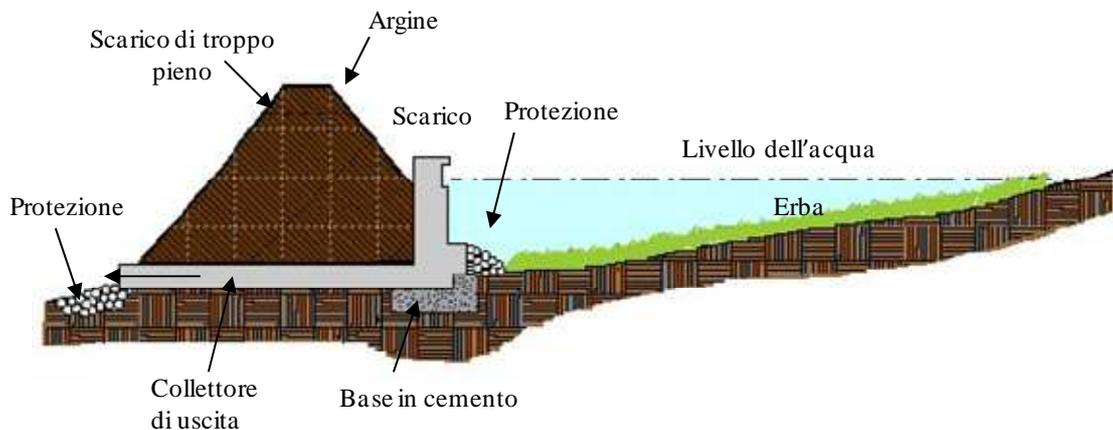


Figura 2.8: esempi di bacini asciutti [Maglionico, 2004] e relativa sezione schematica [NVPDC, 2002]

Gli invasi in terra possono essere non-permanenti o permanenti. Gli invasi non permanenti sono aree depresse dotate di scarico di fondo e scarico di troppo pieno in cui viene inoltre favorita la naturale infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo. Presentano lo svantaggio di richiedere grandi superfici e di rimanere vuote in gran parte dell'anno. Per contro sono soluzioni economiche, affidabili e richiedono manutenzioni minime.



Figura 2.9: esempio di bacino a cielo aperto non permanente

Nel tempo si è optato per coniugare i benefici idraulici di queste opere con la creazione di spazi fruibili dalla collettività, integrati nel contesto urbano e capaci di migliorare il microclima urbano. Appartengono a questa famiglia i bacini di laminazione permanenti in cui, come dice la parola stessa, una parte di essi è permanentemente piena d'acqua. Spesso si presentano come laghetti inseriti all'interno delle aree verdi

urbane (fig. 2.10) in cui si favorisce l'infiltrazione e si sfrutta la capacità fitodepurativa della vegetazione per migliorare la qualità dell'acqua invasata.

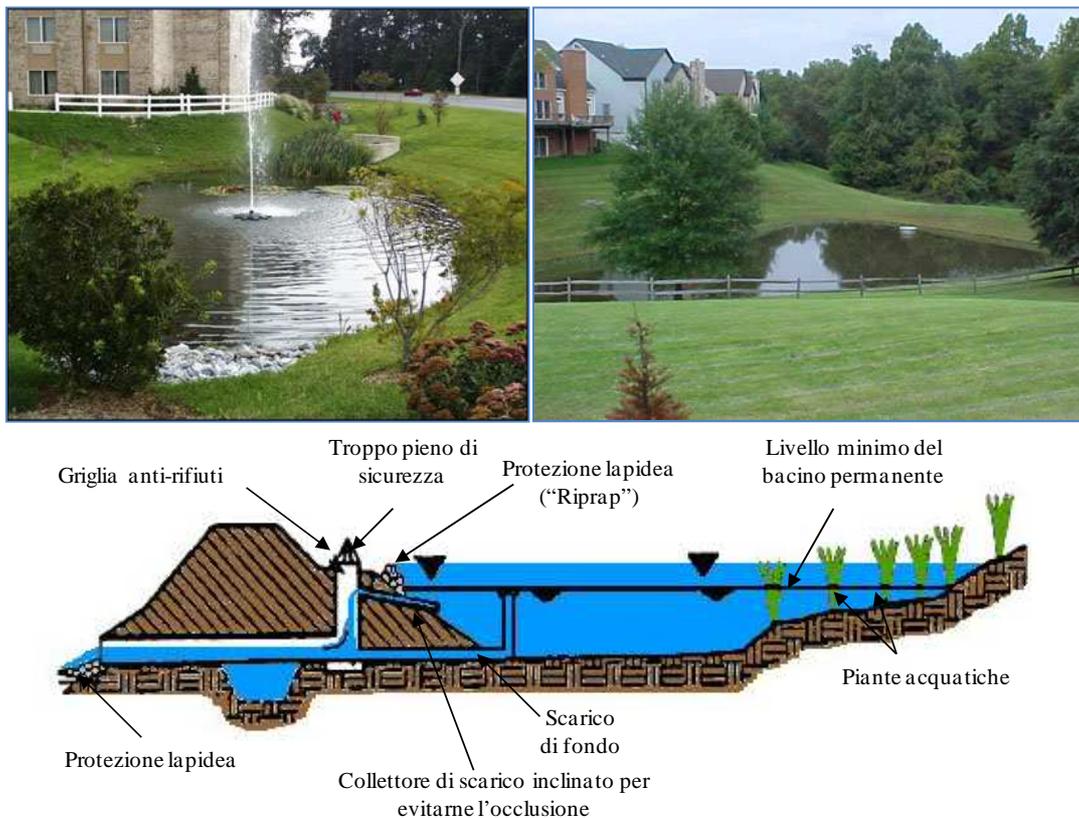


Figura 2.10: esempi di bacini a cielo aperto permanenti e relativa sezione schematica di funzionamento [Maryland Department of the Environment, 1986]

Le principali limitazioni che possono precludere l'impiego dei bacini di raccolta permanenti sono le seguenti:

- se non correttamente progettati si possono creare condizioni anossiche vicino al fondo, con il conseguente rilascio di nutrienti e metalli dai sedimenti depositati;
- possibilità di contaminazione della falda sotterranea a causa dell'infiltrazione di acqua contaminata;
- impossibilità di realizzare questi bacini dove le precipitazioni sono insufficienti per mantenere uno specchio d'acqua permanente, o dove il terreno è altamente permeabile (conducibilità idraulica $K > 10^{-5}$ cm/s);
- la necessità di estese superfici può precluderne l'utilizzo in aree altamente urbanizzate;
- affinché l'opera si mantenga efficiente occorrono frequenti operazioni di manutenzione, soprattutto per rimuovere il materiale accumulatosi nel bacino di sedimentazione e, più raramente, nella vasca principale.

Gli invasi permanenti vengono dimensionati considerando eventi con tempo di ritorno compreso tra i 2 e i 10 anni. In occasione di eventi pluviometrici con tempo di ritorno maggiore un troppo pieno di emergenza evita il rischio di allagamenti. La profondità ottimale risulta compresa tra 1 e 3 metri dato un tempo di resistenza idraulica di due settimane [Hartigan, 1988], evitando la sospensione di solidi, nel caso di profondità troppo piccole, oppure il verificarsi di condizioni anossiche sul fondo, nel caso di altezza eccessive.

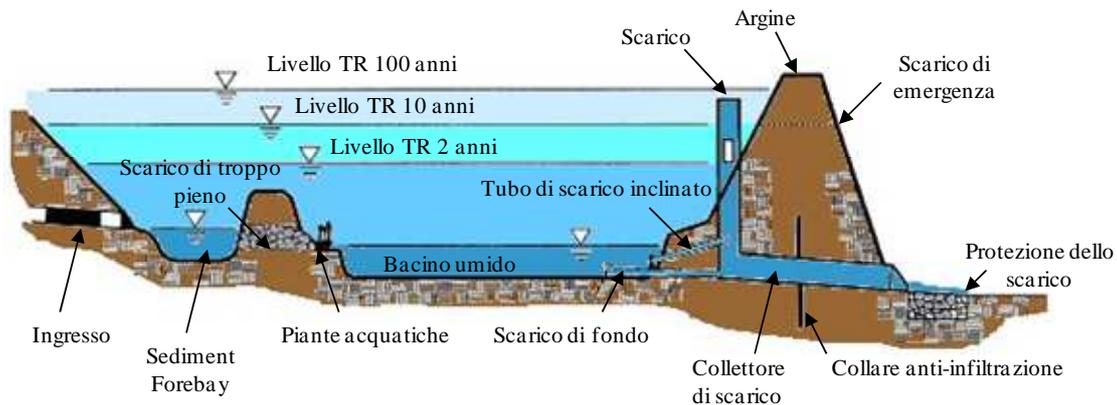


Figura 2.11: sezione di un bacino umido e livelli idrici significativi [CWP, 2000]

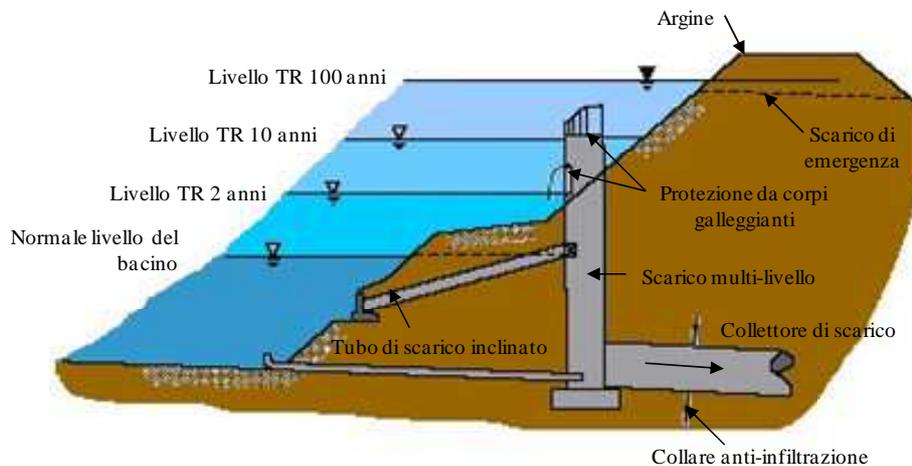


Figura 2.12: sezione del manufatto di scarico del bacino umido e livelli idrici significativi [Georgia Stormwater Management Manual, 2001]

2.2 Interventi diffusi

2.2.1 A scala di edificio

I TETTI VERDI

I tetti verdi sono strutture multistrato usualmente composte da una membrana protettiva, un elemento di drenaggio, un filtro, uno strato di substrato con spessore variabile entro il quale si sviluppano le radici delle piante e infine dalla vegetazione. I tetti verdi sono utilizzati per rallentare e ridurre i deflussi meteorici aumentando al contempo i volumi di acqua restituiti in atmosfera per evapotraspirazione. Altri effetti positivi dei tetti verdi comprendono il miglioramento del microclima, la riduzione degli inquinanti nel deflusso delle acque piovane, l'isolamento termico in estate e in inverno e l'ulteriore protezione della struttura del tetto. I tetti verdi si suddividono in due categorie, intensivi ed estensivi, in funzione dello spessore del substrato. Quelli estensivi sono caratterizzati da un substrato sottile (spessore inferiore ai 15-20 cm), quelli intensivi avendo un substrato di notevole spessore (20-150 cm) possono trasformarsi in veri e propri giardini pensili.

Riassumendo, le coperture verdi permettono:

- Una riduzione del carico idraulico sul sistema fognario con conseguente diminuzione del rischio di allagamento urbano;
- Un miglioramento in termini di sversamenti nei corpi idrici ricettori;

- Un miglioramento del microclima urbano;
- etc.



Figura 2.13: tetto verde sperimentale presso la Scuola di Ingegneria dell'Università di Bologna

RECUPERO E RIUSO DELL'ACQUA METEORICA

Gli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche prevedono l'accumulo di tali acque in un serbatoio e il loro riutilizzo, mediante una rete di distribuzione duale, per soddisfare alla domanda di acqua non potabile (alimentazione WC, irrigazione giardino, etc) interna all'edificio. Tali tecnologie consentono di laminare i deflussi riducendo al contempo i consumi di acqua potabile.

I vantaggi offerti dall'installazione di impianti di raccolta dell'acqua piovana per uso individuale non sono goduti solo a livello privato ma si riflettono positivamente nella sfera dell'intervento pubblico. Sono essenzialmente dei piccoli invasi di laminazione diffusi che consentono di ridurre e rallentare la portata al colmo. La loro diffusione capillare sul territorio porterebbe ad una riduzione delle portate meteoriche in fognatura che si riflette in una riduzione del rischio di insufficienza idraulica dei collettori e in un incremento dell'efficienza dei depuratori (laddove le reti fognarie bianca e nera non siano separate), che attualmente risentono, in particolare nel comparto biologico, della diluzione del refluo operata dalle acque meteoriche. Un altro punto di forza nel riutilizzo delle acque meteoriche è dovuto al fatto che esse presentano una bassa concentrazione di inquinanti eliminabile attraverso un semplice filtraggio prima dell'invaso e un affinamento prima del riutilizzo all'interno dell'edificio. In un'ottica di cambiamento climatico e di riduzione delle fonti di approvvigionamento tradizionale, le acque meteoriche rappresentano una fonte locale di acqua utilizzabile per sopperire alla domanda di acqua non potabile attualmente soddisfatta con acqua di alta qualità.

Il recupero e il riciclaggio delle acque meteoriche sono tra i sistemi in grado di offrire un immediato contributo

Gli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche si compongono principalmente dei seguenti elementi: a) un sistema di captazione, b) un filtro d'ingresso, c) una vasca di calma e serbatoio d'accumulo, d) un'unità per il trattamento finale; e) un sistema di prelievo, pompaggio e controllo, f) un troppo pieno, g) una rete duale di distribuzione e infine h) un sistema per il reintegro da acquedotto.

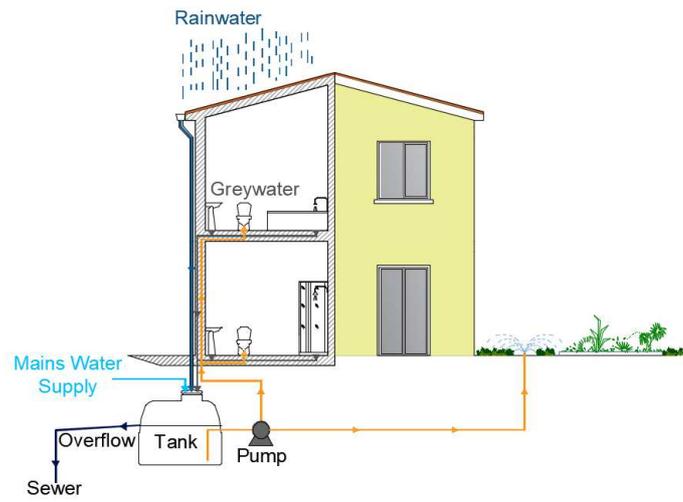


Figura 2.14: schema impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche e/o grigie

2.2.2 A scala di quartiere

AREE AD ALLAGAMENTO CONTROLLATO

Sono generalmente dei piccoli invasi profondi 30-60 cm distribuiti nel territorio, spesso chiamati “giardini della pioggia” perché accumulano temporaneamente le acque di pioggia. Drenano superfici inferiori ai 2ha e smaltiscono l’acqua principalmente per infiltrazione nel sottosuolo. I terreni più idonei sono quelli con elevata permeabilità, sabbiosi con presenza di ghiaia grossolana, in quanto permettono la filtrazione ed evitano il ristagno di acqua. Devono essere collocati in aree in cui non si ha una falda troppo superficiale per evitare la contaminazione di quest’ultima. Quando il suolo nel quale vengono realizzate non raggiunge la permeabilità minima si prevede l’aggiunta di sabbia, ghiaia e sostanze organiche. L’elevata permeabilità di questo tipo di bacini viene garantita dalla presenza di essenze vegetali erbacee rustiche. La forma dei bacini dipende dallo spazio disponibile in sito e dalle esigenze architettoniche e paesaggistiche, presentano il vantaggio di essere versatili e facilmente inseribili nel contesto urbano. Tipicamente questi sistemi sono costituiti da una fascia con copertura erbosa disposta tra la superficie drenata e la zona di ristagno, un’area avvallata vegetata, nella quale si ha il ristagno temporaneo delle acque meteoriche, un sistema di drenaggio, disposto sul fondo (a seconda delle condizioni idrogeologiche è possibile prevedere anche la sola dispersione nel sottosuolo, prevedendo solo un troppo pieno per gli eventi di pioggia più intensi). La fascia con copertura erbosa effettua un’azione di filtraggio del materiale più grossolano e di rallentamento della velocità di deflusso. Nell’area di ristagno si ha un accumulo temporaneo e un’ulteriore deposizione di materiale trasportato. Lo strato di materiale organico effettua una prima filtrazione delle acque meteoriche e favorisce la crescita di microorganismi che provvedono ad una degradazione della materia organica trasportata. Lo spessore di suolo vegetativo svolge la funzione di sistema di filtrazione; le particelle argillose del suolo forniscono siti per l’adsorbimento di inquinanti. La vegetazione garantisce la stabilità del suolo e partecipa all’azione di trattenimento degli inquinanti.

Negli ultimi anni si stanno realizzando delle aree ad allagamento controllato anche mediante la realizzazione di piazze (water squares) o campi da basketball allagabili posizionati in punti strategici dell’area urbana. All’apparenza sembrano dei semplici spazi pubblici multifunzionali che in caso di forti piogge ed inondazioni si trasformano in bacini di raccolta e stoccaggio delle acque meteoriche, così da alleggerire il carico sul sistema fognario ed eventualmente riutilizzare quanto raccolto per i momenti di scarsità idrica. Questa soluzione porta alla realizzazione di realtà urbane dinamiche.

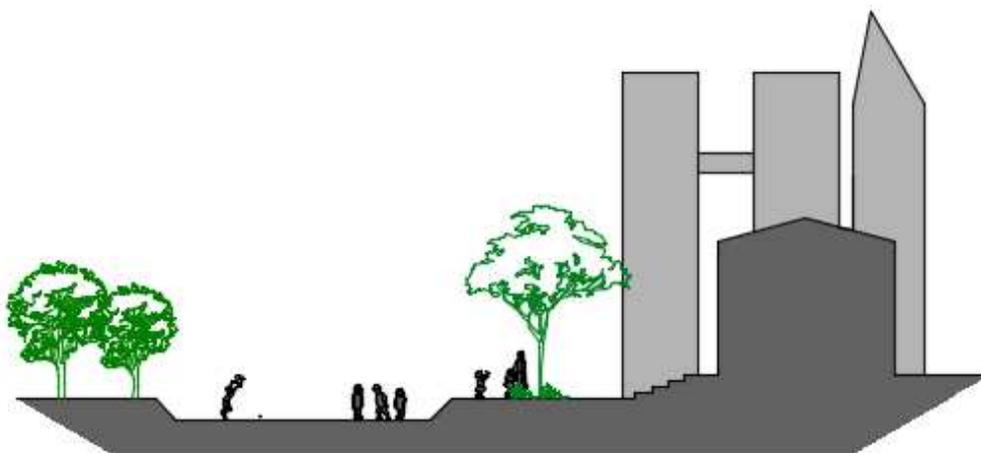


Figura 2.15: schema esemplificativo di water square caso "asciutto" pari a circa il 90% del tempo dell'anno

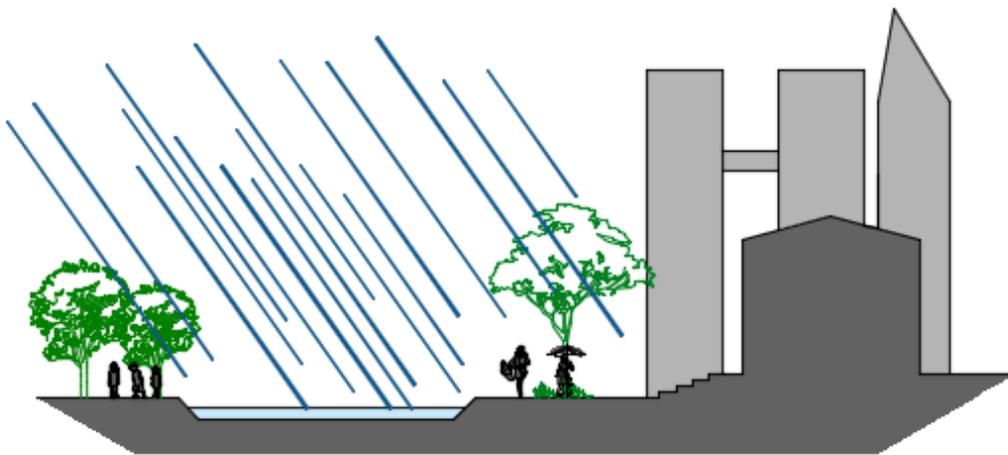


Figura 2.16: schema esemplificativo di water square caso "allagato" pari a circa il 10% del tempo dell'anno

Nel 90% del tempo le "water squares" si presentano come aree urbane dedicate al gioco ed il relax poiché risultano "asciutte" ed utilizzabili come spazio pubblico, nel restante 10%, e in funzione all'intensità delle piogge, potranno risultare più o meno "allagate". Durante le precipitazioni di media o lieve intensità, l'acqua sarà semplicemente filtrata ed immagazzinata in bacini di stoccaggio così da poterla riutilizzare, al contrario, in caso di forti precipitazioni, la piazza, allagandosi, si trasformerà in un vero e proprio bacino di raccolta e decantazione delle acque in modo da gestirne l'immissione in rete senza sovraccaricare il sistema fognario. Sono progettate con tempo di ritorno pari a due anni e il tempo di permanenza di acqua in vasca non potrà superare le 32 ore per motivi igienici. Le "water squares" sono progettate per raccogliere l'acqua piovana proveniente dai spazi pubblici e dai tetti dei fabbricati limitrofi, però, grazie ad un attento studio delle pendenze del suolo e di canalizzazioni, tale acqua viene preventivamente indirizzata ad un impianto di filtraggio e trattamento nascosto al disotto del terreno (chiamato "water chamber"), in modo da essere immessa nei bacini delle piazze priva dei maggiori e più dannosi inquinanti, garantendo così la salute dei cittadini.

FASCE FILTRO

I canali inerbiti sono canali rivestiti da erba o piante resistenti all'erosione, costruiti per far defluire le acque di pioggia provenienti dalle superfici impermeabili in maniera regolare, sfruttando la capacità della vegetazione di ridurre le velocità di flusso.

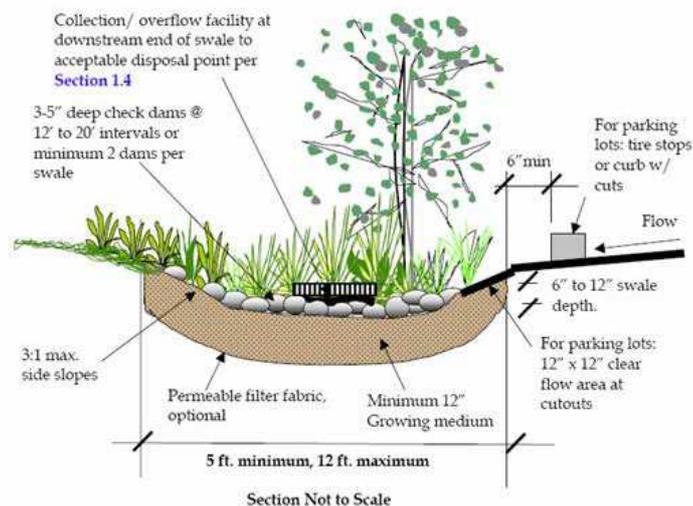


Figura 2.17: Esempio di un canale inerbito [http://www.ci.sandy.or.us]

Non vengono di norma progettati per controllare i picchi di portata per fare questo vengono spesso utilizzate in combinazione con altri sistemi NBS quali piccoli invasi o fasce vegetate. Nel caso di pendenze eccessive i canali inerbiti possono presentare sul fondo del letto delle depressioni o delle piccole paratoie in grado di rallentare ulteriormente i flussi e aumentare la capacità di ritenzione idraulica.

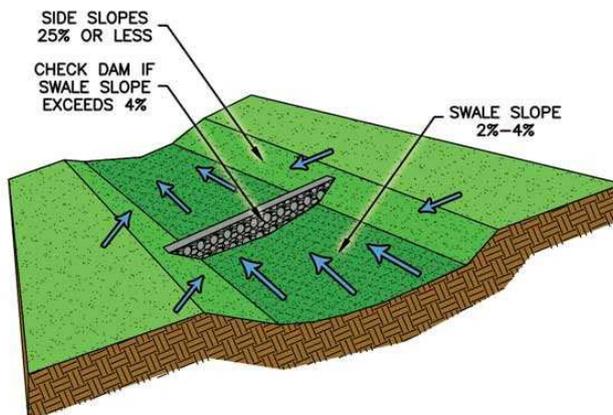


Figura 2.18 – Esempio di canali inerbiti con diaframmi [<http://www.fxbrowne.com>]

Gli inquinanti possono essere rimossi dalle acque attraverso processi di filtrazione legati alla vegetazione, per deposizione, oppure in alcuni casi per infiltrazione nel terreno dei nutrienti in forma solubile. Il grado di depurazione raggiungibile dipende soprattutto dal tempo di residenza delle acque nel canale e dal grado di contatto di queste con la vegetazione e con la superficie del terreno. La presenza di strutture come paratoie o depressioni, all'interno del letto, possono migliorare la capacità di rimozione aumentando i tempi di residenza. Il grado di depurazione raggiungibile dipende soprattutto dal tempo di residenza delle acque nel canale e dallo sviluppo della superficie di contatto di queste con la vegetazione e con la superficie del terreno. Nei sistemi vegetati gli inquinanti sono rimossi dalle acque di prima pioggia attraverso processi fisici (sedimentazione e volatilizzazione), chimici (adsorbimento e filtrazione) e biologici (decomposizione biologica, biophytoremediation, fitodegradazione). L'integrazione dei diversi processi è la condizione ottimale. I parametri idraulici da controllare durante la progettazione di un biofiltro sono: la lunghezza, la pendenza longitudinale e l'altezza del tirante idrico. È opportuno assicurare, per la portata di progetto, un tempo di permanenza dell'acqua di almeno 5 minuti, una velocità di scorrimento non superiore ai 0,3 m/s e fare in modo che il battente idrico sia comparabile all'altezza del manto erboso. Le sezioni maggiormente utilizzate sono larghe e di diversa forma: triangolare, rettangolare, trapezia e parabolica.

La manutenzione della vegetazione richiede periodiche ispezioni, rasature dell'erba, applicazione di fertilizzanti e ripristino delle aree dilavate e delle macchie scoperte. In particolare i sedimenti depositati possono distruggere il manto erboso e alterare l'altezza degli argini rischiando di compromettere l'uniformità del flusso lungo il canale.



