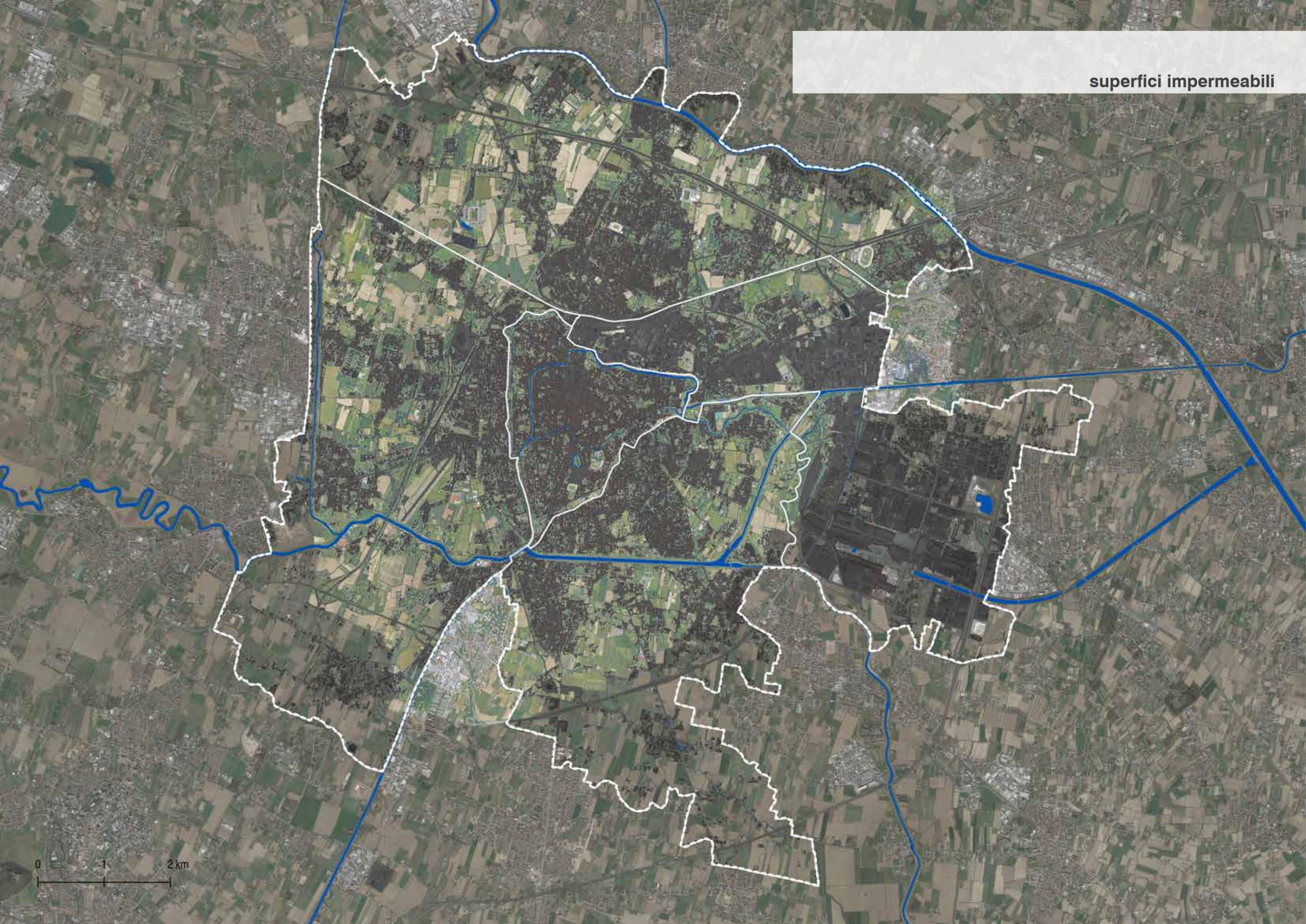


## 02 | LA CITTÀ SPUGNA

- 53\_ **Interventi *Nature Based Solution* (NBS) per la gestione sostenibile dei flussi di pioggia e mitigazione del rischio di allagamenti.**
  - Il drenaggio urbano sostenibile
  - Gli interventi NBS di drenaggio sostenibile
- 58\_ **L'effetto degli interventi NBS sui deflussi.**
- 59\_ **La situazione attuale e i possibili scenari futuri.**
- 65\_ **Conclusioni.**
  
- 67\_ **Allegato 02.01 | Grafici dell'andamento dei deflussi.**

superfici impermeabili



0 1 2 km

## INTERVENTI NATURE BASED SOLUTION (NBS) PER LA GESIONE SOSTENIBILE DEI FLUSSI DI PIOGGIA E MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI ALLAGAMENTI

L'alto tasso di urbanizzazione ha determinato un forte aumento della copertura impermeabile nel nostro territorio che ha raggiunto percentuali molto elevate della superficie urbana. Lo sviluppo urbano ha un impatto significativo sulle dinamiche idrologiche. Le superfici impermeabili riducono l'infiltrazione delle precipitazioni nel suolo aumentando il deflusso sia in termini di picco di portata che di volume (Jennings e Jarnagin, 2002; Dietz e Clausen, 2008). L'acqua piovana viene convogliata sempre più velocemente nelle reti di drenaggio, creando gravi problemi in caso di piogge abbondanti, come alluvioni locali, inondazioni fluviali, etc., ma anche riducendo la disponibilità dell'acqua per usi diversi e compromettendone la qualità (Deletic e Maksimovic, 1998). È noto, infatti, che la progressiva impermeabilizzazione del suolo aumenta il deflusso superficiale e porta i tradizionali sistemi di drenaggio delle aree urbanizzate a un livello critico (Lee, 2016). Negli ambienti più naturali, solo una piccola parte delle

acque meteoriche defluisce per scorrimento superficiale. La maggior parte è persa per evaporazione e traspirata dalle piante o è assorbita dallo strato superficiale di terreno, dove andrà ad alimentare il sistema di falde sotterranee tramite una serie di fenomeni, in cui il più importante è l'infiltrazione. Il processo infiltrativo è parte integrante del ciclo idrologico naturale e nelle superfici con copertura vegetale il grado di deflusso superficiale è mediamente compreso fra lo 0 e il 20% dei volumi totali dell'evento piovoso. Nel caso di superfici impermeabilizzate (tetti, strade e altre pavimentazioni in asfalto o cemento), la quantità di deflusso meteorico supera il 90% dei volumi di pioggia caduti. Nelle situazioni in cui è presente un'eccessiva cementificazione e un'alta impermeabilità dovuta all'intensiva pavimentazione, quindi, il bilancio idrologico è soggetto a un decremento nelle quote d'acqua interessate da processi di infiltrazione, evaporazione e traspirazione, e di conseguenza questo comporta una riduzione nella

capacità dell'immagazzinamento naturale e viceversa un aumento delle quote d'acqua perse per deflusso superficiale (Figura 02.01.).

I volumi di acqua che non riescono a infiltrarsi stravolgono totalmente il ciclo naturale dell'acqua provocando una serie di effetti negativi:

- Il regime idrico dei corsi d'acqua viene alterato: i corsi d'acqua in cui vengono convogliate le acque meteoriche derivanti dalle fognature, subiscono improvvisi aumenti delle portate, mentre durante periodi prolungati di siccità gli stessi possono invece prosciugarsi. Questi fenomeni estremi vanno a incidere sia sulla stabilità idraulica del corso d'acqua che sugli ecosistemi presenti.
- L'alimentazione delle falde acquifere viene significativamente ridotta: l'acqua convogliata nelle reti di drenaggio non riesce a raggiungere la sottostante falda.
- La qualità dei corsi d'acqua è compromessa: i deflussi delle acque piovane sono stati identificati come una delle principali cause di degrado della qualità delle acque. Sono di fatto immesse sostanze inquinanti, quali nitrati, fosfati, residui della combustione dagli autoveicoli, residui dei battistrada, metalli pesanti, materiali radioattivi, etc.; ma anche parassiti, batteri e virus derivati dallo sterco di uccelli e altri animali, prodotti inquinanti che l'uomo usa quotidianamente, come sostanze chimiche per la casa, pesticidi, oli e rifiuti di varia natura. Tutte queste sostanze possono determinare problemi agli ecosistemi e complicazioni igienico-sanitarie dirette. Ciò non pregiudica solamente la capacità di autodepurazione dei corsi d'acqua ma anche la capacità tampone dell'intero sistema interconnesso.
- Le fognature sono sovraccaricate: con le nuove urbanizzazioni non si va quasi mai ad aumentare le dimensioni delle condotte presenti ma semplicemente si uniscono a queste quelle nuove. Se gli eventi meteorici sono particolarmente intensi, il notevole deflusso superficiale viene in massima parte

Comune di Padova  
ATO  
Viabilità  
Sistema idrografico  
Superfici impermeabili

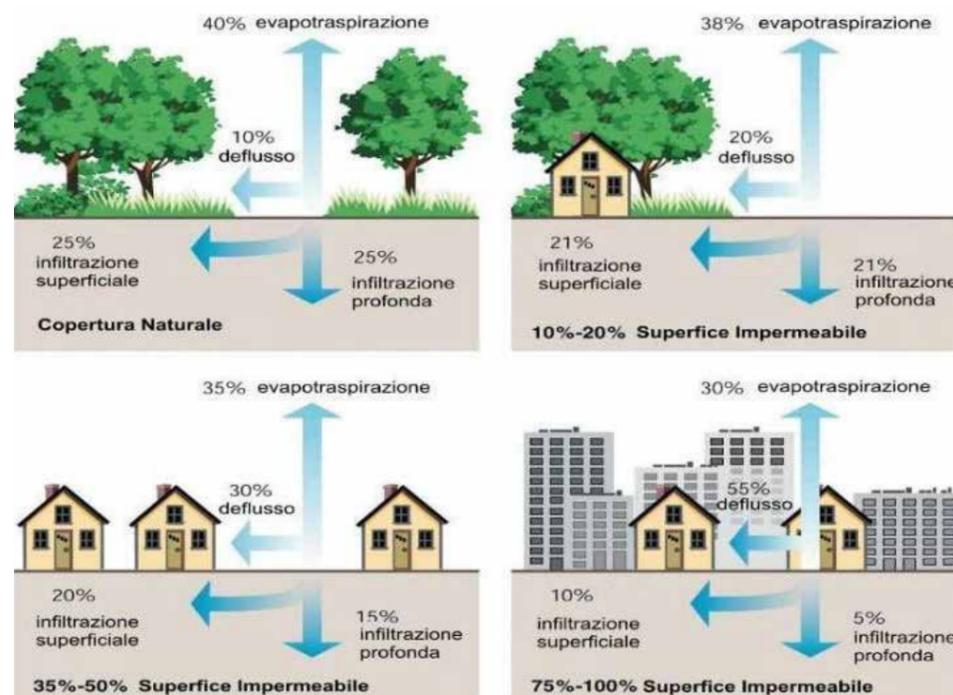
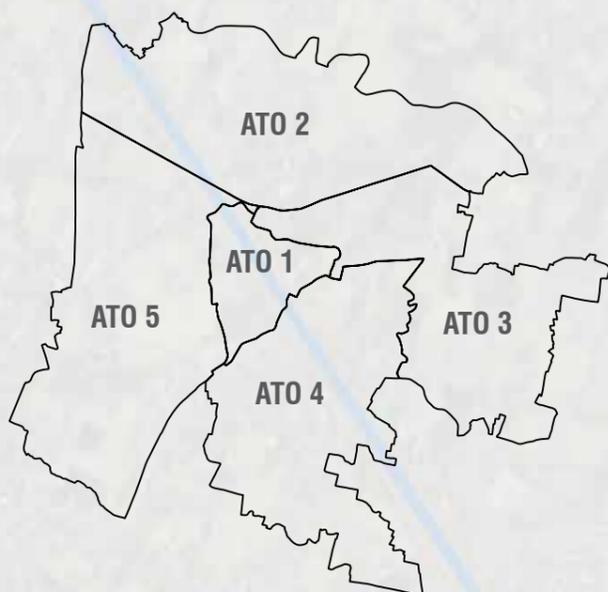


Figura 02.01. Esempio degli effetti dell'impermeabilizzazione sulle componenti del bilancio idrologico. [Fonte: U.S. Environmental Protection Agency, mod.]

convogliato nelle reti fognarie, che possono dimostrarsi inadeguate nel gestire i volumi, con conseguenti allagamenti e inondazioni.

- Il microclima urbano peggiora: il rapido allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici impermeabilizzate rende minima la percentuale d'acqua soggetta a evaporazione. Questo determina una diminuzione dell'umidità dell'aria e quindi un aumento della temperatura nell'ambiente circostante che, unito al ben noto fenomeno dell'isola di calore urbano, rende il microclima sempre più invivibile.
- Aumentano le spese per lo smaltimento delle acque meteoriche: gli enormi volumi d'acqua che possono transitare attraverso il sistema di drenaggio urbano, rendono necessaria la progettazione e realizzazione di reti fognarie con dimensioni rilevanti, a volte

anche impianti di stoccaggio e complessi sistemi di trattamento meccanico o chimico, che richiedono però elevati costi d'investimento e di gestione nel tempo.

Anche in Veneto l'urbanizzazione e l'espansione industriale sono continuate negli anni (Fabian, 2012; Munafò e Congedo, 2017) e l'aumento delle alluvioni in questa regione è in parte attribuito a questi processi di trasformazione del suolo, che hanno portato a una diminuzione della capacità di drenaggio, di stoccaggio dell'acqua e laminazione dei picchi di flusso tipica dei suoli naturali e di quelli agricoli (Cazorzi et al., 2013; Pijl et al., 2018).

Allo stesso tempo, i cambiamenti climatici stanno causando l'intensificazione e la concentrazione degli eventi piovosi, esacerbando il problema (Bronstert et al., 2002). Sofia et al. (2017) hanno ben evidenziato l'aumento dell'intensità degli

eventi di precipitazione a cui si è assistito in Veneto tra il 1910 e il 2010 (Figura 02.02.) e come questo, tra l'altro, sia stato accompagnato da una dilatazione dei periodi siccitosi. Parallelamente, si è verificato un aumento della frequenza delle piogge intense (eventi di breve durata 3, 6, 12 ore) soprattutto nelle zone pianeggianti (Sartori, 2012).

### Il drenaggio urbano sostenibile

La consapevolezza delle problematiche legate alla progressiva cementificazione delle superfici e i cambiamenti climatici in atto hanno portato a rivedere radicalmente gli interventi per lo smaltimento delle acque meteoriche, proponendo soluzioni che creano invasi nelle reti di collettamento (dai bacini artificiali di laminazione ai semplici serbatoi interrati) per trattenere, invasando temporaneamente, i volumi che solo in un secondo tempo vengono immessi, gradualmente, nel corpo idrico recettore finale. Se da un lato questi interventi riducono i rischi di allagamento degli abitati, dall'altro mantengono comunque le alterazioni al ciclo naturale dell'acqua che causano le sopraindicate conseguenze negative all'ambiente (isola di calore, abbassamento delle falde, etc.).

