

**Patrizia Piro, Marco Carbone, Gennaro Nigro, Giuseppina Garofalo\***

## IL PARCO DI IDRAULICA URBANA DEL BACINO VERMICELLI - UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

## THE URBAN WATER PARK OF THE VERMICELLI WATERSHED - UNIVERSITY OF CALABRIA

*Per la gestione delle acque piovane e la difesa delle risorse naturali in ambito urbano, le soluzioni sostenibili a basso impatto offrono molteplici vantaggi, tra i quali la riduzione del carico inquinante delle acque di prima pioggia e la riduzione dei volumi e dei picchi delle portate afferenti al sistema di drenaggio urbano.*

*Nel presente lavoro si riferisce intorno ad un caso reale di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano in area mediterranea. Presso l'Università della Calabria, il Gruppo del Laboratorio di Idraulica e Idrologia Urbana (LIU) afferente al Dipartimento di Ingegneria Civile ha realizzato una serie di impianti pilota, a basso impatto ambientale, associati a infrastrutture idrauliche di controllo tradizionali.*

*In una gestione sostenibile del territorio e delle risorse idriche, un sistema distribuito di più soluzioni quali BMPs e LIDs associate a tecniche tradizionali in un bacino urbano sperimentale come quello del Vermicelli, si pone come dimostratore di tali applicazioni anche in area mediterranea.*

*Le attività svolte nella realizzazione delle installazioni sperimentali esposte e la ricerca in atto presso il parco di idraulica urbana si propongono come un'utile guida a tecnici progettisti, pianificatori, gestori e decisori delle amministrazioni pubbliche, ecc. che dovranno, oramai inevitabilmente, confrontarsi con le problematiche della gestione sostenibile dei territori urbani.*

**Parole chiave:** Sostenibilità urbana, Acque di pioggia, Strutture verdi, Riuso acque meteoriche.

*Sustainable solutions to manage stormwater and to protect the water resources in urban environment provide numerous advantages, such as the reduction of stormwater pollution, volumes and peak flow rates delivered to an urban drainage system. This work reports about a real case of best management practices of stormwater in urban environment in the Mediterranean area.*

*At the University of Calabria in the Urban Water Park of the Vermicelli watershed a series of low environmental impact solutions associated with traditional hydraulic infrastructures have been implemented. In the context of a sustainable management of land and water resources, the Urban Water Park may stand as a demonstrator of applications of sustainable solutions associated with traditional techniques in the Mediterranean area.*

*The activities carried out in the implementation of the experimental installations and the ongoing research at the Urban Water Park could represent an useful guideline for design engineers, planners, managers and decision makers of government, etc. which have to face urgently and inevitably the issues of stormwater management in urban environment.*

**Keywords:** Urban Sustainability, Rainwater, Green Structures, Rain Water Harvesting.

### INTRODUZIONE

Eventi meteorici sempre più intensi, associati all'eccessiva impermeabilizzazione nelle aree urbane, stanno provocando fenomeni di scorrimento superficiale incontrollato e un aumento dei volumi d'acqua gravanti sulle reti di drenaggio. La situazione, associata all'insufficiente manutenzione e al mancato adeguamento delle reti, favorisce defezioni strutturali, causando spesso gravi ripercussioni sull'ambiente con danni notevoli. Le ripetute emergenze derivanti dalla combinazione dei suddetti scenari, associate alla sempre maggiore richiesta di ripristino dell'habitat naturale cittadino per il benessere collettivo, impone oramai il ricorso a nuovi sistemi costruttivi in un'ottica di sostenibilità ambientale, in alternativa alle tecniche costruttive che in passato hanno caratterizzato lo sviluppo urbano.

In accordo alla definizione di sostenibilità (WCED, 1987), “*lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni*”, nella gestione delle risorse idriche ed energetiche in ambito urbano possono essere adottate tecniche costruttive che rispondono ai principi delle Best Management Practices (BMPs) e delle Low Impact Developments (LIDs).

Il termine di Best Management Practices (BMPs) (EPA, 2004), concepito storicamente in riferimento al controllo dell'inquinamento delle acque reflue di depurazione urbana, ma esteso anche alle acque piovane, ha origine negli Stati Uniti d'America, nell'ambito del progetto di ricerca Nationwide Urban Runoff Program (NURP), condotto dalla Environmental Protection

\*Universit della Calabria - Dipartimento di Ingegneria Civile.

Agency (EPA), tra il 1979 e il 1983 (USEPA, 1983). Le BMPs consistono in interventi strutturali che permettono di gestire la quantità del deflusso urbano e di migliorarne la qualità.

Tra le BMPs, si distinguono soluzioni sostenibili a basso impatto ambientale, le LIDs, che mirano a minimizzare le superficie impermeabili, ripristinando il ciclo idrologico naturale in ambiente urbano attraverso l'uso di sistemi vegetati e di infiltrazione. Esempi di LIDs per la riduzione dei volumi e del carico inquinante sono i tetti vegetati e le pavimentazioni permeabili.

In tale contesto le installazioni sperimentali realizzate presso l'Università della Calabria nell'ambito del progetto PON 01\_02543 "Servizio di gestione integrata e sostenibile del ciclo acqua - energia nei sistemi di drenaggio urbano" trovano piena applicazione, nella gestione del ciclo integrato dell'acqua di pioggia nei contesti urbani offrendo soluzioni sia in termini di riduzione dei volumi idrici che di controllo della qualità delle acque.

Tali installazioni, insieme ad altre infrastrutture di tipo tradizionale di trattamento delle acque meteoriche esistenti all'interno del bacino Vermicelli, compongono il Parco di Idraulica Urbana, in esercizio da 1 Agosto 2012 ed in continua integrazione con strumenti di misura aggiuntivi. L'efficienza idraulica dei sistemi sostenibili monitorati è risultata essere soddisfacente, mostrando abbattimento significativo delle portate di picco.

## 1. IL PARCO DI IDRAULICA URBANA DEL BACINO VERMICELLI

Il Bacino Vermicelli (Fig. 1) si sviluppa per circa 27.80 ha con una superficie impermeabile pari al 30% circa del totale, una pendenza media del 2.4%, un'altitudine media di 252 m s.l.m. con un dislivello di 62 m, tra una quota di 272 m s.l.m. e una quota, nella sezione di chiusura del bacino, di 210 m s.l.m.

Nella parte valliva del bacino naturale s'inserisce tutto il complesso di edifici e infrastrutture viarie afferenti ai dipartimenti

d'Ingegneria dell'Università della Calabria. Nella parte alta e in quella mediana sono, invece, presenti insediamenti di tipo residenziale.

Il Parco si concretizza con la messa in opera nell'area del bacino Vermicelli di diversi tipi di strutture afferenti alle buone pratiche di gestione delle acque meteoriche. È costituito da un sistema di opere afferenti alle BMPs: un tetto vegetato, una pavimentazione permeabile, una fascia di bioritenzione e un impianto di trattamento, costituito da un'unità di sedimentazione e da un'unità di filtrazione poste in serie.