Figura 2.19 – Canale inerbito realizzato in un parcheggio [<http://www.minnehahacreek.org>]

BIORETENTION

Questi sistemi sono studiati per simulare l'ecosistema di un bosco con una combinazione di filtrazione del suolo e assorbimento da parte della vegetazione. La superficie vegetata nel sottosuolo comprende un sistema di drenaggio per la raccolta delle acque che hanno attraversato il terreno e lo strato radicale ed è progettata per apparire il più naturale possibile. Questo conferisce all'area un aspetto estremamente attraente. L'acqua di pioggia penetra nel sistema e viene momentaneamente stoccata in uno stagno poco profondo posto all'interno dell'area. Da questo stagno l'acqua in parte filtra lentamente attraverso il terreno ed in parte viene assorbita dalle piante.



Figura 2.20 – Esempio di Bioretention in un giardino privato [<http://www.water-research.net>]

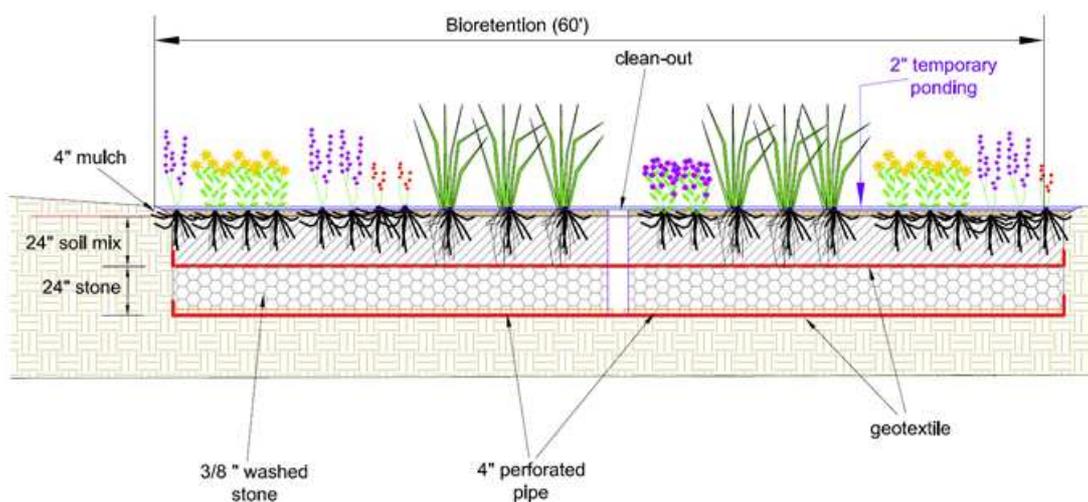


Figura 2.21 – Sezione di un Bioretention [<http://www.wetland.org>]

PAVIMENTAZIONI E AREE PERMEABILI

Sono costituite da elementi modulari, caratterizzati dalla presenza di vuoti che vengono riempiti con materiale permeabile in modo da permettere l'infiltrazione dell'acqua di dilavamento. Questa tecnologia permette di ridurre l'area impermeabile del sito con conseguente riduzione del deflusso superficiale e del carico idraulico in rete. L'applicabilità di questa soluzione verde è vasta ma è necessario che il contenuto di argilla presente nel sottofondo sia inferiore al 30% [Cipolla et. Al. , 2016].

Si suddividono in:

- *Superfici permeabili con sola infiltrazione nel sottosuolo:* l'acqua passa attraverso la superficie permeabile per poi essere rilasciata e filtrata gradualmente negli strati sottostanti. Il dispositivo è composto da una pavimentazione permeabile, con la funzione di assorbire e fare penetrare nello strato sottostante le acque meteoriche che defluiscono sulla superficie, e da uno strato di ghiaia lavata con il compito di facilitare l'infiltrazione nel suolo sottostante; è inoltre dotato di un sistema di troppo pieno per mantenere efficiente il sistema evitando che il dispositivo si saturi.
- *Superfici permeabili con solo scarico delle acque in rete:* l'acqua che si infila nel dispositivo non filtra negli strati sottostanti. È presente una membrana impermeabile alla base del dispositivo che convoglia le acque in un sistema di tubazioni direttamente al corpo ricevente. Questa soluzione viene adottata quando il terreno ha bassa permeabilità, quando l'acqua deve essere conservata e riutilizzata o quando ci sono seri rischi per la falda acquifera. Questa tecnologia sfrutta la sola capacità di ritenzione degli strati superficiali della pavimentazione.
- *Superfici permeabili miste:* queste tecnologie prevedono l'inserimento di una serie di tubi forati che aiutano ad infiltrare e trasferire ad altri sistemi di drenaggio l'acqua. Vengono così sfruttate sia la capacità di infiltrazione che quelle di trasporto ad opera delle tubazioni collocate sotto la pavimentazione.

Superfici permeabili	Materiale	Descrizione	Drenaggio acqua	Utilizzo
 <p>Sterrati inerbiti</p>	Suolo misto ghiaia	Strato di terreno con ghiaia, per migliorare il drenaggio, e seminato con essenze per migliorare il calpestio	Attraverso la natura porosa del terreno	Parcheggi, piste ciclabili e pedonali, cortili, percorsi.
 <p>Grigliati inerbiti</p>	Materiali plastici (PEAD)	Grigliati di materiale plastico riempiti con terreno organico e seminati per il calpestio	Attraverso il terreno inerbito presente nell'alveolo	Parcheggi e strade d'accesso poco trafficate.
	Cls vibrocompresso	Grigliati in cls		Parcheggi e strade d'accesso
 <p>Blocchi di cls drenante</p>	Cls vibrocompresso con finitura superficiale ad alta resistenza	Blocchi in cls posati e vibrati su letto di sabbie. Le fughe possono essere inerbite	Attraverso le fughe tra i blocchi di cls	Strade e piazzali poco trafficati, piazzali
 <p>Blocchi di cls filtrante</p>	Cls poroso con finitura superficiale ad alta resistenza e porosità	Blocchi di cls poroso posati e vibrati su letto di sabbia. Le fughe possono essere inerbite	Attraverso le fughe tra i blocchi di cls	Strade e piazzali poco trafficati, piazzali
 <p>Conglomerati cementizi filtranti</p>	Cls poroso	Pavimentazione in conglomerati cementizi porosi che drenano l'acqua alla di sotto della loro superficie senza creare deflusso	Attraverso la pavimentazione	Strade e piazzali poco trafficati, piazzali

Tabella 2.1: caratteristiche di alcune tipologie di pavimentazioni permeabili

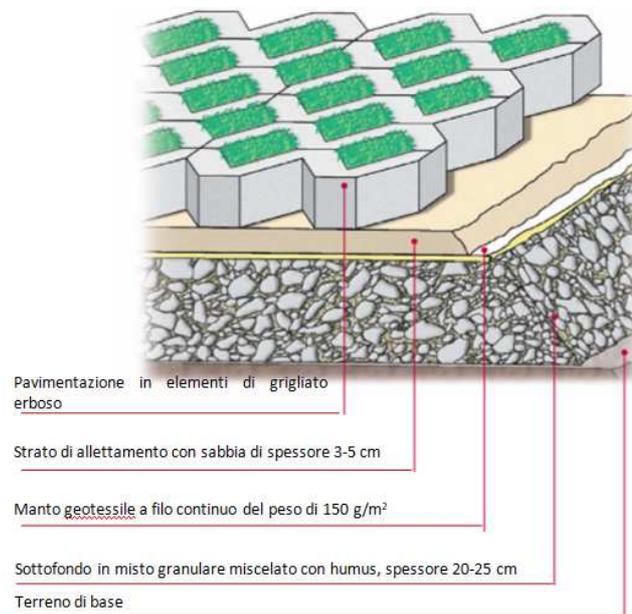


Figura 2.22: stratigrafia pavimentazione permeabile (www.molinaro.it)

2.3 Interventi non strutturali: sistemi di real time control (RTC) e early warning (EW)

L'ottimizzazione delle reti di drenaggio urbano attraverso l'uso di sistemi di RTC e EW consente di utilizzare la rete in maniera dinamica, sfruttando le previsioni meteorologiche al fine di gestire, attraverso controlli in tempo reale, la capacità di immagazzinamento della preesistente struttura fognaria, accumulando quei volumi che causerebbero esondazione.

I sistemi di previsione degli eventi meteorici (EW) permettono l'individuazione tempestiva di fenomeni meteorologici ad alto impatto con una specificità spaziale in grado di, attraverso azioni opportune, di mitigare i possibili danni. Questo sistema di nowcasting risulta essere uno strumento di fondamentale importanza nella gestione e nella prevenzione dei rischi connessi ad eventi meteorici estremi.

I sistemi di EW si basano su due passaggi fondamentali: l'identificazione e il tracciamento dell'evento. Basato sulle osservazioni radar, il sistema individua le celle temporalesche, le classifica e, grazie ai dati elaborati relativi alla velocità radiale, stima la direzione di spostamento.

L'architettura di base dei sistemi di Early Warning si può suddividere in tre elementi chiave:

- conoscenza e classificazione del rischio: per questo si analizza il background della zona, gli aspetti geografici, fisici e ambientali, i database della pluviometria del sito e degli eventi significativi al fine di valutare le varie componenti per evidenziare le zone maggiormente a rischio e i possibili danni legati ad una determinata intensità di pioggia. Obiettivo: Mappa del Rischio;
- previsione in tempo reale: questo elemento chiave si basa sul monitoraggio e sulla modellazione dei dati così ottenuti. I dati vengono simulati all'interno di un modello idraulico che definisce la risposta della rete di drenaggio all'evento meteorico previsto, definendone il livello di rischio;
- diffusione e comunicazione dello stato di allerta/allarme: diffusione dello stato di allerta e possibilità di anticipare l'evento dannoso attraverso manovre sulla rete di drenaggio al fine di contenere e limitare danni e rischi.

Il sistema RTC comunica direttamente con quello di EW da cui riceve i data set in funzione del grado di rischio per azionare gli attuatori che influenzano il processo del flusso nelle condotte.

La rete deve quindi essere resa "dinamica" attraverso l'installazione di un sistema di monitoraggio in real time e, allo stesso tempo, di dispositivi capaci di regolarsi in funzione del dato misurato, al fine di sfruttare al massimo la capacità di invaso dei condotti senza dover prevedere l'installazione di grandi e costose opere di invaso che risultano, inoltre, di non facile installazione in zone già urbanizzate.

Le informazioni di base necessarie per implementare un sistema di RTC sono quelle relative a:

- Misure e campionamenti: si rende quindi necessaria l'installazione di una rete di sensori nelle condotte, nel caso fossero già presenti va valutata l'ipotesi di ampliare la rete di monitoraggio con nuovi strumenti;
- Geometria della rete: è necessario conoscere la rete in ogni sua parte, sia la struttura principale sia i dettagli geometrici di ogni singolo elemento che la costituisce;
- Schema dei deflussi e delle portate circolanti;
- Capacità di invaso di ogni elemento che costituisce la rete;
- Disponibilità di modelli idraulici.

Per realizzare un sistema di RTC è necessario implementare un algoritmo finalizzato sulle funzioni obiettivo da perseguire, queste possono essere:

- Massimizzare la capacità di invaso della rete esistente per minimizzare gli sversamenti nel corpo idrico ricettore
- Minimizzare gli sversamenti per diminuire il carico inquinante immesso nell'ambiente attraverso l'attivazione degli scolmatori di piena;
- Massimizzare la capacità di depurazione degli impianti di trattamento ottimizzando le portate ad esso convogliate;
- Minimizzare i costi di gestione.

Il controllo locale è fra le tecniche RTC più semplici da applicare, il sensore solitamente è posto vicino all'organo di regolazione e comunicano tra di loro senza inviare informazioni alla centrale operativa. È

generalmente effettuato a "soglia costante" ossia che il regolatore tende a mantenere costante un valore di set-point predefinito; in casi più avanzati si sfrutta il controllo a "soglia variabile" che permette di variare il set-point durante l'evento meteorico sulla base di opportune misure locali.

Il controllo di tipo regionale si pone ad un livello intermedio tra locale e globale nel senso che il livello del set-point della variabile di controllo del singolo regolatore viene modificato nel tempo sulla base di dati di processo misurati in altri siti oltre a quello dell'attuatore stesso.

Le operazioni, a differenza di quanto avviene nel caso di controllo globale, sono relative a zone idraulicamente indipendenti, risulta quindi essere un'implementazione dei cicli di controllo dei sistemi locali interconnessi tra di loro.

Il controllo globale, o centralizzato, ha una visione di insieme dell'intero sistema, istante per istante, grazie alla trasmissione dei dati ad una centrale operativa nella quale vengono processate le informazioni per poi impartire le azioni ai regolatori. Le decisioni vengono quindi inviate ai regolatori locali che provvedono ad eseguirle.

Lo schema operativo può essere strutturato in forma "gerarchica" ossia con più sottolivelli decisionali per l'esecuzione delle direttive elaborate dalla centrale operativa. In presenza di sistemi di previsione meteorologica (EW), il controllo globale prevede la risposta della rete in funzione dell'entità della piena causata dall'evento e ne definisce le strategie da adottare per ogni regolatore. Si deve tenere conto, nel caso combinato RTC globale con EW, che il tipo di informazione che viene inviata dal radar deve essere correlata alle funzioni obiettivo del sistema di controllo in tempo reale. Inoltre è importante ricordare che le previsioni meteorologiche hanno un orizzonte temporale che non supera le 12-24 ore in relazione al tipo di eventi di interesse e al livello di incertezza ammessa e quindi l'uso di modelli di simulazione online deve essere rapportato a tale lasso temporale.

Il sistema di controllo in tempo reale si compone di:

- un sensore (ad esempio un misuratore di livello o di portata) che rilevi la grandezza variabile dalla cui misura dipende la regolazione;
- un regolatore o attuatore (ad esempio una pompa, una paratoia mobile, ecc.) che sia in grado di modificare il processo idraulico che si vuole regolare;
- un'unità di controllo (controller) che manovri il regolatore in modo da ridurre la variabile di processo al valore desiderato (set-point); tale valore viene fissato a priori, nel caso di set-point costante, oppure varia durante l'evento a seconda delle informazioni che riceve dalle misure locali dei sensori;
- due trasduttori, uno che fornisce i dati misurati dal sensore all'unità di controllo, e uno che fornisce i comandi dall'unità di controllo stessa al regolatore.

Ad esempio il sensore di livello rileva l'altezza d'acqua presente nella tubazione e comunica con il meccanismo di regolazione che, in funzione dei data-set impostati, agisce sul grado di apertura e chiusura della paratoia per ottimizzare la capacità di invaso.

L'implementazione del sistema RTC prevede le seguenti fasi:

1. considerazioni preliminari sul potenziale RTC (layout del sistema fognario, area drenata, capacità di invaso, strumenti e misure disponibili, simulazione dello stato attuale della rete);
2. determinazione delle funzioni obiettivo, identificazione delle variabili di processo e impostazione dei set-point (minimizzare gli sversamenti, massimizzare la capacità di invaso, ottimizzare la gestione della rete e il funzionamento dell'impianto di depurazione);
3. valutazione e validazione dei dati, confronto dei risultati con gli obiettivi prefissati (calibrazione e validazione del modello, eventuali semplificazioni del modello e implementazione delle funzioni obiettivo);
4. valutazione del modello, studio di differenti scenari con e senza RTC (definire le parti coinvolte dal sistema RTC, valutarne l'efficacia, studio degli scenari per la gestione ottimale degli obiettivi).

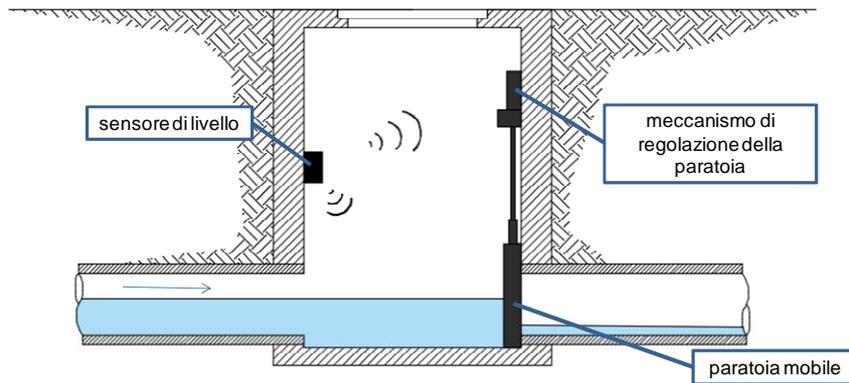


Figura 2.23: Schematizzazione del funzionamento di una paratoia mobile

Una volta determinati gli obiettivi e fissati i set point, per il posizionamento degli attuatori nella rete è stato studiato un coefficiente, CH , in grado di valutare l'idoneità del singolo collettore ad adottare strategie di tipo RTC:

$$CH = \frac{W_s \cdot R}{i \cdot Q_c}$$

Dove:

$$W_s = \text{volume specifico } W_{s_i} = \frac{\text{Volume del ramo } i\text{-esimo}}{\text{Area impermeabile } i\text{-esima} \cdot \text{coefficiente di deflusso}} = \frac{W_i}{A_{imp_i} \cdot \varphi_i} \text{ [m}^3/\text{ha]}$$

R = ricoprimento medio del tubo [m]

i = pendenza del ramo [m/m]

Q_c = rapporto tra la portata massima transitabile nella sezione e la portata che transita in condizioni di moto uniforme $Q_c = \frac{Q_{max}}{Q_{uni}}$ [m³/s]

L'idoneità del collettore ad ospitare un sistema RTC è determinata attraverso tre soglie del parametro CH :

- $> 6 \cdot 10^5$ → sicuramente idoneo
- $2.5 \cdot 10^5 \div 6 \cdot 10^5$ → idoneo
- $< 2.5 \cdot 10^5$ → non idoneo

Dopo aver individuato i collettori idonei, si procede in modo iterativo all'inserimento di un organo regolatore, uno alla volta, partendo da valle verso monte dove si sviluppa una sottorete, e simulando ogni volta la rete modificata al fine di valutarne l'efficacia attraverso il calcolo del grado di riempimento dei collettori di monte rispetto a quello in cui si è intervenuti.

Questa procedura è stata applicata nel PAR 2017 sul bacino sperimentale del Fossolo a Bologna, tale area di studio verrà utilizzata per le modellazioni successive per valutare l'applicabilità e i benefici derivanti dall'inserimento di NBS a scala di quartiere.

3 Coperture verdi

3.1 Struttura e benefici idraulici

I tetti costituiscono una consistente percentuale dell'area urbana, circa il 20-30%, e la conversione di tali superfici in coperture verdi può fornire benefici in termini di isolamento termico, di riduzione delle isole di calore e dei consumi di energia ma può fornire anche una valida soluzione al problema dell'impermeabilizzazione del suolo negli agglomerati urbani.

In generale le coperture verdi possono migliorare le condizioni di vita delle zone urbane grazie a vantaggi ambientali quali:

- Mitigazione microclimatica: i giardini pensili diminuiscono la temperatura dell'ambiente sono uno strumento per la mitigazione dell'isola di calore urbana;
- Riduzione dell'inquinamento sonoro: il substrato assorbe onde a basse frequenze e la vegetazione onde ad alte frequenze;
- Assorbimento dell'elettrosmog: secondo uno studio dell'Università militare di Monaco, utilizzando uno spessore di substrato di 15 cm (equiparabile a un intensivo leggero) si può ridurre il campo di frequenza della rete cellulare di 22 dB, pari al 99.4%, mentre coperture in argilla raggiungono valori superiori di 49 dB, pari al 99.9%;
- Fissaggio delle polveri e depurazione dell'aria;
- Superfici di compensazione e biodiversità: il verde pensile è riconosciuto come strumento per la compensazione delle superfici naturali sottratte a causa dell'edificazione.

Da un punto di vista funzionale, le coperture a verde assicurano una maggiore protezione meccanica degli strati componenti la copertura (membrana impermeabilizzante, solaio ecc..) e, da un punto di vista economico, consentono, grazie alle funzioni d'isolamento termico, un risparmio sui costi energetici. Inoltre, dal punto di vista idraulico, vista la progressiva impermeabilizzazione del suolo dovuta alla crescita delle aree urbanizzate che ha alterato irrimediabilmente il naturale ciclo idrologico, causando un deterioramento qualitativo delle acque di scorrimento e riducendo i volumi di precipitazione che si possono infiltrare, le coperture verdi forniscono una soluzione al sovraccarico dalla rete fognaria aumentando l'assorbimento delle acque meteoriche e ritardando il loro ingresso in fognatura. Con l'incremento di tetti verdi si può quindi ridurre e controllare il runoff superficiale delle acque meteoriche che si riversano nei bacini di drenaggio e in fognatura. Per la sua struttura, la copertura verde permette l'accumulo e la ritenzione di buona parte della precipitazione; essa consiste nella sovrapposizione di più strati, ciascuno con una funzione bene specifica, al di sopra dei quali viene fatta crescere la vegetazione. I pacchetti che formano i tetti verdi (vedi esempio riportato in Figura 3.1) possono essere anche molto differenti tra loro sia per il numero e lo spessore degli strati sia per la loro inclinazione.

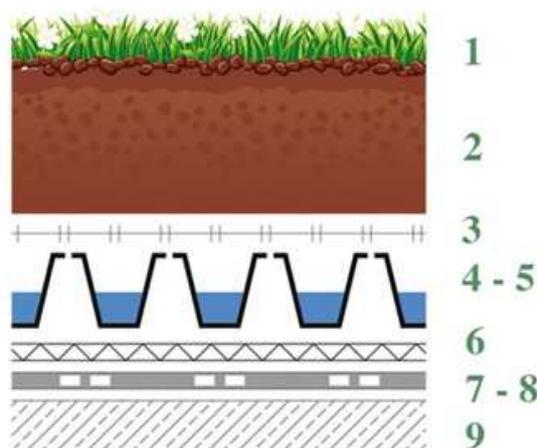


Figura 3.1: stratigrafia della copertura verde (www.leca.it)

Generalmente è però sempre prevista la presenza, partendo dal basso verso l'alto, dei seguenti elementi:

a) Vegetazione

La scelta della tipologia di vegetazione è legata a diversi fattori che vanno dalle più semplici esigenze estetiche e di manutenzione fino agli aspetti più tecnici come l'ottimizzazione dei flussi termici ed idrici, l'assorbimento degli inquinanti e del rumore ambientale. Nella scelta della vegetazione vanno tenute in considerazione, inoltre, le caratteristiche climatiche locali e l'esposizione al vento e al sole diretto. (Pittaluga et al. 2009; Schunk et al. 1998; Andri et al. 2012).

b) Substrato o strato culturale

È lo strato di terreno che contiene le sostanze nutritive e accumula l'acqua per la vegetazione deviandone la parte in eccesso. Il ridotto spessore dello strato fa sì che esso debba soddisfare esigenze superiori a quelle di normale terreno di campo; è necessario, quindi, ricorrere ad un terreno "ammendato" con determinate caratteristiche di pH e conducibilità elettrica (UNI EN 13037) o di controllo della ritenzione idrica (UNI EN 13041). Generalmente si impiegano varie di minerali (pomice e laterizio) a cui si aggiungono componenti organiche in grado di favorire l'attecchimento della vegetazione (torba, fibra di cocco ecc.). Lo spessore del substrato varia, a seconda del tipo di vegetazione scelta, da un minimo di 8 cm per il *Sedum* fino a spessori di oltre 40 cm per arbusti di prima grandezza (vedi Tabella 3.1).

Tipo di vegetazione	Spessore strato culturale [mm]					
	8	10	15	20	40	>40
<i>Sedum</i>						
Erbacee perenni a piccolo sviluppo						
Grandi erbacee perenni, piccoli arbusti tappezzanti						
Tappeti erbosi						
Arbusti di piccola taglia						
Arbusti di grande taglia e piccoli alberi						
Arbusti di terza grandezza						
Arbusti di seconda grandezza						
Arbusti di prima grandezza						

Tabella 3.1 Spessori minimi del substrato in funzione della vegetazione (UNI 11235:2007)

c) Strato filtrante

Il filtro ha lo scopo di impedire che eventuali particelle provenienti dal substrato vadano ad ostruire il drenaggio sottostante; in questo modo solo l'acqua può passare attraverso questo strato. Può essere realizzato tramite tappetini o lastre di diversi materiali (polimerici, fibre di vetro o lana di roccia) oppure con tessuti geotessili. Per un corretto funzionamento, l'elemento filtrante deve avere una permeabilità all'acqua almeno 10 volte superiore rispetto a quella dello strato culturale, e comunque maggiore di 0,3 cm/s, così come indicato dalla normativa UNI 11235.

d) Elemento drenante e di accumulo idrico

Svolge la doppia funzione di smaltimento dell'acqua in eccesso e di riserva idrica per la vegetazione; allo stesso tempo garantisce l'aerazione del substrato e la creazione di un strato d'aria che incrementa l'inerzia termica del sistema. Può essere costituito da vari tipi di aggregati (argilla espansa, perlite espansa, pietrisco) oppure realizzato mediante elementi prefabbricati in polistirene o plastica.

6. Membrana antiradice (elemento di protezione meccanica)

Può essere o meno integrata alla membrana impermeabilizzante (UNI 11235:2007) ed ha il compito di bloccare il passaggio delle radici e dei microorganismi le quali potrebbero compromettere la struttura sottostante.

8. Membrana bituminosa impermeabilizzante

Ha la funzione di impedire il passaggio dell'acqua al fine di proteggere la struttura della copertura sottostante.

9. Elemento portante

La normativa italiana individua nove funzioni primarie della stratigrafia della copertura verde

Funzione	Sistema	Componente	Particolarità
Inverdimento	Sistema a verde	Strato di vegetazione	
Substrato coltivo		Strato colturale	
Filtraggio		Elemento filtrante	
Accumulo idrico		Elemento di accumulo idrico	Spesso integrate in un unico elemento
Drenaggio		Elemento drenante	
Protezione meccanica		Elemento di protezione meccanica	
Protezione dell'azione delle radici	Sistema di impermeabilizzazione	Elemento di protezione dalle radici	Spesso integrate in un unico elemento
Impermeabilizzazione		Elemento di tenuta	
Funzione strutturale		Elemento portante	

Generalmente i tetti verdi possono essere classificati in intensivi o estensivi. Una realizzazione del primo tipo include veri e propri giardini pensili in grado di costituire un ecosistema in miniatura in cui possono crescere erbe, cespugli ed alberi. Per questo motivo richiedono spessori di substrato considerevoli che vanno dai 30 mm fino a raggiungere anche i 200 mm e il carico strutturale aggiuntivo può essere notevole, tra i 300 e i 750 kg/m². I tetti verdi estensivi, invece, sono caratterizzati da profondità del substrato molto minori, comprese tra 2,5 e 15 cm e vengono realizzati generalmente per ottenere vantaggi di tipo ambientale. Le realizzazioni di tipo estensivo sono caratterizzate da una scelta della vegetazione più limitata ma richiedono poca cura e manutenzione e sono facilmente realizzabili anche su tetti inclinati. In questo caso il carico aggiuntivo sulla struttura dell'edificio è molto inferiore al precedente, tra i 60 e i 150 kg/m², per cui possono essere applicati anche su edifici già esistenti (Stefanutti 2009; Berardi, GhaffarianHoseini, and GhaffarianHoseini 2014).

