

Maria Antonia Barucco¹, <https://orcid.org/0000-0002-5018-1386>

Marta Possiedi¹, <https://orcid.org/0000-0002-0474-3237>

Fausto Barbolini², <https://orcid.org/0000-0002-8642-7763>

Federica Crosato¹, <https://orcid.org/0009-0004-9719-9921>

¹ Dipartimento di Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia, Italia

² Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Italia

barucco@iuav.it

mpossiedi@iuav.it

fausto.barbolini@unibo.it

fcrosato1@iuav.it

Abstract. La lotta ai cambiamenti climatici è una priorità. Le normative definiscono vincoli e limitazioni e la sensibilità diffusa svolge un'azione importante nello sviluppo di progetti via via più attenti alla relazione tra costruito e ambiente. Le trasformazioni del territorio sono sia causa che effetto di questi cambiamenti e sono direttamente legate all'aumento del rischio idrogeologico di alcune aree. D'altro canto, l'evoluzione delle tecnologie e l'innovazione legata all'implementazione di sistemi intelligenti consentono lo sviluppo di nuove soluzioni. Lo studio di sistemi a verde pensile innovativi e lo sviluppo di strategie progettuali fondate sulla metodologia BIM attestano migliorie nella gestione dell'acqua meteorica e nella mitigazione degli eventi climatici estremi.

Parole chiave: *Blue green roof*; BIM; Gestione acqua piovana; Invarianza idraulica; Campi prova.

Introduzione

L'urgenza di rivedere i criteri di progettazione e gestione del costruito nella loro interazione con l'ambiente è amplificata dagli effetti critici connessi al cambiamento climatico: emblematici sono i danni dovuti alle bombe d'acqua e alla siccità. Per fare questo è necessario ricorrere a modelli dinamici per la progettazione.

L'uso del suolo per la realizzazione di strutture urbane corrisponde generalmente alla sua impermeabilizzazione¹ e il suolo naturale è un bene di estrema complessità: processi fisici, chimici e biologici agiscono nel corso del tempo e definiscono strutture fondamentali per gli ecosistemi. Un suolo di qualità è in grado di assicurare funzioni ecologiche, economiche e sociali: la posizione definita dall'UE nel 2011 prevede che entro il 2050 si riesca a registrare un consumo di suolo pari a zero.

Hanging green, digital technologies and stormwater management

Abstract. Addressing climate change is a critical priority. Regulatory frameworks establish constraints and limitations, while growing societal awareness significantly influences the evolution of projects that prioritise the interaction between natural and built environments. Land use changes cause these dynamics and result from them, often contributing to increased hydrogeological risks in specific regions. Moreover, advancements in technology and the emergence of intelligent systems enable the creation of innovative solutions. Research on cutting-edge green roof systems and the integration of design strategies using Building Information Modelling (BIM) methodologies demonstrate measurable progress in stormwater management and the mitigation of extreme weather events.

Keywords: Blue green roof; Dynamic model; Stormwater management; Hydraulic invariance; Test fields.

L'azzeramento del consumo di suolo netto significa evitare l'impermeabilizzazione di aree agricole e di aree aperte anche in ambito urbano e, per compensare, è necessario operare la rinaturalizzazione di un'area di estensione uguale o superiore che possa fornire i servizi ecosistemici dei suoli naturali. Anche il recente regolamento per ripristinare gli ecosistemi degradati converge su questi temi (Consiglio UE, 2023).

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2021) misura il territorio secondo tre scenari di rischi individuando aree allagabili a seguito di eventi con tempi di ritorno compresi fra 20 e 50 anni (alto rischio), fra 100 e 200 anni (medio rischio) e superiori a 200 anni (basso rischio). Solo in Veneto nelle zone ad alto rischio risiedono 422.659 persone, insistono 96.241 edifici e operano 41.112 industrie. In questo contesto il progetto di ricerca² Blue Green Roof (BGR) finanziato dalla Regione Veneto ha testato una tecnologia innovativa di verde pensile (Fig. 1).

Il BGR raccoglie le piogge, limita gli effetti negativi delle bombe d'acqua e consente di gestire le risorse idriche accumulate tramite tecnologie IoT. Per raggiungere questi traguardi e calibrare le prestazioni del sistema tecnologico sono stati installati sei prototipi di verde pensile³ su un edificio a San Donà di Piave (VE); ogni campo misura 20 m² e l'insieme dei campi prova consente di raccogliere e analizzare circa 5000 dati al giorno⁴ che vengono rilevati tramite sonde e sensori al fine di registrare i comportamenti dei prototipi e i dati meteo (Possiedi, 2022). I

Introduction

The critical effects of climate change, such as severe damage caused by extreme rainfall events and droughts, underscore the urgency of revising the design and management criteria of the built environment in its interaction with the natural environment. This requires the implementation of adaptive models in the design process.

Urban development often leads to the sealing of land, replacing natural soils with impermeable surfaces¹. However, natural soil is a highly complex and valuable resource, shaped over time by physical, chemical, and biological processes that form the foundation of ecosystems. High quality soil plays a vital role in supporting ecological, economic, and social functions. Acknowledging its critical value, the European Union set a target in 2011 to attain zero net soil consumption by 2050.