Per il controllo e il monitoraggio



Figura 1 - Bacino Vermicelli - Università della Calabria.

delle grandezze climatiche, termofisiche, idrologiche, idrauliche e qualitative è stato predisposto un complesso e articolato sistema di acquisizione dati che in tempo reale e in continuo consente la misura di tutti i parametri monitorati nelle installazioni sperimentali allo scopo di indagare gli aspetti idrologici, idraulici e di qualità delle acque di deflusso urbano oltre agli aspetti termo-energetici (in particolare per il tetto vegetato).

### 1.1. Infrastrutture idrauliche esistenti nel Parco di Idraulica Urbana

E' ormai noto in letteratura che lo scorrimento delle acque superficiali urbane rappresenta una delle fonti di maggiore inquinamento (Even et al., 2007; Fu et al., 2009) con alte concentrazioni soprattutto legate ai solidi sospesi totali (TSS) (Piro et al., 2010); importante risulta, dunque, il controllo dei solidi sospesi presenti nelle acque di prima pioggia e il loro sversamento nei corpi idrici recettori (Piro et al., 2009).

Come anticipato, il parco di idraulica urbana per la gestione sostenibile delle acque meteoriche si compone di diverse soluzioni afferenti alle BMPs quali un tetto vegetato, installato su un edificio (Cubo 46/C) del Campus, una pavimentazione permeabile, installata in un parcheggio aperto all'uso pubblico e una fascia di bioritenzione posta nei pressi della pavimentazione permeabile.

#### 1.1.1 Tetto vegetato a scala pilota

I tetti verdi sono sistemi vegetati, che mirano ad ottenere molteplici vantaggi, quali miglioramento della regimazione idrica in ambito urbano (Mentens et al., 2006), risparmio energetico degli edifici (Nyuk Hien et al., 2007), miglioramento delle condizioni climatiche cittadine (isola di calore) (Schmidt M., 2005), tutela delle biodiversità dell'ecosistema urbano (Celli et al., 1996), ecc.. Le coperture a verde pensile sono considerate a tutti gli effetti delle coperture continue e come quelle tradizionali devono garantire le stesse prestazioni di protezione del costruito. La maggior parte degli aspetti tecnici e funzionali dei tetti verdi sono stati sviluppati in contesti ambientali diversi rispetto a quello mediterraneo ovvero nei (paesi del nord Europa) e realizzati unendo strati composti da vari materiali. Alla luce della UNI 11235/07 la tecnologia dei tetti verdi si è inserita anche in Italia, ma è ancora applicata più diffusamente in Europa settentrionale.

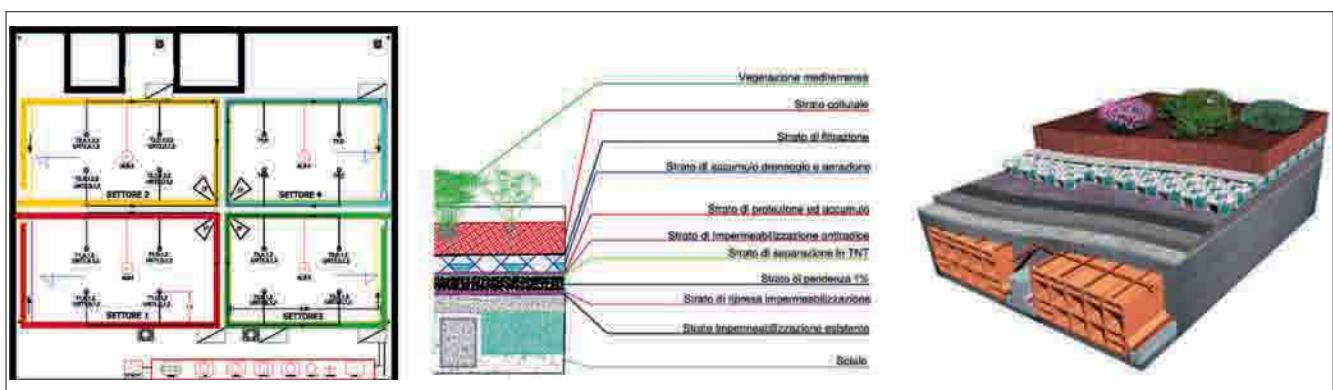


**Figura 2 - Tetto vegetato - fioritura del Carpobrotus edulis.**

dello strato antiradice, sistema di drenaggio, sub-sistema delle pendenze e dei componenti accessori, strato integrato drenante/aerazione/accumulo, strato filtrante, strato colturale, essenze vegetali autoctone dell'area del mediterraneo (Fig. 4). Per il monitoraggio delle grandezze termofisiche e idrologiche nei vari strati dell'installazione, degli ambienti interni dell'edificio e le grandezze climatiche dell'ambiente circostante è stato progettato e realizzato un complesso sistema di monitoraggio in grado di acquisire in continuo informazioni su più punti della copertura e ai diversi livelli della stratigrafia.



**Figura 3 - Carpobrotus edulis - Dianthus granthianopolitanus - Cerastium tomentosum.**



**Figura 4 - Planimetria del tetto vegetato con compartmentazione, sezione e spaccato assonometrico del settore 1.**

L'intero sistema di monitoraggio è composto da circa 150 sensori che provvedono alla misura di radiazione solare, radiazione globale, radiazione infrarossa della volta celeste, radiazione ultravioletta, illuminamento, temperatura e umidità dell'aria, velocità e direzione del vento, precipitazione, e, per ogni settore, portata sub-superficiale, temperatura e contenuto idrico del terreno, temperatura superficiale, temperatura all'infrarosso, coefficiente di riflessione, temperatura e umidità a livello della vegetazione, e qualità dell'acqua.

Particolare attenzione è stata dedicata al sistema di accumulo e riuso delle acque meteoriche, collettate e stoccate in un serbatoio interrato, posto sul lato nord dell'edificio, al quale è affidata, nei periodi di necessità, l'irrigazione di soccorso, attraverso una rete di distribuzione di tipo a goccia, adeguata alla dislocazione planimetrica delle piante (Fig. 5). Il tetto vegetato ha dimostrato una capacità di ritenzione del 20% in media (Carbone et al., 2014a).

Il "tetto vegetato" installato (TV- LIU) (Fig. 2) è stato realizzato per valutare l'efficienza idrologica idraulica e gli effetti sulla qualità delle acque piovane dovuti alla presenza di vegetazione mediterranea. Al TV-LIU è associato un sistema di accumulo e riuso delle acque meteoriche e, grazie alla presenza di sensori termofisici, è possibile valutare gli aspetti termici ed energetici della copertura e dell'edificio (Piro et al., 2013).

Le specie utilizzate per la copertura vegetale sono: il *Carpobrotus edulis*, il *Dianthus granthianopolitanus* e il *Cerastium tomentosum* (Algieri et al., 2014) (Fig 3).

Il TV-LIU è compartimentato in quattro settori, idraulicamente indipendenti, per ognuno dei quali è stata definita una specifica stratigrafia che consiste in: strato impemeabilizzante antiradice, strato di protezione meccanica



**Figura 5 - Sistema di collettamento e riuso delle acque meteoriche:** (1) impianto d’irrigazione a goccia, (2) serbatoio di riuso, (3) scarico in rete del troppo pieno serbatoio, (4) collettamento acque meteoriche.