In Tabella 3.2 sono riportate le principali caratteristiche in funzione delle due tipologie di tetti verdi.

Principali caratteristiche	Estensivo	Intensivo
Spessore del substrato	Minore di 200 mm	Maggiore di 200 mm
Accessibilità	Inaccessibile (radici fragili)	Accessibile (utilizzabile a scopi ricreativi)
Peso	60–150 kg/m ²	Superiore ai 300 kg/m ² (può richiedere il rinforzo della struttura)
Varietà di vegetazione	Bassa (muschio, erbacee)	Alta (prato o piante perenni, arbusti, alberi)
Realizzazione	Moderatamente semplice	Tecnicamente complessa
Irrigazione	Spesso non necessaria	Necessita di un sistema di irrigazione e drenaggio
Manutenzione	Semplice	Complessa
Costo	Basso	Alto

Tabella 3.2 Classificazione e principali caratteristiche dei tetti verdi (Berardi, GhaffarianHoseini, and GhaffarianHoseini 2014)

Le peculiarità delle coperture verdi, legate alla loro struttura, si possono riassumere in:

- Capacità di accumulo idrico: durante l'evento meteorico, o le irrigazioni, l'elemento di accumulo trattiene acqua per cederla nei periodi di necessità. questa proprietà varia in funzione del contesto in cui viene installata la copertura poiché strettamente relazionata al clima e al tipo di soluzione tecnica e vegetale adottata;
- Capacità drenante: funzione del substrato;
- Capacità di aerazione dello strato drenante: l'elemento drenante deve garantire almeno il 60% di volume d'aria per non deteriorare le radici delle piante e che, fra la superficie dell'acqua eventualmente presente e l'elemento filtrante, vi sia una quantità di aria pari almeno al 30% dello spessore dell'elemento drenante con un minimo di 1 cm;
- Capacità di aerazione dello strato colturale;
- Capacità agronomica: ovvero la capacità del suolo di trattenere alcuni elementi nutritivi per la crescita delle piante.

Il contributo alla regimazione idrica è uno dei benefici più importanti dei tetti verdi i quali, grazie alla loro capacità di trattenere, accumulare e restituire all'ambiente l'acqua, sono in grado di ripristinare almeno in parte il ciclo idrologico (Pittaluga et al. 2009). Infatti, la cementificazione ha fatto sì che le acque piovane vengano quasi totalmente intercettate e convogliate nella rete fognaria mettendo spesso in crisi l'intera rete di smaltimento delle acque bianche, specialmente in occasione di forti eventi atmosferici ormai sempre più frequenti. La copertura verde, con la capacità di ritenzione idrica che la contraddistingue, rallenta il deflusso delle acque meteoriche verso le condotte di scarico, alleggerendo così il carico sul sistema di smaltimento. La capacità del tetto verde di regimare le acque è misurata dal coefficiente di deflusso Ψ che definisce il rapporto tra l'acqua piovana che viene rilasciata e quella che viene captata, in uno specifico intervallo di tempo. Per le coperture impermeabili il coefficiente di deflusso varia da 0.80 a 1, in funzione dell'inclinazione del tetto, per le coperture verdi il coefficiente dipende non solo dall'inclinazione ma anche dallo spessore della stratigrafia come evidenziato nella Tabella 3.3.

Spessore stratificazione [cm]	Ψ Inclinazione $<15^\circ$	Ψ Inclinazione $>15^\circ$
>50	0.1	-
25-50	0.2	-
15-25	0.3	-
10-15	0.4	0.5
6-10	0.5	0.6
4-6	0.6	0.7
2-4	0.7	0.8

Tabella 3.3: coefficienti di deflusso per coperture verdi in funzione dello spessore e dell'inclinazione ("Il verde pensile" Paolo Abram)

Durante un evento meteorico, l'acqua intercettata dalla copertura verde attraversa il substrato, dove viene accumulata fino a saturazione, per poi essere stoccata nello strato drenante; solo l'acqua in eccesso viene, quindi, invece deviata verso il sistema fognario (Stovin, Vesuviano, and Kasmin 2012). Parte delle acque meteoriche, inoltre, torna in atmosfera grazie all'evapotraspirazione, un processo fisico che include l'evaporazione dalla superficie del terreno e la traspirazione dagli apparati fogliari delle piante (Cipolla 2015).

Il comportamento idrologico del tetto verde garantisce, quindi, non solo una portata minore in ingresso alla rete fognaria, con conseguente riduzione dei volumi diretti verso i corpi idrici ricettori, ma anche il periodo di scarico risulta dilatato.

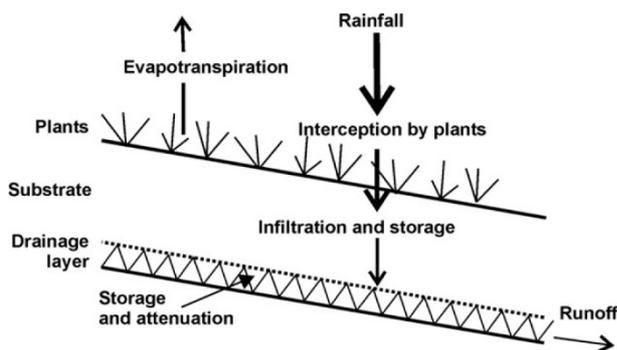


Figura 3.2: Processi idrologici del tetto verde (Stovin, Vesuviano, and Kasmin 2012)

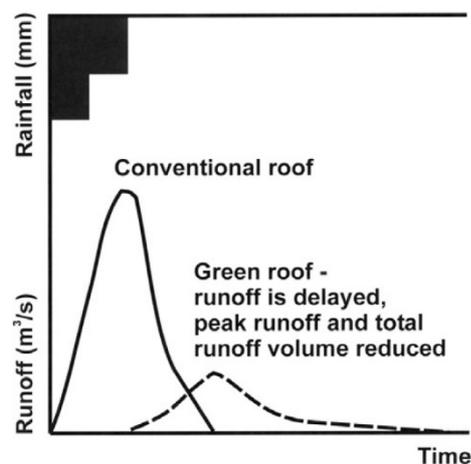


Figura 3.3: Risposta del tetto verde alle precipitazioni (Stovin, Vesuviano, and Kasmin 2012)

La capacità di ritenzione del tetto verde dipende sia dalla stratigrafia della copertura stessa, spessore del substrato in primis, che dalle condizioni meteorologiche del sito di installazione. Studi condotti sul comportamento idrologico dei tetti verdi hanno dimostrato che le realizzazioni estensive sono in grado di ridurre annualmente il deflusso di una percentuale che varia dal 22% al 75% e che per substrati più profondi si supera l'80% (Palla, Gnecco, and Lanza 2010).

3.2 Esempio di copertura verde e relativa modellazione idraulica a scala di edificio

Come esempio di copertura verde si riporta il tetto sperimentale installato presso il plesso del Lazzaretto della Scuola di Ingegneria e Architettura di Bologna (Figura 3.4: Polo universitario della Scuola di Ingegneria e Architettura di Bologna Figura 3.4).



Figura 3.4: Polo universitario della Scuola di Ingegneria e Architettura di Bologna

Il tetto verde è stato realizzato su una porzione del corpo 8 (Figura 3.5) dell'edificio del LAGIRN tenendo conto dei sovraccarichi consentiti, dell'esposizione solare e dell'accessibilità.

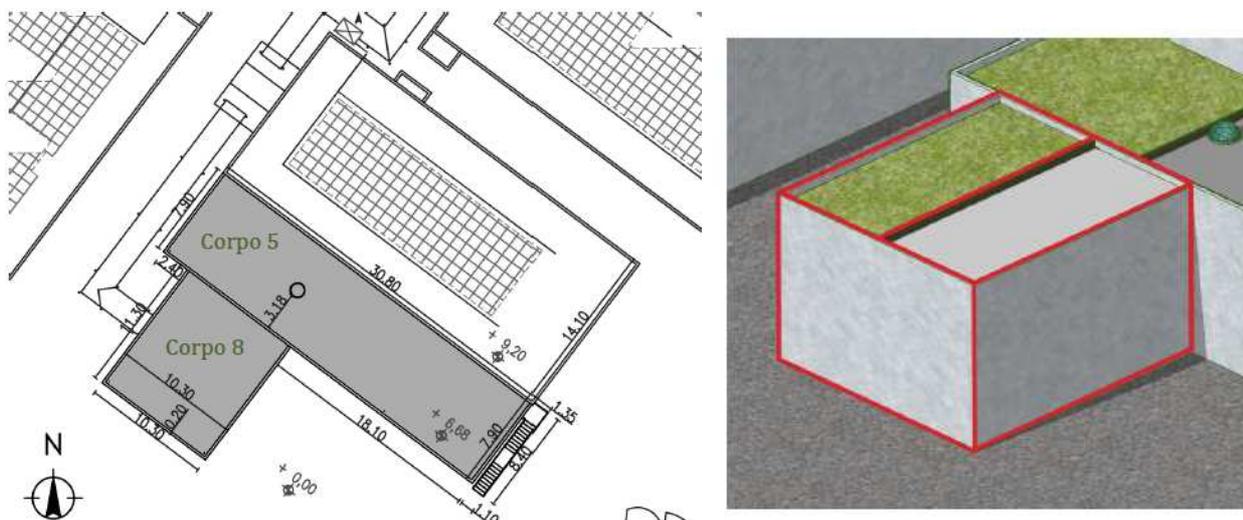


Figura 3.5: Planimetria e schema volumetrico del LAGIRN

La copertura quasi orizzontale di circa 114 m² è suddivisa in due particelle speculari di uguale estensione, con scarichi simmetrici, corrispondenti ad un tetto di riferimento impermeabile (RR) e a un tetto verde di tipo commerciale (GR). La copertura impermeabile RR occupa circa 57 m² della superficie complessiva, ha una pendenza dello 0.5% verso il pluviale posto nello spigolo del tetto (freccia rossa in Figura 3.6). La superficie è ricoperta da una membrana nera in PVC dello spessore nominale di 2 mm, idonea come impermeabilizzazione per le coperture piane accessibili.

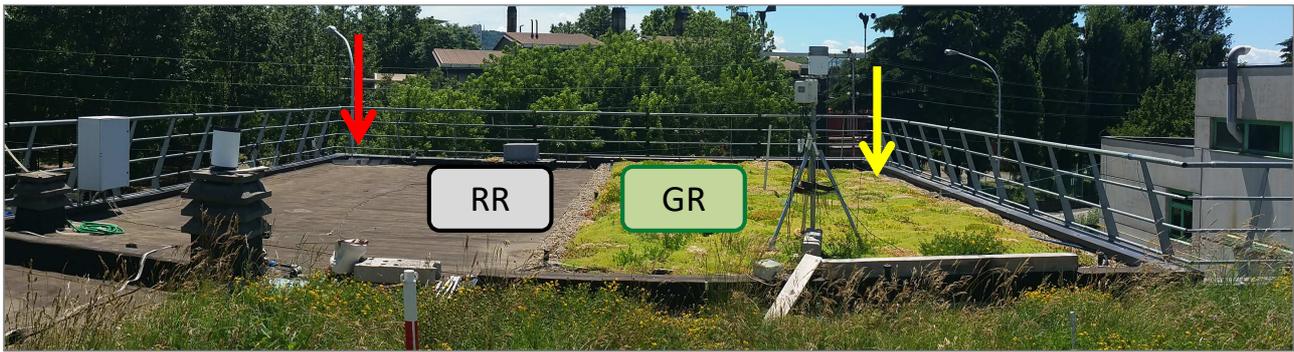


Figura 3.6: Tetto verde sperimentale presso la Scuola di Ingegneria dell'Università di Bologna

Il tetto verde GR è realizzato con il pacchetto *Verde pensile estensivo-Sistema Seic mediterranean green roof* commercializzato dalla SEIC Verde Pensile- Harpo Spa (Figura 3.7); è essenzialmente costituito da una membrana antiradice, da un feltro di protezione, da un elemento di drenaggio/accumulo/aerazione, da un filtro di protezione, da un substrato di 10 cm di spessore e da uno strato di vegetazione composto da un mix di specie del genere *Sedum*. GR ha uguale superficie e pendenza di RR, il pluviale di scarico è posto nell'angolo speculare a quello relativo alla copertura impermeabile (freccia gialla in Figura 3.6).



Figura 3.7: stratigrafia verde pensile estensivo-Sistema Seic mediterranean green roof commercializzato dalla SEIC Verde Pensile- Harpo Spa

Performance del sistema	
Spessore totale	c.a 12.5 cm
Spessore del substrato compattato	c.a 10 cm
Peso del sistema a massima saturazione idrica esclusa vegetazione	c.a 130 kg/m ²
Volume d'aria presente nel sistema	>40 l/m ²
Capacità di accumulo idrico del sistema	34 l/m ²
Acqua disponibile per le piante	> 28 l/m ² ; con un quantitativo di acqua libera contenuta nel pannello non superiore a 3 l/m ²
Coefficiente di deflusso	0.44
Caratteristiche del substrato	a norma UNI 11235

Tabella 3.4: performance del pacchetto verde pensile estensivo (Harpo group s.p.a.)

Per studiare il comportamento idraulico del tetto sperimentale (GR e RR) sono stati installati:

- Un misuratore di livello ad ultrasuoni per ogni scarico (freccia rossa e gialla in Figura 3.6) al fine di misurare il livello e quindi, nota la geometria del misuratore e dello stramazzo in esso presente ricavare la portata defluita dal tetto. Ciò ha consentito di stimare di ritenzione delle differenti superfici (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**);
- Una stazione meteorologica in grado di fornire informazioni relative ai principali parametri meteo-climatici con time step di 5 minuti (Figura 3.10);
- Delle sonde capacitive per misurare l'umidità del terreno.



Figura 3.8: misuratori di livello installati sulla copertura sperimentale presso la sede di Ingegneria di Bologna

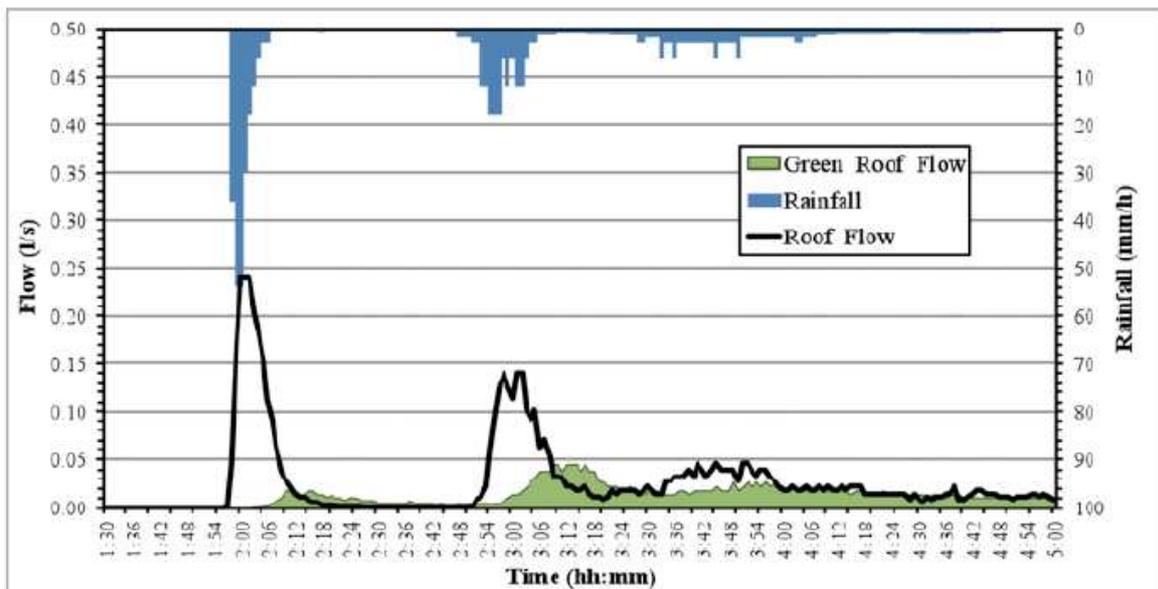


Figura 3.9: grafico relativo ad un evento misurato dalla strumentazione installata sulla copertura sperimentale



Figura 3.10: stazione meteorologica installata sulla copertura sperimentale

Nota la geometria del tetto verde sperimentale si è realizzato un modello idrologico/idraulico mediante l'ausilio del software open source SWMM 5.1. Nel dettaglio si è ricostruita la geometria del tetto come se questo fosse un sottobacino e si è applicato su di esso il modulo LID "Bioretentio cell".

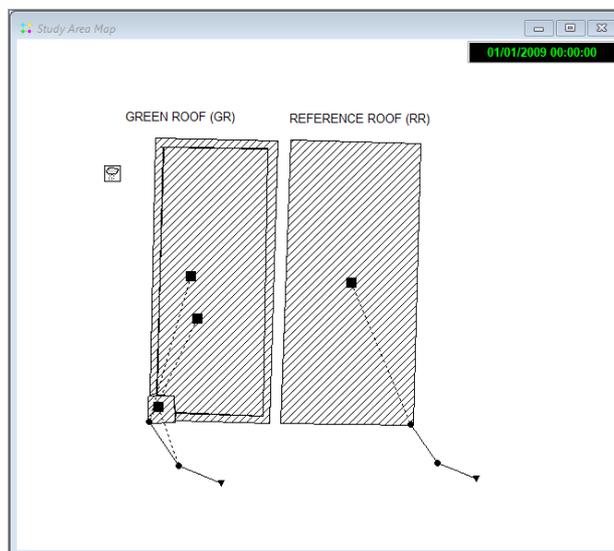


Figura 3.11: modello in SWMM delle coperture del tetto sperimentale: verde (GR) e impermeabile (RR)

Il modulo LID "Bioretentio cell" è costituito da diversi layers sovrapposti che consentono di simulare tutti i diversi elementi che compongono un tetto verde:

- "Surface layer": rappresenta la vegetazione;
- "Solil layer": rappresenta il substrato;
- "Storage layer": rappresenta l'elemento di drenaggio e accumulo, lo strato di filtro e l'eventuale feltro di protezione.

Le proprietà fisiche della stratigrafia della copertura verde derivano da analisi sperimentali svolte nel corso degli anni; nello specifico sono stati utilizzati i parametri riassunti nella Tabella 3.5.

Layer	Parametro	Unità	Valore Bio-retention cell
Surface	Berm height	mm	3
	Vegetation volume fraction		0.15
	Surface roughness		0.2
	Surface slope	%	0.75
Soil	Thickness	mm	100
	Porosity	%	0.65
	Field capacity	m ³ /m ³	0.35
	Wilting point	m ³ /m ³	0.06
	Conductivity	mm/h	2280
	Conductivity slope		5
	Suction head	mm	25
Storage	Thickness	mm	25
	Void ratio		0.5
	Infiltration rate		0
	Clogging factor		0
Underdrain	Drain coefficient		0.15
	Drain exponent		1.6
	Offset height	mm	3

Tabella 3.5: parametri utilizzati per la modellazione in SWMM della copertura verde relativi al modulo LID Bio-retentio cell

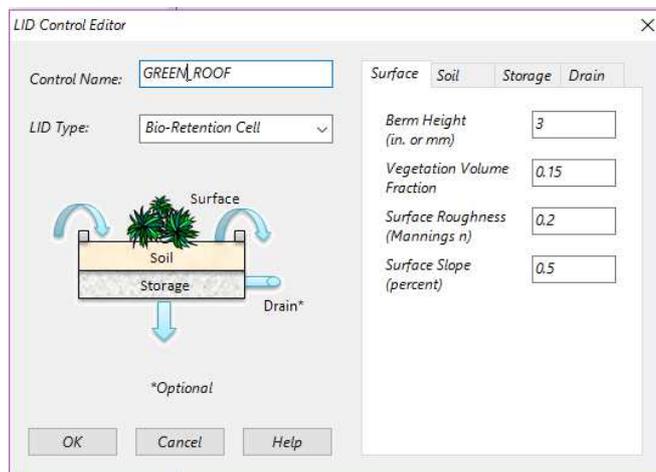


Figura 3.12: esempio di schermata relativa al controllo LID in SWMM

La strategia di calibrazione e validazione è stata basata sulla comparazione degli idrogrammi osservati e simulati in uscita dai plot considerati sulla base dei singoli eventi valutando le prestazioni del modello attraverso la comparazione dei volumi defluiti e dei picchi dell'idrogramma di piena tra osservato e simulato. Per la calibrazione e la validazione del modello sono stati utilizzati i dati di pioggia e temperatura registrati dalla stazione meteorologica installata sulla copertura sperimentale. Informazioni di dettaglio si possono trovare in Cipolla et al. (2016).

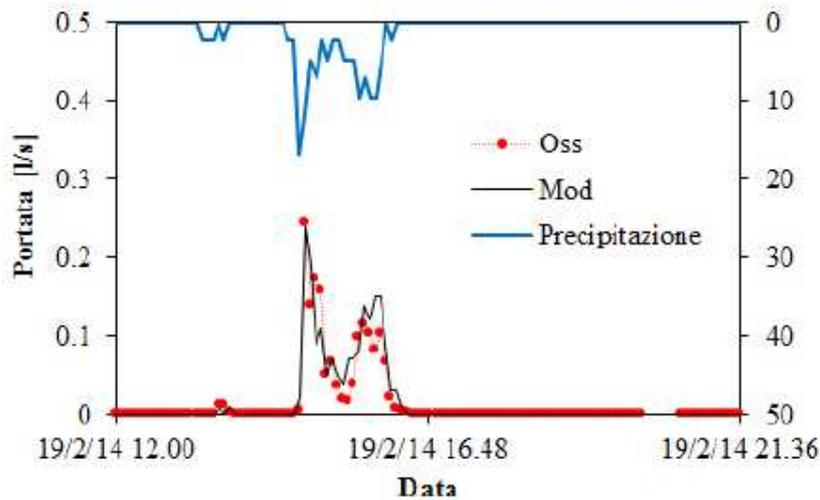


Figura 3.13: esempio di letogramma di precipitazione e comparazione tra i deflussi simulati (linea nera) ed i deflussi misurati (linea rossa) degli eventi utilizzati in fase di calibrazione per il modello del tetto impermeabile RR

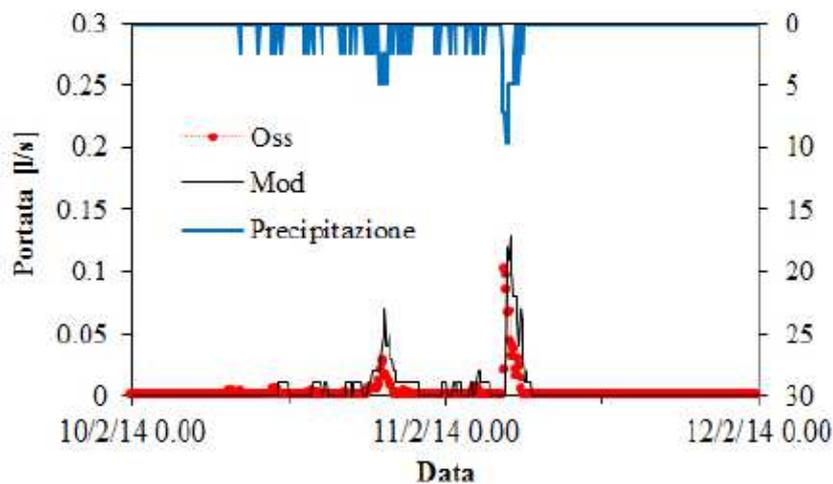


Figura 3.14: esempio di letogramma di precipitazione e comparazione tra i deflussi simulati (linea nera) ed i deflussi misurati (linea rossa) degli eventi utilizzati in fase di calibrazione per il modello del tetto verde GR

Il modello, calibrato e validato sulla base di dati sperimentali, è stato utilizzato per simulare in continuo il comportamento del tetto verde fornendo quale dato di input le precipitazioni e le temperature dell'anno 2009 corrispondente all'anno in cui la cumulata totale di precipitazione è più vicina al valore medio calcolato sulla base di 27 anni di osservazioni (1990-2017). Le precipitazioni complessive per l'anno analizzato sono state pari a 808 mm, se si considera l'area di copertura pari a 57 m² ne deriva un volume annuo di precipitazione di circa 46m³.

Il risultato delle simulazioni mostra che il volume defluito dalla copertura impermeabile (RR), al netto delle perdite idrologiche, è circa uguale a quello piovuto. La copertura verde (GR) mostra, su scala annuale, una riduzione dei volumi complessivamente sversati in fognatura (vedi Figura 3.15), confermando dunque l'efficacia di tali tecnologie. Per valutare il grado di efficienza della copertura verde, in termini di laminazione delle portate meteoriche, si calcola la capacità di ritenzione R del sistema:

$$R = \frac{\sum_{t=0}^T P_t - \sum_{t=0}^T D_t}{\sum_{t=0}^T P_t} \cdot 100 [\%]$$

Con:

- Pt: precipitazione totale annua
- Dt: Defluito totale annuo.

Per il caso modellato la ritenzione media annua risulta essere pari al 25%.