This objective involves preventing the sealing of agricultural and open areas, including within urban settings, and compensating for land consumption by re-naturalising areas of equal or greater size that can restore the ecosystem services provided by natural soils. Recent regulations, such as the 2023 EU Council directive on restoring degraded ecosystems, align closely with these objectives, emphasising the critical need for sustainable land use practices and ecological restoration.

The Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2021) evaluates flood risk across three scenarios, identifying areas subject to inundation based on events with return periods of 20–50 years (high risk), 100–200 years (medium risk), and over 200 years (low risk). In the Veneto region alone, 422,659 residents live in high risk zones, where 96,241 buildings



dati vengono raccolti a partire dalla primavera 2020 e la loro successione consente di sviluppare analisi sul lungo periodo, progressive miglorie e potenziali sviluppi della ricerca. Le analisi dei big data attestano che:

1. drenaggio e laminazione dovuti al sistema BGR sono efficaci anche per eventi piovosi molto intensi, come confermano le controverifiche del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale;
2. il funzionamento dei BGR è sperimentalmente scalabile attraverso un modello informatizzato BIM: gli effetti di laminazione e deflusso delle acque piovane possono quindi essere messi a confronto con le normative vigenti e definire un metodo innovativo di monitoraggio dei dati.

Gestione dell'acqua piovana

L'acqua è una risorsa preziosa, scarsa o abbondante a seconda del periodo dell'anno e delle variabili che qualificano il contesto. Negli ultimi decenni il Nord Italia ha sperimentato un cambiamento nei modelli di precipitazione: gli studi (IPCC, 2014) indicano un aumento della variabilità delle piogge con periodi di siccità più prolungati alternati a eventi di pioggia intensa. Inoltre, i modelli climatici (ISPRA, 2019) mostrano un incremento delle temperature medie annue e del ciclo idrologico a causa del riscaldamento globale. La captazione dell'acqua piovana e il suo uso sono quindi elementi fondamentali nella progettazione e gestione dei contesti urbanizzati, e tale possibilità risulta tanto più importante in considerazione delle politiche volte alla riduzione dei suoli impermeabili e alla rinaturalizzazione (World Bank, 2021). In riferimento al principio di invarianza idraulica ogni costru-

zione non deve aumentare il deflusso delle acque meteoriche rispetto alla situazione preesistente: l'equilibrio viene ottenuto attraverso misure di compensazione di varia natura che in Veneto sono regolamentate dal DGR 2948/2009 e dalla LR 11/2004 e che possono essere così riassunte:

- sistemi di drenaggio per trattenere e infiltrare l'acqua piovana localmente (trincee, bacini di laminazione, tetti verdi, pavimentazioni permeabili);
- bacini di accumulo (vasche o serbatoi) per la raccolta delle acque meteoriche che vengono rilasciate lentamente nel sistema di drenaggio o che vengono utilizzate per scopi non potabili;
- opere di manutenzione delle infrastrutture per prevenire problemi di allagamento o sovraccarico del sistema idraulico.

In un centro cittadino densamente urbanizzato o in un'area industriale, l'acqua che non è assorbita dal suolo varia tra il 70 e il 90% del totale e solo il 30% (nella migliore delle ipotesi) riesce a fluire nel sottosuolo. In un territorio agricolo la percentuale

are located, and 41,112 industries operate. The research project Blue Green Roof (BGR), funded by the Veneto Region², tested an innovative green roof technology in this context (Fig. 1). The Blue Green Roof (BGR) system collects rainfall, mitigates the adverse effects of extreme rainfall events, and facilitates the management of stored water resources using IoT technologies. To achieve these goals and fine-tune the system's performance, six green roof prototypes³ have been installed on a building in San Donà di Piave (VE). Each test field is 20 m² in size, enabling the collection and analysis of about 5,000 data points per day⁴. These data are gathered through sensors to monitor the prototypes' performance alongside meteorological conditions (Possiedi, 2022). Since spring 2020, continuous data collection has established a solid foundation

for conducting long-term analyses, refining system performance, and exploring new research opportunities. Big data analysis provided the following results:

1. The BGR system has demonstrated effective drainage and water lamination capabilities, even during intense rainfall events, as validated by the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale;
2. The function of BGR systems is experimentally scalable using a computerised BIM model, enabling the simulation of lamination effects and stormwater runoff. This approach allows for comparisons with current regulations and facilitates the development of an innovative data monitoring method.

Rainwater management

Water is a vital resource, whose availability fluctuates depending on the

season and the specific conditions of the surrounding environment. In recent decades, Northern Italy has witnessed significant changes in precipitation patterns. Studies (IPCC, 2014) highlight increasing rainfall variability, characterised by extended drought periods interspersed with intense rainfall events. Furthermore, climate models (ISPRA, 2019) project rising average annual temperatures and intensified hydrological cycles due to global warming. Given these changes, rainwater capture and utilisation are critical components in the design and management of urbanised areas. This approach aligns with policies advocating for the reduction of impervious surfaces and promoting renaturalisation efforts (World Bank, 2021). In line with the principle of hydraulic invariance, new developments must

ensure that stormwater runoff does not exceed previously existing conditions. Achieving this balance involves the implementation of several compensatory measures, which in Veneto are regulated by DGR 2948/2009 and LR 11/2004. These measures can be summarised as follows:

- Local drainage systems designed to retain and infiltrate rainwater, such as trenches, lamination basins, green roofs, and permeable pavements;
- Storage basins (e.g. tanks or reservoirs) for stormwater collection, enabling its gradual release into the drainage network or repurposing it for non-potable uses;
- Infrastructure maintenance interventions to mitigate flooding risks and prevent overloading the hydraulic system.