### 1.1.2 Pavimentazione permeabile

Le pavimentazioni permeabili indicano tutte quelle pavimentazioni, in conglomerato bituminoso, in calcestruzzo o in materiali analoghi, dotate di elevata permeabilità; esse forniscono una resistenza strutturale confrontabile a quelle delle pavimentazioni convenzionali (*Shackel, 1996*) e gran parte dell’intasamento nelle giunzioni (o fughe) può essere facilmente ed economicamente rimosso (*James, 2002; Shackel, 2005*), mantenendo una efficacia di filtraggio compresa tra 15 e 25 anni (*Anon, 2002*). Sono soluzioni progettuali innovative, sostenibili dal punto di vista ambientale, volte alla riduzione quantitativa degli apporti di acque

meteoriche alla rete fognaria, nonché al loro trattamento prima dell’immissione, fornendo sia una efficace difesa idraulica del centro abitato sia il controllo qualitativo degli scarichi nei corpi idrici. Il loro uso è molto più efficace quando non è limitato alle nuove realizzazioni, ma adoperato anche in contesti urbani esistenti, nel caso di recuperi, manutenzioni o ampliamenti o sostituzione di rivestimenti di aree impermeabili (es. asfalto).

La “pavimentazione permeabile” (PP-LIU) del parco di idraulica urbana è stata realizzata su una porzione di parcheggio, con una capacità complessiva di 90 posteggi auto e un’estensione di circa 2700 m<sup>2</sup> (*Fig. 6*).

La porzione dedicata all’installazione sperimentale PP-LIU si estende su una superficie complessiva di 382 m<sup>2</sup>, divisa in due parti: la parte destinata a pavimentazione permeabile si sviluppa per una superficie di 154 m<sup>2</sup>, la rimanente, circa 228 m<sup>2</sup>, è stata lasciata impermeabile, con la superficie pavimentata in bitume, per il confronto dei deflussi superficiali (runoff) tra i due tipi di pavimentazioni (*Fig. 7*).

I componenti la stratigrafia della PP-LIU sono evidenti nello spaccato assonomico di *Figura 8*: partendo dalla base si distingue lo strato isolante composto da una membrana in geotessile in PVC e al di sopra di essa il primo strato di accumulo (sub-base) dello spessore di 45 cm, costituito da ghiaia per drenaggio avente una composizione granulometrica contenuta nel fuso ASTM N 2, posato su uno strato di allettamento in sabbia dello spessore di 5 cm. Il secondo strato di accumulo (base) è costituito sempre da ghiaia, avente una



**Figura 6 - Parcheggio con pavimentazione permeabile.**



**Figura 7 - Area parcheggio con planimetria Pavimentazione Permeabile (blu) e Fascia di bioritenzione (verde).**

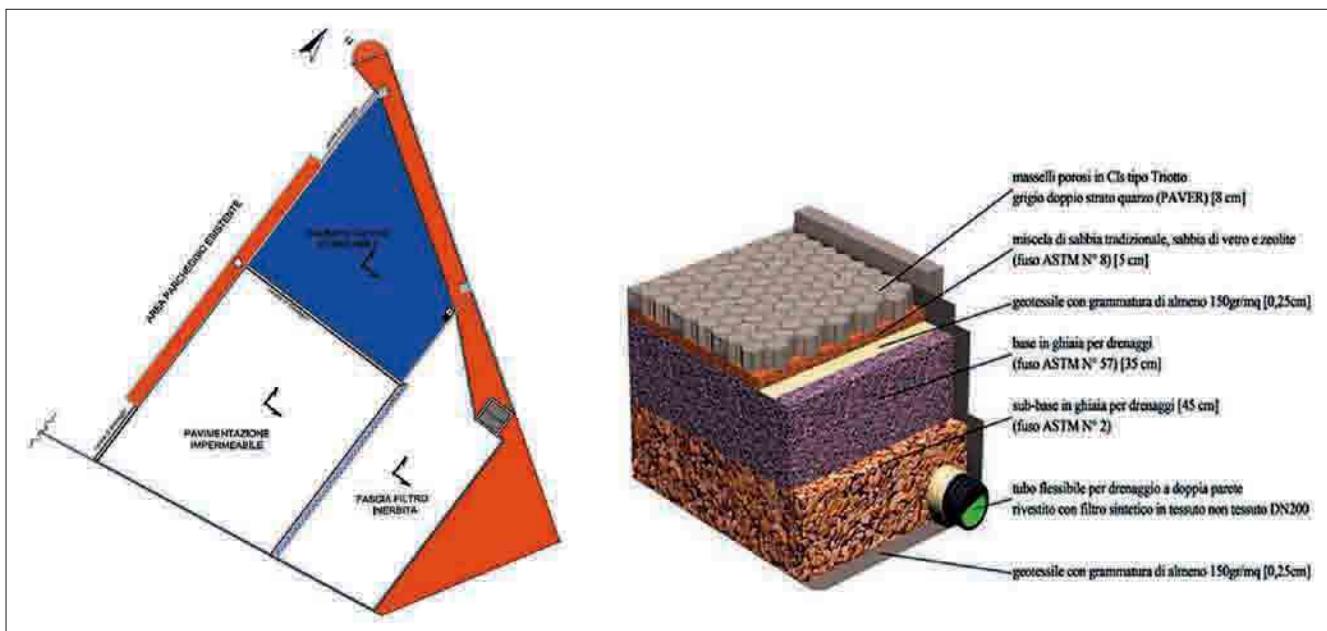


Figura 8 - Planimetria e spaccato assonometrico della pavimentazione permeabile.

composizione granulometrica contenuta nel fuso ASTM N° 57. Lo strato carrabile della pavimentazione, con masselli auto-bloccanti tipo “triotto” con doppio strato di finitura al quarzo, è stato posato su di uno strato di allettamento dello spessore di 5 cm. Lo strato di allettamento svolge, anche, l’azione filtrante delle acque di pioggia ed è stato realizzato miscelando sabbia tradizionale e sabbia di vetro con granulometria contenuta nel fuso ASTM N° 8 e zolite, in proporzioni fissate dopo test in laboratorio. Lo strato di filtrazione è stato separato dallo strato di base mediante un geotessile in tessuto non tessuto con funzione di separatore, limitando il volume massimo di accumulo delle acque di filtrazione.

Il sistema di monitoraggio del PP-LIU provvede alla misura di temperatura e umidità dell’aria, velocità e direzione del vento, precipitazione ed in particolare della portata di deflusso superficiale sulla pavimentazione impermeabile e su quella permeabile, della portata di deflusso sub-superficiale della pavimentazione permeabile. Durante eventi intensi, campionatori automatici provvedono alla raccolta di campioni per la caratterizzazione qualitativa delle acque di deflusso superficiale e sub-superficiale. La pavimentazione permeabile ha mostrato una capacità di ritenzione di circa il 50% (Carbone et al., 2014b).