Per superare tali problematiche sono stati proposti nuovi approcci allo sviluppo urbano sostenibili per l'ambiente, in alternativa a quelli tradizionali, in grado di meglio gestire il deflusso (Lloyd, 2001; Prince George's County, 2007; Woods-Ballard et al., 2007) e che affiancano alle reti di drenaggio classiche, sia tubate che in canali aperti, una serie di interventi per un controllo alla fonte (in-situ) decentralizzato, su piccola scala e altamente localizzato. Questo nuovo modo di progettare si basa sull'introduzione di elementi naturali o artificiali in prossimità dei siti di produzione del deflusso superficiale (strade, marciapiedi e tutte le aree a bassa permeabilità) allo scopo di ridurre la velocità, favorire l'infiltrazione nel terreno, trattenere o invasare una certa quantità di acqua e filtrarla dagli agenti inquinanti. In questo modo, oltre a stabilizzare le portate dei corsi d'acqua riceventi (canali, fiumi, laghi, ecc.), si contribuisce a migliorare la qualità delle acque di ricezione. Inoltre, l'acqua è lasciata infiltrare nel terreno,

con conseguente beneficio per il livello delle falde. L'acqua trattenuta nel suolo può essere convenientemente utilizzata per il mantenimento di una copertura vegetale (da un semplice prato ad arbusti e alberi), con ripercussioni positive di valenza ambientale (tra cui il miglioramento del microclima urbano) ed estetica-ornamentale.

Ai vari nomi e acronimi ancora in uso come LID (Low Impact Development), WSUD (Water Sensitive Urban Design), SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems), Blue-Green Infrastructures (Dietz, 2007; Fletcher et al., 2015), attualmente dalla Commissione Europea viene preferito il più ampio termine **Nature-based Solutions NBS** (letteralmente tradotto come *soluzioni basate sulla natura*), utilizzato per definire l'insieme di soluzioni alternative per conservare, gestire in modo sostenibile e preservare la funzionalità di ecosistemi naturali, o ristabilirla in ecosistemi alterati dall'uomo, al fine di incrementare il benessere umano e la biodiversità, la sicurezza alimentare e idrica, i rischi di catastrofi, lo sviluppo sociale ed economico (Cohen-Shacham et al., 2016; Maes e Jacobs, 2017). Molto efficace è il concetto di **città spugna**, ovvero una città strutturata e progettata per assorbire e catturare l'acqua piovana e utilizzarla per ridurre i rischi di allagamento (He et al., 2019).

Nel drenaggio urbano sostenibile il principio progettuale da adottare è quello del *source control*, ovvero del controllo delle portate meteoriche laddove si originano. In pratica, invece di raccogliere i deflussi superficiali in tubazioni o reti canalizzate e gestire il flusso a valle nel corpo idrico recettore, si predilige un criterio di gestione decentrata e diffusa in tutto l'ambiente urbano.

La gestione sostenibile in-situ incorpora una serie di metodologie progettuali, adatte alle aree urbanizzate, in cui gli elementi costruttivi su piccola scala possono essere facilmente integrati in edifici, infrastrutture o nella progettazione paesaggistica. La varietà di soluzioni permette la personalizzazione dei progetti in base alle diverse esigenze (compresi eventuali vincoli presenti nel territorio); un grande pregio è che le soluzioni sono generalmente di facile realizzazione e non richiedono grandi investimenti iniziali, ma una manutenzione continua se si vuole conservarne la piena funzionalità.

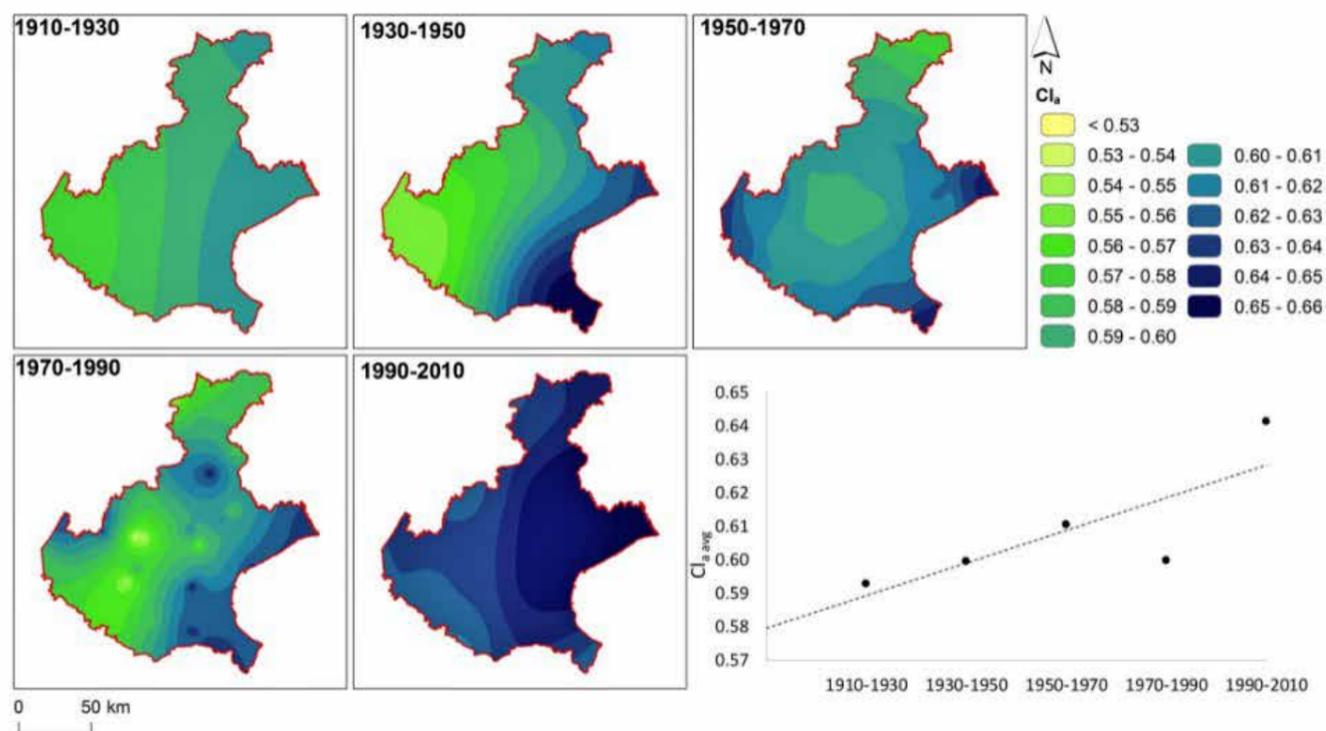


Figura 02.02. Concentrazione delle precipitazioni ( $Cl_a$ ) per i diversi tempi e andamento valore medio. [Fonte: Sofia et al., 2017]

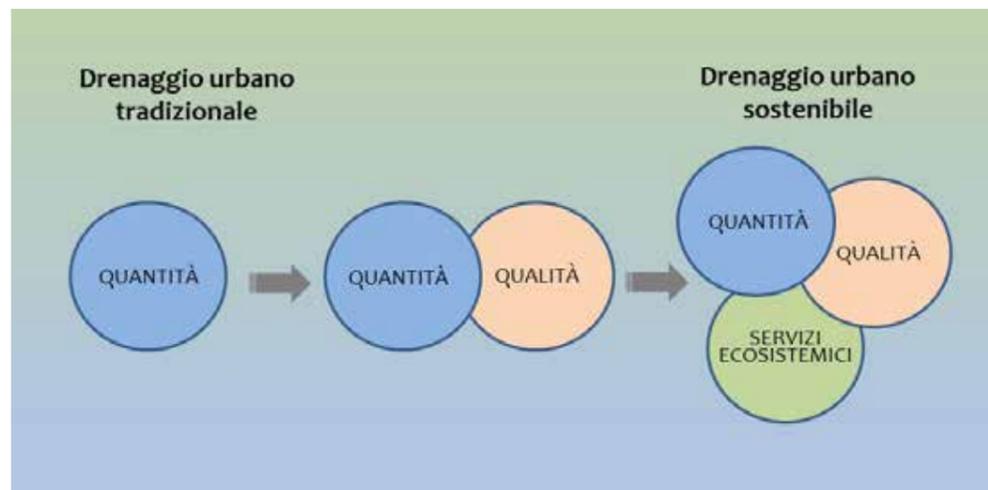


Figura 02.03. Schematizzazione della transizione in atto verso un drenaggio urbano sostenibile. [Fonte: Stahre, 2008, mod.]

Particolarmente interessante, però, è a nostro avviso, la possibilità che può offrire l'incorporamento di questi elementi nel paesaggio urbano quando includono anche la presenza di vegetazione erbacea, arbustiva e/o arborea (*infrastrutture verdi*), essendo in grado di massimizzare l'aspetto ambientale, estetico e ricreativo tipico del verde. In tal modo il sistema di drenaggio delle acque piovane acquisisce valenze estetiche, ricreative e di sostenibilità ambientale all'interno degli spazi cittadini. Oltre a queste esternalità positive i sistemi di drenaggio sostenibile possono aumentare anche la vivibilità, con importanti ripercussioni socio-sanitarie positive, e il valore economico degli edifici e dei quartieri nei quali sono inseriti (Figura 02.03.).

### Gli interventi NBS di drenaggio sostenibile

L'obiettivo di una progettazione (o riqualificazione) con "soluzioni basate sulla natura" NBS di drenaggio sostenibile è quello di ridurre l'impatto dello sviluppo urbano sul ciclo naturale dell'acqua mediante tecniche che consentono di mantenere, ripristinare o anche migliorare le funzionalità idrologiche e idrauliche del sito. Per questo gli interventi

devono prefiggersi di ridurre al minimo i volumi di deflusso superficiale e conservare possibilmente i percorsi di flusso già naturalmente esistenti, riducendo di conseguenza al minimo i requisiti infrastrutturali (ovvero nuove reti di drenaggio o ampliamento delle stesse). Questo tipo di progettazione più sostenibile per l'ambiente affonda le sue radici su alcuni concetti fondamentali quali:

- L'idrologia è una componente essenziale nella progettazione: si deve cercare di riprodurre i processi del ciclo idrologico che avvengono spontaneamente in natura, utilizzando determinati elementi progettuali, possibilmente con vegetazione, e cercando di distribuirli il più diffusamente nel territorio urbanizzato. In generale, tutte le soluzioni che favoriscono l'infiltrazione e l'immagazzinamento delle acque meteoriche consentono di ottenere buoni risultati nella gestione dei deflussi di pioggia dal punto di vista qualitativo e quantitativo.
- Il controllo dei deflussi va perseguito attraverso una micro-gestione localizzata: il controllo dei deflussi meteorici non deve essere affidato a una singola struttura ma in ogni area, quartiere, etc. è preferibile pianificare la presenza di più siti in cui inserire interventi

NBS. Infatti, la gestione dell'acqua diventa più flessibile se il territorio è suddiviso in piccole aree d'intervento, magari tra loro interconnesse, in cui inserire le varie soluzioni progettuali. In tal modo, eventuali nuove urbanizzazioni possono essere attuate senza che ci siano ripercussioni sulle altre zone, in quanto la gestione dell'acqua è autonoma e interessa la sola nuova zona urbanizzata. Attualmente, come in passato, invece, accade spesso che le acque meteoriche raccolte da un'area di nuova urbanizzazione vengano convogliate nella rete di drenaggio esistente, spesso già sotto dimensionata, con ripercussioni negative in zone limitrofe (normalmente quelle più a valle).

- L'acqua piovana è una risorsa che va controllata: l'acqua derivante dalle precipitazioni è una risorsa preziosa ed è opportuno garantirne una gestione ottimale dal punto di vista quantitativo, immagazzinandola nel terreno per meglio affrontare i periodi siccitosi, ma anche dal punto di vista qualitativo. Infatti, controllare e trattare il deflusso superficiale direttamente nel luogo in cui si è generato consente di ridurre o eliminare eventuali rischi legati all'inquinamento delle acque riceventi, che potrebbero nel tempo causare ingenti danni ambientali.
- Le soluzioni progettuali devono essere flessibili e in linea con l'ambiente naturale: lo sviluppo a basso impatto ambientale riconosce le potenzialità e sfrutta al massimo elementi e processi naturali. Alcuni interventi NBS prevedono l'uso di piante coltivate sul terreno naturale, o eventualmente su particolari substrati, che si adattano facilmente alle peculiari caratteristiche di ogni sito. In queste soluzioni, oltre al ripristino del ciclo naturale dell'acqua, si instaurano processi ad alta valenza ambientale come la fitodepurazione dell'acqua e la creazione di habitat naturali anche in città.
- La progettazione di aree urbanizzate e infrastrutture deve essere multifunzionale: in fase di progettazione bisogna considerare che un edificio o una via di comunicazione possono contribuire direttamente al controllo delle acque meteoriche. I sistemi di drenaggio dell'acqua di pioggia non devono essere progettati come elementi a sé stanti, ma essere parte

integrante di una soluzione progettuale multifunzionale ed ecosostenibile, che incorpora anche la gestione in-situ dei deflussi. Un'attenta analisi del contesto e delle caratteristiche idro-geografiche consente di implementare e ottimizzare questa funzione in ciò che si andrà a progettare.

È importante ricordare che, in un'ottica di gestione sostenibile delle acque meteoriche, l'efficacia di ogni intervento è legata a un'attenta stima del bilancio idrico dell'area considerata, determinando i volumi d'acqua che scorrono in superficie lungo diversi percorsi e quelli che si infiltrano autonomamente, riferiti a una certa unità di tempo (giornalmente, mensilmente, annualmente). In questo modo si potranno dimensionare e realizzare più correttamente elementi in grado di gestire i volumi d'acqua in modo efficiente anche dal punto di vista qualitativo.

In un approccio progettuale sostenibile si deve prediligere un processo iterativo, che richiede diversi tentativi progettuali, per bilanciare nel modo più efficace le componenti economica ed ecologica. Il successo a lungo termine di quest'approccio richiede una comprensione dei requisiti necessari per un lungo ed efficace ciclo di vita di interventi NBS, compreso lo sviluppo di una corretta manutenzione.

Nel caso in cui la conservazione delle aree naturali sia il primo obiettivo da perseguire, gli interventi NBS devono proporre una strategia di gestione delle acque piovane basata sulla protezione complessiva e il controllo delle risorse del sito, identificando anche le aree ambientali sensibili e le zone di conservazione naturale, come le aree boschive e altri habitat presenti.

Fatta salva la necessità di evitare interventi che alterino in modo sostanziale i processi idrologici, comunque, in generale, è prioritario ovunque rendere minimo l'impatto dell'urbanizzazione, adottando tecniche che arrechino un disturbo contenuto al sito d'intervento e anche alle aree circostanti, evitando, ad esempio, l'eccessiva compattazione del suolo o danni alla vegetazione presente.

Come più volte ripetuto, uno dei principali fini della pianificazione NBS è il mantenimento dei volumi e flussi di acqua piovana che preesistevano naturalmente nel sito

ovvero il loro ripristino. Per questo, infatti, nell'ambito di una gestione sostenibile delle acque meteoriche è importante che i tempi di corrvazione in un bacino idrografico non subiscano sostanziali variazioni perché questo potrebbe causare problemi nelle aree poste più a valle, come purtroppo è spesso avvenuto in questi ultimi anni con danni notevoli non solo in termini economici ma anche di vite umane.