In densely urbanised city centres or in-

non assorbita varia tra il 30 e il 50%, mentre nei territori naturali (foreste, praterie) è contenuta entro il 20% dell'apporto meteorico⁵. Il confronto tra suolo densamente urbanizzato e territorio naturale sancisce un divario molto ampio.

La quantità di acqua che il verde pensile può trattenere varia in base a diversi fattori: alcuni sono più o meno facilmente gestibili con lo sviluppo della stratigrafia tecnica, altri sono variabili di progetto definite dal contesto, come ad esempio il tipo di precipitazione e il clima. Gli standard ISO forniscono delle linee guida generali per la determinazione del coefficiente di deflusso dei tetti verdi: la ISO 13578:2016 e la UNI 11235:2015 definiscono i metodi per calcolare e stimare le prestazioni dello strato colturale impiegato. I test per effettuare queste stime avvengono per pendenze di progetto definite e simulando in laboratorio piogge di 108 mm di acqua in un'ora⁶. Questo test determina il coefficiente di deflusso di uno strato colturale che può attestarsi a 0,6 (per spessori da 8 cm, altezza caratteristica dei tetti verdi estensivi) e che corrisponde ad una capacità di trattenere il 40% dell'acqua piovana; nel caso di spessori medi di 15 cm (altezza caratteristica dei tetti verdi intensivi) il deflusso può attestarsi a 0,35 e nel caso di spessori superiori a 50 cm, questo valore viene considerato pari a 0,1⁷.

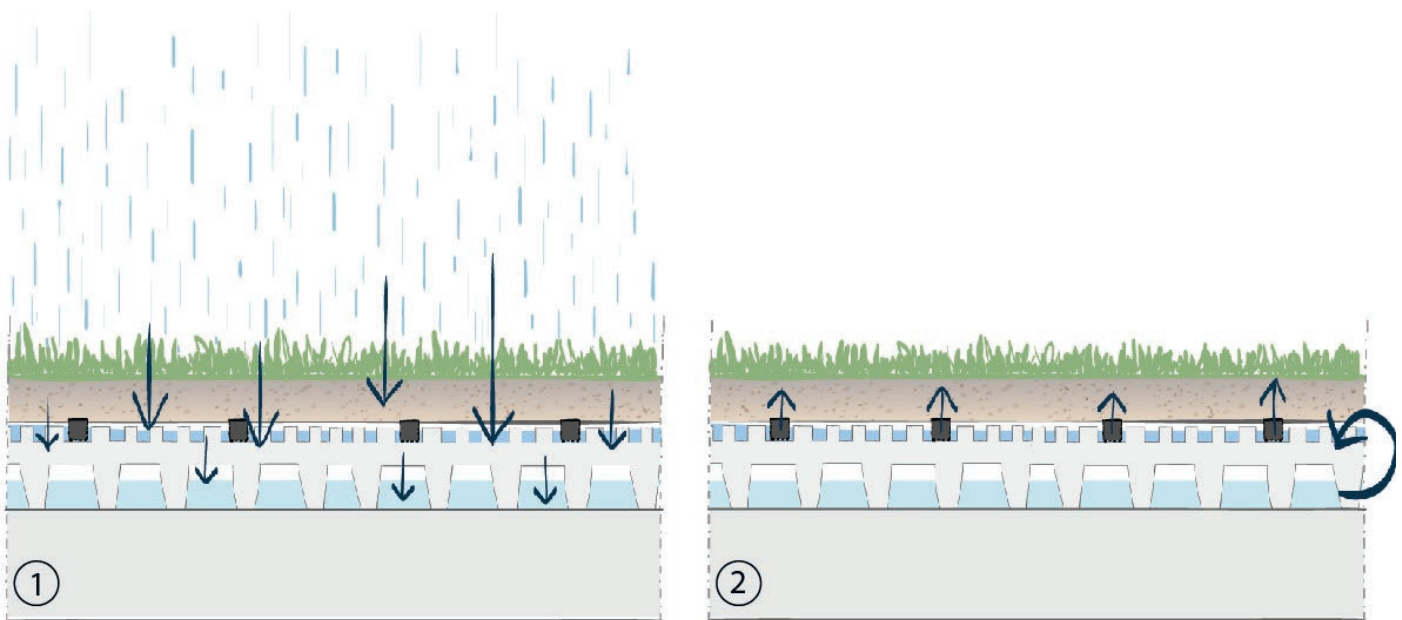
Ma il coefficiente di deflusso dello strato di coltura è un dato valido finché questo strato non raggiunge la saturazione. Le tabelle riportate nella UNI:11235 sono chiare nel descrivere come il terreno di coltura trattenga tanta più acqua quanto più è spesso: aumenta il vantaggio registrato dal coefficiente di deflusso, ma non solo (e non soprattutto) per le caratteristiche specifiche

del substrato. Osservando solo il terreno di coltura si è portati a considerare questo come uno spazio che, al netto del terriccio, può essere occupato dall'acqua: aumentando la quantità di substrato si può certamente ridurre il coefficiente di deflusso di un sistema a verde pensile, ma il substrato è e resta incapace di gestire l'acqua.