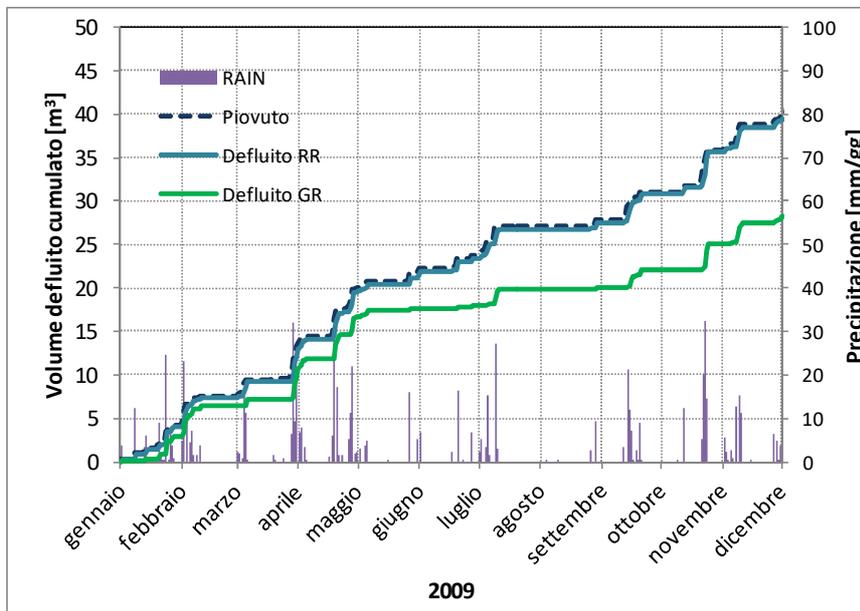


Figura 3.15: grafico relativo al confronto del volume defluito nell'anno 2009 dalla copertura verde (GR) e da quella impermeabile (RR)

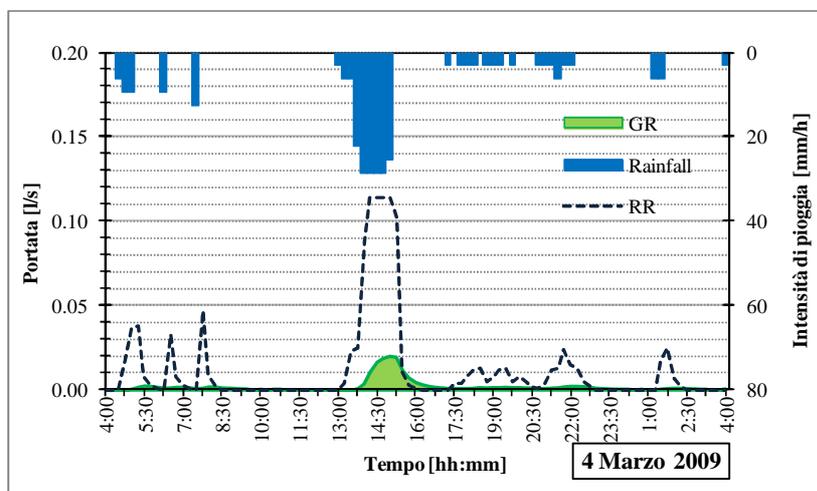


Figura 3.16: grafico relativo all'evento del 4/3/2009 con evidenziati il defluito da RR e da GR

È però importante evidenziare che la capacità di ritenzione del tetto verde non è costante durante l'anno ma dipende dal grado di saturazione del substrato prima dell'evento meteorico e dallo stato della vegetazione. Ciò appare più evidente quando si analizzano singoli eventi meteorici come quelli riportati in Figura 3.16. e 3.17. Nel primo si ha una riduzione del picco di portata pari all'83% e un ritardo tra i picchi massimi di circa 30 minuti. Nel secondo evento, nonostante sia un evento caratterizzato da un'intensità di precipitazione con TR >4 anni il tetto verde garantisce una ritenzione dell'80%. Ciò è essenzialmente dovuto al fatto che tal evento è preceduto da 22 giorni di tempo secco in cui le elevate temperature di giugno hanno favorito di il processo di evapotraspirazione. Qualora lo stesso evento si verificasse in inverno si assisterebbe a una drastica riduzione della capacità di ritenzione del verde pensile. Tutto ciò considerato la capacità di ritenzione di queste tecnologie e il ritardo nell'immissione in rete si traducono in un beneficio ambientale in termini di minori volumi immessi in fognatura.

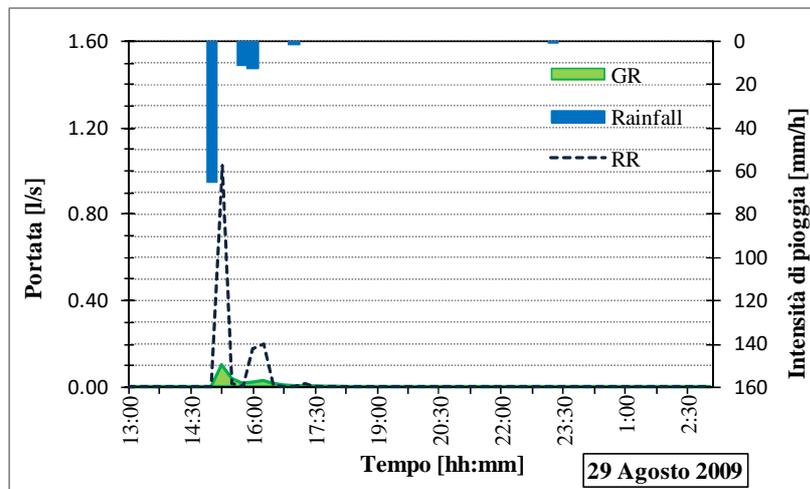


Figura 3.17: grafico relativo all'evento del 29/8/2009 con evidenziati il defluito da RR e da GR

3.3 Modellazione e analisi dei benefici ambientali derivanti dall'applicazione di coperture verdi a scala di quartiere

Per la modellazione idraulica a scala di quartiere è stata scelta una rete esistente, utilizzata per l'analisi relativa ai sistemi di controllo in tempo reale del precedente PAR 2017, relativa alla zona Fossolo di Bologna. L'area drenata è di circa 48 ha principalmente urbanizzata, quindi impermeabile, caratterizzata da un coefficiente di deflusso medio pari a 0.6. Gli edifici presenti all'interno del bacino sono quasi esclusivamente ad uso residenziale e ad attività commerciali di modesta importanza. Il numero di residenti risulta pari a circa 10.000 abitanti. La rete di drenaggio presente, è una rete di tipo misto ad albero, risalente agli anni '60. Lo sviluppo complessivo è di circa 6 km e termina con un condotto di sezione policentrica (sezione di tipo Vigentino) con altezza interna massima pari a 1,44 m e larghezza interna pari a 1,80 m. Tale condotto è stato realizzato in opera in muratura, mentre i rimanenti condotti sono prevalentemente prefabbricati in calcestruzzo, con sezioni circolari e ovoidali. La rete oggetto di studio è caratterizzata da 203 nodi con un ricoprimento medio di circa 4 metri, e 202 rami, caratterizzati da una pendenza media dello 0,6% che procede da sud, verso nord.

L'impatto del verde pensile a scala di quartiere è stato valutato ipotizzando che il 30% delle superfici dei tetti realmente presenti nell'area di studio fosse sostituita da tetti verdi di tipo estensivo. Ciò ha consentito di utilizzare il modulo LID descritto in precedenza, calibrato e validato sulla base di dati sperimentali.

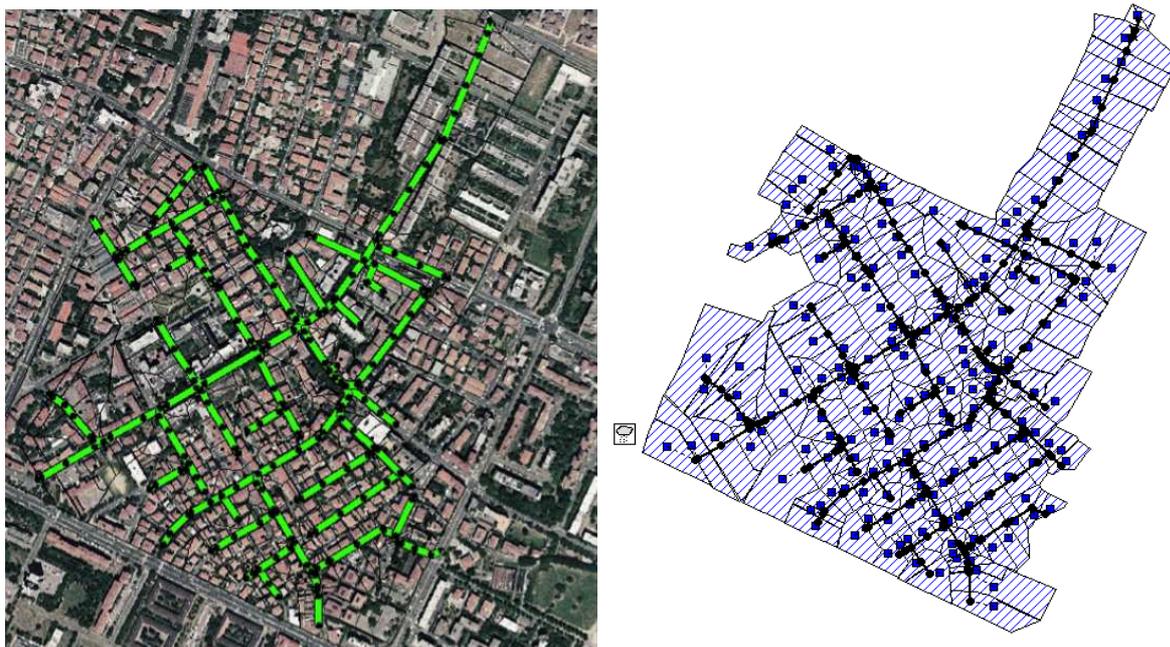


Figura 3.18: rete fognaria della zona Fossolo (sinistra) e relativo modello realizzato in SWMM 5.1 (destra)

La modellazione della rete è stata effettuata anch’essa mediante il software SWMM 5.1. Le reti analizzate sono le seguenti e coincidono con quelle descritte e simulate nell’ambito del precedente PAR:

- a) rete originale;
- b) rete con controllo RTC utilizzando i PID;
- c) rete con controllo RTC basato sui PID e *orifice* nel tratto verso il depuratore per controllare la portata in uscita;

in similitudine con quanto effettuato in precedenza i di input analizzati corrispondono alle precipitazioni e alle temperature realmente registrate a Bologna nell’anno 2009. I risultati delle simulazioni sono stati analizzati in termini quantitativi e qualitativi, nel dettaglio si sono comparati i volumi e le masse di sostanze inquinanti sversate nei ricettori nello scenario reale di ciascuna configurazione e con lo scenario tetti verdi (tab. 3.6)

Scenario	Rete	Volume (m ³)	Massa (kg)
REALE	ORIGINALE	40272	3937
	PID	26201	1967
	PID+ORIFICE	39227	2572
+30% TETTI VERDI (GR 30%)	ORIGINALE	18048	1783
	PID	9173	670
	PID+ORIFICE	13753	871

Tabella 3.6: risultati ottenuti dalla simulazione dell’area Fossolo con e senza coperture verdi

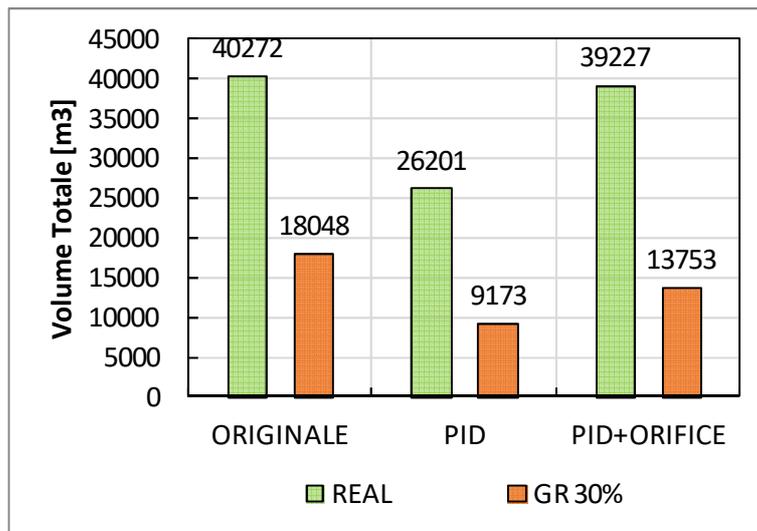


Figura 3.19: grafico relativo al volume totale inviato al ricettore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello con l'installazione di coperture verdi pari al 30% dell'area

Se si osserva il grafico in Figura 3.19, appare evidente come l'introduzione del verde pensile determina una riduzione dei volumi in ogni configurazione di rete analizzata. La rete con sistema di controllo in tempo reale e logica PID è in grado di minimizzare i volumi inviati al ricettore, sia nel caso reale sia con l'introduzione di un 30% di coperture verdi (GR); la riduzione dei volumi sversati è rispettivamente pari al 35% e al 65% dei volumi ottenuti con la configurazione originale. Se si considera lo scenario con l'inserimento delle coperture verdi, si ha una riduzione del 49% inserendo nella rete originale il sistema RTC con logica PID.

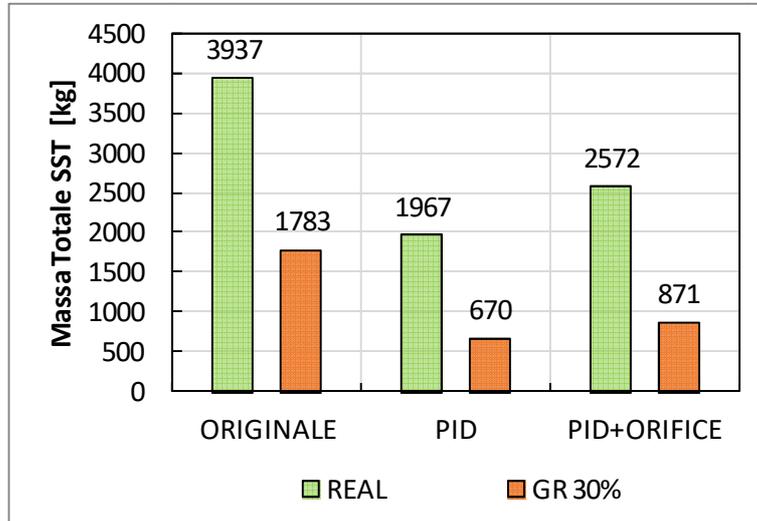


Figura 3.20: grafico relativo alla massa totale dei solidi sospesi inviata al ricettore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello con l'installazione di coperture verdi pari al 30% dell'area

Per capire i benefici derivanti dall'inserimento di coperture verdi in termini di qualità si sono analizzate le simulazioni individuando la massa dei solidi sospesi inviate al corpo idrico ricettore (Figura 3.20). Osservando il grafico è immediato notare come, anche in questo caso, la soluzione con RTC e logica PID sia quella in grado di fornire maggiori benefici all'ambiente; questo beneficio aumenta significativamente in presenza di coperture verdi.

4 Impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

4.1 Descrizione dell'impianto

La raccolta è il riutilizzo delle acque meteoriche in ambito urbano consente di ridurre il consumo di acqua potabile e mitigare l'impatto dell'edificio in termini di portate meteoriche convogliate dalle superfici impermeabili al sistema fognario. La normativa italiana (D.M. 185/2003, Art. 3) consente il riutilizzo di per scopi irrigui, per alimentare lo scarico dei WC, per gli impianti di lavaggio delle superfici di pertinenza e altri usi non potabili. La normativa inoltre impone la realizzazione di una rete di distribuzione duale opportunamente. In altri paesi, come ad esempio la Germania, è consentito il riuso delle acque piovane per alimentare elettrodomestici come la lavatrice, data la bassa durezza e la bassa concentrazione di sali.

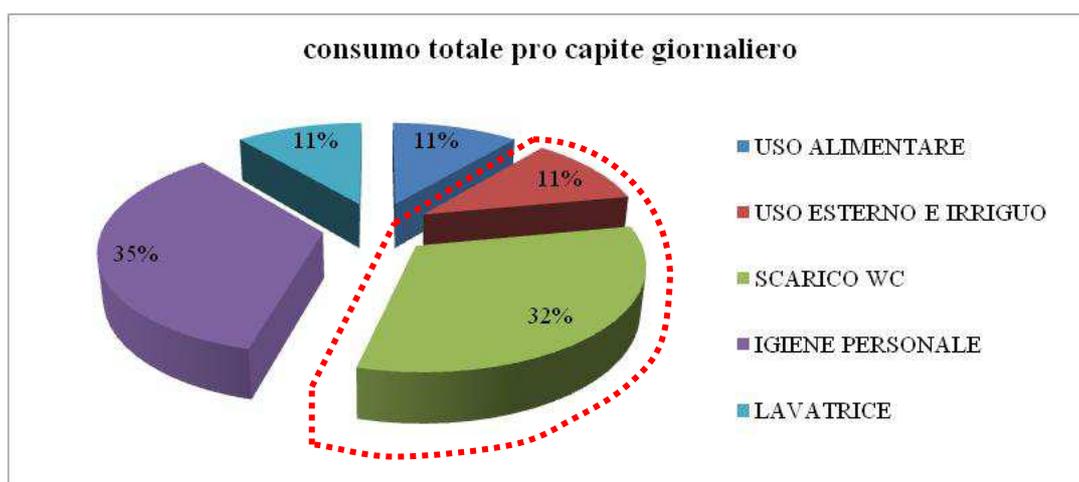


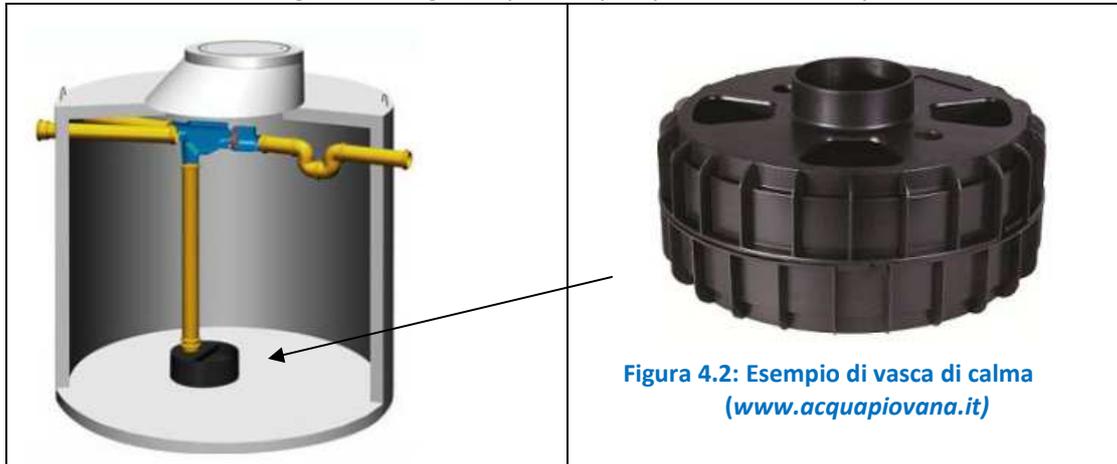
Figura 4.1: caratterizzazione dei consumi domestici

In Figura 4.1 vengono evidenziate le attività che prevedono la possibilità di sfruttare l'acqua piovana riciclata, esse rappresentano il 43% delle acque consumate giornalmente in ambito domestico; se si considerasse anche la possibilità di utilizzare l'acqua di riciclo anche per alimentare la lavatrice la percentuale salirebbe al 54%, ovvero più della metà dell'acqua che consumiamo non necessita di essere di tipo potabile.

Un impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche si compone usualmente dei seguenti elementi:

- Sistema di captazione:** è costituito dalla copertura dell'edificio in cui l'acqua viene indirizzata ai canali di gronda e di conseguenza ai pluviali, alle tubazioni di raccordo fino ai pozzetti. Questa superficie è quella che capta le acque e le convoglia al sistema di accumulo passando prima per i manufatti dedicati al filtraggio.
- Filtro d'ingresso:** in un impianto per recupero acqua piovana il filtraggio dell'acqua è necessario per eliminare i detriti, le foglie, sassolini, terra o altro materiale in arrivo dai tetti o dalle aree di recupero dell'acqua. L'ingresso di tali materiali nel serbatoio determina un repentino deterioramento qualitativo dell'acqua e può compromettere il funzionamento delle successive unità di trattamento. I filtri appartengono principalmente a due categorie: a griglia metallica o a cestello con griglia metallica e un filtro deviatore. La prima tipologia separa semplicemente la parte solida dall'acqua destinata all'accumulo; il filtro con deviatore esclude dalla raccolta delle acque piovane quelle relative alla prima parte dell'evento meteorico, essendo queste le maggiormente inquinate. Altra distinzione tra i filtri sta nel metodo di pulizia (manuale o autopulente) e rispetto a dove si collocano (sul pluviale oppure interne o esterne al serbatoio).
- Vasca di calma e serbatoio d'accumulo:** è il contenitore che accumula l'acqua piovana filtrata. L'immissione dell'acqua piovana nel serbatoio, una volta filtrata, avviene attraverso un tubo verticale che si protrae fino sul fondo e termina con una vasca di calma. Questa serve per rallentare il flusso d'acqua in ingresso alla cisterna evitando turbolenze e la conseguente flottazione di eventuali

sedimenti presenti sul fondo, diversamente questi potrebbero intasare il filtro della pompa quando è in fase di aspirazione. La vasca di calma assicura un continuo flusso di acqua ossigenata, che arrivando sul fondo del serbatoio permette di eliminare o ridurre fortemente la formazione di batteri anaerobici e di mantenere una condizione ottimale di stoccaggio dell'acqua. Viene dimensionata in funzione della portata massima dell'impianto, e viene realizzata generalmente in polietilene ad alta densità. Prevede manutenzione annuale quale controllo visivo dell'acqua e del fondo della vasca e controllo olfattivo per evitare cattivi odori segno di ristagno; e pulizia quinquennale salvo depositi di detriti sul fondo.



I serbatoi d'accumulo rappresentano l'elemento cardine dell'impianto sia perché il suo dimensionamento necessita di alcuni accorgimenti sia perché è l'elemento più costoso dell'impianto. I serbatoi variano in funzione del materiale, della forma, della capienza e della loro collocazione. Possono essere installati fuori terra all'interno dell'edificio come ad esempio in cantina o in garage oppure essere interrati. I serbatoi fuori terra sono preferiti generalmente per l'accumulo di acqua destinata ad uso irriguo oppure al lavaggio di automobili o simili, in cui la distribuzione dell'acqua avviene per gravità senza uso di pompe; si tratta in genere di cisterne verticali, da addossare al fabbricato in adiacenza o coincidenza con la discesa dei pluviali, o di cisterne appiattite da collocare su tetti piani ad esempio sulla copertura di autorimesse. All'interno dell'edificio i serbatoi sono dislocati in locali posti a livello del suolo o interrati. La scelta varia in funzione delle costrizioni esterne quali l'indisponibilità di spazi all'aperto, la necessità di non manomettere sistemazioni esterne complesse e/o danneggiare gli apparati radicali di piantumazioni di pregio e/o per contenere i costi. Lo sviluppo dei serbatoi è, in genere, verticale per diminuire lo spazio di ingombro e la dimensione è di solito ridotta per consentire la facile introduzione nei vani; per aumentare la capacità di accumulo è possibile installare più unità in parallelo. Il posizionamento entro terra, anche se più oneroso, consente di eliminare ingombri in vista non compatibili con le esigenze funzionali ed estetiche dell'edificio e consente l'installazione di manufatti di grandi dimensioni. Ogni serbatoio è dotato di un "passo d'uomo" ossia un accesso costituito da un condotto sulla parte superiore dell'involucro, completato da un chiusino stagno eventualmente con serratura, per le operazioni di manutenzione e controllo. Anche per i serbatoi interrati esiste la possibilità di installare più serbatoi in serie in modo da ovviare problemi come la profondità di scavo o la necessità di eventuali integrazioni. La posa in opera prevede l'affiancamento delle cisterne collegate alla base da tubazioni di raccordo che consentono l'immissione e l'estrazione contemporanea dell'acqua da tutti i serbatoi evitando le conseguenze negative derivate da fenomeni di stagnazione o svuotamento. Le modalità di interro prevedono uno scavo, con fondo piano, di dimensioni pari al volume del serbatoio più 20/30 cm e distante almeno 1 m dalla costruzione. Il serbatoio deve appoggiare su uno strato uniforme e livellato, ghiaia lavata e livellata o magrone di 10 cm. Si posa il serbatoio vuoto sul piano di fondo e si procede riempiendo la tanica d'acqua e contemporaneamente si rinfianca con ghiaia lavata (2/6); si procede per strati successivi di 15/20 cm continuando a riempire prima il serbatoio d'acqua e successivamente rinfiancando con

ghiaia fino a 3/4 della capacità della cisterna. Gli ultimi 40 cm si ricopre il tutto con terreno vegetale, senza mai utilizzare il materiale di scavo, lasciando liberi i tappi di ispezione.

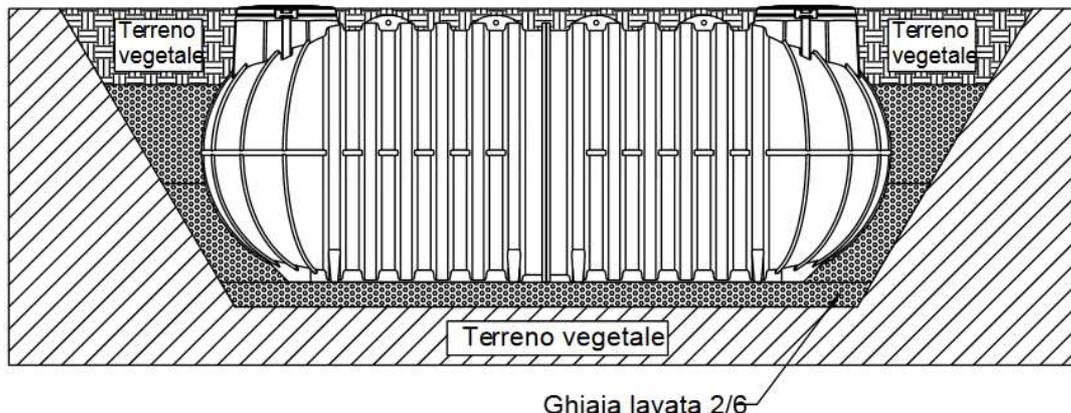


Figura 4.3: modalità di posa in opera dei serbatoi (www.rototec.it)

Le dimensioni variano dai 150 ai 180.000 litri, il dimensionamento deve tener conto delle caratteristiche ambientali del luogo in cui viene installato, delle superfici di captazione e delle prestazioni richieste. I serbatoi di media e grande capienza hanno generalmente forma cilindrica con asse disposto in senso orizzontale o verticale. Quest'ultima è considerata la più adatta per lo stoccaggio poiché l'incremento della quantità d'acqua introdotta non provoca la diminuzione della superficie esposta all'aria con benefici effetti sulla sedimentazione, sul risciacquo durante la tracimazione (effetto "skimmer") e sulla qualità dell'acqua in generale. La sagomatura dell'involucro prevede quasi sempre la presenza di corrugazioni, costolature e pieghe che funzionano da rinforzo della carenatura. Sul fondo del manufatto possono essere ricavati intagli o incastri dove è possibile infilare le "forchette" degli elevatori e facilitarne lo spostamento. Infine esiste una serie di serbatoi di piccola capienza realizzati con lo scopo di integrarsi nel miglior modo possibile con l'ambiente che lo circonda.