Volendo riassumere, le soluzioni progettuali e costruttive nell'ambito del drenaggio sostenibile dei deflussi meteorici con interventi NBS devono essere attuate prevedendo di:

- scollegare le zone impervie (tetti, strade, marciapiedi, etc.) dalle reti di drenaggio in modo da indirizzare il deflusso superficiale verso aree permeabili e/o con capacità di invaso d'acqua, possibilmente vegetate, in modo da ridurre il peso sulla rete di drenaggio esistente e favorire la ricarica della falda;
- sistemare e livellare la superficie del suolo per favorire il flusso laminare dell'acqua, allungare il percorso del deflusso e mantenerlo disperso su tutta l'area, promuovendo l'infiltrazione, anche con l'aggiunta di sabbia, materiali inerti, etc. a seconda della soluzione NBS adottata;
- preservare le aree naturali e tutte le aree verdi già presenti in quanto i suoli in cui è presente la vegetazione rallentano maggiormente i deflussi, facilitano l'infiltrazione, promuovono la filtrazione degli inquinanti, mentre il processo evapotraspirativo contribuisce all'abbattimento dell'isola di calore.



Figura 02.05. Esempi di aree di bioritenzione.

Gli interventi NBS possono essere di diverso tipo, ma quelli principali attuabili nella città di Padova e considerati in questo contesto sono:

#### **Pavimentazioni permeabili (Permeable Pavement PP)**

Superfici dotate di elevata permeabilità che consentono una rapida infiltrazione dell'acqua, riducono il volume di ruscellamento intrappolando e rilasciando lentamente le precipitazioni nel terreno (Figura 02.04.). Comprendono masselli, calcestruzzi e asfalti porosi, grigliati plastici o in calcestruzzo, pietre o altri elementi posati con fughe larghe inerbite o riempite con sabbia o ghiaia, che possono drenare le acque di pioggia che cadono direttamente ma anche quelle provenienti da superfici impermeabili limitrofe (anche da pluviali). Possono ridurre la concentrazione di alcuni inquinanti fisicamente (intrappolandoli nella

pavimentazione o nel suolo), chimicamente (batteri e altri microbi possono abbattere e utilizzare alcuni inquinanti) o biologicamente (con le piante che crescono tra alcuni tipi di lastricati). Rallentando il processo, le pavimentazioni permeabili possono raffreddare la temperatura del deflusso urbano, riducendo l'impatto sull'ambiente e contribuendo all'abbattimento dell'isola di calore. Tra l'altro, è stata osservata (Houle et al., 2009) una ridotta necessità di applicare sale stradale per lo sbrinamento nel periodo invernale.

#### **Aree di bioritenzione (Rain Garden RG)**

Superfici vegetate ad elevata permeabilità dotate di depressione per l'accumulo dei deflussi dalle superfici impermeabili circostanti (strade, marciapiedi, tetti). Sono strutture vegetate che raccolgono il deflusso, ne facilitano l'accumulo e l'infiltrazione nel terreno, favoriscono la percolazione in profondità verso la falda sottostante e la filtrazione dell'acqua per migliorarne la qualità attraverso il controllo dei detriti e delle sostanze inquinanti (Figura 02.05.). Si possono includere aree di diversa forma e dimensione, dall'aiuola più ornamentale a semplici depressioni inerbite, con eventuale presenza di alberi, anche di grandi dimensioni. Si tratta di sistemi biologici filtranti che catturano il flusso delle acque piovane e lo filtrano attraverso un substrato creato artificialmente mescolando sabbia, compost e terreno; solo quando i quantitativi di deflusso sono superiori alla capacità di infiltrazione del mezzo oppure

quando il terreno è saturo si assiste alla formazione di una pozzanghera d'acqua piovana, che però viene assorbita molto velocemente. L'infiltrazione può essere aumentata aggiungendo materiale sabbioso nello strato colturale (fino al 50%), possibilmente ammendato con compost vegetale (20-30%), che assicura nel tempo un elevato livello di fertilità, necessario al mantenimento della vegetazione senza ricorrere a fertilizzazioni, e una buona struttura del terreno, garantendo elevata porosità e capacità di trattenuta idrica. Se presenti strati impermeabili ovvero in caso di falda freatica superficiale, l'allontanamento dell'acqua dagli strati più profondi può essere favorito con l'uso di dreni posizionati su ghiaia. Alcuni dei processi che possono aver luogo in tali strutture includono sedimentazione, assorbimento, filtrazione, volatilizzazione, scambio ionico, decomposizione, fitodepurazione, *bioremediation* (biorisanamento) e invaso superficiale. Ma non bisogna dimenticare un altro processo molto importante che avviene nelle aree di bioritenzione e che consente il ripristino del ciclo naturale dell'acqua, esaltando quella che è una delle finalità della gestione in-situ dei deflussi, ovvero la restituzione in atmosfera dell'acqua attraverso il processo di evapotraspirazione. Tutte le aree di bioritenzione sono progettate per simulare i processi che si verificano in un ambiente non antropizzato, riproducendo ciò che avviene in un'area naturale con vegetazione. Ci sono due tipi fondamentali di *bioretention*: gli *under-drained* (sotto-drenati) e i *self-contained* (autosufficienti). La differenza significativa tra i due è la presenza o meno di tubi drenanti che scaricano direttamente su un sistema fognario e di guaine impermeabilizzanti artificiali che isolano completamente il sistema dal terreno su cui è costruito (scelta consigliabile in presenza di falda superficiale). La scelta del tipo di struttura da installare dipende principalmente dalla quantità di volumi d'acqua da trattare, dalle condizioni del suolo esistente, dallo spazio disponibile e dal budget a disposizione. Fanno parte delle aree di bioritenzione i giardini pluviali o rain garden, nei quali viene maggiormente valorizzata anche la componente ornamentale. La selezione delle piante va fatta scegliendo preferibilmente le specie autoctone, essendo adatte a vivere nelle



Figura 02.04. Esempi di pavimentazioni permeabili.

condizioni locali per clima, suolo ed ecosistema. Nel caso dei rain garden, data la loro caratteristica maggiormente ornamentale, si possono scegliere anche piante non autoctone ma adatte alle particolari condizioni idriche che vi si instaurano. Tutte le piante, infatti, dovranno essere resistenti a condizioni di stress idrico e a brevi periodi di sommersione. In particolare, all'interno di un'area di bioritenzione si possono distinguere tre zone (Figura 02.06.): una zona centrale in cui vi è il punto di massima profondità e che resta più a lungo bagnata dopo un evento piovoso, in cui sono adatte specie che tollerano il ristagno prolungato, o tendenzialmente specie igrofile, che amano l'umidità del terreno; una zona intermedia, dove le condizioni di ristagno sono presenti per un tempo minore dopo un evento piovoso, in cui si adattano le specie che possono tollerare condizioni intermedie, da terreno

bagnato a semi asciutto nel medio-lungo periodo, avendo un'ampia adattabilità pedoclimatica; una zona esterna, che rappresenta la fascia più distale dal punto di massima profondità, che riceve la minor quantità di acqua defluita e il substrato presente tende a rinsecchire più velocemente, in cui le specie adatte a sopravvivere sono tendenzialmente da mesofile a xerofite (che tollerano situazioni di limitata presenza di acqua).

Nel caso dei rain garden, la loro maggiore valenza estetica imporrebbe che, quando si scelgono le piante, si dovrebbero considerare anche l'altezza di ogni specie, il periodo di fioritura, il colore e la sua struttura complessiva. Inoltre, sarebbe preferibile utilizzare piante che fioriscono in tempi diversi per creare una lunga stagione floreale, mescolare le altezze, le forme e i vari texture per dare profondità e forma all'area verde creata.

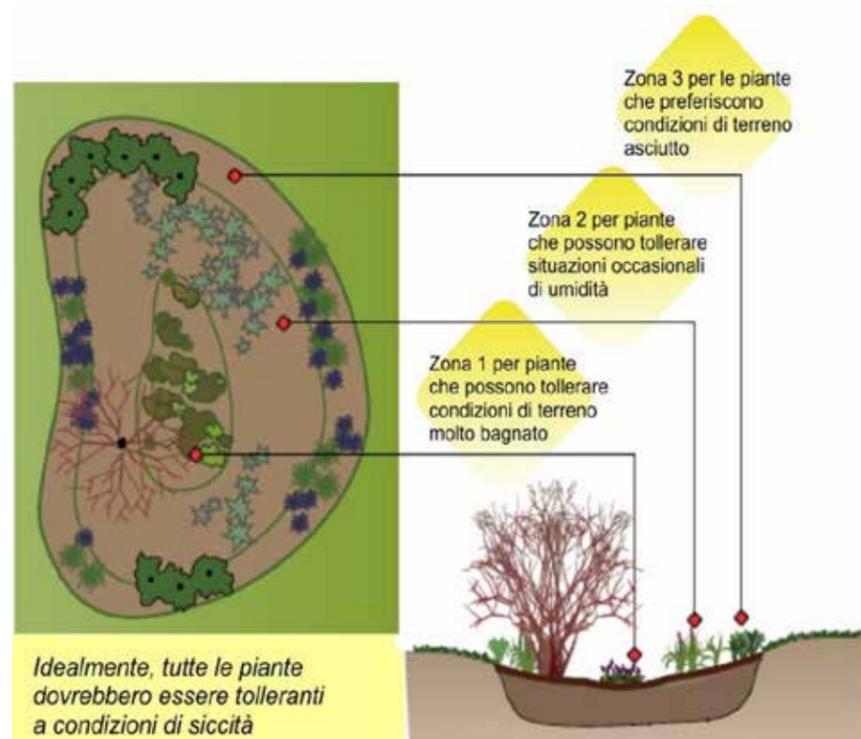


Figura 02.06. Collocazione delle piante in un'area di bioritenzione. [Fonte: Bannerman e Considine, 2003, mod.]



Figura 02.07. Esempi di tetti verdi estensivi.

### Tetti vegetati (Green Roof GR)

Coperture con vegetazione ad elevata permeabilità, dotate di accumulo dell'acqua di pioggia e in grado di rallentare il deflusso dai tetti. La normativa UNI 11235 definisce "copertura verde" qualsiasi realizzazione che non sia a contatto con il terreno naturale. Sono strutture composte di una serie di strati con differenti funzioni: impermeabilizzazione, accumulo e drenaggio, substrato di coltivazione molto leggero e permeabile in cui vengono messe a dimora specie vegetali, sovente di tipo erbaceo perenne, tolleranti a elevato calore, siccità prolungata, ma anche a brevi periodi di saturazione. La stessa normativa distingue tra coperture verdi estensive e intensive (Figura 02.07.). Le principali differenze riguardano gli spessori del substrato di coltivazione (massimo 15 centimetri per gli estensivi) e il peso (120-300 kg/m<sup>2</sup> per gli estensivi) che influisce direttamente sul sovraccarico gravante sulla struttura. A queste differenze si può ricondurre una diversa capacità di gestire i quantitativi di pioggia, le specie vegetali utilizzabili e le necessità di manutenzione. I vantaggi derivanti dall'installazione di tetti verdi sono molteplici e vanno dal trattamento e fissazione delle polveri sottili che vengono sottratte all'atmosfera grazie alla vegetazione, alla riduzione dei picchi di deflusso idrico grazie allo strato di accumulo ma anche alla capacità di ritenzione idrica del sistema substrato-radici, alla mitigazione microclimatica degli edifici, alla riduzione dell'inquinamento acustico. Inoltre, le coperture verdi trattengono e accumulano l'acqua piovana restituendola all'ambiente per via evapotraspirativa.

Attraverso questo processo l'aria viene arricchita di umidità e riesce a ridurre la percezione di aria asciutta e polverosa, tipica del fenomeno delle isole di calore negli insediamenti urbani. Infine, viene migliorata anche la qualità estetica degli insediamenti e del paesaggio in virtù di un aumento delle superfici con vegetazione. Per le coperture estensive le specie maggiormente utilizzate sono erbacee, erbacee perenni ed arbusti coprisuolo. Tra queste vanno preferite quelle che richiedono una ridotta manutenzione, con caratteristiche di veloce radicamento e copertura, resistenti agli stress idrici e termici e il genere *Sedum* è particolarmente utilizzato perché risponde a queste caratteristiche.

## L'EFFETTO DEGLI INTERVENTI NBS SUI DEFLUSSI

Numerosi studi hanno evidenziato gli effetti positivi degli interventi NBS nel controllo dei deflussi di pioggia e nella riduzione dei rischi di allagamento (Zölch et al., 2017; Ruangpan et al., 2020; Alemaw et al., 2020). Uno studio pluriennale condotto nell'area padovana (Bortolini e Zanin, 2018) ha dimostrato che un'area di bioritenzione con piante erbacee ornamentali (rain garden) di superficie pari al 10% di un'area drenante impermeabilizzata è in grado di gestire più del 95% del deflusso di pioggia, lasciandolo infiltrare e immagazzinare nel terreno, annullando di fatto le richieste irrigue delle piante durante il periodo estivo. In un altro studio, sempre condotto nell'area padovana, si è potuto evidenziare l'effetto sui deflussi di pioggia di diverse soluzioni a tetto verde estensivo (Bortolini et al., 2021): a seconda della stratigrafia e del tipo di vegetazione, la riduzione di deflusso può superare mediamente nell'anno il 60%, anche se l'efficacia è minore durante gli eventi piovosi più intensi, soprattutto nei periodi caratterizzati da temperature più basse in cui i fenomeni evapotraspirativi sono ridotti (da novembre a febbraio).

L'effetto che potrebbe produrre una realizzazione diffusa sul territorio di Padova di queste tipologie di NBS è stato valutato determinando la tipologia di copertura presente e, se di tipo impermeabile, questa era suscettibile di modifica. Dapprima, è stato applicato i-Tree Canopy, un software sviluppato dall'USDA Forest Service e disponibile online (<https://canopy.itreetools.org>), che ha permesso di stimare in modo accurato sull'intera superficie della città la copertura di alberi e altre tipologie di vegetazione e non, creando punti casuali sopra un'immagine estratta da Google Earth; ad ognuno di questi punti è stata assegnata l'appartenenza a una data classe di copertura. Le classificazioni effettuate con questo software hanno permesso di identificare la percentuale di superficie migliorabile per ogni ATO, cioè di quegli spazi in cui si può ipotizzare la realizzazione di interventi NBS, nonché una classificazione generale sulla classe di copertura (albero/arbusto, erba/erbaceo, edificio impermeabile, strada impermeabile, altro impermeabile, acqua e suolo/terra nuda). Per ogni ATO sono stati presi in considerazione 1.000 punti che hanno permesso di contenere l'errore standard tra l'1 e il 2%. I criteri alla base dell'assegnazione alla categoria «potenzialmente

migliorabile» sono stati i seguenti:

- ampie superfici impermeabili con scarsa presenza di vegetazione o vegetazione assente (per esempio parcheggi, tetti, etc.);
- ampi marciapiedi con vegetazione scarsa o assente;
- aiuole spartitraffico e rotatorie con vegetazione scarsa o con possibilità di miglioramento;
- superfici con vegetazione rada e/o aree abbandonate con possibilità di miglioramento.