### 1.1.3 Fascia di bioritenzione

Le fasce di bioritenzione sono soluzioni tecnologiche sostenibili, con pendenza assegnata tale da agevolare l’infiltrazione di una parte del volume di scorrimento superficiale nel terreno. Sono in grado di rimuovere un’ampia varietà di inquinanti (TSS, idrocarburi, metalli pesanti) dalle acque di pioggia, attraverso meccanismi di assorbimento, precipitazione, filtrazione, degradazione chimica e batterica (Brown et al., 1995; Violante, 2002). Le dimensioni delle fasce di bioritenzione dipendono dalle caratteristiche dei suoli usati (quindi dalla loro capacità d’infiltrazione) (USDA-SCS, 1988), dalle pendenze con cui vengono realizzate (Arnold, 1993), dalle dimensioni dell’area impermeabile che occorre drenare (Field, 2004; Barr, 2001).

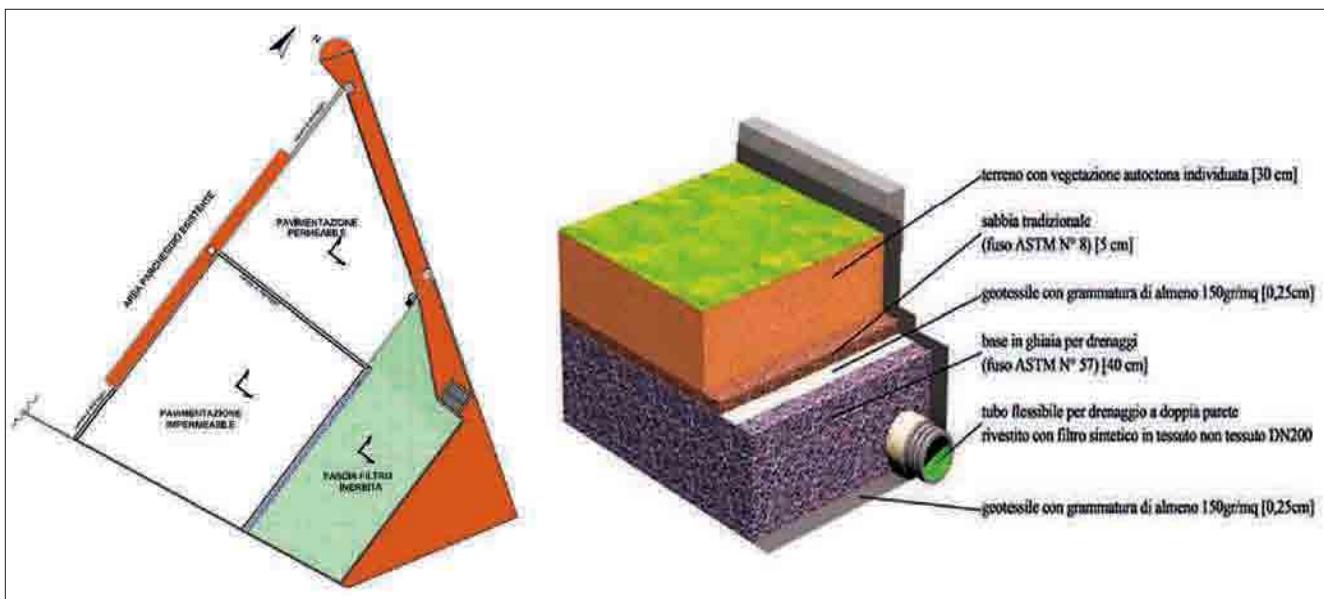
La fascia di bioritenzione installata (FB-LIU) è posta a valle della parte impermeabile dell’installazione PP-LIU. Il deflusso superficiale che si forma sulla parte impermeabile del parcheggio, viene raccolto, misurato e distribuito nella fascia di bioritenzione attraverso una adeguata trincea in ghiaia.

In linea con il D.lgs 152/06, anche la FB-LIU è stata isolata dal terreno sottostante mediante una membrana impermeabile. Al di sopra dello strato impermeabile, è stato realizzato un allettamento di 5 cm di sabbia tradizionale per lo strato di accumulo (base) delle acque filtrate, dello spessore di 40 cm, in ghiaia con granulometria contenuta nel fuso ASTM N° 57. Sopra lo strato di base è stato posato lo strato di filtrazione con sabbia tradizionale, separato da quello di base mediante un geotessile in tessuto non tessuto. Infine, è stato posato lo strato di terreno vegetale, per uno spessore di 30 cm, sul quale è operata la semina delle specie arboree (Fig. 9).

Le fasce di bioritenzione contribuiscono in modo efficace alla riduzione degli inquinanti operando principalmente in termini di fitorimedio; in particolare le piante svolgono un ruolo fondamentale nel metabolizzare gli inquinanti lasciati nel terreno dalle acque infiltrate garantendo un recupero naturale dei livelli d’inquinamento del substrato di terreno, che di conseguenza favorisce i successivi processi di trattenuta degli inquinanti trasportati dalle acque d’infiltrazione.

Per rendere evidente il ruolo delle specie vegetali nella gestione di una fascia di bioritenzione è stata effettuata la selezione delle essenze vegetali più appropriate al contesto climatico e alle caratteristiche degli inquinanti trasportati dalle acque di dilavamento dalla porzione impermeabile del parcheggio (fosforo, idrocarburi, ferro e altri metalli pesanti), con la ricerca su una ampia gamma di specie vegetali mediterranee. Nel selezionare le essenze vegetali particolare attenzione è stata dedicata alla facilità di reperimento e di propagazione, alla limitata richiesta di manutenzione, alla profondità del terreno vegetale della fascia di bioritenzione.

Le specie selezionate sono l’*Alissum maritimum* e la *Mirabilis jalapa* (Fig. 10). La prima presenta un portamento strisciante



**Figura 9 - Planimetria e spaccato assonometrico della fascia di bioritenzione.**

te; gli steli, infatti, crescono parallelamente al terreno per poi incurvarsi verso l'alto. Questa specie vegetale è adatta per terreni ben drenati ed è caratterizzata da un fabbisogno idrico limitato. La seconda è una pianta dal fusto eretto e foglie ovali, con apice acuminato e cuoriforme alla base. La moltiplicazione avviene per semina tra febbraio e marzo (*Baroni, 1997*); la messa a dimora all'esterno avviene nel mese di maggio. Questa pianta è in grado di trattenere lo zinco e il piombo (metalli pesanti) presenti nel terreno (*Banfi, Consolino, 2007*).



**Figura 10 - Alium maritimum (alto)- Mirabilis jalapa (basso) - fascia di bioritenzione (destra).**

La portata di deflusso superficiale in ingresso alla FB-LIU è monitorata con un dispositivo a stramazzo. Collettori microforati posti sul fondo della stratigrafia provvedono alla raccolta delle acque trattate dalla FB-LIU (filtrate). Le acque raccolte vengono, quindi, convogliate in un pozzetto di recapito finale, strumentato per la misura della portata sub-superficiale. Per la stima dell'efficienza di rimozione degli inquinanti operata dalla FB-LIU, un punto di prelievo è posto nel pozzetto di recapito finale e un altro è posto a monte della fascia di bioritenzione nei pressi della canaletta di misura della portata di scorrimento superficiale della pavimentazione impermeabile.

L'eventuale acqua di ruscellamento superficiale è convogliata direttamente nel pozzetto finale attraverso uno stramazzo triangolare.

Il confronto tra l'immissione e l'uscita consente di monitorare la qualità delle acque filtrate e l'efficienza idraulica del sistema.