I materiali più utilizzati per questo genere di manufatto sono il polietilene ad alta densità, che è un materiale riciclabile, la vetroresina, il cemento e meno frequentemente l'acciaio. In fase di progettazione è bene prevedere le operazioni di manutenzione, per il mantenimento in efficienza del manufatto, quali: annualmente il controllo visivo e olfattivo dell'acqua accumulata e della chiusura dei pozzetti di accesso al serbatoio e almeno ogni 5 anni è prevista la pulizia interna della vasca.

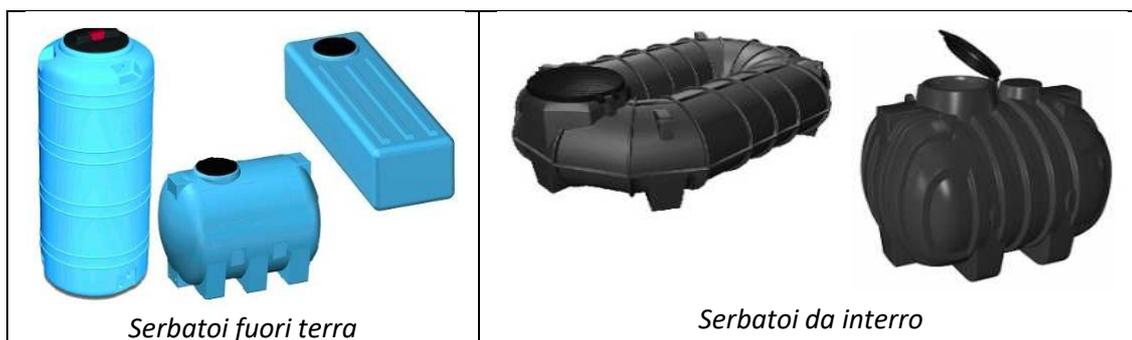
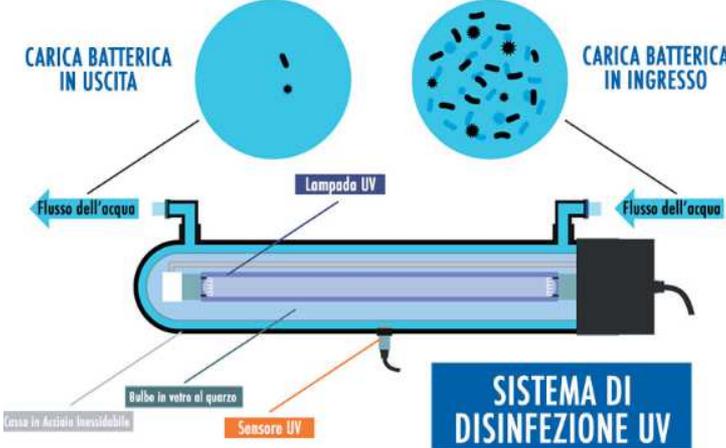
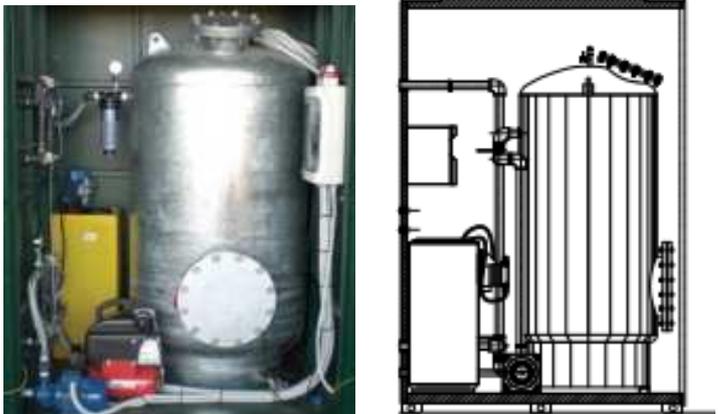


Figura 4.4: tipi di serbatoio in commercio

- d) Trattamento finale: è un processo da effettuare nel caso in cui le acque meteoriche recuperate servano per scopi diversi da quello irriguo, come servire le cassette dei WC o per altri usi non potabili. Questi trattamenti sono di due tipi: una disinfezione, effettuabile con lampade a raggi ultravioletti o con l'inserimento di ipoclorito di sodio; oppure si può operare una seconda filtrazione, eseguita con sabbie, carboni attivi, membrane o filtri multistrato. Nei manufatti che necessitano di manutenzione, ossia quelli non autopulenti, bisogna procedere con verifiche e controlli con periodicità mensile o

bimensile. Questi componenti tecnici, in genere vengono alloggiati nei locali impiantistici degli edifici. Vengono riportati di seguito alcuni esempi di filtri per il trattamento finale:

	<p>La disinfezione a raggi UV non altera le caratteristiche dell'acqua e garantisce una perfetta sterilizzazione. Possono essere installati direttamente sulla rete di distribuzione finale alle utenze.</p>
	<p>L'acqua attraversa un letto multistrato formato da diverse sabbie di granulometrie differenti. Sono bombole in vetroresina rinforzata con guscio interno in PET o in acciaio con finitura interna in resina epossidica alimentare.</p>
	<p>I filtri a carboni attivi sono estremamente efficaci contro i cattivi odori. È idoneo per la dechlorazione e l'assorbimento dei composti organici eventualmente presenti nelle acque di recupero.</p>



e) Sistema di prelievo, pompaggio e controllo: Il gruppo di pompaggio serve per prelevare l'acqua stoccata nel serbatoio ed immetterla nella rete idrica dedicata alla pressione desiderata. I gruppi di pompaggio sono di due tipologie e si distinguono dalla presenza o dalla non presenza a bordo del sistema di reintegro automatico. Il gruppo di pompaggio con sistema di reintegro automatico integrato deve essere conforme alla norma DIN 1989 in quanto mette in comunicazione la rete idrica potabile pubblica con la rete dell'acqua meteorica non potabile. In sostanza si tratta di una valvola motorizzata a tre vie che commuta il prelievo dell'acqua piovana presente nel serbatoio a quella proveniente dalla rete pubblica o viceversa. A determinare questa funzione è il sensore di livello posto nel serbatoio; quando viene raggiunto il livello minimo dell'acqua meteorica il sensore di livello lo rileva e comunica alla centralina di commutare la valvola deviatrice a tre vie verso la rete idrica pubblica. Il gruppo di pompaggio privo di sistema di reintegro è una semplice pompa esterna o sommersa che può aspirare e pressurizzare solo l'acqua presente in cisterna. Quando vengono utilizzate pompe senza gruppo di reintegro automatico a bordo è necessario installare una centralina che, rilevando il livello scarso all'interno del serbatoio, preleva l'acqua direttamente dall'acquedotto per evitare di rimanere senza acqua nella cisterna e quindi nell'impianto.



Figura 4.5: gruppo di pompaggio e accessori

Per entrambi i sistemi di pompaggio è indispensabile installare un apposito tubo di aspirazione con galleggiante (Figura 4.6), provvisto anch'esso di filtro. Questo serve per far in modo che l'aspirazione dell'acqua avvenga sempre ad una profondità costante rispetto alla superficie, ad esempio a circa 10 cm dalla superficie, garantendo così di pescare acqua sempre pulita, indipendentemente dal livello presente all'interno del serbatoio. Se il pescaggio risultasse troppo vicino al fondo, infatti, zona in cui si possono accumulare delle impurità, il galleggiante di attivazione/disattivazione della pompa provvederebbe a disattivarla. Appena il serbatoio torna riempirsi il sistema ricomincia a funzionare. Questi accorgimenti servono sia a garantire la massima qualità dei fluidi prelevati che a preservare da eventuali danni le pompe e gli impianti idraulici. Il mantenimento in efficienza dei gruppi di pompaggio prevede annualmente l'ispezione visiva, la pulizia dei filtri e della vasca di reintegro e la prova del corretto funzionamento della pompa.

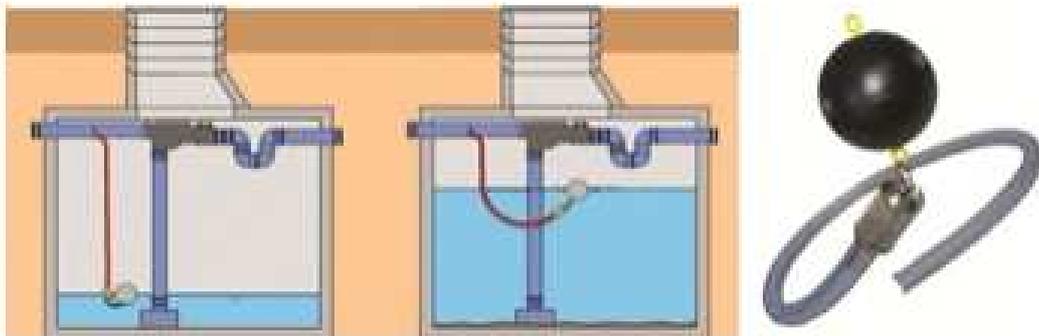


Figura 4.6: funzionamento tubo di aspirazione con galleggiante

- f) Troppo pieno: la fase di smaltimento delle acque in eccesso si riconduce ad un semplice sifone che permette lo smaltimento della quota parte in esubero rinviandola allo scarico. Il sifone, con tipica forma ad U, presenta una griglia di protezione contro l'ingresso di piccoli animali. Può presentarsi dritto o a forma inclinata, tale inclinazione permette una migliore fuoriuscita dell'acqua in eccesso e di eventuali detriti in galleggiamento.

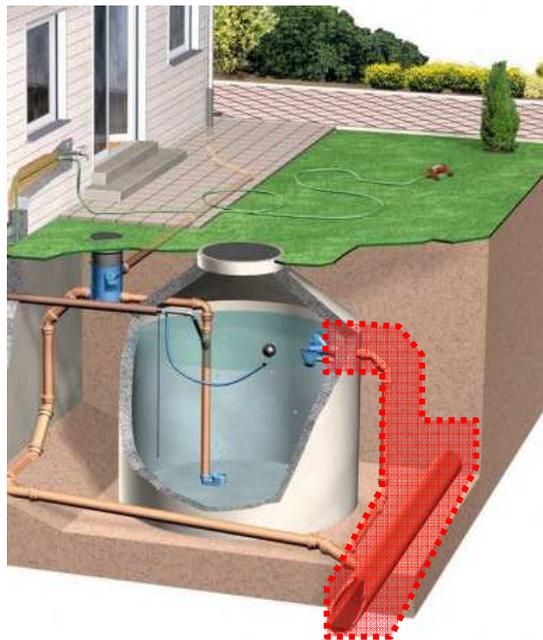
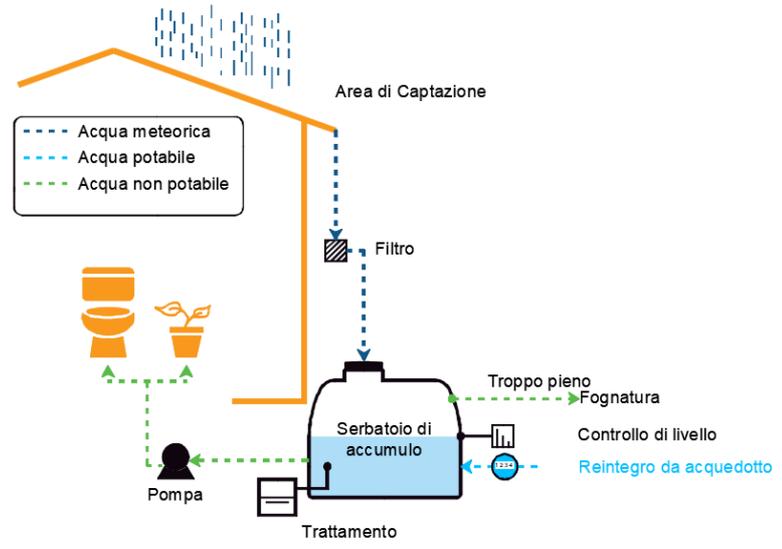


Figura 4.7: impianto di raccolta con evidenziato il troppo pieno collegato alla rete fognaria

- g) Rete duale di distribuzione: è il sistema di tubazioni che porta le acque piovane accumulate al loro terminale per il riutilizzo, distinte da quelle relative alla rete di adduzione dell'acqua potabile. Come da Decreto Ministeriale 185/2003, le tubazioni che compongono la rete duale di adduzione delle acque riciclate devono essere distinguibili da quelle potabili mediante diametri e colorazioni differenti, e uguale deve essere fatto per i terminali di erogazione destinati all'acqua di recupero che devono essere contrassegnati in maniera inequivocabile come non potabili. L'insieme di questi componenti costituisce l'impianto nel suo complesso, evidenziando i passaggi necessari per ottenere un efficace riuso dell'acqua meteorica senza problemi di ristagno, odori, sedimenti nell'acqua, ecc.. In Figura 4.8 viene schematizzato l'intero impianto nelle parti evidenziate e spiegate in precedenza in dettaglio, in modo da fornire un quadro completo del funzionamento dello stesso.



h)
Figura 4.8: schema funzionale dell'impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

4.2 Dimensionamento del serbatoio di accumulo

Il corretto dimensionamento del serbatoio di accumulo è fondamentale per garantire un corretto funzionamento dell'intero sistema e per limitare al minimo i costi dell'impianto. Dimensionare il serbatoio di recupero in modo completo ed efficiente è alquanto complesso poiché bisogna considerare svariate variabili alcune delle quali, come il regime di pioggia, non sono prevedibili e quantificabili in modo preciso. La normativa italiana e ancora di più quella tedesca forniscono formule e tabelle per valutare un dimensionamento di massima per tale tipo di impianto. Quello che risulta complicato è riuscire ad assicurare un determinato livello di efficienza dell'impianto considerando che possono esserci periodi più piovosi di altri, non solo valutando il regime piovoso in ottica stagionale, ma anche in funzione del tempo secco medio che può variare da mese a mese e di anno in anno.

La normativa tecnica italiana, UNI/TS 11445 "Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano", definisce i requisiti generali per la progettazione, la realizzazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti di recupero delle acque meteoriche per usi non potabili in ambito residenziale. Tali impianti devono essere separati e distinti dalla rete di distribuzione dell'acqua potabile all'interno dell'edificio e possono essere utilizzati per l'irrigazione di giardini, lo scarico dei WC, gli impianti di lavaggio delle superfici di pertinenza e altri usi non potabili consentiti dalla legislazione vigente.

Per quanto riguarda la progettazione entrano in gioco diversi parametri per poter dimensionare in modo ottimale e funzionale il sistema di accumulo:

- luogo dell'installazione ovvero il regime pluviometrico della zona;
- la tipologia e la dimensione del manufatto dovranno tener conto della dimensione e della tipologia della superficie di captazione, della domanda richiesta dalle utenze per scopi non potabili attuali e futuri.

La normativa presenta due diversi metodi di calcolo per dimensionare il volume di raccolta (Norma UNI/TS 11445 - 5.2):

- metodo semplificato: con lo scopo di conseguire un prefissato livello prestazionale. Tale metodo consente un rapido dimensionamento del sistema ed è consigliato per impianti di piccole-medie dimensioni;
- metodo analitico, con lo scopo di ottimizzare le prestazioni del sistema. Tale metodo è, in particolar modo, utilizzato e consigliato per gli impianti di dimensione maggiore.

La normativa fornisce indicazioni di massima per quanto riguarda il regime pluviometrico, fornendo una carta della precipitazione media annua (Figura 4.9) rendendo la stima abbastanza approssimativa; un prospetto per determinare il fabbisogno d'acqua per usi domestici diversi dall'uso umano (Figura 4.10) e due abachi per la determinazione speditiva del volume utile del sistema di accumulo nel caso di utenze rispettivamente composte da 4 e 8 abitanti.

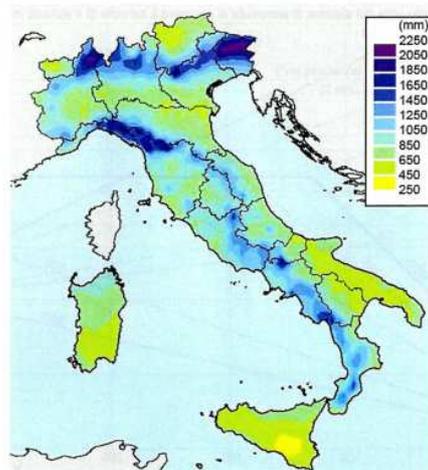


Figura 4.9: Carta della precipitazione media annua [Norma UNI/TS 11445]

Utenza	Fabbisogno giornaliero per persona ²⁾	Fabbisogno annuale
WC in abitazione ¹⁾	40 l	-
Irrigazione per 1 m ² di superficie utile nelle aree verdi di pertinenza	-	300 l/m ²
1) Tale valore può essere ridotto del 20% se si fa riferimento all'utilizzo di dispositivi a risparmio idrico, come cassette di risciacquo preimpostate ad un massimo di 6 l di scarico e con doppio azionamento di scarico (per esempio 6 l e 3 l). 2) Qualora all'impianto siano collegate delle lavatrici, il fabbisogno individuale giornaliero aumenta di 15 l.		

Figura 4.10: Determinazione del fabbisogno di acqua per usi domestici diversi dall'uso umano tratto dalla Norma UNI/TS 11445

Il metodo semplificato valuta il regime pluviometrico attraverso la carta inserita nella normativa (Figura 4.9) e calcola l'afflusso meteorico con la formula:

$$Q = \varphi * P * A$$

Dove:

Q afflusso meteorico annuo espresso in litri

φ coefficiente di afflusso in funzione della tipologia della copertura

P precipitazione annua espressa in mm

A proiezione orizzontale della superficie di captazione espressa in m²

La valutazione del volume d'acqua richiesto da riciclare, R, invece:

$$R = n * r * 365$$

Dove:

R richiesta annua per usi domestici diversi dall'uso umano espressa in litri

n numero di abitanti

r richiesta giornaliera procapite espressa in l/ab/gg

Il metodo semplificato arriva a determinare il volume utile del sistema di accumulo, V_u , come il minimo valore ottenuto tra:

$$V_u = \text{minimo di } (Q \text{ o } R) * 0,06$$

Il metodo analitico, valido per tutte le tipologie di impianti e per le abitazioni plurifamiliari si basa su un bilancio schematizzato dall'espressione:

$$V_t = Q_t + V_{t-1} - Y_t - O_t - E_t$$

Dove:

V volume immagazzinato

Q afflusso meteorico

Y volume erogato

O volume sfiorato

E volume evaporato

t attuale istante di calcolo

Il volume immagazzinato V_t e il volume erogato Y_t vengono valutati a seguito dell'erogazione del volume richiesto:

$$Y_t = \min [R_t; V_{t-1}] \quad \text{e} \quad V_t = \min [V_{t-1} + Q_t - Y_t; S - Y_t]$$

Dove:

S capacità del sistema di accumulo

R richiesta consumo annuo domestico per usi non potabili.

Questa normativa tecnica si presenta con limiti oggettivi sulla capacità di dimensionare in modo efficace il serbatoio di accumulo, non fornendo un metodo completo e puntuale per calcolare il volume e il relativo livello di efficienza, inoltre si basa su un regime pluviometrico valutato in modo approssimativo e ormai datato (1961-1990) soprattutto alla luce del fatto che il regime pluviometrico italiano sta subendo importanti variazioni.

Nell'ambito del progetto GST4Water (Green-Smart Technology 4 Water), finanziato dalla regione Emilia Romagna mediante fondi POR-FESR nel 2016-2018, coordinato dal laboratorio Terra&Acqua Tech dell'università di Ferrara e che ha coinvolto anche i laboratori CIRI EC e CIRI EA dell'Università di Bologna, il laboratorio ENEA-LEA e il laboratorio Mech Lav dell'Università di Ferrara si sono sviluppate delle nuove metodologie per ottimizzare il volume dei serbatoi utilizzati negli impianti per il recupero e riuso delle acque meteoriche in ambito domestico. Nel dettaglio, attraverso l'analisi di dettaglio di lunghe serie pluviometriche in alcune città dell'Emilia Romagna è stato possibile sviluppare degli abachi di dimensionamento di supporto a progettisti e pianificatori.

Nell'ambito di tale progetto si sono analizzate in dettaglio le seguenti variabili progettuali:

- l'area di captazione: influenza la capacità di intercettare le acque ed è in stretta relazione con la domanda idrica da soddisfare;
- la domanda idrica pro-capite: la quantità d'acqua da fornire all'interno dell'edificio per soddisfare gli scopi non potabili ammessi dalla normativa è da analizzare in funzione dei consumi stimati; essa dipende dal numero di abitanti da servire;
- la pluviometria: la pluviometria varia in funzione del sito di installazione e influenza la disponibilità di acqua di recupero immagazzinabile.

Gli abachi di dimensionamento proposti nel progetto GST4water consentono di dimensionare un serbatoio di recupero e riuso di acque meteoriche tenendo in considerazione tutti i parametri sopradescritti e forniscono al progettista un'ulteriore informazione che è "l'efficienza" dell'impianto, ovvero la percentuale di domanda di acqua non potabile che l'impianto progettato è mediamente in grado di soddisfare. La figura Figura 4.11, ottenuta mediante la modellazione numerica di oltre 90 combinazioni impiantistiche, rappresenta un esempio di abaco di dimensionamento e si riferisce alla città di Bologna.

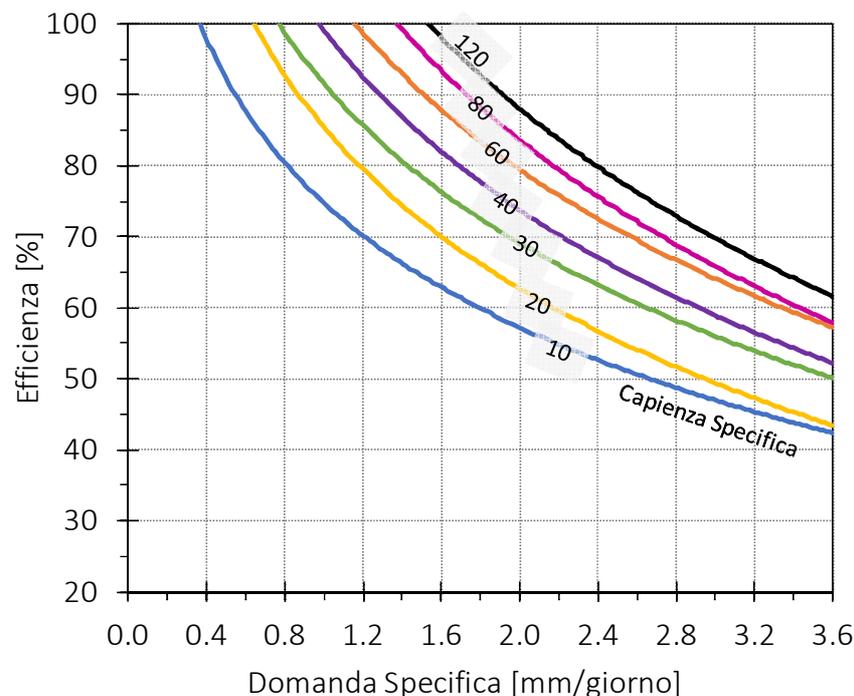


Figura 4.11: abaco di dimensionamento dei serbatoi di accumulo negli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche relativo alla città di Bologna (progetto GST4Water)

L'efficienza (E) è definita dal rapporto tra l'acqua di recupero fornita all'utente rispetto alla domanda idrica da esso richiesta.

$$E = \frac{\sum_{t=0}^T Y_t}{\sum_{t=0}^T D_t}$$

Con:

Y_t : acqua meteorica recuperata e fornita all'utente per scopi non potabili

D_t : domanda idrica richiesta dall'utente per scopi non potabili

Per poter schematizzare tutte le analisi fatte in un unico grafico, la domanda idrica e il volume del serbatoio sono stati rapportati all'area di captazione arrivando a definire due grandezze specifiche:

$$D_s = \frac{D_t}{A_c} \quad \text{e} \quad C_s = \frac{V}{A_c}$$

Con

D_s = domanda specifica

C_s = capienza specifica

D_t = domanda idrica procapite per scopi non potabili x numero di utenti

A_c = area di captazione

V = volume serbatoio di accumulo

A titolo esemplificativo, se ipotizziamo di dover servire 8 utenti all'interno di un edificio con un'area di captazione pari a 200 m^2 , considerata una domanda idrica procapite per scopi non potabili pari a 40 l/ab/d , e fissata un'efficienza pari a circa il 70% si ottiene:

$$D_s = \frac{D_t}{A_c} = \frac{40 \left[\frac{\text{l}}{\text{ab} \cdot \text{d}} \right] \cdot 8[\text{ab}]}{200 [\text{m}^2]} = 1.6 \left[\frac{\text{mm}}{\text{d}} \right]$$

Osservando il grafico in Figura 4.11, per una domanda specifica D_s e un'efficienza pari al 70% ottengo una Capienza Specifica C_s pari a 20 l/m^2 :

$$C_s = \frac{V}{A_c} = 20 \left[\frac{\text{l}}{\text{m}^2} \right] \rightarrow 20 \left[\frac{\text{l}}{\text{m}^2} \right] = \frac{V}{200 [\text{m}^2]} \rightarrow 20 \left[\frac{\text{l}}{\text{m}^2} \right] \cdot 200 [\text{m}^2] = V$$

$$\rightarrow V = 4000 [\text{l}] = 4 [\text{m}^3]$$

Questo tipo di grafico permette un dimensionamento di massima del serbatoio di accumulo, tenendo in considerazione tutte le variabili che ne influenzano il calcolo e dando un'indicazione sul livello di efficienza ottenibile. Identificare un livello di efficienza permette di confrontare volumi di serbatoio diversi, ma con prezzi estremamente differenti tra loro, al fine di scegliere la soluzione che offre il miglior rapporto tra soddisfacimento della domanda idrica per scopi non potabili e costo dell'installazione dell'impianto.

4.3 Esempio di impianto per il recupero e riuso e relativa modellazione idraulica a scala di edificio

La modellazione dell'impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche è stata eseguita mediante il software open source SWMM 5.1. Nel dettaglio si sono simulati i cicli di riempimento e svuotamento del serbatoio di accumulo a passo giornaliero, considerando serie pluviometriche reali, il reintegro da acquedotto e la domanda d'acqua per scopi non potabili.