Non sono stati considerati migliorabili quei punti che ricadevano su strade, su terreni agricoli, su ampi giardini privati, su vegetazione arborea, come boschetti già formati. Successivamente, è stato applicato i-Tree Hydro (Wang et al., 2008), che permette di simulare gli effetti dei cambiamenti della copertura arborea e delle superfici impermeabili sul ciclo idrologico, comprese le portate dei corsi d'acqua e la qualità dell'acqua (Figura 02.08.). Il

programma fa parte di i-Tree Hydro+, una suite di modelli ambientali basati su processi sviluppata da USDA Forest Service e che include altri modelli come i-Tree Cool Air e i-Tree Cool River, in grado di simulare gli effetti ambientali di alberi e di altri attributi paesaggistici per quantificare i benefici di questi nelle aree urbane. Si tratta di strumenti flessibili adatti ad analisi comparative di diversi scenari di copertura del suolo e dei loro impatti a varie scale, quale supporto alle decisioni di gestione e pianificazione. Nel caso specifico, per ogni ATO di Padova sono state condotte simulazioni prevedendo l'inserimento dei diversi tipi di NBS, ovvero le aree di bioritenzione RG, le pavimentazioni permeabili PP e i tetti verdi GR, confrontando questi valori di deflusso (o runoff) con quelli che presumibilmente si generano allo stato attuale di impermeabilizzazione.

I dati di input forniti al programma sono stati:

- dati meteorologici orari per gli anni 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019 e con intervallo di 10 minuti per un evento classificato come intenso, ovvero con tempo di ritorno entro i 2 anni (4 maggio 2019) e per uno eccezionale, ovvero con tempo di ritorno superiore ai 50 anni (29 maggio 2018);
- elevazione digitale del terreno (DEM – Digital Elevation Model) dell'intera superficie di ogni ATO e della sola area urbana (escluse le aree agricole), sempre suddivisa per ATO;
- copertura del suolo, ottenuta da elaborazione della Carta Uso dei Suoli del Comune di Padova.

I dati di precipitazione dei due eventi piovosi intensi ed eccezionali sono stati ottenuti da una rielaborazione dei dati al suolo e satellitari che sono stati forniti dalla società Radarmeteo con sede a Due Carrare (PD). Le simulazioni sono state condotte dalle ore 9:00 alle ore 20:00 per ogni giorno.

Per la percolazione e la velocità di ruscellamento sono stati presi come standard i dati definiti dal programma e riguardanti la località di Rockville Washington D.C. perché valutati congrui con l'area geografica di Padova.

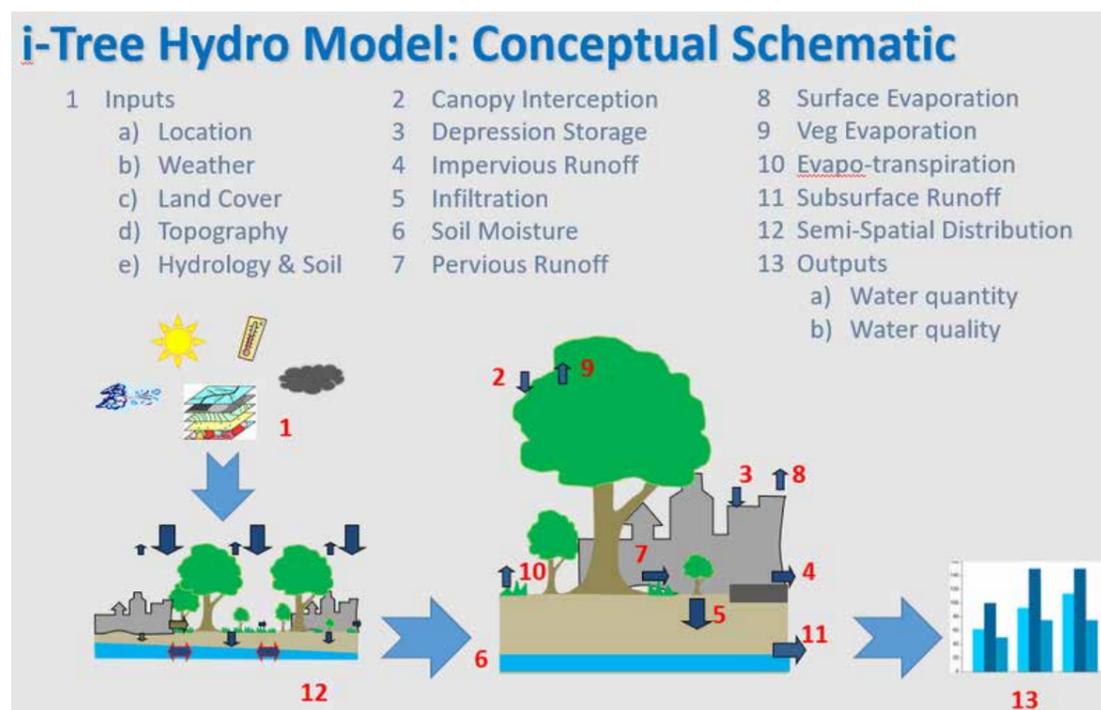


Figura 02.08. Schematizzazione concettuale del modello i-Tree Hydro. [Fonte: <https://www.itreetools.org/tools/hydro>]

## LA SITUAZIONE ATTUALE E I POSSIBILI SCENARI FUTURI

Tavola 02.01. Superfici impermeabili (situazione attuale complessiva): elaborazione eseguita mediante elaborazione dei dati satellitari (Sentinel-2A MSI ESA, da Veneto Adapt).

Tavola 02.02. Percentuale superfici impermeabili (situazione attuale suddivisa per ATO): valori calcolati mediante sottrazione delle superfici ricavate dai dati di Tavola 02.01.

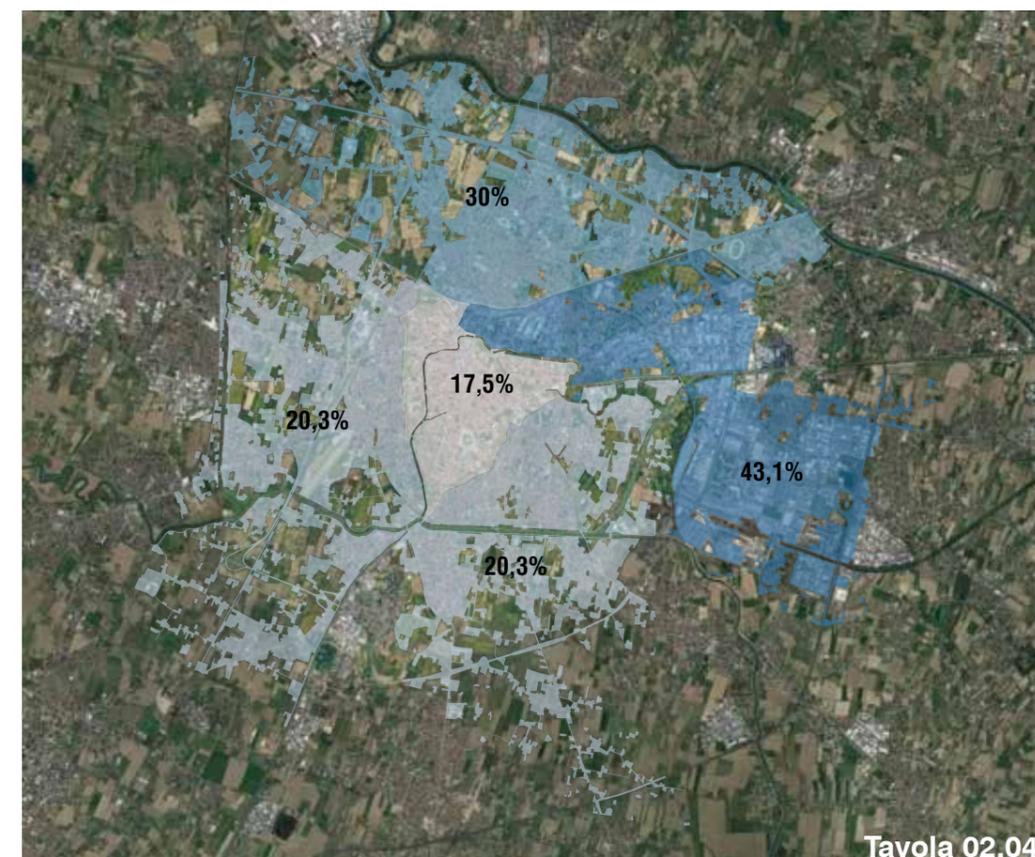
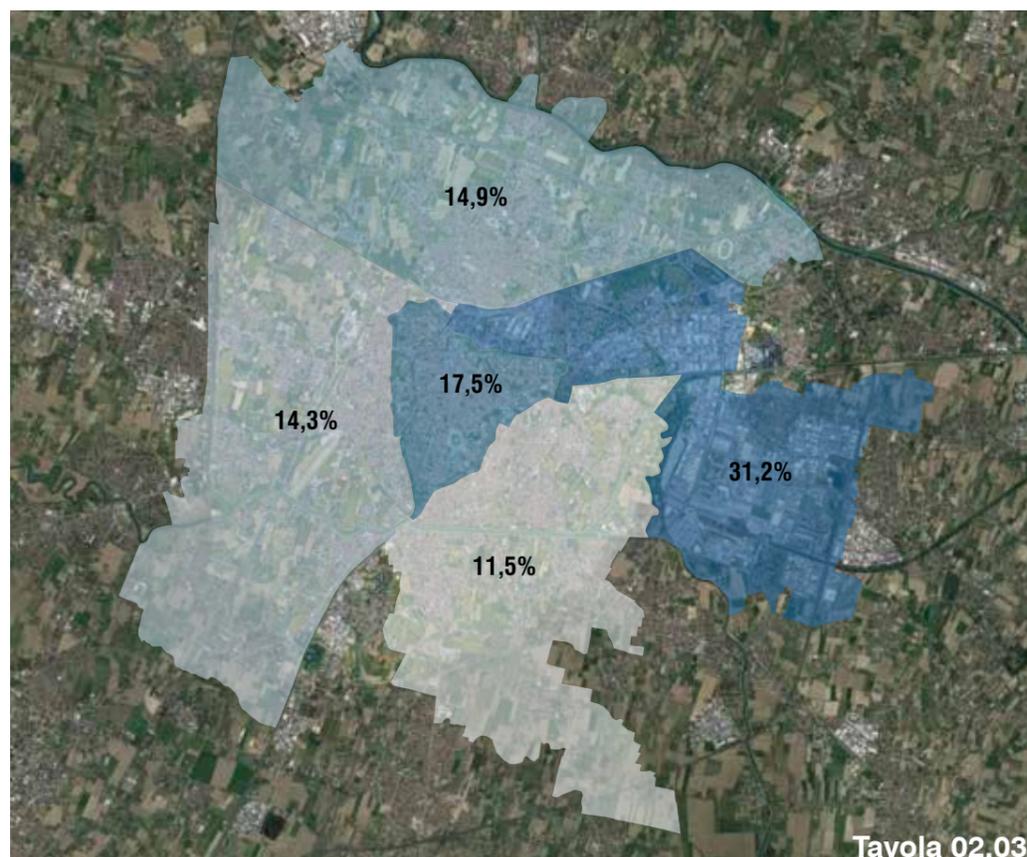
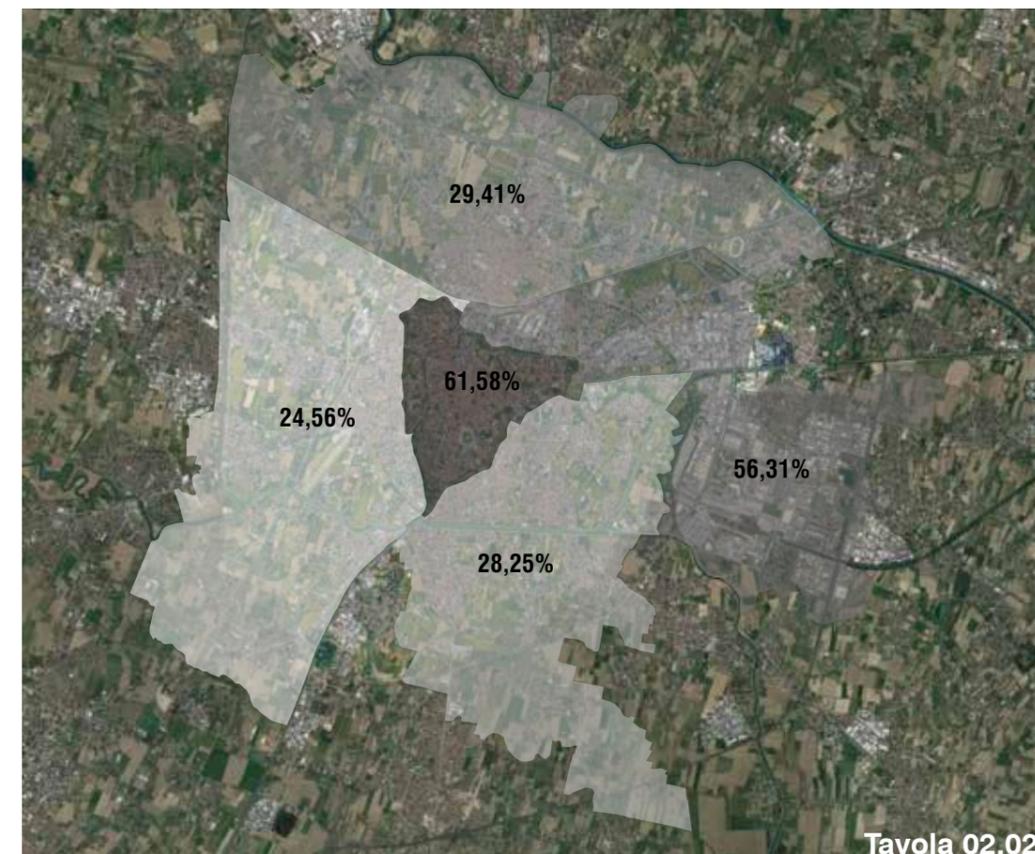
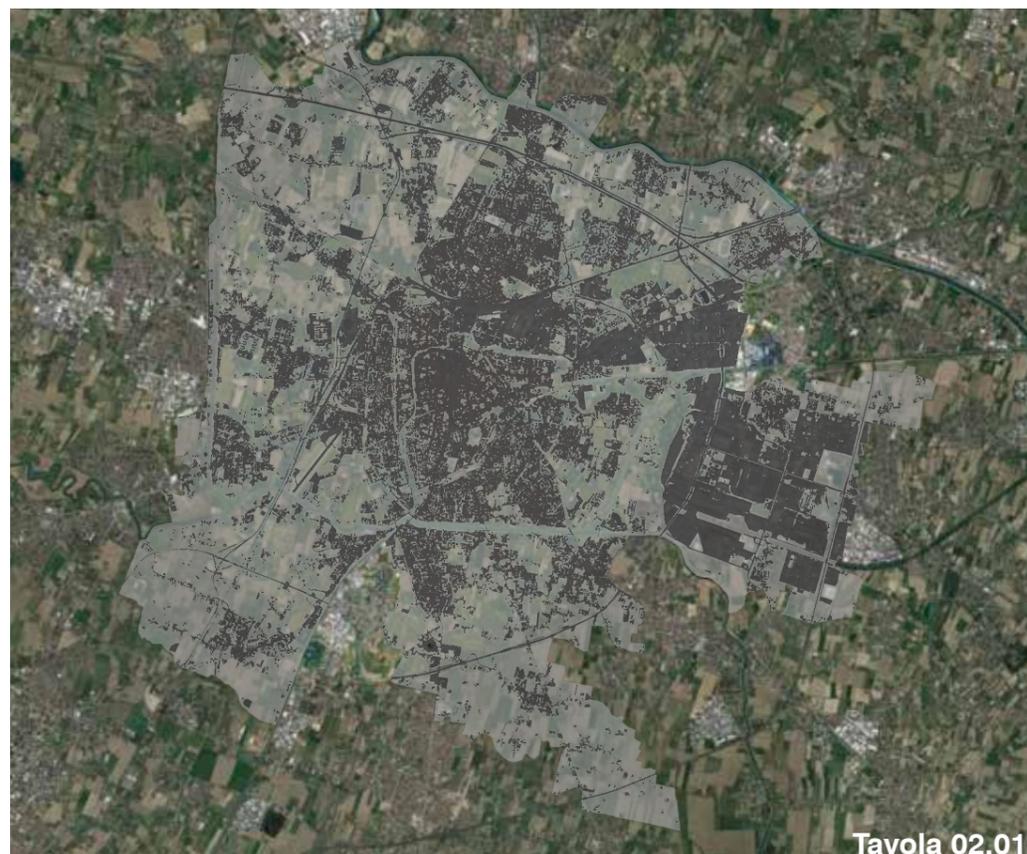
Tavola 02.03. Percentuali di miglioramento della permeabilità con l'uso di NBS (sull'intera superficie di ogni ATO): ottenute mediante campionamento con uso del software statistico iTree Canopy.