Il sistema BGR è invece progettato per raccogliere e gestire grandi quantità di acqua durante eventi piovosi intensi. Il substrato ha funzioni specifiche e calibrate sulla salute del manto erboso, ma non può essere progettato per incidere sul coefficiente di deflusso: nel BGR sono gli strati sottostanti al substrato a gestire il coefficiente di deflusso, azzerandolo. Tale capacità di accumulo è virtuosa anche perché è posta in relazione ad un'innovativa modalità di irrigazione⁸ che supporta la vegetazione riducendo i consumi idrici e lo stress termico nei periodi siccitosi e caldi. Se l'acqua è un bene prezioso, essa non deve essere sprecata nemmeno per l'irrigazione dei manti verdi: nel caso del BGR non vi è spreco perché è possibile progettare e realizzare stratigrafie con accumuli sufficienti a gestire il 100% dei fabbisogni del verde pensile e il 100% delle piogge su base annua (Fig. 2).

Per consentire al BGR di operare in questo modo, sono fondamentali i dati rilevati e gestiti durante la fase d'uso: la progettazione viene sviluppata preferibilmente con metodologie BIM⁹ e una centralina IoT elabora dati e informazioni nell'arco di vita utile del manufatto in modo che sia possibile una gestione dinamica dell'infrastruttura tecnologica. Il sistema BGR raccoglie l'acqua piovana nel bacino di accumulo e, prima dell'arrivo di piogge abbondanti, il bacino di accumulo viene svuotato per

02 |



accogliere l'acqua in arrivo; in questo modo le superfici di captazione non scaricano acqua nella rete fognaria nei periodi di carico eccessivo. L'acqua piovana raccolta viene utilizzata anche per l'irrigazione e, quando i sensori rilevano un livello di umidità sufficiente, l'irrigazione viene posticipata o ridotta. Il sistema BGR è quindi a tutti gli effetti una stratigrafia tecnologica dinamica che richiede un modello progettuale avanzato, in grado di valorizzare i big data con i quali opera il sistema.

La quantità di dati raccolti ha permesso la definizione di un "contenitore digitale" di informazioni utili per la gestione sostenibile dell'acqua piovana. A tal fine è stato costruito un modello informativo BIM, luogo di sperimentazione progettuale del principio dell'invarianza idraulica, strumentale per la definizione di scenari più ampi a scala urbana (Fig. 3).

In parallelo allo sviluppo del modello, la rilevazione dei dati è ancora in corso e viene sottoposta periodicamente al vaglio del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale: il modello e le rilevazioni sul campo saranno la base per lo sviluppo di linee guida utili alla gestione dell'acqua piovana, anche come alternativa o integrazione all'utilizzo delle più tradizionali vasche di laminazione.

Dati sperimentali: campo-prova BGR e rilevamenti

Durante la ricerca è stato analizzato il comportamento degli elementi tecnici costituenti varie stratigrafie di verde pensile in condizioni reali. In particolare, l'evento piovoso del 16 maggio 2024 (ARPAV, 2024) è stato monitorato attraverso i dati rilevati da un campo prova BGR di tipo intensivo¹⁰ gestito con sistema IoT che prevede:

- sensori di umidità e temperatura;
- sensore di livello;

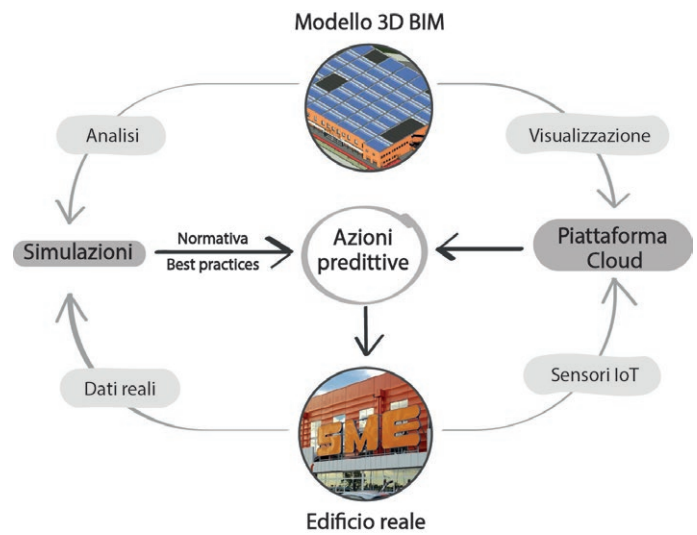
dustrial zones, 70 to 90 percent of rainfall fails to infiltrate the soil, leaving only 10 to 30 percent (at best) able to percolate into the ground. Conversely, in agricultural areas, the proportion of unabsorbed water ranges between 30 and 50 percent, while in natural areas such as forests or grasslands, it remains below 20 percent of total rainfall⁵. This stark comparison highlights the substantial disparity in water absorption between urbanised and natural landscapes.