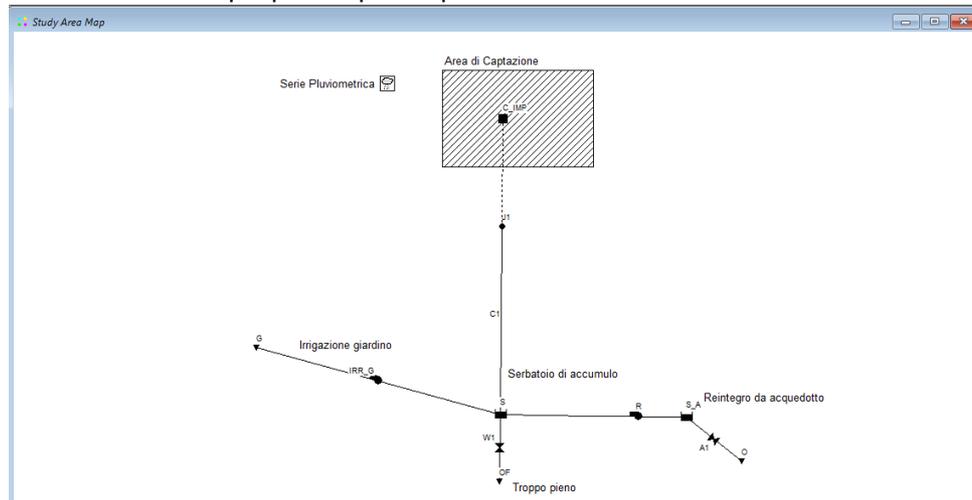


Figura 4.12: schema dell'impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche sviluppato con il software SWMM 5.1

Per impostare il modello sono necessarie le informazioni relative a:

- Serie pluviometrica;
- Area di captazione, espressa in ettari;
- Volume del serbatoio da testare, dimensionato in precedenza attraverso l'uso degli abachi o seguendo le indicazioni della UNI/TS 11445, considerando l'altezza della vasca pari a 1.5 metri;
- Consumo totale procapite per uso domestico e numero di utenti da servire al fine di determinare il consumo relativo allo scarico del WC da impostare come *inflow* negativo al serbatoio S:
 - $Outflow_{WC} = 0.26 \cdot Consumo\ totale \cdot n^\circ\ abitanti\ equivalenti$
Con il consumo idrico procapite per uso domestico viene considerato pari a:
105 l/ab/gg nel caso di apparecchi a basso consumo (progetto AQUASAVE ENEA) o
140 l/ab/gg, media stimata per la città di Bologna;
- Consumo di acqua per irrigare eventuali aree verdi e relativo periodo di attivazione per impostare le regole di controllo della pompa *Irr_G*:
 - $Outflow_{irr} = \frac{Irrigazione\ [\frac{mm}{gg}] \cdot Area_{giardino}}{86400} \left[\frac{l}{s} \right]$
- Livello minimo all'interno del serbatoio che attiva la pompa *R* che rappresenta il reintegro da acquedotto.

Nel caso illustrato, la pompa per l'irrigazione è attiva solo nei mesi compresi tra aprile e settembre mentre quella per il reintegro entra in funzione quando il serbatoio di accumulo ha un volume inferiore a $0.5\ m^3$.

A titolo esemplificativo è stato ipotizzato di installare un impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche su un edificio con le seguenti caratteristiche:

- Area di captazione: $A_c=200 \text{ m}^2$
- Abitanti equivalenti: $AE=4$
- Area da irrigare: $A_g=50 \text{ m}^2$
- Irrigazione: $Irr=4 \text{ mm/gg}$ da aprile e settembre
- Consumo procapite per uso domestico: $D=140 \text{ l/ab/gg}$
- % del consumo destinata allo scarico dei WC: $C_{wc}=26\%$

Per il dimensionamento di massima si calcolano:

- Domanda specifica:

$$D_s = \frac{D_{tot}}{A_c} = \frac{\left[D \cdot \left(\frac{C_{wc}}{100} \right) \cdot AE \right] + [Irr \cdot A_g]}{A_c} =$$

$$= \frac{\left(140 \left[\frac{l}{ab \cdot gg} \right] \cdot 0.26 \cdot 4[ab] \right) + \left(4 \left[\frac{mm}{gg} \right] \cdot 50[m^2] \right)}{200 [m^2]} = 1.73 \left[\frac{mm}{gg} \right]$$

Fissata un'efficienza pari a circa il 75% e procedendo al dimensionamento di massima attraverso l'uso dell'abaco relativo alla città di Bologna, si ottiene una capienza specifica C_s di 30 l/m^2 (vedi linee rosse in Figura 4.13).

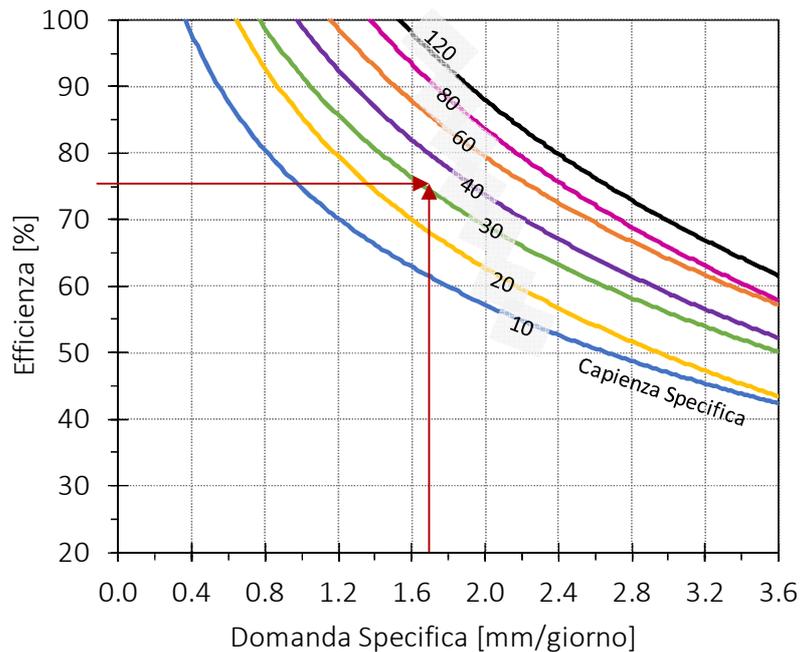


Figura 4.13: abaco di dimensionamento del serbatoio di accumulo con indicato il calcolo relativo al caso di studio

Si ottiene quindi il volume del serbatoio da testare pari a:

$$C_s = \frac{V_s}{A_c} = 30 \left[\frac{l}{m^2} \right] \rightarrow 30 \left[\frac{l}{m^2} \right] = \frac{V_s}{200 \text{ m}^2} \rightarrow V_s = 6 \text{ m}^3$$

Per impostare il modello si calcola:

- $Outflow_{wc} = \frac{\left[D \cdot \left(\frac{C_{wc}}{100} \right) \cdot AE \right]}{86400} = 0.001685 \text{ l/s}$ Da inserire come *inflow* negativo nel serbatoio S.

- $Outflow_{Irr} = \frac{[Irr \cdot Ag]}{86400} = 0.002315 \text{ l/s}$ Per impostare la curva relativa alla pompe per l'irrigazione stagionale

Si riassumono nella Tabella 4.1: risultati ottenuti dalla simulazione del caso di studio con SWMM 5.1 i valori ottenuti dalla simulazione.

Start	Inizio simulazione	01/01/2009	mm/gg/aaaa
End	Fine simulazione	01/01/2010	mm/gg/aaaa
Δt	Durata simulazione	365	giorni
Rain	Precipitazione totale	808.82	mm
Run_Imp	Runoff Copertura Impermeabile	159480.8	l
Out_WC_tot	Prelievo utenti per WC	53144	l
Irr_flow	Irrigazione Giadino	36602	l
Ow	Overflow	77822	l
R	Reintegro da acquedotto	14742	l
In_tank	Inflow serbatoio	157804	l

Tabella 4.1: risultati ottenuti dalla simulazione del caso di studio con SWMM 5.1

L'efficienza ottenuta dalla simulazione risulta pari a:

$$E = \frac{Out_{wc_{tot}} + Irr_{flow} - R}{Out_{wc_{tot}} + Irr_{flow}} \cdot 100 = 83\%$$

Questo si traduce in una riduzione del consumo di acqua potabile per scopi che non ne necessitano, pari all'83%; in questo modo si può garantire un notevole risparmio della risorsa idrica, dimensionando in modo opportuno il volume del serbatoio e allo stesso tempo si garantisce la realizzazione efficiente dell'impianto in grado di ottimizzare l'investimento che ne deriva.

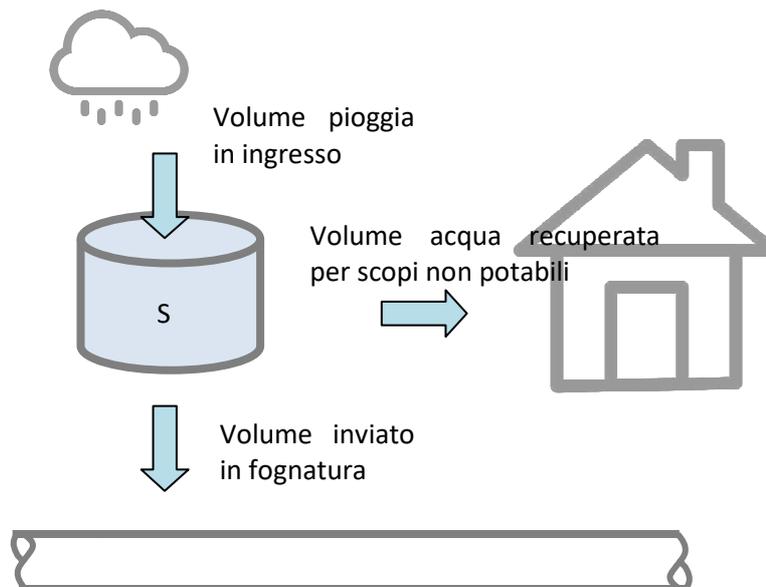


Figura 4.14: schematizzazione volumi in entrata e in uscita dall'impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

Questo è solo un aspetto dei benefici derivanti dall'installazione dell'impianto, quello più importante è legato all'impatto sull'ambiente. Con l'installazione dell'impianto di recupero e riuso delle acque meteoriche si possono ridurre sensibilmente i quantitativi di acqua potabile utilizzata per scopi che non ne necessitano, ottenendo vantaggi sia a livello economico che ambientale tutelando tale risorsa. Tali impianti consentono inoltre di ridurre i volumi di acqua di origine meteorica immessi in fognatura. Tali benefici sono ormai riconosciuti anche a livello di amministrazioni pubbliche infatti anche in Italia, già alcune amministrazioni comunali hanno in avanzata fase di studio forme di incentivazione (sconto sul pagamento degli oneri di urbanizzazione) per quanti adottino sistemi di recupero e riciclaggio delle acque piovane.

Per valutare l'impatto dei sistemi di raccolta dell'acqua piovana sul drenaggio urbano e l'efficienza nella riduzione della quantità dei deflussi meteorici in fognatura, occorre fare riferimento alle percentuali di sversamento *Overflow* calcolate come il rapporto tra il volume versato in fognatura e il volume totale di precipitazione.

Anche in questo caso, attraverso le simulazioni realizzate mediante il codice SWMM è stato possibile realizzare degli abachi di calcolo di supporto ai progettisti. In questo caso il parametro *Overflow* può essere stimato come:

$$O = \frac{\sum_{t=0}^T O_t}{\sum_{t=0}^T P_t}$$

Dove:

O_t: overflow totale ossia la quantità d'acqua totale inviata alla fognatura attraverso il troppo pieno del serbatoio S

P_t: precipitazione totale

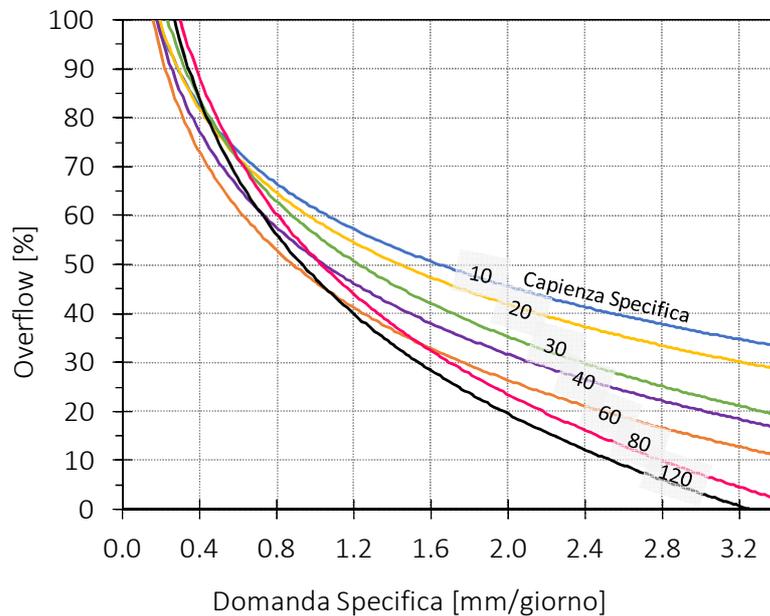


Figura 4.15: grafico relativo all'overflow (progetto GST4Water)

Se riprendiamo il caso esemplificativo precedentemente illustrato (Tabella 4.1:risultati ottenuti dalla simulazione del caso di studio con SWMM 5.1Tabella 4.1), l'efficienza del sistema risultava pari all'83% mentre il calcolo dello sversamento *O* risulta pari a:

$$O = \frac{Overflow}{Run_{imp}} \cdot 100 = \frac{77822}{159480.8} \cdot 100 = 48\%$$

O=48%.

Il beneficio ambientale è dato dalla quantità di acqua non immessa in rete grazie all'impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche che, in questo caso, risulta essere pari a:

$$BA=100-O=52\%$$

Per il caso analizzato, più della metà dell'acqua che verrebbe inviata in fognatura nel corso di un anno, viene trattenuta e utilizzata per scopi non potabili all'interno dell'edificio in oggetto.

4.4 Modellazione e analisi dei benefici ambientali derivanti dall'applicazione degli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche a scala di quartiere

In similitudine con quanto effettuato nel caso del verde pensile, anche in questo caso si è proceduto a valutare l'impatto della diffusione di tali tecnologie a scala di quartiere utilizzando il bacino sperimentale del Fossolo quale caso studio. Le tre configurazioni di rete studiate nel precedente PAR (originale, con sistema RTC e logica PID, con sistema RTC, logica PID e orifizio sul tratto finale) sono state simulate in condizioni reali (scenario reale) e ipotizzando di installare 7 serbatoi per il recupero e riuso delle acque meteoriche (scenario impianti). Tali impianti sono stati dimensionati secondo normativa UNI/TS 11445 e mirano a recuperare l'acqua meteorica necessaria per soddisfare la richiesta idrica non potabile per gli scarichi dei wc del 58% degli utenti residenti (circa 5800 abitanti). Gli invasi sono stati collocati in idonei punti della rete, avendo cura di ottenere una configurazione che non generasse instabilità nel modello. Ogni serbatoio è stato dotato di un sistema di sollevamento per simulare il prelievo degli utenti e di un troppo pieno che reimmette in rete l'acqua in eccesso.

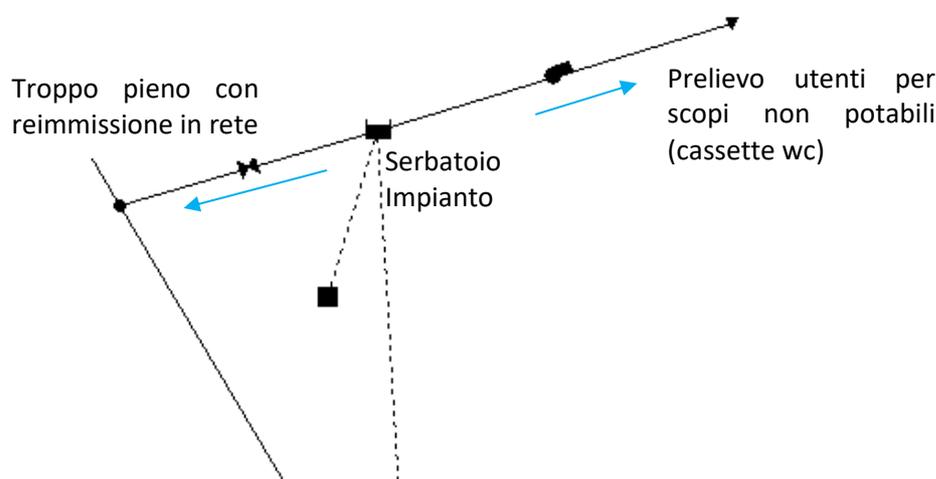


Figura 4.16: schematizzazione dell'impianto all'interno della rete del Fossolo in SWMM 5.1

Anche in questo caso si è proceduto con il simulare le piogge registrate nel 2009. Dalle simulazioni si sono analizzati i volumi e la massa di solidi sospesi indirizzati al corpo idrico ricettore per valutare l'effetto dell'inserimento delle coperture verdi in termini di qualità e quantità confrontandoli con i valori ottenuti dalla modellazione della rete reale.

I risultati ottenuti dalla modellazione sono sintetizzati in Tabella 4.2.

Scenario	Rete	Volume (m ³)	Massa (kg)
REALE	ORIGINALE	40272	3937
	PID	26201	1967
	PID+ORIFICE	39227	2572
IMPIANTI per il recupero e il riuso delle acque meteoriche	ORIGINALE	6837	925
	PID	3782	301
	PID+ORIFICE	5127	389

Tabella 4.2: risultati ottenuti dalla simulazione dell'area Fossolo con e senza impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

Dai risultati ottenuti, gli impianti risultano efficienti al 60% ossia riescono a fornire acqua in quantità tale da soddisfare il 60% della richiesta idrica per scopi non potabili.

Osservando il grafico in Figura 4.17 emerge come il volume inviato al ricevitore diminuisca del 91% tra il caso reale con rete originale e la versione con impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche installati nella rete con RTC con logica PID .

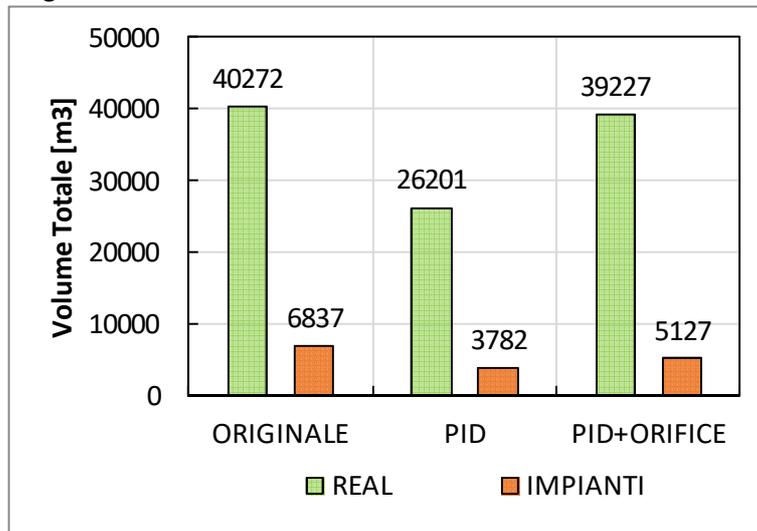


Figura 4.17: grafico relativo al volume totale inviato al ricevitore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello con l'installazione degli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

Confrontando dati ottenuti dalla rete con sistema di controllo in tempo reale e logica PID, con e senza l'installazione degli impianti, si può notare come sia il volume che la massa totale si riducano dell'86% grazie all'introduzione degli impianti. Osservando il grafico relativo alla massa totale SST inviata al ricevitore (Figura 4.18) si può notare come gli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche influiscano positivamente sulla qualità degli inquinanti immessi nell'ambiente.

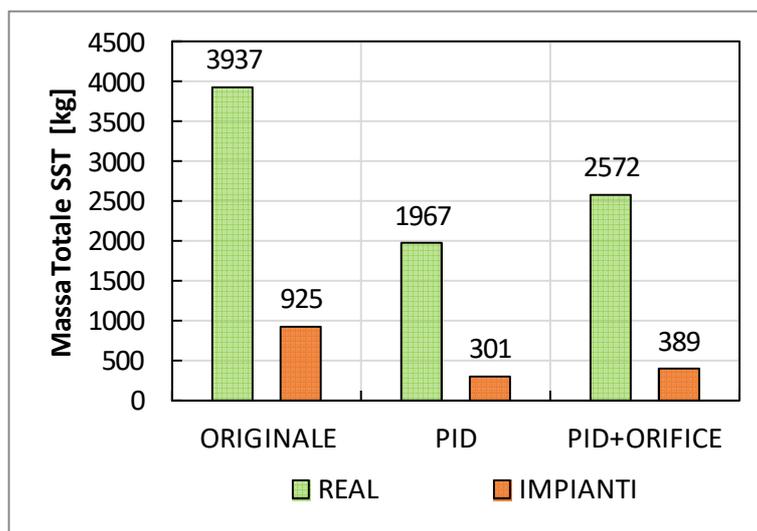


Figura 4.18: grafico relativo alla massa totale dei solidi sospesi inviata al ricevitore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello con l'installazione degli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

Gli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche non solo forniscono una valida soluzione per il risparmio della risorsa idrica, evitando di utilizzare acqua di elevata qualità per scopi non potabili, ma consentono anche di prevenire i sovraccarichi della rete, permettendo l'immagazzinamento di una parte dell'acqua meteorica che verrebbe inviata in rete, minimizzando il numero e la durata degli sversamenti nel corpo idrico ricevitore, in termini quantitativi e qualitativi e ciò offre notevoli benefici all'ambiente.

5 Soluzione combinata di coperture verdi con impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

5.1 Modellazione e analisi dei benefici ambientali derivanti dall'applicazione delle tecnologie combinate a scala di edificio

L'installazione di un impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche in un edificio dotato di copertura verde porterà all'amplificazione dell'effetto di ritenzione, con conseguente incremento del beneficio ambientale, tipico della tecnologia verde in esame.

Si analizza quindi, attraverso modellazione idraulica, il comportamento del caso di studio ipotizzato nel capitolo 4.2 convertendo la copertura impermeabile con un tetto verde di tipo estensivo, utilizzando i parametri derivati dal tetto verde sperimentale presentato nel capitolo 3.

Riassumendo i dati del caso di studio:

- Area di captazione: $Ac=200 \text{ m}^2$
- Abitanti equivalenti: $AE=4$
- Area da irrigare: $Ag=50 \text{ m}^2$
- Irrigazione: $Irr=4 \text{ mm/gg}$ da aprile e settembre
- Consumo procapite per uso domestico: $D=140 \text{ l/ab/gg}$
- % del consumo destinata allo scarico dei WC: $Cwc=26\%$
- Spessore substrato $s=10 \text{ cm}$

Dalla simulazione si ottengono:

Start	Inizio simulazione	01/01/2009	mm/gg/aaaa
End	Fine simulazione	01/01/2010	mm/gg/aaaa
Δt	Durata simulazione	365	giorni
Rain	Precipitazione totale	808.82	mm
Run_GR	Runoff Copertura Verde	89198.211	l
Out_WC_tot	Prelievo utenti per WC	53144	l
Irr_flow	Irrigazione Giardino	36602	l
Ow	Overflow	40798	l
R	Reintegro da acquedotto	58878	l
In_tank	Inflow serbatoio	141146	l

Tabella 5.1: risultati ottenuti dalla simulazione del caso ipotizzato con copertura verde

Analizzando i dati ottenuti dalla simulazione si ottengono un'efficienza del 35%, rispetto all'83% senza copertura verde, e un overflow pari al 25%, rispetto al precedente 48%. Da un lato quindi la copertura verde contribuisce notevolmente alla riduzione dei volumi inviati in fognatura, dall'altro però assorbendo una quota parte notevole dei volumi di pioggia, in particolare durante la stagione secca, determina una drastica riduzione dell'efficienza del sistema di recupero e riuso delle acque meteoriche e quindi un incremento del pay back period dell'impianto.

5.2 Modellazione e analisi dei benefici ambientali derivanti dall'applicazione delle tecnologie combinate ad un caso di studio a scala di quartiere

È stata implementata la rete del Fossolo, nelle sue tre versioni originale, con RTC e RTC più orificio nel tratto finale, con coperture verdi distribuite in modo omogeneo sull'area per un'estensione del 30% e impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche. Le soluzioni analizzate in precedenza sono state combinate insieme per valutarne l'efficacia sulla rete in termini di volumi e inquinanti inviati al ricettore.

I risultati ottenuti dalle simulazione delle tre reti sono riassunti nella Tabella 5.2: risultati ottenuti dalla simulazione dell'area Fossolo con e senza combinazione di tetti verdi con impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche.

Scenario	Rete	Volume (m ³)	Massa (kg)
REALE	ORIGINALE	40272	3937
	PID	26201	1967
	PID+ORIFICE	39227	2572
TETTI VERDI (+30% GR) + IMPIANTI per il recupero e il riuso delle acque meteoriche	ORIGINALE	3449	372
	PID	1526	82
	PID+ORIFICE	1937	77

Tabella 5.2: risultati ottenuti dalla simulazione dell'area Fossolo con e senza combinazione di tetti verdi con impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

Analizzando i risultati ottenuti dalle simulazioni emerge come la combinazione tra gli impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche per scopi non potabili e l'inserimento di coperture verdi distribuite, per una superficie tale da coprire il 30% delle aree di captazione del quartiere analizzato, risulti essere estremamente vantaggiosa per la riduzione dei volumi inviati al corpo idrico ricettore. Osservando in Figura 5.1 la soluzione con RTC e logica PID, che risulta come nei casi precedenti quella più efficace, la combinazione delle tecnologie verdi offre una diminuzione dei volumi pari al 94%.

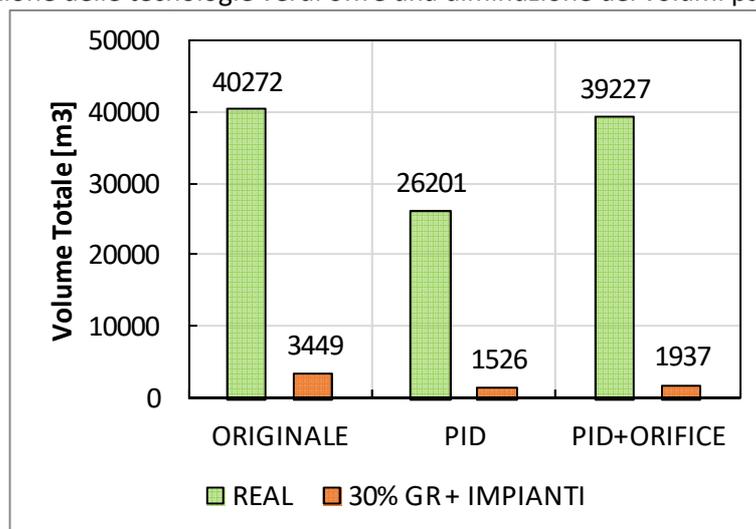


Figura 5.1: grafico relativo al volume totale inviato al ricettore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello combinato

Allo stesso modo, osservando il grafico in Figura 5.2 relativo agli inquinanti inviati al ricettore, la percentuale di diminuzione che contraddistingue la soluzione combinata da quella reale risulta essere pari al 96%.