Tavola 02.04. Percentuali di miglioramento della permeabilità con l'uso di NBS (solo sulla superficie urbanizzata di ogni ATO): ottenute mediante campionamento con uso del software statistico iTree Canopy.

Nella Tavola 02.01. sono state evidenziate in colore più scuro le superfici impermeabili del Comune di Padova, come da dati elaborati nell'ambito del Progetto Veneto ADAPT e ricavate da immagini satellitari Sentinel-2A MSI (ESA). Una successiva elaborazione attuata mediante sottrazione delle superfici ha permesso di calcolare che attualmente, in termini percentuali, le superfici rese impervie da edifici, strade, marciapiedi, etc. oscillano dal 24,56% dell'ATO 5 Ovest al 61,58% dell'ATO 1 Centro storico (Tavola 02.02.). Da notare anche l'alto valore di impermeabilizzazione, del resto atteso, dell'ATO 3 Est interessato dalla elevata presenza di superfici a capannoni, edifici commerciali e parcheggi della Zona industriale. Viceversa, gli ATO relativi alle zone Nord, Sud ed Ovest (con minori percentuali di impermeabilità) comprendono invece anche ampie superfici agricole.

Gli obiettivi di una città spugna prevedono di aumentare la permeabilità per assorbire e catturare l'acqua piovana e utilizzarla per ridurre i rischi di allagamento. L'applicazione del software iTree Canopy ha permesso di calcolare i valori percentuali di miglioramento della permeabilità, ovvero su che superficie attualmente impermeabilizzata si potrebbero favorevolmente inserire le soluzioni NBS (Tavola 02.03.). Come già precedentemente evidenziato, nell'analisi non sono state considerate come migliorabili le superfici agrarie e la rete viaria. Si può notare l'elevata possibilità di miglioramento (31,2%) che potenzialmente offre l'ATO che include la Zona industriale, percentuale che sale al 43,1% se l'analisi viene ristretta alla sola superficie urbanizzata (Tavola 02.04.). Infatti, escludendo le zone agricole, tutte le percentuali aumentano, escluso per ovvie ragioni il Centro storico. In particolare, nell'ATO 2 Nord si raddoppia la percentuale di miglioramento della permeabilità dal 14,9 al 30%, così come appare interessante l'incremento dall'11,5 al 20,3% nell'ATO 4 Sud. In tutti gli ATO caratterizzati dalla presenza di superficie agricole, comunque, eventuali nuove edificazioni e urbanizzazioni dovranno attentamente considerare l'elevata permeabilità già presente, con interventi volti a garantirne il mantenimento ovvero ottenere l'invarianza idraulica e idrologica.

Gli interventi NBS sono particolarmente importanti e, a nostro avviso prioritari, nelle zone più soggette a allagamenti



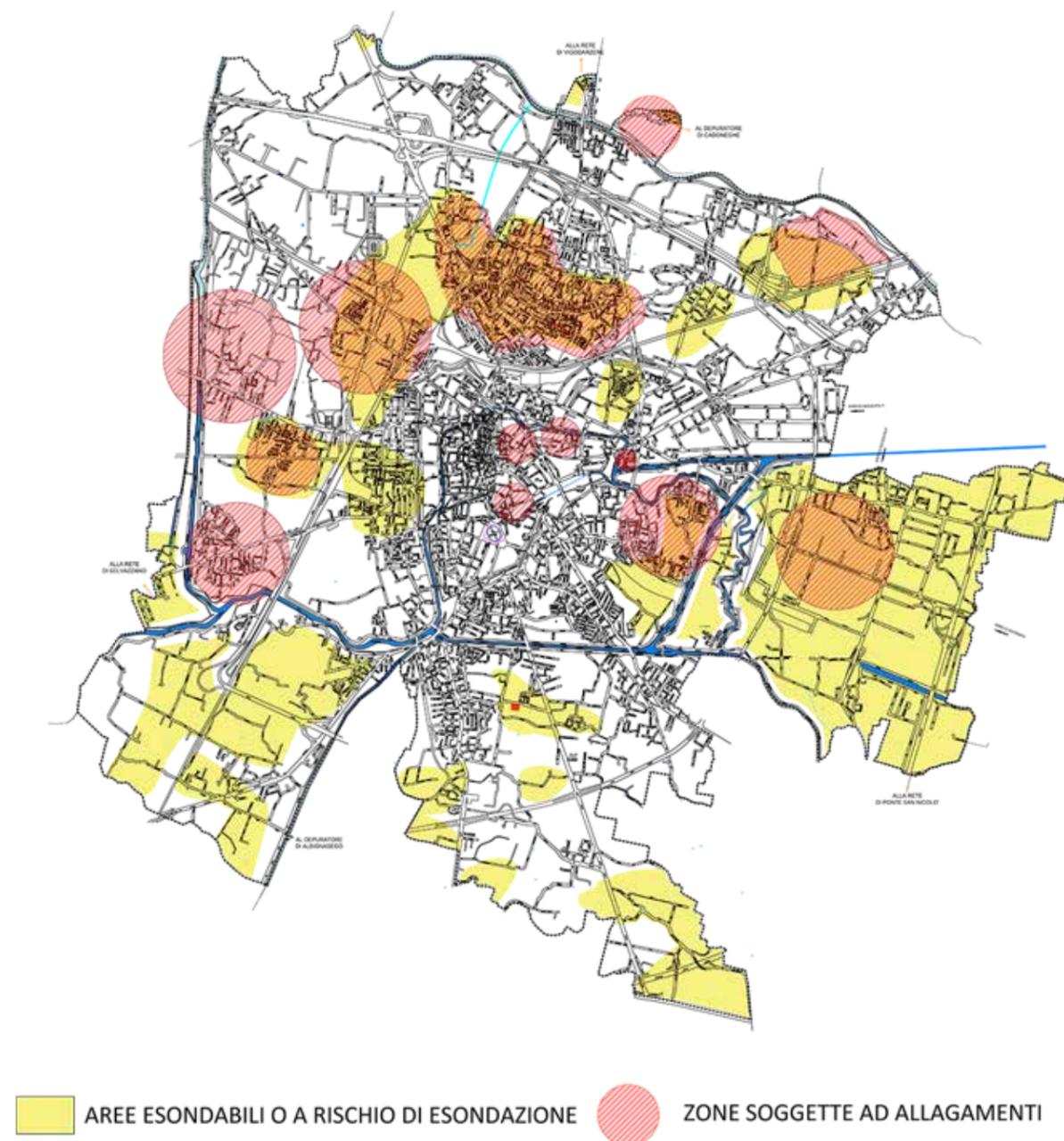


Tavola 02.05. Zone soggette ad allagamenti (elaborazione a cura di AcegasAps Amga): sono riportate in rosso le zone soggette ad allagamento in caso di eventi piovosi intensi (in giallo le zone esondabili non oggetto di questo piano).

della città. Nella Tavola 02.05. sono riportate in rosso le zone soggette ad allagamento in caso di eventi piovosi intensi (l'elaborazione è a cura di AcegasAps Amga). La situazione si riferisce al 2013. Anche se, in questi ultimi anni, la multiutility di Padova ha effettuato pregevoli interventi che hanno contribuito alla mitigazione degli allagamenti in alcune zone critiche, permangono però molte criticità, soprattutto in seguito agli eventi piovosi più intensi. Da notare in giallo le zone esondabili, le cui problematiche hanno origine dall'uso del suolo e dalla gestione dei territori a monte della città, ma che comunque probabilmente trarrebbero beneficio dall'applicazione diffusa di queste infrastrutture.

Dalla fotointerpretazione di ognuno dei 1.000 punti per ogni ATO trovati con l'applicazione di i-Tree Canopy si sono ricavate le percentuali delle tre tipologie di NBS (pavimentazioni permeabili PP, aree di bioritenzione RG, tetti vegetati GR) che potrebbero essere inserite in ogni ATO (Grafici 02.01.). Nell'ATO 1 del Centro storico, ad esempio, sul 17,5% di superficie potenzialmente migliorabile si possono inserire per il 35% aree di bioritenzione, mentre l'aumento della permeabilità potrebbe derivare dall'uso di pavimentazioni permeabili in ben il 65%, considerando soprattutto marciapiedi e piste ciclabili ma anche le piastre di sosta dei parcheggi. Significativa, comunque, la potenzialità di applicazione di questa tipologia di pavimentazioni, che offrono soluzioni progettuali diverse, anche con erba tra le fughe e l'inserimento di alberature. Da notare come queste percentuali si modificano nel caso in cui si vadano ad escludere le aree agricole, soprattutto negli ATO 5 Ovest e 4 Sud (Grafici 02.02.). Per quanto riguarda i tetti verdi, escludendo il centro storico caratterizzato soprattutto dalla presenza di edifici con coperture con coppi, la fotointerpretazione ha dimostrato una discreta possibilità di un loro inserimento in edifici a tetto piano, con il valore più elevato nell'ATO 3 Est che, se si considera la sola superficie urbanizzata, raggiunge la percentuale del 27%. Sempre il raffronto tra i Grafici 02.01. e i Grafici 02.02. evidenzia l'incremento della percentuale di zone che potenzialmente possono accogliere aree di bioritenzione nell'ATO 2 Nord che passa dal 40 al 52%. Il dato è

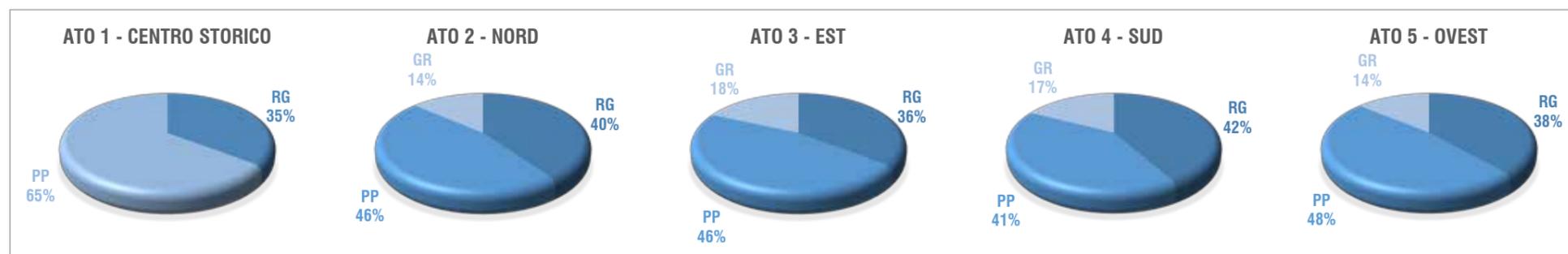
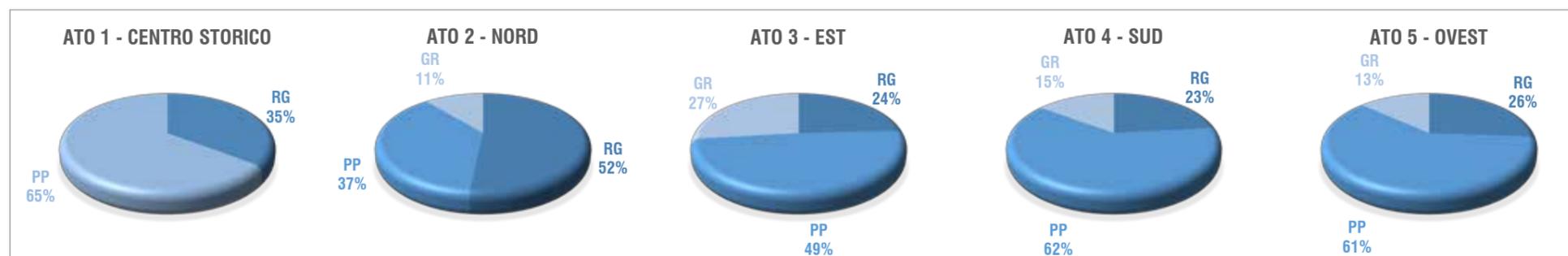


Grafico 02.01. Percentuale di interventi NBS su superficie totale (situazione attuale): fotointerpretazione dei punti migliorabili ricavati dall'applicazione di iTree Canopy.

Grafico 02.02. Percentuale di interventi NBS su superficie urbanizzata (situazione attuale): fotointerpretazione dei punti migliorabili ricavati dall'applicazione di iTree Canopy.  
Legenda: Pavimentazioni permeabili (Permeable Pavement PP), Aree di bioritenzione (Rain Garden RG), Tetti vegetati (Green Roof GR).

interessante in quanto queste infrastrutture verdi, oltre a essere particolarmente efficaci nella gestione dei deflussi di pioggia, presentano le più elevate valenze estetico-ricreative, sociosanitarie e di sostenibilità ambientale all'interno degli spazi cittadini; inoltre, possono favorevolmente ospitare nuove alberature. Utilizzando i dati di superficie permeabile/impermeabile e le percentuali di interventi NBS potenzialmente realizzabili, si è proceduto alle elaborazioni con il programma i-Tree Hydro per stimare i deflussi con diverse ipotesi. In particolare, sono stati analizzati i deflussi prodotti attualmente nei diversi ATO e confrontati con quelli che si originerebbero in seguito all'applicazione di interventi NBS su tutto il potenzialmente migliorabile, distinguendo tra l'effetto prodotto considerando l'intera superficie di ogni ATO oppure soltanto quella urbanizzata (escludendo le superfici agricole).