The water retention capacity of green roofs depends on multiple factors, including both technical and contextual variables. Technical aspects, such as the design of the stratigraphy, can be optimised, while others, like precipitation patterns and local climate, are inherent to the project context. International standards, including ISO 13578:2016 and UNI 11235:2015,

offer guidelines for determining the runoff coefficient of green roofs. These standards outline methods to calculate and predict the performance of the vegetative layer.

Performance testing involves controlled experiments using defined slopes and simulated rainfall of 108 mm per hour in laboratory settings⁶. These tests calculate the runoff coefficient, which varies by the substrate thickness of the green roof. For example:

- Extensive green roofs (8 cm substrate thickness) have a runoff coefficient of 0.6, corresponding to a retention capacity of 40 percent.
- Intensive green roofs (15 cm substrate thickness) achieve a runoff coefficient of 0.35, retaining up to 65 percent of rainfall.
- For substrates exceeding 50 cm, the coefficient drops to 0.1⁷, reflecting a 90 percent retention capacity.



- scarico gestibile da remoto (per poter rilasciare l'accumulo idrico a comando);
 - troppo pieno;
 - contaltri sullo scarico del troppo pieno;
 - sistema di irrigazione¹¹ alimentato con l'acqua di accumulo.
- Durante la giornata si sono abbattute diverse piogge, a intensità variabile e della durata di una o più ore con cadute a più riprese. Nello specifico, i dati rilevati dal pluviometro *in situ*¹² hanno evidenziato accumuli piovosi di:
- 45 mm dalle 02:00 alle 05:00;
 - 1 mm dalle 05:00 alle 9:20;
 - 19 mm dalle 09:25 alle 12:10;
 - 15 mm dalle 15:55 alle 17:50;
 - 30 mm dalle 19:50 alle 22:35.

Il sensore di livello ha rilevato l'innalzamento del livello di acqua all'interno del bacino, sotto la stratigrafia del verde pensile, mettendo in rilievo due aspetti fondamentali legati al deflusso del pacchetto BGR e alla possibilità che esso possa fungere da vasca di laminazione¹³.

These metrics illustrate the effectiveness of green roofs in mitigating urban runoff and managing stormwater.

The run-off coefficient of the culture layer is useful until this layer reaches saturation. The tables in UNI:11235 clearly describe that a thicker growing medium retains more water. As the thickness of the growing medium increases, the advantage recorded by the runoff coefficient increases, but this is not only (and not mainly) due to the specific characteristics of the substrate. The growing medium can almost be considered a space that, net of topsoil, can be occupied by water. Indeed, increasing the amount of growing medium can certainly reduce the runoff coefficient of a green roof system, but the substrate is and remains incapable of handling water.