#### 1.1.4 Impianto di trattamento delle acque meteoriche

Presso il parco di idraulica urbana è presente, inoltre, un impianto pilota di trattamento costituito da una vasca di sedimentazione e da un'unità di filtrazione.

Alla vasca di sedimentazione è affidato il trattamento delle particelle più grossolane trasportate dalle acque meteoriche convogliate dalla rete. A valle del trattamento per sedimentazione, operato con la vasca, è installata un'unità di filtrazione alla

quale è affidato il compito di trattenere le particelle di dimensione inferiore (diametro < 20 µm), sfuggite alla sedimentazione primaria (Siriwardene et al., 2007b; Le Coustumer et al., 2009; Piro et al., 2010a).

Le vasche di sedimentazione rientrano tra i sistemi di trattamento tradizionali, utilizzati in ambiente urbano allo scopo di ridurre le sostanze inquinanti presenti nelle acque meteoriche, quali materiale particolato (MP), nutrienti (fosforo e azoto) e metalli pesanti (Piro et al., 2009; Heaney and Huber, 1984; Sansalone et al., 2008).

I sistemi di filtrazione, per la rimozione del materiale particolato, della sostanza organica, degli idrocarburi e dei metalli pesanti, sono sistemi di trattamento basati sul processo di separazione solido-liquido. Tra le tipologie di filtrazione si possono distinguere la filtrazione in volume, superficiale e su membrana (Hatt et al., 2008; Urbonas, 1999); la filtrazione in volume agisce sulla rimozione del materiale particolato presente nel liquido per mezzo del passaggio dello stesso nel letto filtrante costituito da materiale granulare o compressibile; la filtrazione superficiale e su membrana agisce attraverso staccatura eseguita da una superficie filtrante (tela filtrante) o da una sottile membrana montata su di un supporto (Hsieh et al., 2005).

L'impianto pilota in esame (IT-LIU) (Fig. 11) è costituito da un pozzetto ripartitore delle acque provenienti dalle tubazioni fognarie, dal quale solo una parte (acque di prima pioggia) prosegue verso l'unità di trattamento; la portata eccedente è con vogliata allo scarico.



Figura 11 - Impianto di trattamento pilota.

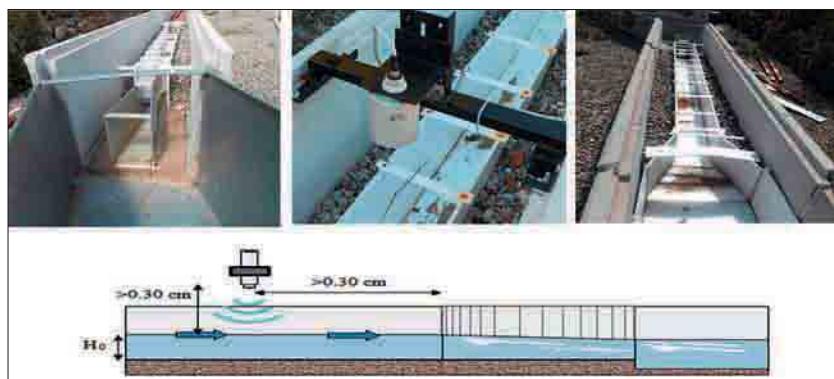


Figura 12 - Canale Venturi per la misura delle portate entranti nell'impianto pilota.

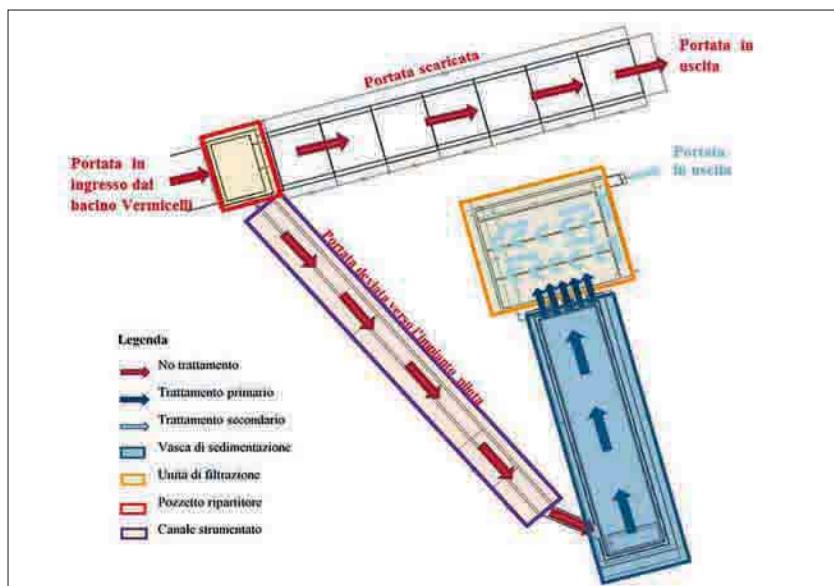


Figura 13 - Planimetria e schema dell'impianto di trattamento pilota.

Tra il pozzetto ripartitore e la vasca di sedimentazione è stato inserito un canale a sezione rettangolare necessario per la misura delle portate entranti nell'impianto; a tale scopo il canale è dotato di un sensore di livello a ultrasuoni e di un canale Venturi (Fig. 12).

All'imbocco del canale sono installate una griglia per bloccare il materiale grossolano trasportato in rete e una paratoia con la quale, oltre a consentire interventi di manutenzione nell'impianto, è possibile regolare la portata in ingresso al sistema di trattamento. Subito a valle del canale è posta l'unità di sedimentazione e, quindi, l'unità di filtrazione (Fig. 13). Il sistema è dimensionato per una portata di progetto massima pari a 15 l/s.

Nella vasca di sedimentazione viene effettuata la sedimentazione delle particelle più grossolane, materiale particolato (MP) prevalentemente inorganico ed etero-disperso con particelle di diametro tra i 0.01 a 10000 µm (Kim and Sansalone, 2008), la restante parte più fina è destinata successivamente ad un trattamento secondario nell'unità di filtrazione a valle. Il meccanismo principale responsabile della rimozione delle particelle solide all'interno della vasca di sedimentazione è il processo di sedimentazione del Tipo I, in cui le particelle solide seguono traiettorie indipendenti e non interagiscono. La vasca di sedimentazione ha una pianta rettangolare di dimensioni 2.5 x 2.5 x 10 m<sup>3</sup>, con una conformazione interna a superfici inclinate in corrispondenza degli angoli e lungo tutto il perimetro di base, in modo da evitare l'accumulo concentrato di solidi sedimentati. È dotata di un sistema ottimizzato di vuotamento, per la caratterizzazione dei processi di trattamento delle sostanze veicolate dalle acque meteoriche di dilavamento e di un sistema di pulizia. Il sistema di pulizia sfrutta la conformazione del fondo leggermente in contropendenza (1%) verso una tramoglia, in cui il fango sedimentato si accumula, ed è estratto mediante un sistema di pompe, con l'ausilio di un idro-elettore fornita dalla Xylem Inc.



Figura 14 - Unità di filtrazione.

L'unità di filtrazione (*Fig. 14*) è a valle della vasca di sedimentazione con il fine di rimuovere le sostanze inquinanti dalle acque meteoriche di dilavamento, quali materiale particolato, sostanza organica e metalli pesanti.