Si è scelto di riportare graficamente soltanto i risultati relativi ai valori medi del periodo 2014-2019, quelli di un anno particolarmente piovoso (2014), nonché quelli di un evento piovoso intenso con tempo di ritorno inferiore ai 2 anni (4 maggio 2019) e di un evento eccezionale con tempo di ritorno superiore a 50 anni (29 maggio 2018). Quest'ultimo è stato caratterizzato da una precipitazione di 106,83 mm in due ore a partire dalle 12:40, con tre picchi di intensità pari a 20 mm in 10 minuti. Si ricorda che il tempo di ritorno definisce un tempo medio in cui un dato valore di intensità di pioggia può essere uguagliato o superato, ovvero la probabilità che un evento naturale si verifichi in quell'intervallo di tempo. Per questi eventi si riporta in Appendice anche l'andamento di pioggia e dei deflussi con intervallo di 10 minuti. Da notare che il dato medio di pioggia considerato equivale

sostanzialmente a quello degli ultimi 27 anni (848 mm del periodo 2014-2019 contro gli 846 mm della media storica riportata dall'ARPAV), mentre l'anno più piovoso ha registrato un totale di 1.311 mm, con un incremento del 55% rispetto alla precipitazione media.

I Grafici da 02.03. a 02.06. (a pagina 62) riguardano l'ipotesi di una applicazione al 100% di interventi NBS sul totale potenzialmente migliorabile considerando l'intera superficie di ogni ATO (urbanizzata e agricola). I grafici evidenziano la riduzione dei volumi di deflusso in tutti gli ATO. I più efficaci nel ridurre i deflussi sono le aree di bioritenzione (34% in media nell'intero periodo); comunque, un significativo effetto si potrebbe ottenere anche con le pavimentazioni permeabili e i tetti verdi (con riduzione dei deflussi del 25% e del 15%, rispettivamente). Le

diminuzioni più evidenti si riscontrano nel Centro Storico, dove l'efficacia è assicurata sia dall'inserimento di aree di bioritenzione che di pavimentazioni permeabili, effetto che si riscontra anche nell'altro ATO caratterizzato da una elevata urbanizzazione, ovvero l'ATO Est. Nell'ATO che comprende la Zona Industriale, infatti, si può notare anche la più elevata riduzione dei deflussi in seguito all'inserimento di coperture vegetate in tutti quegli edifici (capannoni o altro) che potenzialmente lo consentirebbero. Nei due ATO più urbanizzati le percentuali restano visibilmente inferiori anche nel caso di un anno piovoso come il 2014 (Grafico 02.04.). Il controllo sui deflussi è sicuramente maggiore nel caso degli eventi di pioggia meno intensi. Comunque, analizzando l'evento del 4 maggio 2019, che con una precipitazione di 30,7 mm è stato classificato come intenso, le simulazioni condotte hanno evidenziato una forte riduzione dei volumi di deflusso in tutti gli ATO e con tutti i tipi di NBS. Le percentuali di riduzione del deflusso variano in media dal 41% delle aree di bioritenzione al 26% dei tetti verdi, mentre per le pavimentazioni permeabili il valore medio è del 35%. Questi valori risentono del periodo in cui si è verificato questo evento. Infatti, anche i volumi di runoff originati senza NBS mostrano valori contenuti in molti ATO (Grafico 02.05.).

Molto interessante è l'analisi dei dati relativi all'evento estremo del 29 maggio 2018, durante il quale sono piovuti 106,8 mm in due ore. Anche in questo caso, le NBS più efficaci nel ridurre il deflusso sono i rain garden (circa 35% in media), ma un buon controllo si potrebbe ottenere anche con l'inserimento di pavimentazioni permeabili e con i tetti verdi (circa 27% e 17% in media, rispettivamente). Nel Grafico 02.06. si può notare come la riduzione del runoff con NBS sia più efficace negli ATO più urbanizzati (Centro ed Est). In particolare, in Centro Città i 98 mm di ruscellamento che si avrebbero senza NBS verrebbero dimezzati a circa 50 mm sia con i giardini pluviali che con le pavimentazioni permeabili.

L'effetto sulla riduzione dei volumi di deflusso è maggiormente visibile nel caso in cui si considerino le sole superfici urbanizzate, escludendo quindi quelle agricole (Grafici da 02.07. a 02.10. a pagina 63), già

naturalmente caratterizzate da elevata permeabilità. Le simulazioni evidenziano che tutte le percentuali salgono, con riduzioni dei deflussi che mediamente nel periodo 2014-2019 raggiungono il 45% per i rain garden, il 42% per le pavimentazioni permeabili e il 35% per i tetti vegetati. Si può notare un decremento evidente nell'ATO Nord, dove il contenimento dei deflussi potrebbe avere riflessi molto positivi sulla riduzione dei rischi di allagamento in aree ancora particolarmente vulnerabili come alcune del quartiere Arcella. In questo quartiere l'analisi dimostra che risulterebbe particolarmente efficace l'inserimento di aree di bioritenzione in tutti i siti potenzialmente migliorabili, con una riduzione di quasi il 50% dei volumi di deflusso verso le reti di drenaggio urbano. Nell'ATO Est della Zona Industriale, una forte riduzione (fino al 55%) si potrebbe ottenere anche qualora si riuscissero a inserire tetti vegetati in tutte le coperture potenzialmente migliorabili. Da sottolineare che, in questo ATO, nel caso dell'evento eccezionale del 29 maggio 2018, le pavimentazioni permeabili avrebbero potuto consentire il maggior controllo dei volumi di ruscellamento, con riduzioni fino al 62%, dato che consentirebbe di mitigare i rischi di allagamenti che frequentemente si verificano nelle zone più basse dell'area industriale.

Volendo ipotizzare una più fattibile applicazione al 30% di interventi NBS sul totale potenzialmente migliorabile, le simulazioni condotte con i-Tree Hydro hanno dato risultati molto confortanti, sia che si consideri l'intera superficie urbanizzata e agricola di ogni ATO (Grafici da 02.11. a 02.14. a pagina 64) che quella solamente urbanizzata (Grafici da 02.15. a 02.18. a pagina 65). I valori di deflusso sono mediamente di poco inferiori a quelli delle simulazioni condotte ipotizzando un'applicazione piena di interventi NBS. In particolare, nel periodo 2014-2019 i valori di riduzione del deflusso scendono rispettivamente al 31% (RG), al 20% (PP) e al 14% (GR) se si considera l'intera superficie, e al 41% (RG), 36% (PP) e 33% (GR) nel caso della sola superficie urbanizzata. Questi risultati sono una prova dell'alta capacità di infiltrazione di tutte queste infrastrutture a cui si accompagna, nel caso delle aree di bioritenzione e delle pavimentazioni permeabili, una percolazione verso gli strati più profondi

I quattro grafici in questa pagina riguardano l'ipotesi di interventi NBS sul totale potenzialmente migliorabile considerando l'intera superficie di ogni ATO (urbanizzata e agricola).

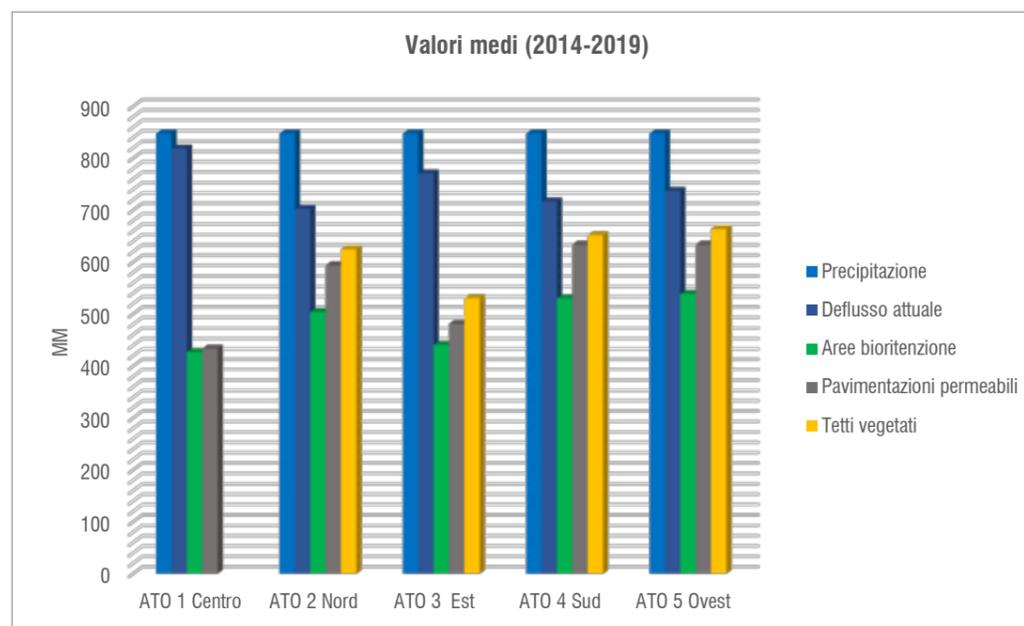


Grafico 02.03. Deflussi simulati con applicazione al 100% di NBS sull'intera superficie di ogni ATO. Valori medi (2014-2019).

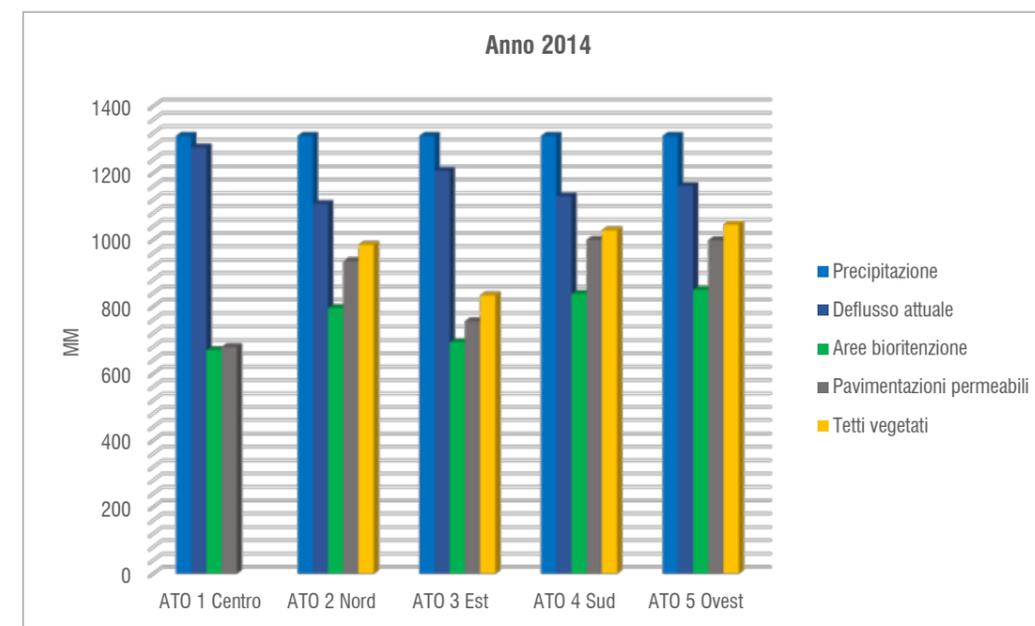


Grafico 02.04. Deflussi simulati con applicazione al 100% di NBS sull'intera superficie di ogni ATO. Anno piovoso (2014).

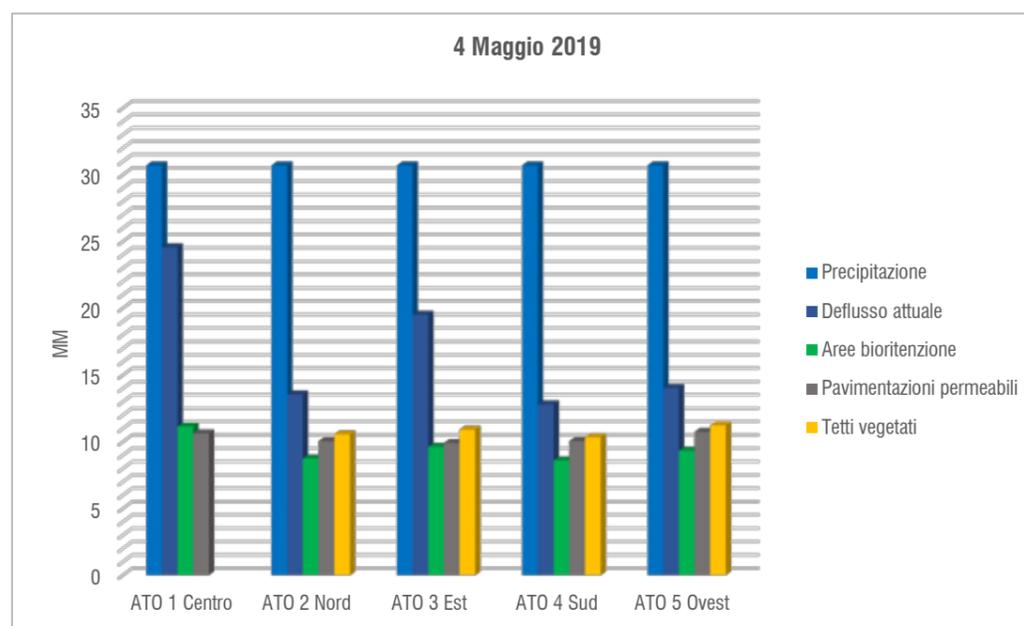


Grafico 02.05. Deflussi simulati con applicazione al 100% di NBS sull'intera superficie di ogni ATO. Evento intenso (TR <2 anni).

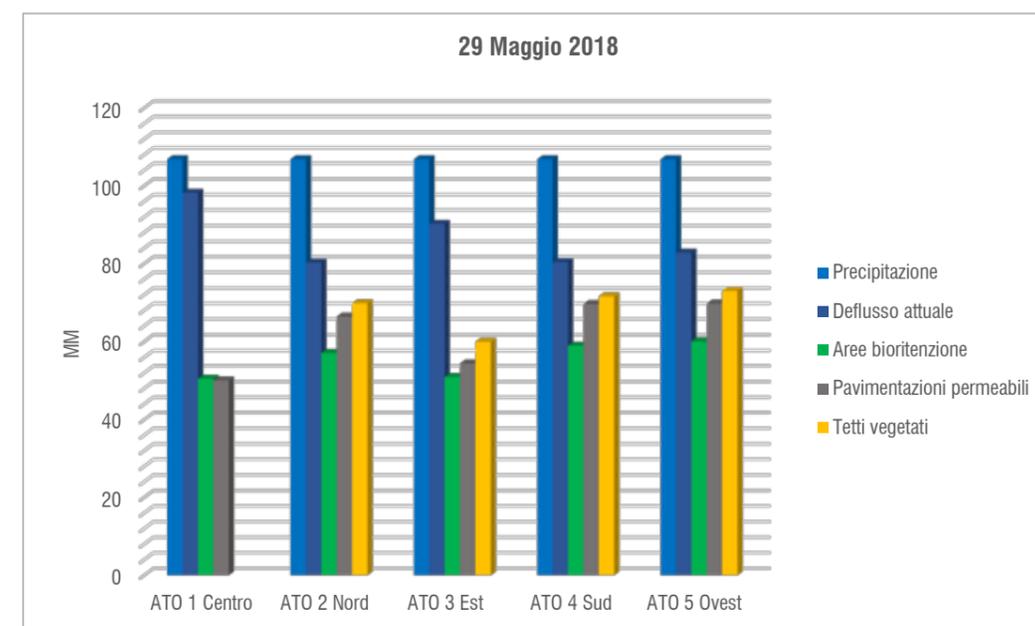


Grafico 02.06. Deflussi simulati con applicazione al 100% di NBS sull'intera superficie di ogni ATO. Evento eccezionale (TR >50 anni).