On the other hand, the BGR system is specifically designed to collect and

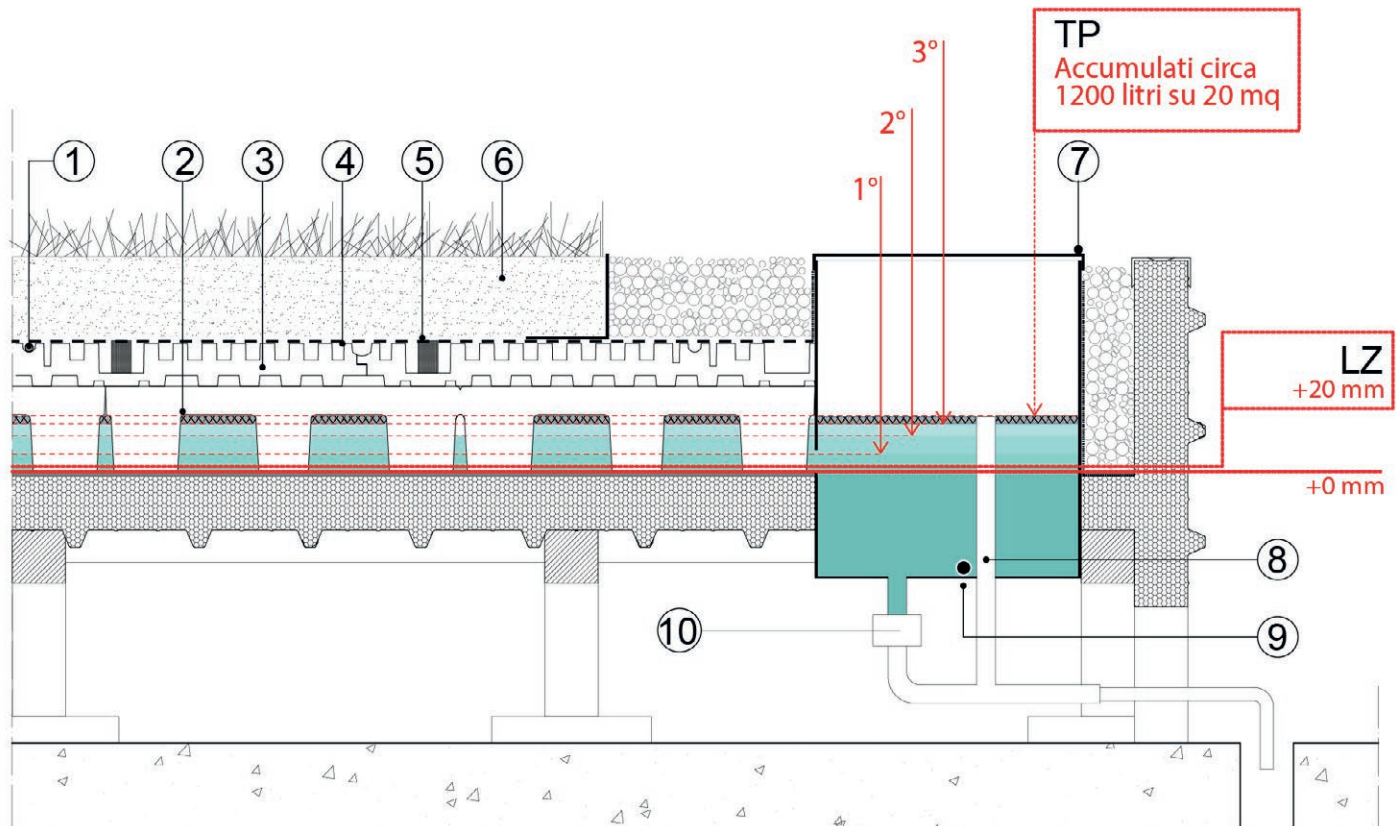
manage significant volumes of water during intense rainfall events. Although the substrate is designed to support the health of vegetation, it does not play a role in regulating the runoff coefficient. In the BGR system, this role is fulfilled by the layers beneath the substrate, which are engineered to reduce the runoff coefficient to zero. This storage capacity is also virtuous because it is related to an innovative irrigation method⁸ that supports the vegetation by reducing water consumption and heat stress in dry and hot periods.

Since water is a valuable resource, its use must be optimised, even for green roof irrigation. In the case of the BGR system, there is no waste. In fact, the stratigraphy can be designed and implemented to provide sufficient storage capacity to meet 100% of the water needs for vegetation, and to handle

04 | Sezione rappresentativa di un BGR e del sistema di gestione del troppo pieno: vi sono riportati i livelli di acqua registrati durante l'evento del 16 maggio 2024. Elaborazione grafica di Author. 01 - impianto di irrigazione DAKU Irriga®, 02- pannello DAKU HYPERDRAIN, 03- strato di accumulo e drenaggio DAKU FSD IRRIGA, 04- strato di filtro STABILFILTER, 05- camino capillare, 06-strato di coltura, 07-strato vegetale, 08-pozzetto di ispezione, 09- tubo del troppo-pieno, 10- sensore di livello, 11- scarico azionato con sistema IoT, LZ - livello "zero" da cui è iniziato il conteggio dei litri accumulati durante l'evento, TP- "troppo pieno", 1°/2°/3°- tre scaglioni di aumento del livello in relazione ai tre scrosci

A BGR and its overflow management system: it shows the water levels recorded during the event on 16 May 2024. Graphic elaboration by Author. 01- DAKU Irriga® irrigation system, 02- DAKU HYPERDRAIN panel, 03- DAKU FSD IRRIGA accumulation and drainage layer, 04- STABILFILTER filter layer, 05- capillary chimney, 06- culture layer, 07- vegetation layer, 08- inspection pit, 09- overflow pipe, 10- level sensor, 11- drain driven with IoT system, LZ- 'zero' level from which the counting of litres accumulated during the event began, TP- 'overflow', 1°/2°/3°- three steps of level increase in relation to the three downpours

04 |



Limitando l'analisi alle 18 ore comprese tra le 02:00 e le 20:00, si sono verificati tre scrosci per un totale di 81 mm di pioggia caduta e si osserva che il sensore all'interno del bacino ha ripor-

tato un aumento del livello di 70 mm che, ragguagliati alla superficie captante di 20 m² del campo prova, corrispondono a 60 mm di pioggia raccolta (pari a 1200 litri) (Fig. 4). Tali dati sono

100% of annual rainfall (Fig. 2). Effective operation of the BGR system depends on data collection and management during its operational phase. The design process is ideally carried out using BIM⁹ methodologies, with an IoT control unit analysing data throughout the building's lifecycle to enable adaptive and dynamic management of the technological infrastructure. The system collects rainwater in a storage basin, which is emptied in advance before heavy rainfall to provide adequate space to collect the water. This forward-thinking strategy ensures that catchment surfaces do not release excess water into the sewer system during peak load periods. Furthermore, the stored rainwater is used for irrigation, with sensors tracking soil moisture levels to either optimise or delay irrigation, as necessary. The BGR system thus operates as a fully

dynamic technological stratigraphy, requiring an advanced design framework that leverages big data to optimise its function. The amount of data collected led to the definition of a 'digital container' of information that is useful for sustainable rainwater management. An information model based on BIM methodology was created to achieve this. In the BIM model, the principle of hydraulic invariance has been tested in a project-oriented manner. This is a tool and method for defining broader scenarios on an urban scale (Fig. 3). While the development of the model proceeds, data collection is still in progress and is periodically submitted to the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale for review. The BIM model and the test field surveys will be the basis for the development of useful guidelines for rainwater management. They

may be an alternative or supplement to the lamination basins that are usually constructed.