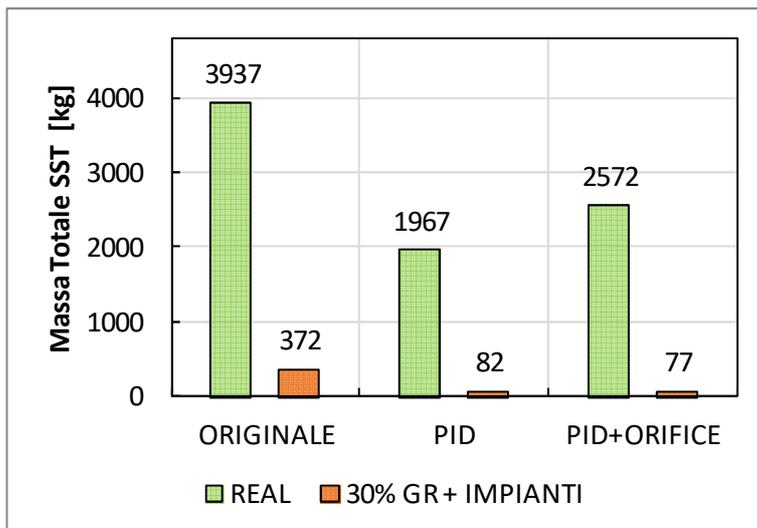


Figura 5.2: grafico relativo alla massa totale dei solidi sospesi inviata al ricettore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello combinato

Ponendo a confronto i dati ottenuti dalle simulazioni delle tecnologie verdi combinate con i risultati emersi da quelle delle tecnologie modellate singolarmente, emerge come queste siano in grado di offrire notevoli vantaggi a livello ambientale, in termini quantitativi e qualitativi.

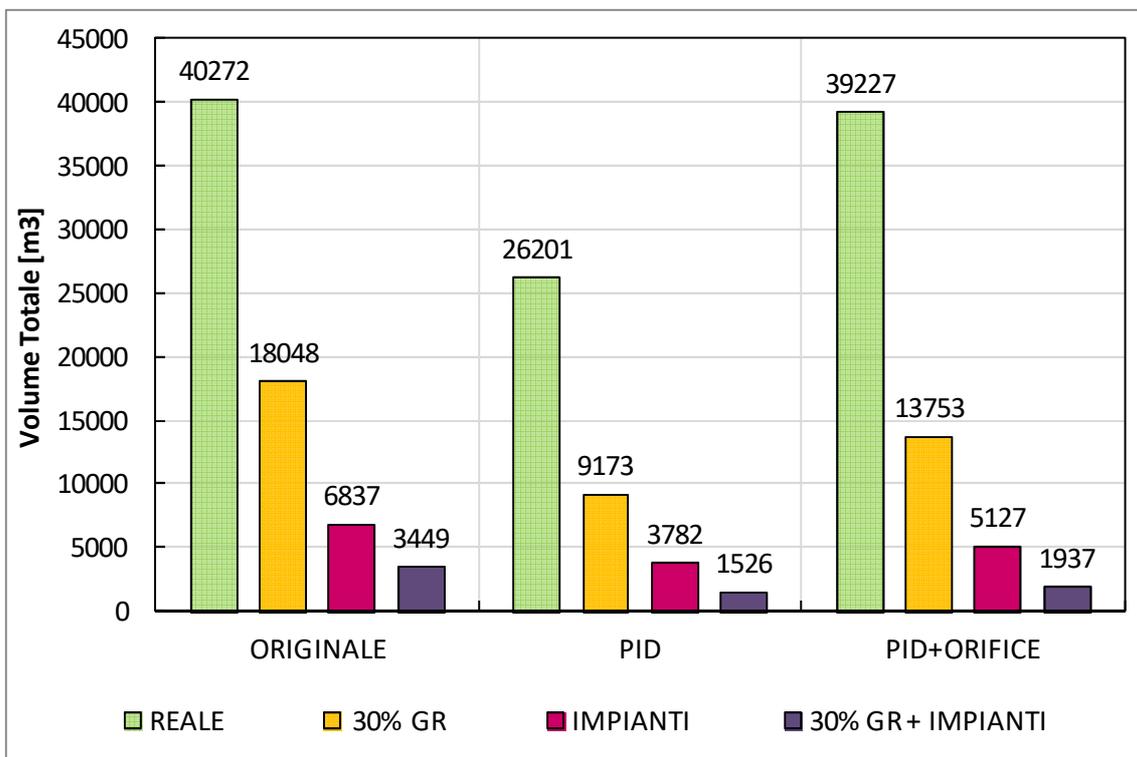


Figura 5.3: confronto delle soluzioni verdi analizzate in termini di volumi inviati al ricettore

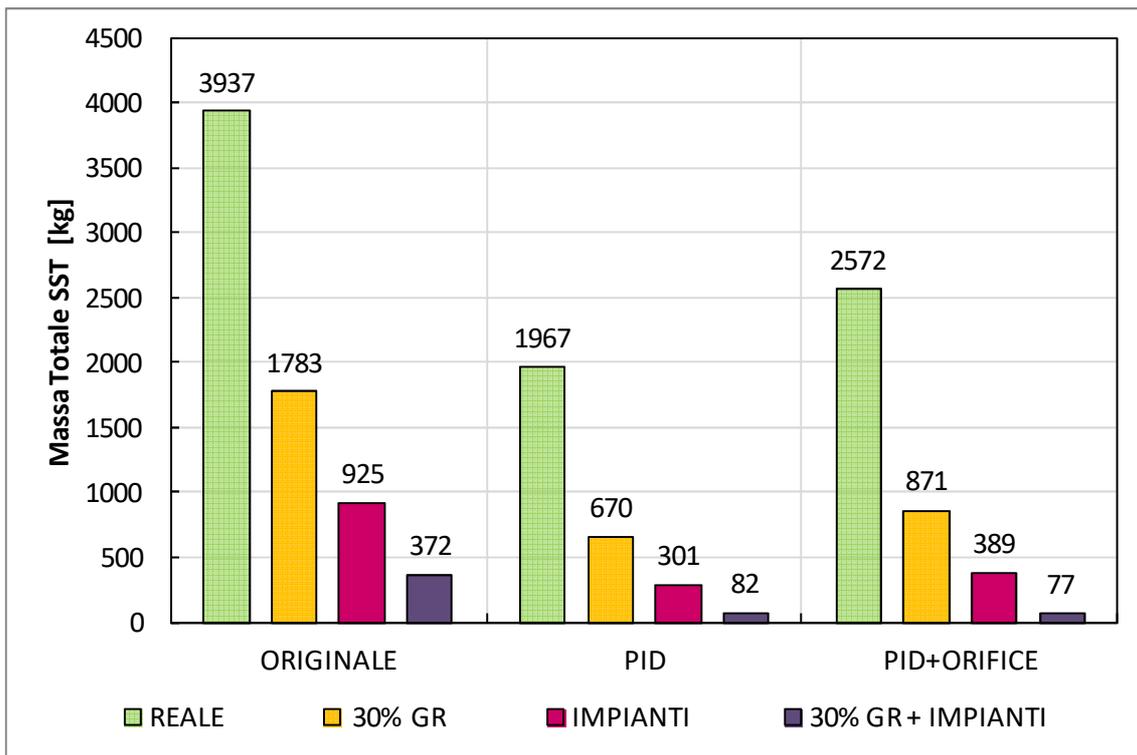


Figura 5.4: confronto delle soluzioni verdi analizzate in termini di massa totale dei solidi sospesi inviata al ricettore

L'installazione degli impianti per il recupero e riuso dell'acqua meteorica, tale da soddisfare la richiesta idrica non potabile per gli scarichi dei wc del 58% degli utenti residenti, risulta essere la tecnologia verde maggiormente efficace per minimizzare i volumi e gli inquinanti inviati al ricettore, sia essa installata da sola o in combinazione con un'altra NBS come i tetti verdi.

6 Invasi e aree ad infiltrazione controllata

6.1 Modellazione e analisi dei benefici ambientali derivanti dall'applicazione di aree ad infiltrazione controllata a scala di quartiere

L'efficacia delle aree ad infiltrazione controllata è stata modellata ipotizzando di incrementare del 15% il grado di permeabilità del bacino urbano del Fossolo in ogni configurazione. L'implementazione della rete analizzata con questa tecnologia ha evidenziato, grazie alle simulazioni con il software SWMM 5.1, la capacità delle aree ad infiltrazione controllata di minimizzare la portata e gli inquinanti inviati al ricettore. L'utilizzo del sistema RTC con logica PID permette di aumentare i benefici ambientali in termini di quantità e qualità.

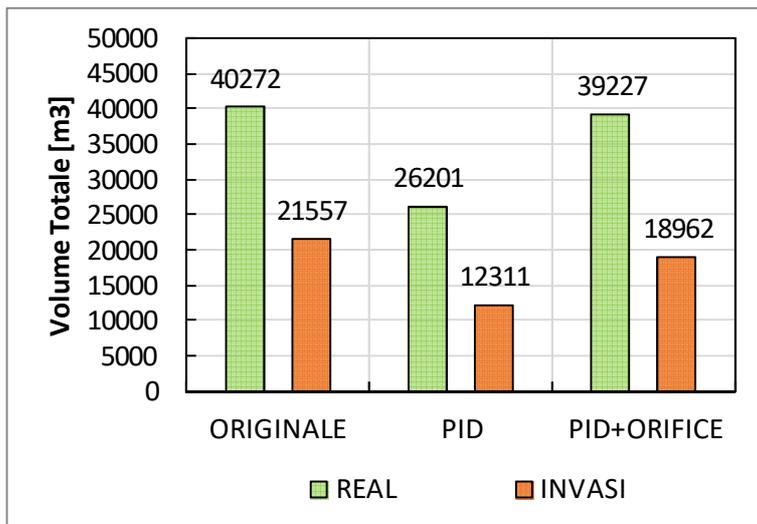


Figura 6.1: grafico relativo al volume totale inviato al ricettore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello con permeabilità aumentata

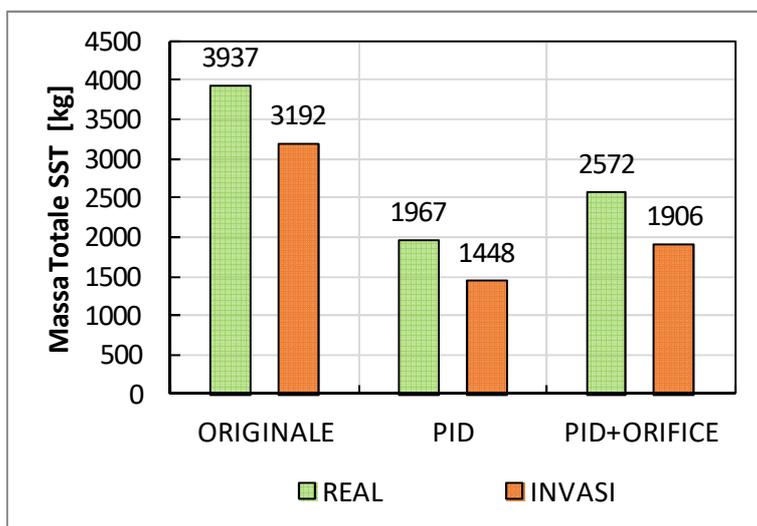


Figura 6.2: grafico relativo alla massa totale dei solidi sospesi inviata al ricettore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello con permeabilità aumentata

Nello specifico si ottiene una riduzione del 70% in termini di volume sversato e del 63% per quanto riguarda gli inquinanti inviati nel ricettore tra la rete reale e la rete RTC (PID) con permeabilità aumentata del 15%. Analizzando la rete con RTC (PID) e ponendo a confronto la rete reale con quella con permeabilità modificata si ha una riduzione del 53% in volume e del 26% in massa SST.

Tra le soluzioni finora analizzate questa evidenzia benefici a livello ambientale anche se mostra un potenziale di laminazione leggermente inferiore, risulta comunque in grado di minimizzare gli sversamenti e gli inquinanti inviati al corpo idrico ricettore.

6.2 Modellazione e analisi dei benefici ambientali derivanti dall'inserimento di invasi a scala di quartiere

L'inserimento di invasi di laminazione lungo la rete consente l'accumulo temporaneo dei volumi di pioggia che aumentano il tempo di concentrazione e abbattano la portata al colmo nella sezione di chiusura del bacino. Il posizionamento ottimale delle vasche lungo il reticolo fognario è stato valutato analizzando il comportamento della rete in occasione di eventi di media intensità e durata comparabile a quella critica. A titolo esemplificativo si riporta il grado di riempimento massimo dei collettori durante l'evento registrato il 09 luglio 2009 in una configurazione senza invasi (fig. 6.3) e in una configurazione con invasi (fig. 6.4).

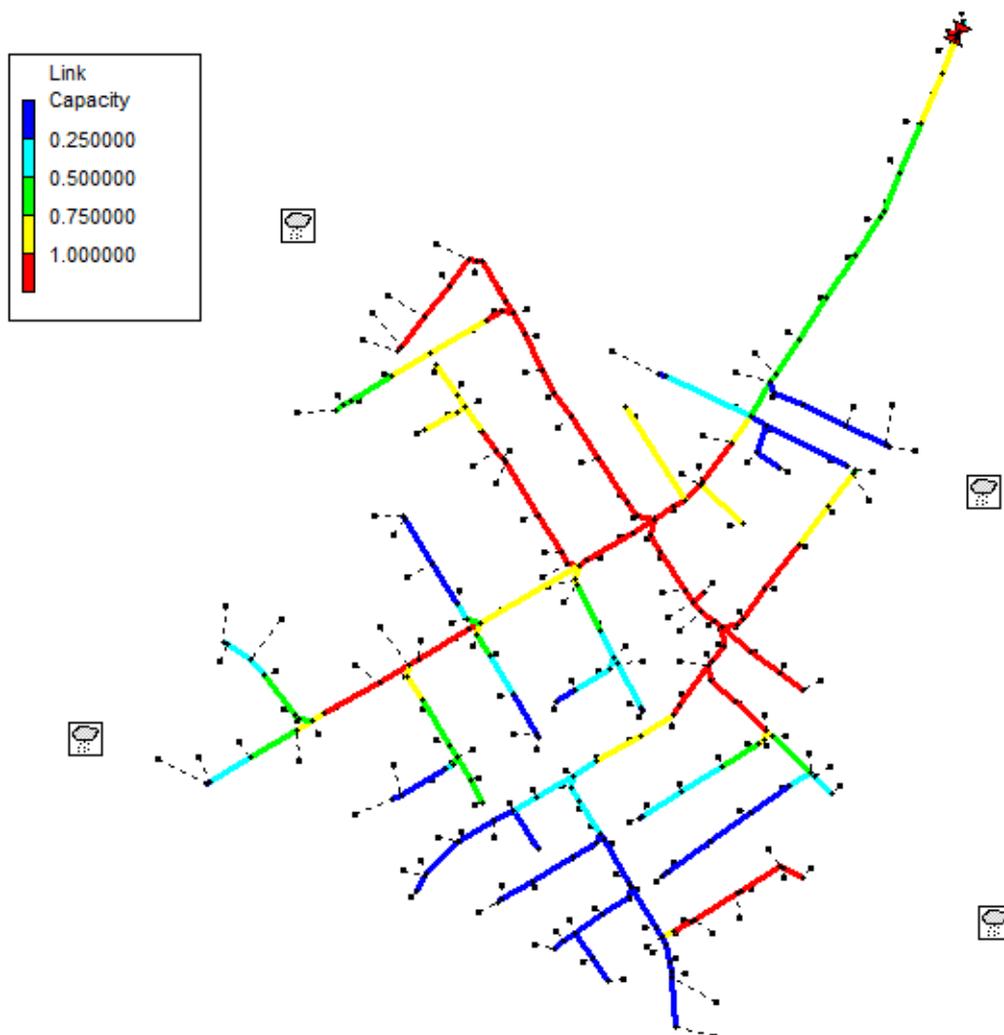


Figura 6.3: capacità di invaso delle condotte della rete del Fossolo (originale) per l'evento del 9/7/2009 utilizzando il software SWMM 5.1

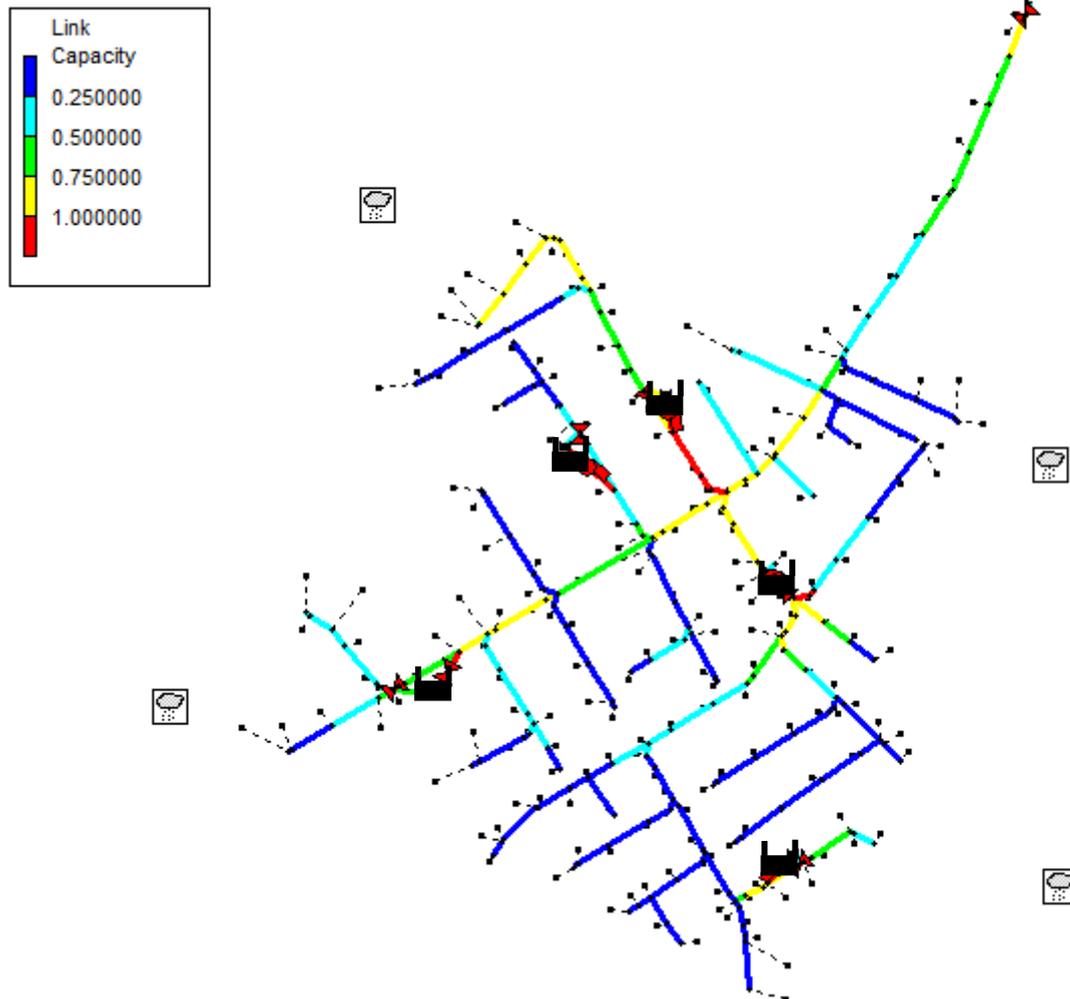


Figura 6.4: capacità di invaso delle condotte della rete del Fossolo con l'inserimento degli invasi di accumulo per l'evento del 9/7/2009

Gli invasi di laminazione sono stati dimensionati con il metodo delle sole piogge e ipotizzando di utilizzare le curve di capacità pluviometrica per tempi di ritorno di 15 anni. Le vasche sono state posizionate a monte delle paratoie mobili, nel caso di rete con sistema di controllo in tempo reale, al fine di migliorarne il funzionamento. Anche in questo caso si è proceduto con la modellazione della rete del Fossolo nelle sue 3 differenti configurazioni (originale, con RTC e logica PID e RTC più orificio) e utilizzando come dati di input le precipitazioni reali registrate nel 2009. La situazione reale si è confrontata con lo scenario invasi e si sono valutate le differenze in termini di volumi e masse sversate nel ricettore.

Osservando i risultati ottenuti si può notare come l'inserimento degli invasi non offra grandi vantaggi in termini di beneficio ambientale, la riduzione di volumi inviati al ricettore (Figura 6.5), nel caso reale con e senza invasi, risulta inferiore al 5%. Questa riduzione risulta maggiore nel caso di rete sottoposta a controllo in tempo, raggiungendo il 23%, indicando un miglior funzionamento del sistema RTC. Quanto appena espresso per i volumi risulta valido anche per la massa di solidi sospesi inviata al corpo idrico ricettore, come si può notare dal grafico in Figura 6.6.

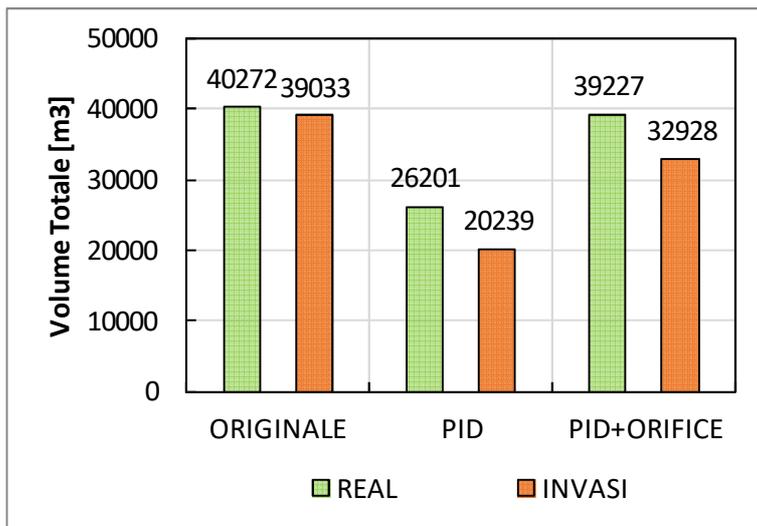


Figura 6.5: grafico relativo al volume totale inviato al ricettore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello con invasi di accumulo

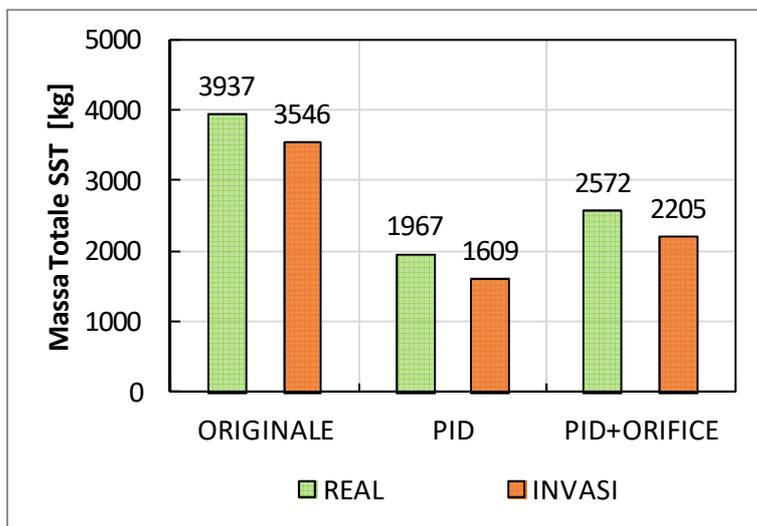


Figura 6.6: grafico relativo alla massa totale dei solidi sospesi inviata al ricettore per ogni rete analizzata ponendo a confronto lo scenario reale rispetto a quello con invasi di accumulo

È evidente che il vantaggio che si ottiene dall'inserimento degli invasi di accumulo distribuiti sulla rete è riconducibile ad un miglior funzionamento della stessa. La contemporanea presenza degli invasi e degli RTC consente di sfruttare al massimo la capacità di invaso della rete evitando gli allagamenti e favorendo una gestione più automatizzata dell'intero sistema.

6.3 Inserimento di invasi su reti dotate di sistema RTC

Le regole di controllo per le reti dotate di sistemi RTC e invasi di accumulo distribuiti sono strettamente legate allo schema funzionale della rete stessa. Tendenzialmente nei sistemi di drenaggio è preferibile avvalersi di invasi fuori linea poiché possono avere dimensioni molto maggiori e non sono perennemente percorsi da liquami.

Gli invasi sono controllabili con sistemi RTC mediante l'inserimento di paratoie mobili posizionate lateralmente, nel caso di invasi fuori linea, o incernierate alla base delle condotte, nel caso di vasche in linea.

Gli invasi distribuiti sulla linea permettono di minimizzare gli sversamenti e in particolar modo di migliorare il funzionamento degli impianti di depurazione poiché permettono di trattenere i volumi di acqua meteorica più inquinata per rilasciarli in rete nel momento in cui il depuratore non risulta più soggetto a sovraccarico.

Possono essere collegati tra loro prevedendo un funzionamento a gravità, se le quote lo permettono, oppure mediante impianto di sollevamento. L'entità della portata trasferibile è funzione, oltre che dal livello piezometrico fra i serbatoi, delle caratteristiche idrauliche e geometriche del collegamento stesso.

Gli invasi si possono riferire a più ricettori e/o impianti di depurazione o confluire negli stessi recapiti; possono essere disposti in serie o in parallelo in funzione della geometria della rete. Gli invasi in serie (Figura 6.7, immagine a sinistra) hanno la peculiarità di inviare il volume invasato alla vasca più a valle; quelli in parallelo possono essere più o meno interconnessi tra di loro.

Quando vengono inseriti degli invasi sulla rete con sistema di controllo in tempo reale, è opportuno programmare il sistema RTC in modo centralizzato in quanto permette di sfruttare la capacità di convogliamento dei canali gestendo i volumi invasati in maniera coordinata al fine di minimizzare gli scarichi attraverso un solo scaricatore a valle e rendendo più efficace l'impianto di trattamento.

Nel caso di reti complesse risulta importante e necessario analizzarne la struttura per il corretto posizionamento degli invasi, valutando i punti critici e quelli con condotte con minor capacità di invaso.

Nel caso di confluenze di rami, schema a "Y", l'invaso viene collocato a valle della confluenza e sui rami a monte (Figura 6.7, immagine a destra).