I quattro grafici in questa pagina riguardano l'ipotesi di interventi NBS sul totale potenzialmente migliorabile considerando la superficie urbanizzata di ogni ATO.

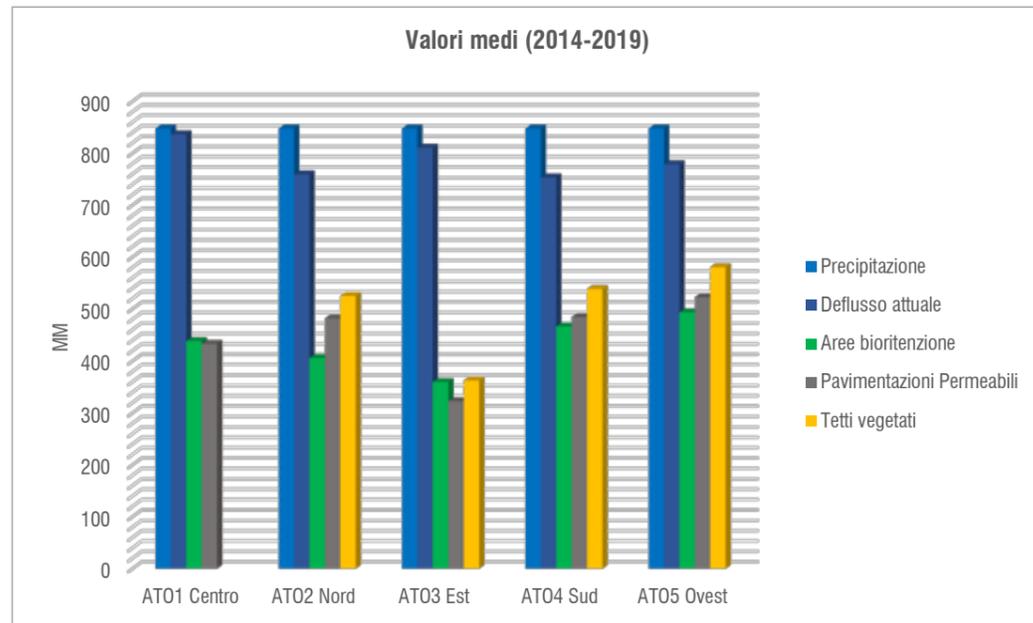


Grafico 02.07. Deflussi simulati con applicazione al 100% di NBS su superficie urbanizzata di ogni ATO. Valori medi (2014-2019).

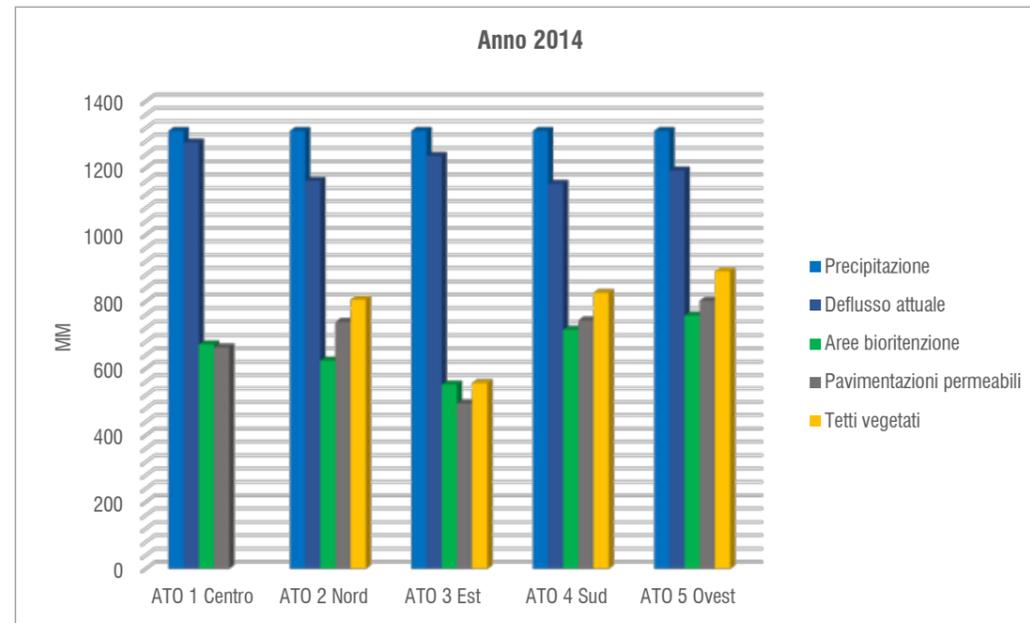


Grafico 02.08. Deflussi simulati con applicazione al 100% di NBS su superficie urbanizzata di ogni ATO. Anno piovoso (2014).

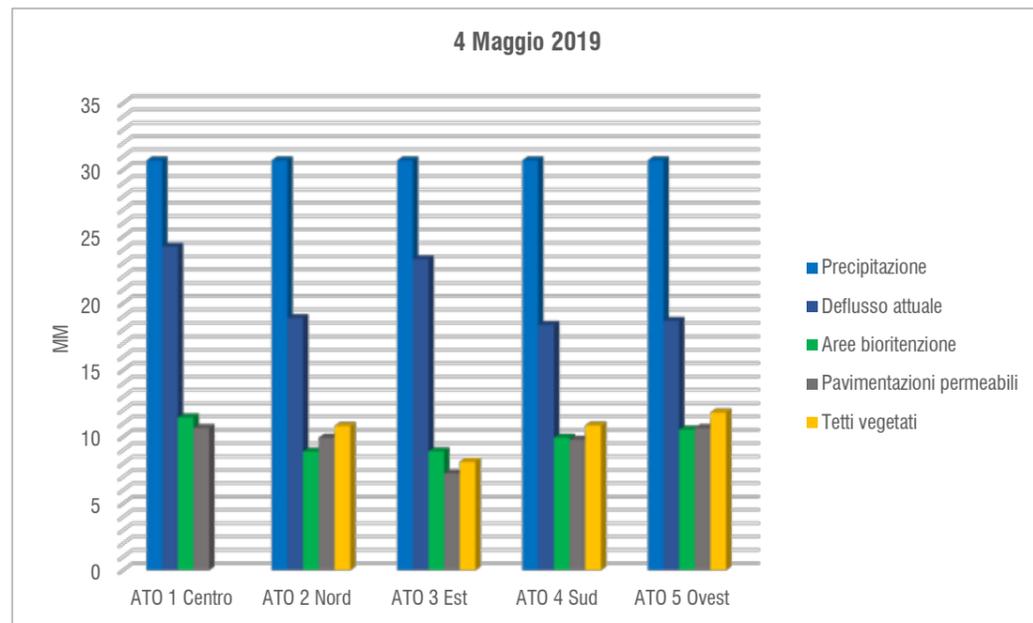


Grafico 02.09. Deflussi simulati con applicazione al 100% di NBS su superficie urbanizzata di ogni ATO. Evento intenso (TR < 2 anni).

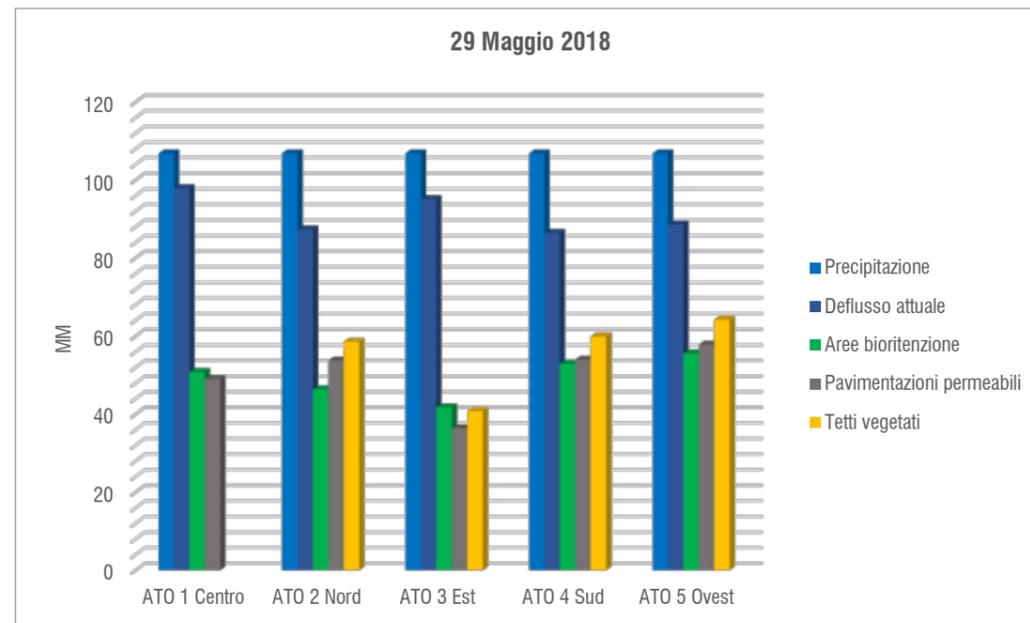


Grafico 02.10. Deflussi simulati con applicazione al 100% di NBS su superficie urbanizzata di ogni ATO. Evento eccezionale (TR > 50 anni).

e la sottostante falda freatica, se non sono presenti strati impermeabili o cementificati, ovvero un lento rilascio dai tetti vegetati attraverso i pluviali. Naturalmente, la presenza di vegetazione può contribuire ulteriormente a ridurre il deflusso, tramite l'intercettazione della pioggia che evapora direttamente nell'aria o viene rilasciata gradualmente al suolo attraverso il gocciolamento, con percentuali anche molto elevate in caso di alberi di grandi dimensioni (Yang et al., 2019).

In tutti gli scenari analizzati merita una ulteriore riflessione il comportamento dei deflussi negli eventi piovosi più intensi. Visto l'aumento riscontrato negli ultimi anni di questi fenomeni, gli effetti di una progettazione che segua le linee della città spugna può dare i risultati più tangibili proprio in occasione di questi eventi. I risultati dimostrano un ottimo contrasto ai rischi di allagamento e di sovraccarico della rete di drenaggio urbano come conseguenza di una elevata riduzione dei volumi di deflusso superficiale.

I quattro grafici in questa pagina riguardano l'ipotesi di interventi NBS sul totale potenzialmente migliorabile considerando il 30% dell'intera superficie di ogni ATO (urbanizzata e agricola).

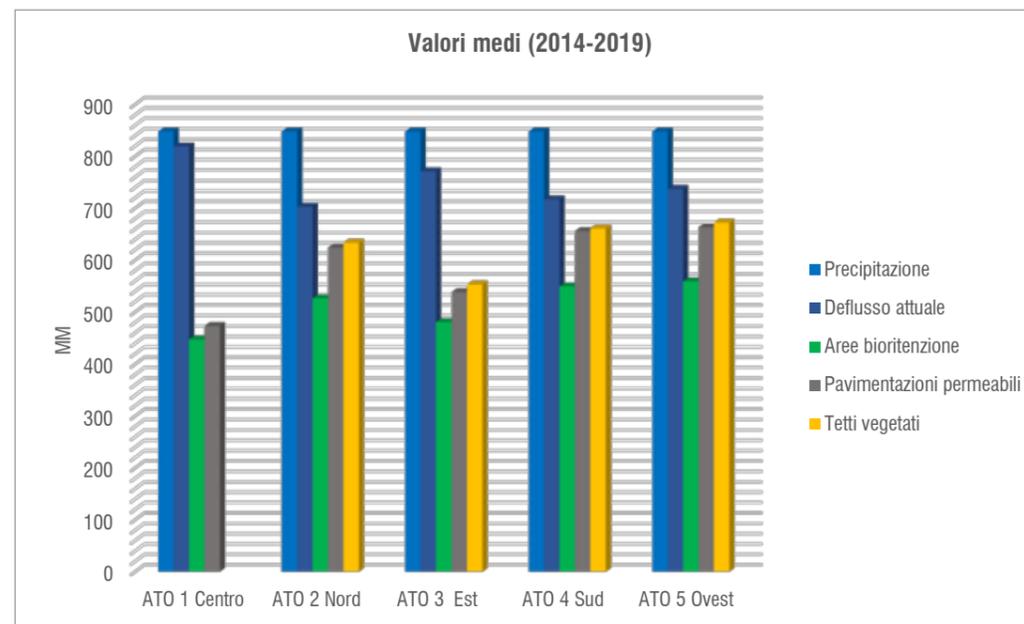


Grafico 02.11. Deflussi simulati con applicazione al 30% di NBS sull'intera superficie di ogni ATO. Valori medi (2014-2019).

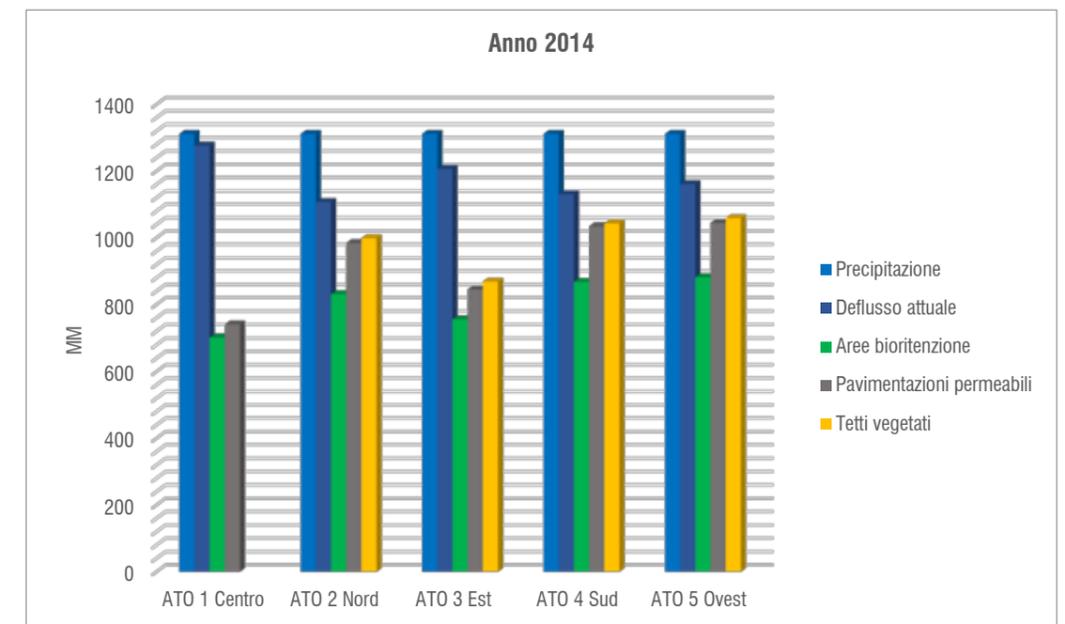


Grafico 02.12. Deflussi simulati con applicazione al 30% di NBS sull'intera superficie di ogni ATO. Anno piovoso (2014).