Experimental data: BGR test field and measurements

The research analysed the behaviour of technical components in various green roof stratigraphies under operational conditions. Specific focus was placed on the rainfall event that occurred on 16 May 2024 (ARPAV, 2024), monitored using data collected from a BGR intensive¹⁰ test field equipped with an IoT-based management system, which included:

- Moisture and temperature sensors;
- Level sensor;
- Remotely controlled drainage system (to release stored water on demand);
- Overflow mechanism;
- Flow meter on the overflow dis-

charge;

- Irrigation system¹¹ fed with stored rainwater.

Several rainfall events of varying intensity took place throughout the day, lasting from one to several hours with occasional breaks in between. Data collected from the on-site¹² rain gauge revealed the following precipitation levels:

- 45 mm from 02:00 am to 05:00 am;
- 1 mm from 05:00 am to 09:20 am;
- 19 mm from 09:25 am to 12:10 pm;
- 15 mm from 03:55 pm to 05:50 pm;
- 30 mm from 07:50 pm to 10:35 pm.

The level sensor monitored the rising water level within the basin located beneath the green roof stratigraphy. This demonstrates how the BGR system effectively manages rainwater runoff by acting as a lamination basin¹³. Three downpours occurred during the 18-hour period between 02:00 am and

confermati dal Consorzio di Bonifica Veneto Orientale e, assumendo come periodo di osservazione una finestra temporale che antecede di 3 ore la fine dell'evento, si può desumere che il rapporto tra il volume d'acqua piovuto e quello che sarebbe andato in scarico sia pari nel suo complesso a 60/81 e cioè 0,74. Osservando i tre scrosci, il BGR ha determinato un significativo ritardo in termini di risposta: il grafico mostra che questa varia tra 60 e 85 minuti, in relazione sia all'intensità dello scroscio sia al livello di saturazione del substrato. A questi già importanti effetti di laminazione collegati al substrato colturale, si aggiunge l'effetto dell'accumulo primario sottostante il verde pensile: si è riempito alle ore 21:20, durante il quarto scroscio, e ha attivato lo scarico del "troppo pieno". Il BGR ha quindi trattenuto per 18 ore la quantità di acqua caduta durante le tre piogge descritte, arrivando a scaricare solo durante l'ultimo scroscio della giornata: ciò comporta la mancata immissione delle acque di prima pioggia nel sistema fognario, in un tempo sufficientemente lungo da garantire il non sovraccarico del sistema fognario (Fig. 5). A fronte dell'analisi dell'evento del 16 maggio 2024, e di altri comparabili a questo, si può concludere che:

- Assumendo come coefficiente di deflusso il rapporto tra il volume scaricato entro 3 ore da fine scroscio e il volume piovuto, il substrato del sistema BGR ha consentito di raggiungere un valore pari a 0,74;
- Grazie al funzionamento integrato tra substrato vegetale e vasca di accumulo è possibile, secondo il calcolo legato sull'invarianza idraulica del DGR 2948/2009, stralciare la superficie del tetto con sovrapposto BGR ai fini del calcolo delle aree impermeabilizzate in un progetto edilizio¹⁴.

Grazie a queste analisi e ai loro positivi risultati è stato definito

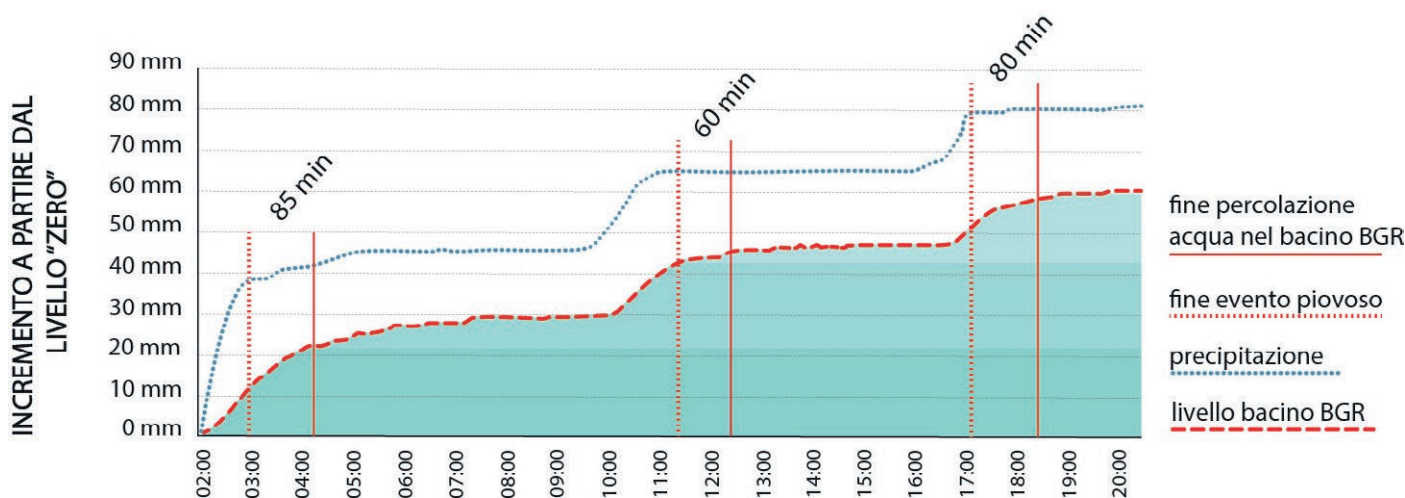
un nuovo modello di raccolta dati, che potrà essere utilizzato per monitorare eventi futuri.