I volumi d'acqua in uscita dalla vasca di sedimentazione sono canalizzati attraverso sei tubazioni e una canaletta verso l'unità di filtrazione, allo scopo di ottenerne una distribuzione uniforme per tutta la lunghezza del sistema filtrante. La vasca è suddivisa in tre compartimenti rettangolari di dimensione 110 cm x 410 cm, nei quali sono alloggiati i pacchetti filtranti. Un canale laterale, adiacente l'ultimo settore, sprovvisto di filtro, è stato progettato e realizzato con la funzione di by-pass di sicurezza per eventi straordinari e per eventuali fenomeni d'intasamento del pacchetto filtrante. Il flusso, distribuito dall'alto sulla superficie, attraversa il filtro e confluisce sui collettori di scarico posti alla base del setto filtrante, e da qui al recapito finale attraverso un canale di scarico. Lo strato di filtrazione è suddiviso in due parti, una prima parte, costituita da uno strato di poliuretano, di spessore di 2.5 cm, ha una funzione principale di bloccare il materiale grossolano leggero sfuggito al precedente trattamento di sedimentazione, una seconda parte, costituita da materiale di scarto di lavorazioni agricole, ha, invece, la funzione principale di filtrazione delle particelle più piccole, non trattenute dalla sedimentazione (*Fig. 15*).

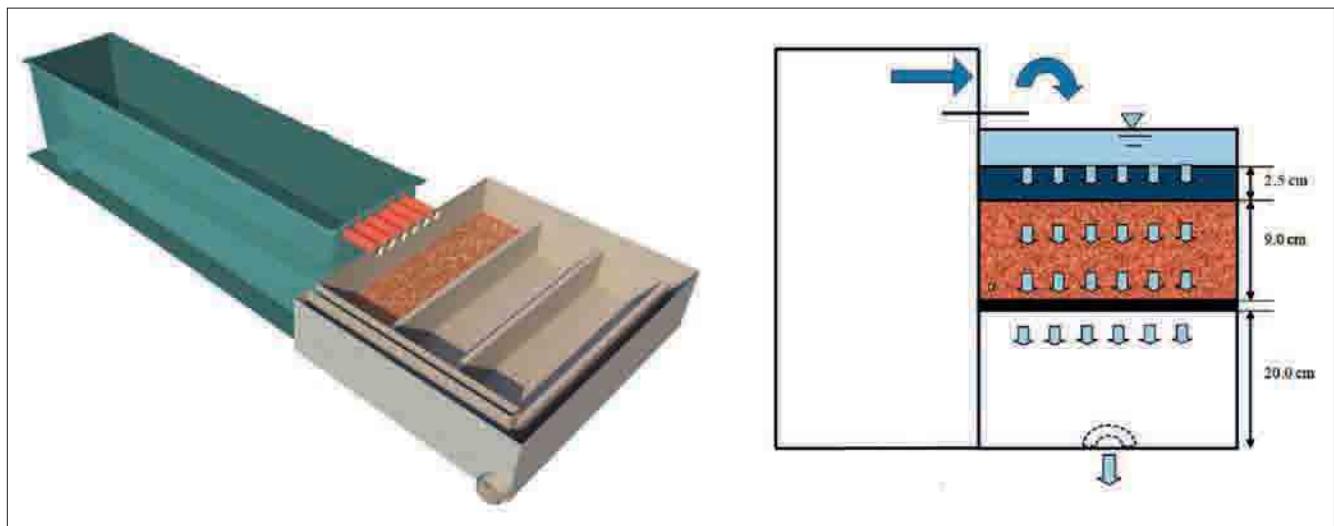


Figura 15 - Vasca di sedimentazione e unità di filtrazione – stratigrafia di un setto dell'unità di filtrazione.

L'unità si basa sulla filtrazione in volume. La scelta della dimensione dei grani componenti il filtro, in materiale di scarto di lavorazioni agricole, rappresenta la caratteristica che maggiormente influenza il funzionamento della filtrazione (efficienza idraulica) (Carbone et al., 2014), ma svolge, durante il funzionamento del filtro, un ruolo importante anche sui meccanismi responsabili della rimozione delle particelle solide all'interno del mezzo granulare. Questa scelta rende l'unità di filtrazione unica nel suo genere.

## 2. STAZIONI METEOROLOGICHE

Nell'ambito delle ricerche condotte dal LIU dell'Università della Calabria, particolare interesse è rivolto da anni all'acquisizione di dati climatici utili alla modellazione idrologica dei fenomeni che intervengono nella formazione dei deflussi superficiali e dei fenomeni di allagamento ad essi correlati. Nel tempo è stata realizzata una rete di monitoraggio di dati climatici estesa su l'ampia area urbana Cosenza - Rende.

Ogni stazione provvede all'acquisizione in tempo reale del volume e dell'altezza di pioggia, della temperatura e umidità dell'aria, della pressione atmosferica, della direzione e intensità del vento, della radiazione solare. In condizioni operative normali i dati vengono trasmessi a intervalli di cinque minuti tramite GPRS, sfruttando la rete GSM, ma qualora non possa av-

venire la trasmissione al server centrale, predisposto alla gestione ed acquisizione della rete meteorologica, ogni stazione è dotata di buffer, per memorizzare i dati.

Nel complesso sono state installate 10 stazioni (*Figg. 16 e 17*):

1. UNICAL, c/o cubo 46C, Arcavacata di Rende (CS)
2. Cosenza Dorso, c/o Via G. Dorso n. 23, Cosenza
3. Luzzi; c/o Serbatoio Sorical Luzzi (CS)
4. Cosenza De Rada, c/o Serbatoio Sorical Via De Rada, Cosenza
5. Mongrassano, c/o Serbatoio Sorical di Mongrassano Scalo (CS)
6. Montalto, c/o serbatoio Sorical "Cariglio Alto", Montalto Uffugo (CS)
7. Mendicino, c/o Azienda Agricola "Martirano" in Cozzo Martirano di Mendicino (CS)
8. Cosenza Donnici, c/o Partitore Sorical in Cozzo S. Lorenzo di Donnici (CS)
9. Castrolibero, c/o Serbatoio Sorical "Colamato alto" in Castrolibero (CS)
10. Cosenza Muoio, c/o Serbatoio Sorical di Cozzo Muoio di Cosenza.



Figura 16 - Front panel monitoraggio climatico - portale LIU.