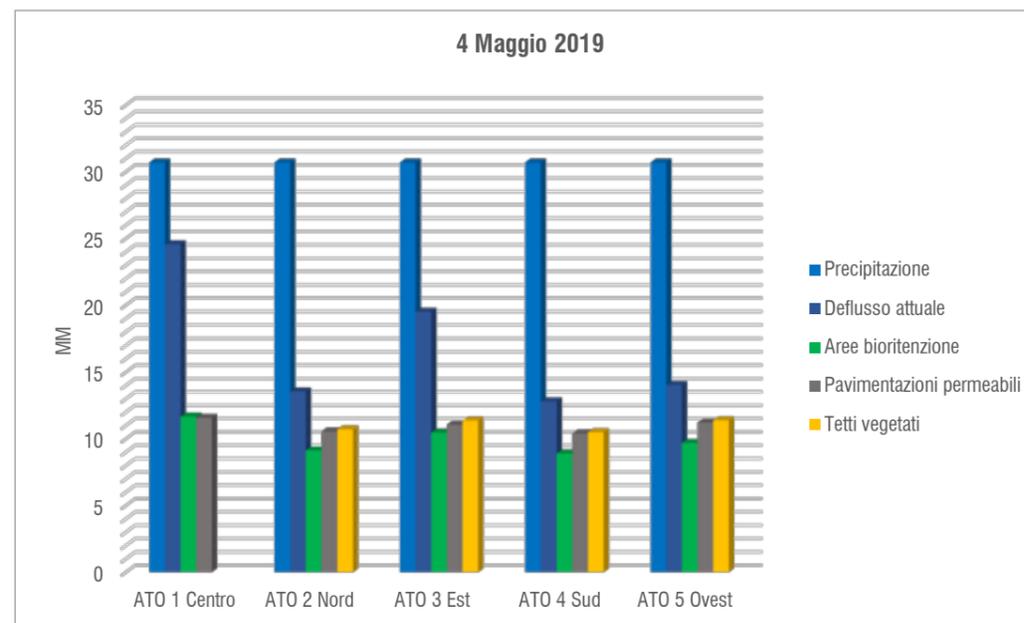


Grafico 02.13. Deflussi simulati con applicazione al 30% di NBS sull'intera superficie di ogni ATO. Evento intenso (TR < 2 anni).

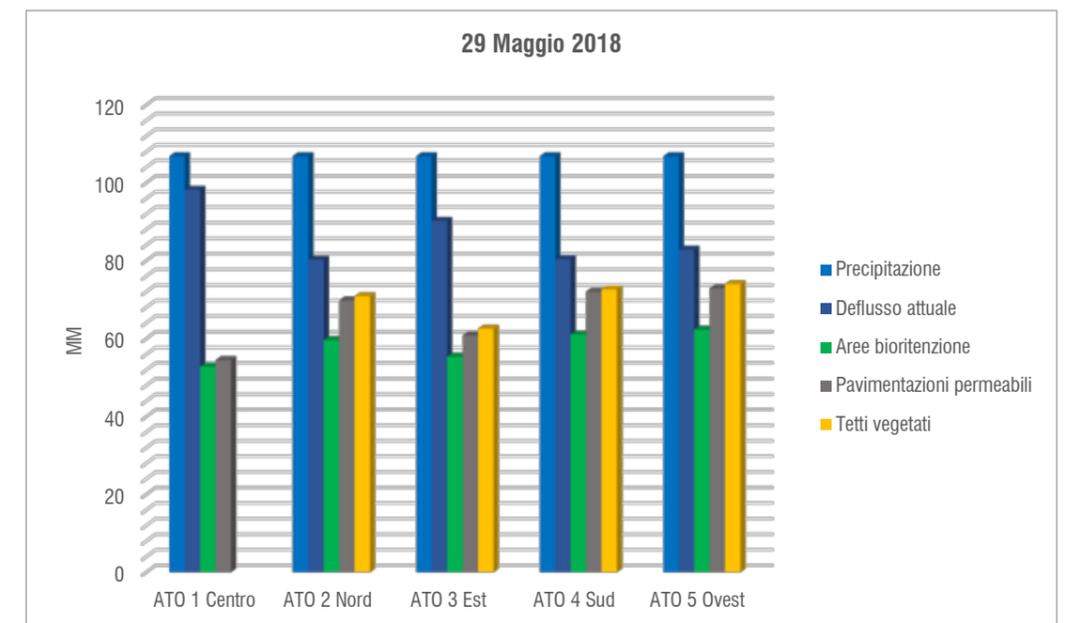


Grafico 02.14. Deflussi simulati con applicazione al 30% di NBS sull'intera superficie di ogni ATO. Evento eccezionale (TR > 50 anni).

## CONCLUSIONI

I quattro grafici in questa pagina riguardano l'ipotesi di interventi NBS sul totale potenzialmente migliorabile considerando il 30% della superficie urbanizzata di ogni ATO.

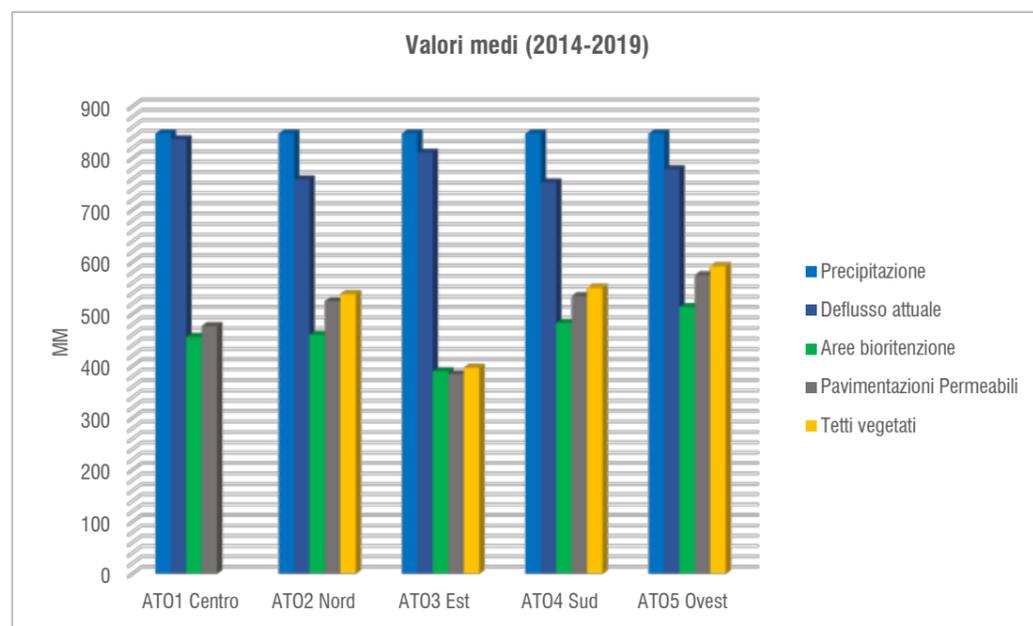


Grafico 02.15. Deflussi simulati con applicazione al 30% di NBS su superficie urbanizzata di ogni ATO. Valori medi (2014-2019).

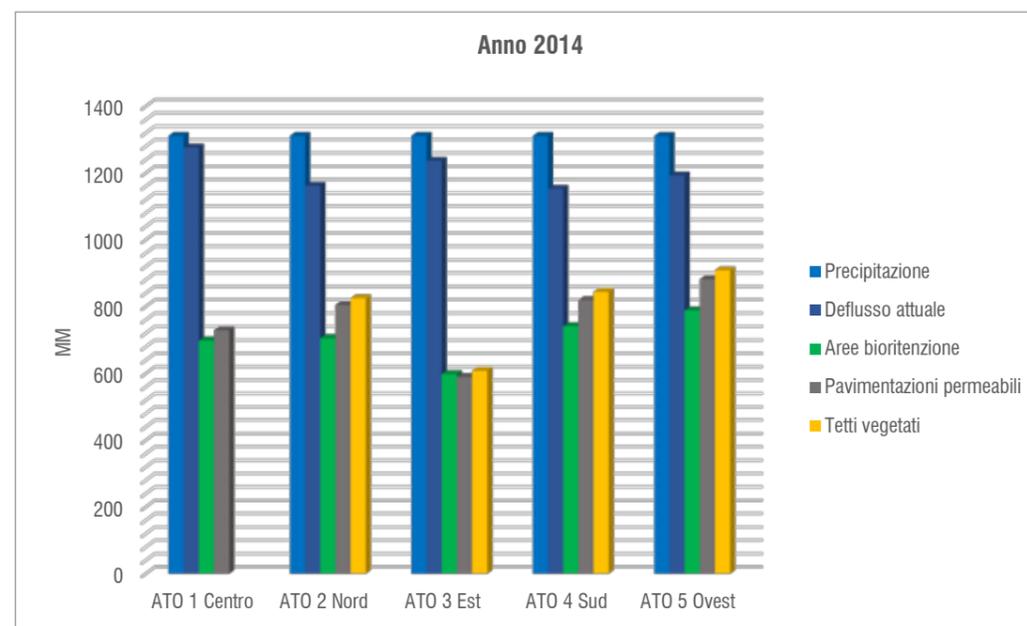


Grafico 02.16. Deflussi simulati con applicazione al 30% di NBS su superficie urbanizzata di ogni ATO. Anno piovoso (2014).

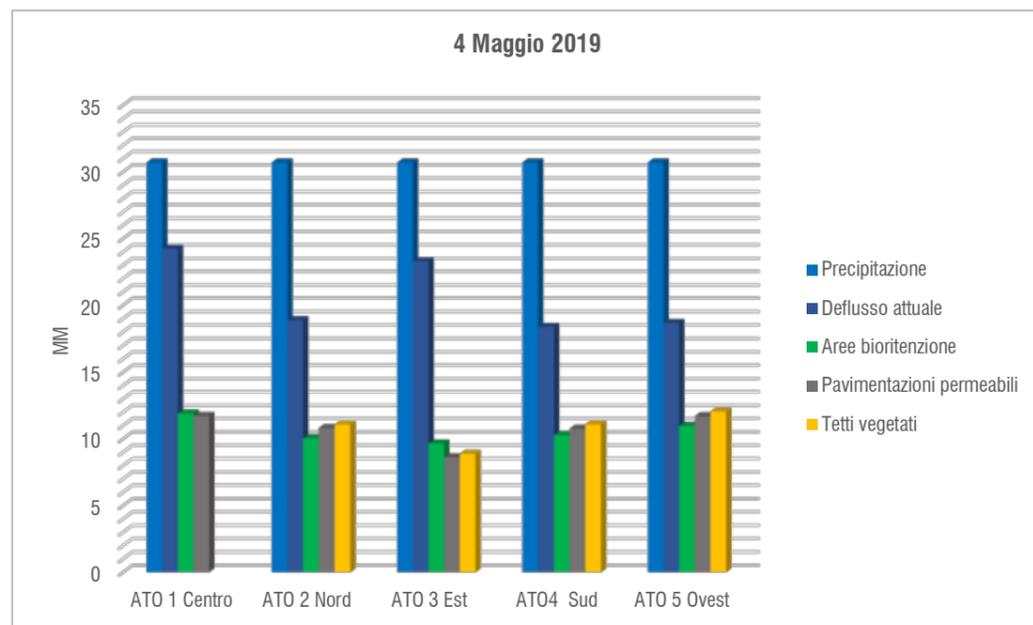


Grafico 02.17. Deflussi simulati con applicazione al 30% di NBS su superficie urbanizzata di ogni ATO. Evento intenso (TR < 2 anni).

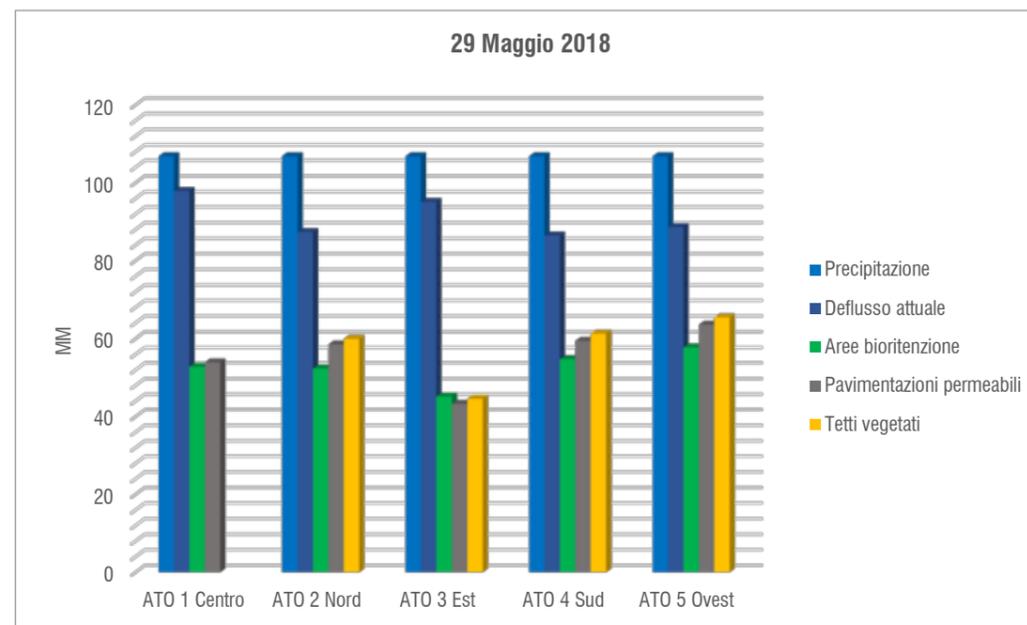


Grafico 02.18. Deflussi simulati con applicazione al 30% di NBS su superficie urbanizzata di ogni ATO. Evento eccezionale (TR > 50 anni).

L'analisi dimostra gli effetti positivi sulla gestione dei deflussi di pioggia dell'applicazione degli interventi NBS, più accentuati nelle zone a più alto grado di urbanizzazione. Alla diminuzione dei volumi di deflussi si accompagnano minori apporti alla rete di drenaggio urbana con una riduzione dei rischi di sovraccarico. Vengono così a ridursi gli allagamenti legati a rigurgiti dalle caditoie poste negli impluvi di strade, parcheggi e piazzali. Comunque la realizzazione diffusa sul territorio di tali infrastrutture può produrre risvolti positivi in tutte le aree a maggior rischio, comprese quelle a più bassa elevazione.

Il grande pregio di una città spugna è che le soluzioni sono generalmente di facile realizzazione e non richiedono grandi investimenti, ma per conservarne la piena funzionalità la manutenzione dovrà essere attenta e continua.

Le pavimentazioni permeabili, pur dimostrando una elevata efficacia nell'infiltrazione dei deflussi, dovrebbero possibilmente essere accompagnate dalla presenza di vegetazione al fine di massimizzare le valenze ambientali, estetiche e ricreative di una progettazione NBS all'interno degli spazi cittadini.