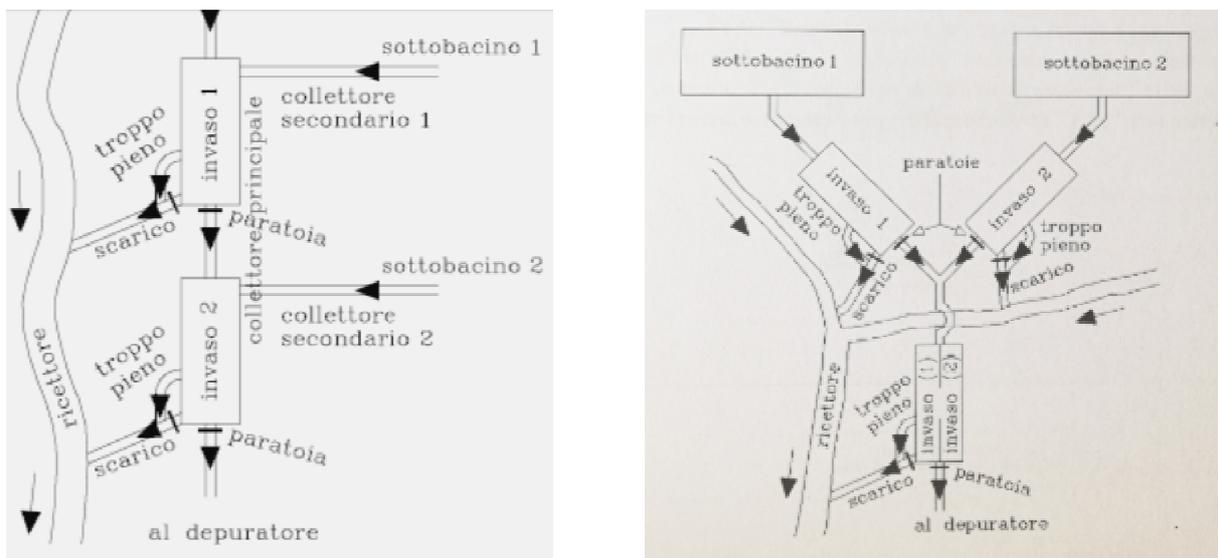


Figura 6.7: schemi relativi al posizionamento degli invasi sulla rete, in serie (immagine a sinistra) e con schema a "Y" (immagine a destra) [A. Campisano e U. Sanfilippo "Controllo in tempo reale dei sistemi di fognatura"]

Risulta così possibile gestire i casi di precipitazione distribuita in modo non omogeneo sul bacino, sfruttando l'invaso a valle per gestire, con sistema RTC centralizzato e gerarchico, i volumi in arrivo ai due sottobacini, gestendo le portate uscenti dai due invasi di monte favorendo lo svuotamento di quello più sollecitato e il riempimento di quello con meno carico.

Il controllo RTC centralizzato gerarchico prevede la definizione delle decisioni operative a livello globale, gli invasi a monte di un determinato ramo possono essere considerati in prima approssimazione come accorpati in un unico invaso, poi, a livello gerarchico inferiore, vengono elaborate le strategie di controllo che meglio consentono, all'interno di ogni accorpamento, di eseguire le direttive del livello gerarchico superiore, procedendo per gruppi elementari di tre invasi disposti a "Y".

Nel caso di reti a maglie chiuse, quindi prive di sconnessioni idrauliche, i volumi di invaso disponibili possono essere assimilati ad un unico invaso. Eventuali disomogeneità spaziale di precipitazione, con questo schema di rete, tendono a compensarsi spontaneamente dopo un certo lasso di tempo.

Il sistema RTC centralizzato, con paratoie distribuite sulla rete, permette di trattenere i volumi idrici nelle zone con afflusso meteorico in via di esaurimento, allontanandolo da quelle maggiormente sollecitate.

L'utilizzo di invasi distribuiti su una rete con sistema RTC permette di trattenere la parte più inquinata dell'evento meteorico per poi rilasciarla in rete in modo graduale quando l'impianto di trattamento non risulta in sovraccarico, minimizzando così gli inquinanti inviati al ricettore e ottimizzando il funzionamento dell'impianto di trattamento.

7 Conclusioni

Le nature based solutions (NBS) sono azioni e soluzioni basate sulla natura, un approccio ecosistemico volto a favorire e incentivare soluzioni innovative basate sull'incremento del verde pubblico e privato e su tecnologie che sfruttano il più possibile processi di trattamento naturali.

L'utilizzo di queste tecnologie verdi conduce a pensare il sistema insediativo in modo adattivo al variare delle condizioni climatiche, potenziando la resilienza delle aree urbanizzate, al fine di minimizzare i problemi connessi alla crescente impermeabilizzazione del suolo e a quelli legati agli eventi meteorici estremi sempre più frequenti.

Nel presente studio è stata analizzata l'applicabilità di NBS per la gestione delle acque meteoriche in integrazione a sistemi di Real Time Control (RTC) al fine di ottimizzare il funzionamento della rete minimizzando i rischi idraulici e ambientali. Tali soluzioni, infatti, presentano sia una valenza in termini di strategia per il miglioramento della sicurezza in ambito urbano rispetto ai cambiamenti climatici, sia una rilevanza idraulica e ambientale al fine di rendere la città più "smart" e resiliente.

Per valutare l'applicabilità delle NBS ad un caso reale, è stato scelto il bacino sperimentale del Fossolo a Bologna, oggetto del precedente PAR 2017, utilizzando i dati di precipitazione relativi all'anno 2009. Per valutare la risposta idrologica del bacino, la rete è stata modellata mediante il software open source SWMM 5.1. Le differenti configurazioni della rete e i benefici derivanti dall'applicazione dei diversi scenari sono stati valutati in termini di riduzione dei volumi defluiti, capacità d'invaso della rete, vulnerabilità dei rami, rischio di allagamento dei nodi e masse di SST sversate nel ricettore.

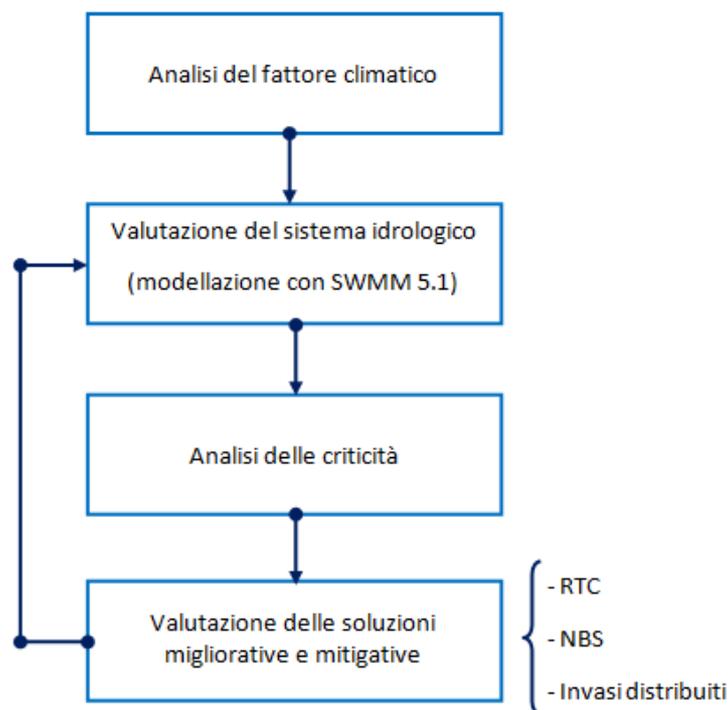


Figura 7.1: schematizzazione dell'approccio utilizzato per la valutazione dell'applicabilità delle NBS e dei sistemi di RTC ad una rete reale

Nel precedente PAR 2017, si sono studiate 3 diverse configurazioni della rete del bacino Fossolo:

- rete originale;
- rete con un sistema RTC e logica PID;
- rete RTC e inserendo un restringimento sul tratto finale destinato alla depurazione (*PID+Orifice*).

Nel presente PAR, per ciascuna configurazione precedentemente illustrata si sono analizzati i seguenti differenti scenari:

- a) tetti verdi (GR): è stato ipotizzato che il 30% delle superfici corrispondenti ai tetti degli edifici fosse sostituito con tetti verdi di tipo estensivo;
- b) impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche: è stato ipotizzato che il 58% degli abitanti presenti nel bacino potesse accedere ad una rete duale non potabile e utilizzare tale acqua per alimentare le cassette del WC;
- c) combinazione di tetti verdi e impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche: si sono combinati lo scenario a e b;
- d) invasi distribuiti sul territorio: si sono inseriti 5 invasi di laminazione lungo la rete dimensionati con il metodo delle sole piogge;
- e) aree ad infiltrazione controllata: è stato ipotizzato un incremento della permeabilità, pari al 15%, uniformemente distribuita sull'intera area di studio.

Per ogni scenario sono stati analizzati i volumi e la massa di inquinanti inviati al corpo idrico ricettore. I risultati ottenuti sono riassunti nella Tabella 7.1.

Scenario	Soluzione	Volume (m ³)	Massa (kg)
<i>Reale</i>	Originale	40272	3937
	PID	26201	1967
	PID+ORIFICE	39227	2572
<i>Tetti verdi (+30% GR)</i>	Originale	18048	1783
	PID	9173	670
	PID+ORIFICE	13753	871
<i>Impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche</i>	ORIGINALE	6837	925
	PID	3782	301
	PID+ORIFICE	5127	389
<i>30% GR + impianti</i>	Originale	3449	372
	PID	1526	82
	PID+ORIFICE	1937	77
<i>Aree ad infiltrazione controllata (+15% permeabilità)</i>	Originale	21557	3192
	PID	12311	1448
	PID+ORIFICE	18962	1906
<i>Invasi distribuiti</i>	Originale	39033	3546
	PID	20239	1609
	PID+ORIFICE	32928	2205

Tabella 7.1: riassunto dei risultati ottenuti dalle simulazioni dei differenti scenari ipotizzati

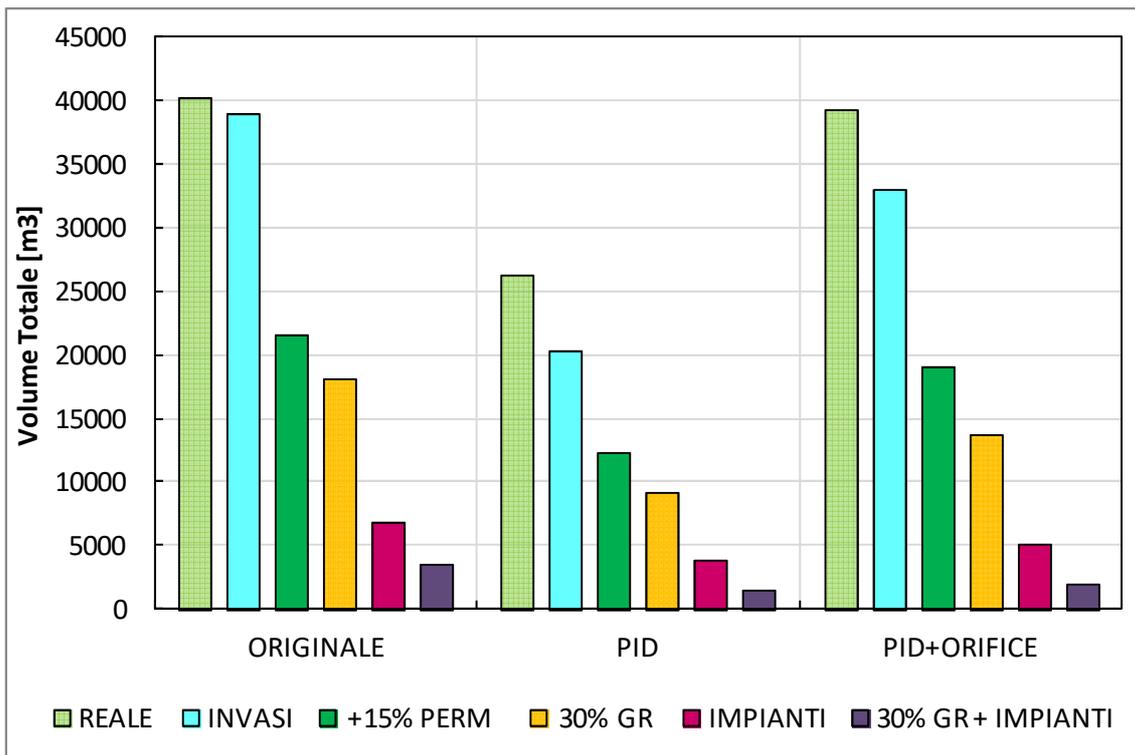


Figura 7.2: Grafico relativo al volume inviato verso il ricettore nelle varie configurazioni

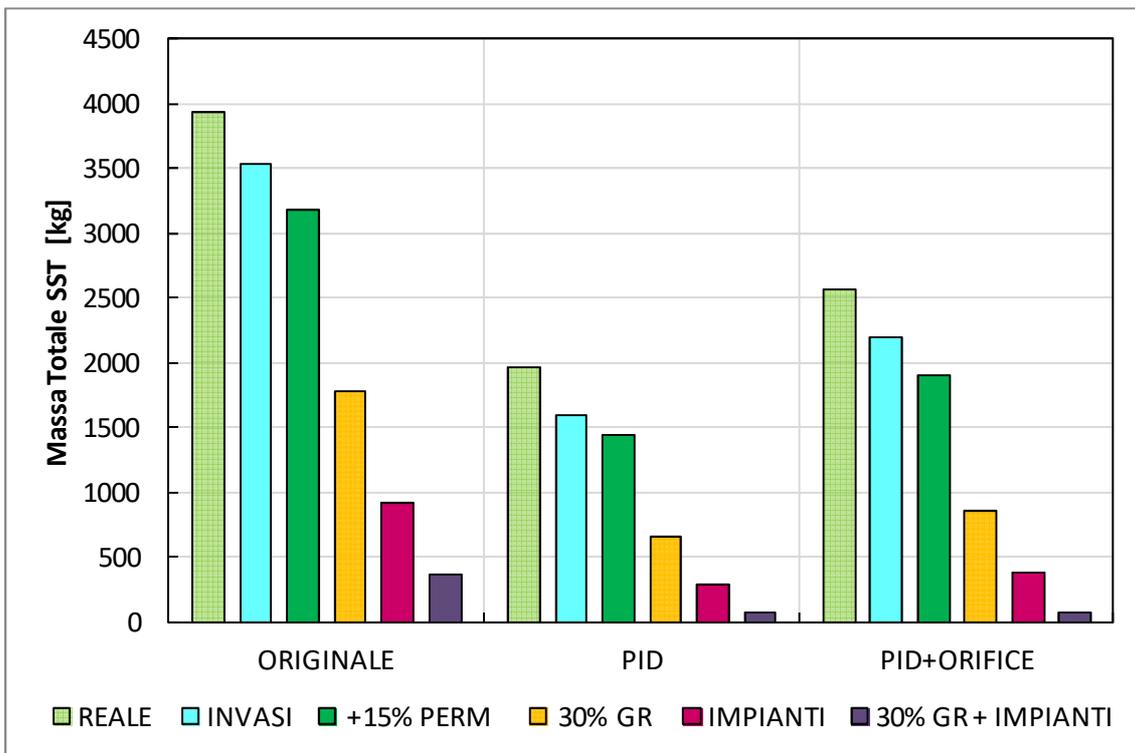


Figura 7.3: grafico relativo alla massa sversata nel corpo idrico ricettore nelle varie configurazioni analizzate poste a confronto

La soluzione con controllo in tempo reale gestito dal controllo PID risulta essere, tra le tre configurazioni di rete analizzate, quella che permette di minimizzare i volumi e la massa inviata al ricettore, raggiungendo così l'obiettivo di ottimizzare il funzionamento complessivo della rete, limitando, allo stesso tempo, il

rischio di allagamento urbano grazie all'ottimizzazione della capacità di accumulo delle condotte stesse, in tutti gli scenari ipotizzati

Tra gli scenari ipotizzati, la soluzione che prevede l'utilizzo di tetti verdi insieme all'installazione di impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche per scopi non potabili risulta essere quello che abbatte sensibilmente sia i volumi sia gli inquinanti sversati nel ricettore in tutte le reti analizzate e, al contempo, determina una riduzione del consumo di acqua potabile. Nello specifico, nel caso di rete con RTC (PID), l'utilizzo una tecnologia che combina i tetti verdi e gli impianti per il riuso delle acque meteoriche porta ad una riduzione rispetto al caso reale del 94% in termini di volume (Figura 7.2) e di circa il 96% in termini di massa (Figura 7.3) sversati al ricettore.

In ogni configurazione analizzata risulta evidente come l'utilizzo di tecnologie verdi NBS, in combinazione con sistemi RTC e/o invasi di accumulo distribuiti, sia in grado di ridurre significativamente i volumi e gli inquinanti inviati al corpo idrico ricettore, ponendosi come soluzioni ad elevata rilevanza idraulica e ambientale, e offrendo così differenti possibili strategie per migliorare la sicurezza urbana rispetto a eventi meteorici estremi rendendo al contempo le città più resilienti e vivibili.

8 Riferimenti bibliografici

- [1] Andri S., Sauli G., "Verde pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico", ISPRA Manuale e Linee Guida 78 technical report, 2012.
- [2] Artina S., Maglionico M., Marinelli A. " Le misure di qualità nel bacino urbano Fossolo". CSDU, Milano, 1996.
- [3] Berardi U., GhaffarianHoseini A., GhaffarianHoseini A., "State of the art analysis of the environmental benefits of green roofs", Appl. Energy, 115:411-428, 2014.
- [4] Bonoli, A., Conte, A., Maglionico, M., Stojkov, I., "Green Roofs For Sustainable Water Management", Environ. Eng. Manag. J. 12, 153–156, 2013.
- [5] Campisano A., Modica, C. "P units calibration for the RTC of sewer collectors using a dimensionless approach". In Global Solutions for Urban Drainage, 2002.
- [6] Campisano A., Modica, C. "PID and PLC units for the real-time control of sewer systems." Water science and technology, 45(7), 95-104, 2002.
- [7] Campisano A., Sanfilippo U. "Controllo in tempo reale dei sistemi di fognatura", Centro Studi Idraulica Urbana, 2011.
- [8] Cipolla S. S. "Tetti verdi: analisi sperimentale e simulazione numerica", Tesi di dottorato, Università di Bologna, 2015.
- [9] Cipolla, S.S., Altobelli, M., Maglionico, M., "Systems for rainwater harvesting and greywater reuse at the building scale : a modelling approach", Environ. Eng. Manag. J. 17, 2018.
- [10] Cipolla, S.S., Maglionico, M., Stojkov, I., "Experimental Infiltration Tests on Existing Permeable Pavement Surfaces". Clean - Soil, Air, Water 44, 89–95. doi:10.1002/clen.201400550, 2016.
- [11] Cipolla, S.S., Maglionico, M., Stojkov, I., "A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM", Ecol. Eng. 95, 876–887, 2016.
- [12] Comune di Firenze, IRIDRA srl, "Linee guida per un regolamento del verde. Migliori pratiche per la gestione integrata sostenibile delle acque in aree urbane".
- [13] Cristiano E., Ten Veldhuis M. C., Gaitan S., Ochoa-Rodriguez S., Van de Giesen N. "Identificazione di scale spaziali e temporali critiche per l'analisi della risorsa idrologica in aree urbane". XXXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Ancona, 2018.
- [14] DWA "Framework for planning of real time control of sewer networks", German DWA Rules and Standards, Advisory Leaflet DWA-M 180E, 2005.
- [15] Georgia Department of the Environment "Georgia Stormwater Management Manual", Volume 2 Technical Handbook, 2001.
- [16] Gobattoni F., Pelorosso R., Leone A., "Strategie di riqualificazione urbana clima-adattiva: Nature-Based Solutions per città più resilienti", Conferenza "A new cycle of Urban Planning Between Tactics and Strategy. Urbanpromo" - XIII Edizione Progetto Paese, 101-109, Triennale di Milano, 2016.

- [17] Hartigan J. P. "Basis for design of wet detention basin BMPs", Design of urban runoff quality control, American Society of Engineers, 1988.
- [18] Maglionico M., "Criteri di dimensionamento e gestione degli invasi nelle reti fognarie", Atti del Convegno: "Moderne tecniche di progettazione e gestione dei sistemi fognari e acquedottistici", 29 - 51, 2004.
- [19] Maglionico M., Stojkov I., Conte A., Bonoli A., Cipolla S.S., "Green roofs for sustainable water management in urban areas", 13th Int. Conf. Urban Drain., 1-10, Malaysia, 2014.
- [20] Marinelli, A., Maglionico, M., & Artina, S., "Water quality simulation in an urban drainage catchment", Proceedings of the European Water Resources Association Conference, 383-390, 1997.
- [21] Maryland Department Of The Environment (MDE) "Storm Water Design Manual", Sediment and Storm Water Administration, 2000.
- [22] Masseroni D., Massara F., Gandolfi C, Bischetti G. B. "Manuale sulle buone pratiche di utilizzo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile". 2018.
- [23] Mollerup A.L, Mikkelsen P.S., Sin G. "A methodological approach to the design of optimizing control strategies for sewer systems". Environmental modelling and software, 2013.
- [24] Northern Virginia Planning District Commission (NVPDC) "Maintaining your BMP", Division of Environmental Services, 2002.
- [25] Palla A., Gnecco I., Lanza L. G., "Hydrologic Restoration in the urban environment using green roofs", Water, 140-154, 2010.
- [26] Pittalunga I., Schenone C., Palla A., Lanza L.G., "Le prestazioni acustiche del verde pensile: assorbimento sonoro di coperture di diversa configurazione", 2a Giorn. Di Stud. Sull'acustica ambientale, 1-19, 2009.
- [27] Piro, P., Carbone, M., Garofalo, G. " Distributed vs. concentrated storage options for controlling CSO volumes and pollutant loads". Water Practice and Technology, 2010.
- [28] Stovin V., Vesuviano G., Kasmin H., "The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions", J. Hydrol., 414-415:148-161, 2012.
- [29] WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). " Nature-based Solutions" The United Nations World Water Development Report 2018, UNESCO, 2018.

9 Abbreviazioni ed acronimi

- BMP: Best Management Practices
- EW: Early Warning
- NBS: Nature Based Solutions
- RTC: Real Time Control
- SST: Solidi Sospesi Totali
- SUD: Sustainable Urban Drainage
- TR: Tempo di Ritorno

Curriculum del gruppo di lavoro

Margherita Altobelli

Assegnista di Ricerca presso l'Università di Bologna. Laureata in Ingegneria Edile-Architettura presso l'Università di Bologna a febbraio 2017 con voto 100/110. Da Aprile 2017 a Luglio 2018 ha prestato servizio come Assegnista di Ricerca presso il Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale, nell'ambito del progetto POR-FESR GST4water (www.gst4water.it) sulla tematica del recupero e del riuso delle acque meteoriche e reflue, reperendo e analizzando le serie storiche pluviometriche della regione Emilia-Romagna al fine di valutare il corretto dimensionamento dei serbatoi di accumulo, in ambito residenziale, in funzione del sito in cui vengono installati gli impianti. Da agosto 2018 collabora come Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento DICAM-Costruzioni Idrauliche della Scuola di Ingegneria di Bologna nell'ambito del progetto relativo all'ottimizzazione della gestione dei sistemi acquedottistici e fognari dei Comuni di Lizzano in Belvedere e Alto Reno Terme (BO).

<https://www.unibo.it/sitoweb/margherita.altobelli3>

Sara Simona Cipolla

Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna. Ha conseguito la Laurea Specialistica in Ingegneria Civile, indirizzo Idraulica presso l'Università di Bologna nel 2011 e il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali indirizzo scienza e tecnologia dell'acqua nel 2015 presso l'Università di Bologna. Da maggio 2018 collabora come Assegnista di Ricerca (L240/2010) presso il DICAM al progetto di ricerca LIFE AGROWETLANDS II - SMART WATER AND SOIL SALINITY MANAGEMENT IN AGRO-WETLANDS (www.lifeagrowetlands2.eu), dal 2016 al 2018 ha collaborato come Assegnista di Ricerca (L240/2010) presso il Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale, nell'ambito del progetto POR-FESR GST4water (www.gst4water.it), dal 2015 al 2016 ha prestato servizio come Assegnista di Ricerca (L240/2010) presso il Dipartimento DICAM-Costruzioni Idrauliche della Scuola di Ingegneria di Bologna. L'attività di ricerca si focalizza principalmente nell'ambito del drenaggio urbano, mediante attività sperimentali volte allo studio del comportamento idrologico di tecnologie per il drenaggio urbano sostenibile (NBS, SuDS, Green Roofs etc), mediante attività di modellazione numerica di reti drenaggio urbano complesse e mediante lo studio di sistemi per il recupero di energia termica dai sistemi fognari. Recentemente si interessa alle tematiche legate all'agricoltura di precisione ed in particolare alla gestione sostenibile dell'acqua in aree agricole mediterranee a falda superficiale con salinizzazione del suolo.

<https://www.unibo.it/sitoweb/sara.cipolla/cv>

Marco Maglionico

Ricercatore confermato presso l'Università di Bologna. Ha conseguito la laurea in Ingegneria Idraulica nel 1993 all'Università di Bologna; ha quindi conseguito il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica su "Aspetti qualitativi nelle reti di drenaggio urbano" presso il Politecnico di Milano nel 1998. Ha inoltre partecipato a diversi progetti di ricerca sia Italiani che Europei. Tra i progetti internazionali si ricordano: EU INNOVATION 103401 (1996-1999) "Application for the Urban Pollution Management Procedure to River Quality Protection in European Member States"; "CARE-S: Computer Aided REhabilitation of Sewer networks" (2003-2005) nell'ambito del 5th Frame Programme; "TRUST: Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow" (2011-2015) under the 7th Framework Programme; "LIFE15 ENV/IT7000423 AGROWETLANDS II Smart water and soil salinity management in Agro-wetlands (2016-2020)". In ambito Nazionale è stato coordinatore del gruppo di lavoro dell'Università di Bologna nell'ambito del finanziamento del MIUR PRIN 2005 del progetto: "Indicatori di prestazione per la stima, l'analisi e la valutazione delle strategie di riduzione delle perdite idriche nei sistemi acquedottistici" e del gruppo di lavoro dell'Università di Bologna nell'ambito del finanziamento del MIUR PRIN 2008 del progetto: "Impatto della riduzione delle perdite idriche sulla gestione dei sistemi di distribuzione in scenari di carenza idrica". I principali campi dell'attività di ricerca riguardano: monitoraggio e modellazione dei sistemi di drenaggio urbano sia per gli aspetti idraulici sia per gli aspetti inerenti la qualità dell'acqua; progettazione di opere per il controllo quantitativo e qualitativo nei sistemi fognari; drenaggio urbano sostenibile (LID, Tetti verdi,

ecc.); modellazione numerica delle reti di distribuzione idrica in particolare per la valutazione dell'affidabilità dei sistemi acquedottistici.
<https://www.unibo.it/sitoweb/marco.maglionico>