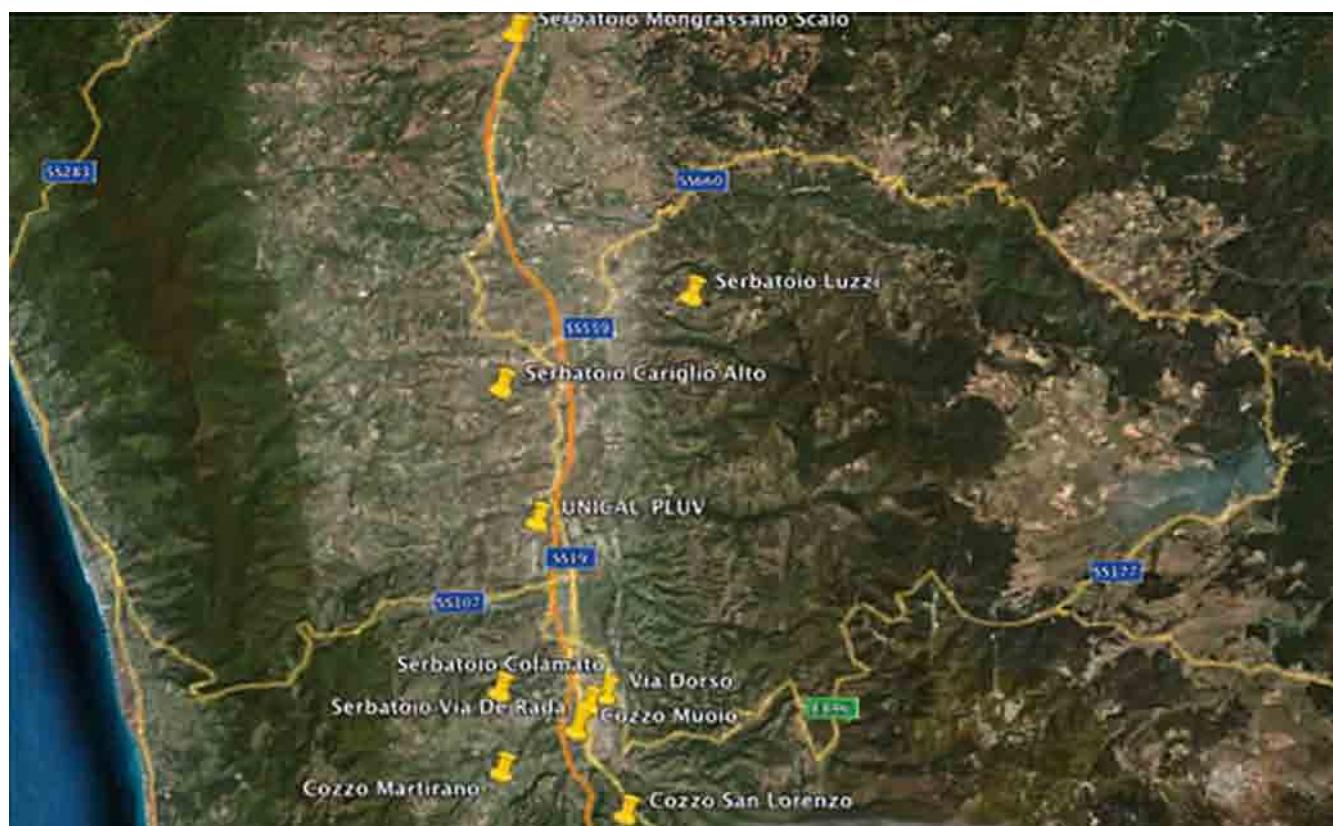


Figura 17 - Rete di pluviometri del Parco di idraulica urbana.

<i>Ubicazione geografica</i>	<i>Descrizione</i>
<b>Località:</b> Via P. Bucci Cubo 46 C	
<b>Comune:</b> Rende (Cs)	
<b>Altitudine:</b> 223m s.l.m.	
<b>Latitudine:</b> 39°22'00" N	
<b>Longitudine:</b> 16°13'30" E	
<b>Modello:</b> Netsens	
<b>Serie:</b>	
<b>Posizione:</b> Tetto	
<b>Altezza dal suolo:</b> 12 m	
<b>Tipologia:</b> Urbana	
<b>Strumentazione:</b>	
Pluviometro	
Termoigrometro	
Barometro	
Anemometro	
Piranometro	
Unità di acquisizione e trasmissione dati GPRS	
<b>La stazione è installata sul tetto del Cubo 46 C, Dipartimento di Meccanica dell'Università della Calabria.</b>	




Figura 18 - Rete di pluviometri del Parco di idraulica urbana Scheda monografica stazione N.1.

Per ogni stazione è stata definita una scheda monografica che ne descrive le caratteristiche dando indicazioni più dettagliate, anche, sulla loro posizione, e in Figura 18 se ne porta un esempio.

Tutte le grandezze monitorate nelle installazioni sperimentali sono acquisite e gestite in remoto attraverso un complesso *sistema di acquisizione dati* (Data Acquisition-DAQ), progettato per l'acquisizione di tutte le grandezze da monitorare, in maniera totalmente automatizzata, usando diverse combinazioni di Hardware (PC, moduli DAQ etc.) e Software, che garantiscono massima flessibilità, replicabilità e scalabilità.

Il pacchetto software utilizzato per l'acquisizione, l'analisi e la presentazione dei dati è il "LabVIEW", della National Instruments Corporation.

A supporto dell'infrastruttura informatica è stato progettato e realizzato ad hoc un impianto elettrico, che alimenta Sensori, Dispositivi di rete (cDAQ, router, etc), PC, ovvero tutti i dispositivi hardware, che consentono di monitorare in continuo i siti sperimentali. L'acquisizione avviene mediante moduli National Instruments: NI cDAQ 9188 per la trasmissione dati su rete Ethernet, NI 9205 per l'acquisizione di tensione/corrente e NI 9217 per le misure di temperature da termoresistenze.

## RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è cofinanziato dal Programma Operativo Nazionale Italiano - Ricerca e Competitività per le regioni la convergenza 2007/2013 - Asse I "Sostegno ai mutamenti strutturali" obiettivo operativo 4.1.1.1. "Aree scientifico-tecnologiche generatrici di processi di trasformazione del sistema produttivo e la creazione di nuovi settori" Azione II: "Interventi a sostegno della ricerca industriale". Inoltre, si ringrazia l'EdiBios per la cura posta nell'elaborazione grafica.

## BIBLIOGRAFIA

- Algeri M. C., Mazza M., Stepancich D.**, Verde pensile in ambiente mediterraneo: la scelta, l'impianto e il monitoraggio della vegetazione, *Corso di Aggiornamento - Tecniche per la difesa dall'inquinamento-Dipartimento Ing.civile, Centro Studi Acquedotti e Fognature*, Guardia Piemontese, a cura di Frega G. C., Ed. BIOS, Cosenza, 35, 2014, pp. 179-188.
- Anon**, *Research into "Effective Life" of Permeable Pavement Source Control Installations* Urban Water Research Centre, Division of IT, Engineering and the Environment, University of South Australia, Final Rpt Project 07 67680, 2002.
- Arnold J. A., Line D. E., Coffey S. W., Spooner J.**, *Stormwater Management Guidance Manual*, North Carolina Cooperative Extension Service and North Carolina Division of Environmental Management, Raleigh, N.C, 1993.
- Banfi E., Consolino F.**, *Flora mediterranea*, DeAgostini, 2007.
- Barr Engineering Company**, *Minnesota Urban Small Sites BMP Manual: Stormwater Best Management Practices for Cold Climates*, Metropolitan Council Environmental Services, St. Paul, MN, 2001.
- Baroni E.**, *Guida botanica d'Italia*, Ed. Cappelli, 1997.
- Brown S. L., Chaney R. L., Angle J. S., Baker A. J. M.**, Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution, *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 59, 1995, pp. 125-133.
- Carbone M., Garofalo G., Nigro G., Piro P.**, Hydraulic Performance of Olive Stone Filtration Systems, *Advanced Material Research*, 941-944, 970-974, 2014a.
- Carbone M., Brunetti G., Piro P.**, *Hydrological performance of a permeable pavement in mediterranean climate*, Proc. of International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2014, Albena, Bulgaria, 2014b, pp. 381-388, ISBN 978-619-7105-13-1; ISSN 1314-2704; DOI: 10.5593/SGEM2014/B31/S12.050.
- Carbone M., Nigro, G., Garofalo G., Piro P.**, The hydrological performance of a green roof: an experimental study in the University of Calabria, Italy, *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, v. 191, www.witpress.com, ISSN 1743-3541, WIT Press, 2014c, doi:10.2495/SC141412.
- Celli G., Maini S., Corazza L., Campanini L.**, Siepi e spazi naturali: colonizzazione, dinamica delle popolazioni di fitofagi e insetti utili e interazioni con le aree coltivate, *C.E.R.A.S. Annali 1995. Supplemento a Innovazione e sperimentazione*, Iniziative editoriale s.a.s., Castel S. Pietro Terme, (BO), 5 (6), 1996, pp. 327-337.
- Chocat B., Ashley R., Marsalek J., Matos M. R., Rauch W., Schilling W., Urbonas B.**, *Toward the Sustainable Management of Urban Storm-Water*, Indoor Built Environ, 2007.
- Decreto legislativo 152/2006** Parte III Sezione III.
- Even S., Mouchel J. M., Servais P., Flipo N., Poulin M., Blanc S., Chabanel M., Paffoni C.**, Modelling the impacts of Combined Sewer Overflows on the river Seine water quality, *Science of the Total Environment*, 375(1-3), 2007, pp. 140-151.
- EPA**, *Stormwater Best Management Practice Design Guide: Volume 1 General Considerations*, United States Environmental Protection Agency, 2014.
- Field R., Tafuri T. N., Muthukrishnan S., Acquisto R. A., Selvakumar**, *The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds*. DEStech Publications, Inc., Lancaster, PA, 2004.
- Fu G., Butler D., Khu S. T.**, The impact of new developments on river water quality from an integrated system modelling perspective, *Sc. Total Environ.*, 407, 2009, pp. 1257-67.
- Hatt B. E., Fletcher T. D., Deletic A.**, Hydraulic and pollutant removal performance of fine media stormwater filtration systems, *Environmental science & technology*, 42(7), 2008, pp. 2535-2541.
- Heaney J., Huber W.**, Nationwide assessment of urban runoff on receiving water quality, *Water Resources Bulletin* 20 (1), 1984, pp. 35-42.
- Hsieh C. H., Davis A. P.**, Evaluation and optimization of bioretention media for treatment of urban storm water runoff, *Journal of Environmental Engineering*, 131(11), 2005, pp. 1521-1531.
- ISPRA**, *Verde pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico. Manuali e Linee Guida*, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2012.
- James W.**, Green Roads: Research into Permeable Pavers, *Stormwater*, v. 3, 2, 2002.
- Kim J., Sansalone J.**, Event-Based Size Distribution of Particulate Matter Transported during Urban Rainfall-Runoff Events, *Water Research*, 42, 2008, pp. 2756-2768.
- Le Coustumer S., Fletcher T. D., Deletic A., Barraud S., Lewis J. F.**, Hydraulic performance of biofilter systems for stormwater management: Influences of design and operation, *J. Hydrol.* 376, 2009, pp. 16-23.
- Mentens J., Raes D., Hermy M.**, Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?, *Landscape Urban Plan.*, 77, 2006, pp. 217-226.
- Michael E. Dietz**, Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions, *Water Air Soil Pollut*, 2007, 186:351-363.
- Nyuk Hien, W. Puay, Yok T., Yu C.**, Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate, *Build. Environ.*, 42, 2007, pp. 25-54.
- Piro P., Carbone M., Garofalo G.**, *Distributed vs . Concentrated Storage Options for Controlling CSO Volumes and Pollutant loads* 5, 2010a, pp. 1-15.
- Piro P., Carbone, M. Garofalo, G. Sansalone J.**, Size Distribution of Wet Weather and Dry Weather Particulate Matter Entrained in Combined Flows from an Urbanizing Sewershed, *Water. Air. Soil Pollut.*, 206, 2009, pp. 83-94.
- Piro P., Carbone M., Garofalo G.**, *Indagine sperimentale per lo studio della distribuzione dimensionale dei sedimenti nelle acque di drenaggio urbano*, L' ACQUA, 3, 2009, pp. 37-46.
- Piro P., Carbone, M., Garofalo G., Sansalone J.**, Management of combined sewer overflows based on observations from the urbanized Liguori catchment of Cosenza, Italy, *Water Sc. Technol.*, 61, 2001, pp. 135-43.

- Piro P., Carbone M., Garofalo G., Sansalone J.**, Size Distribution of Wet Weather and Dry Weather Particulate Matter Entrained in Combined Flows from an Urbanizing Sewershed, *Water, Air, and Soil Pollution*, 206(1-4), 2010a, pp. 83-94.
- Piro P., Carbone M., Nigro G., Garofalo G., Ferrante A.**, Installazione di un modello sperimentale a verde pensile per la valutazione dell'influenza del sistema sulla gestione delle acque meteoriche in area mediterranea, 34 Corso di aggiornamento in "Tecniche per la difesa dall'inquinamento", Ed BIOS, 2013.
- Sansalone J., Kim Y. J.**, Transport of Particulate Matter Fractions in Urban Source Area Pavement Surface Runoff, *Journal of Environmental Quality*, 37, 2008, pp. 1883-1893.
- Schmidt M.**, *The interaction between water and energy of greened roofs*, World Green Roof Congress, Basilea 2005.
- Shackel B.**, *Permeable Eco-paving - An Environmental Option for Stormwater Management*, 1996.
- Shackel B.**, Worldwide Progress in Permeable Paving, *Pave-It*, n.5, Interpave, UK, 2005.
- Siriwardene N. R., Deletic A., Fletcher T. D.**, Modeling of sediment transport through stormwater gravel filters over their lifespan, *Environmental science & technology*, 41(23), 2007b, pp. 8099-8103.
- UNI 11235**, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*, 2007.
- Urbonas B. R.**, Design of a sand filter for water quality enhancement, *Water Environmental Resources*, 71 (1), 1999, pp. 102-113.
- USDA-SCS**, *National Handbook of Conservation Practices*. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division, Washington, DC, 1988.
- USEPA**, Low Impact Development (LID), *U.S.E.P. Agency*, Ed. Washingt. DC. 2000; pp. 1-41.
- USEPA**, Results of the nationwide urban runoff program: Volume I - Final report, *U.S.E.P. Agency*, Editor. Washington, DC. 1983, pp. 1-198.
- USEPA**, *The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds*. United States Environmental Protection Agency - Office of Research and Development Washington, DC 20460, EPA/600/R-04/184.
- WCED**, *Our Common Future*, 1987.
- Violante P.**, *Chimica del suolo e della nutrizione delle piante*, Edagricole, Bologna, 2002.