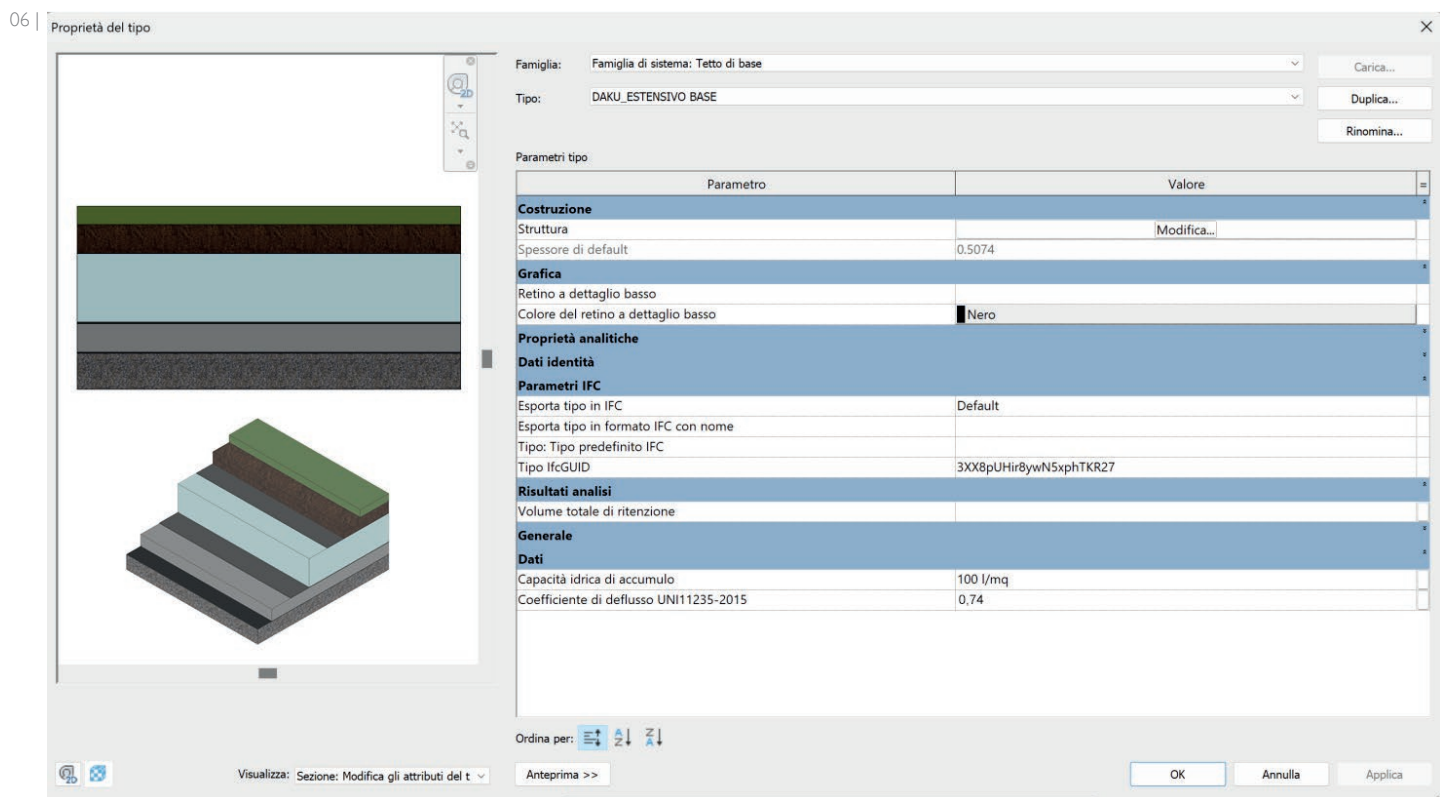
Modello BIM e scalabilità dei dati sperimentali secondo l'approccio "what if"

L'analisi descritta dimostra le potenzialità di un sistema tanto semplice quanto ricco di progettazione, applicazione di know-how tecnico e sperimentazione tecnologica. Se immaginato su vasta scala, questo sistema di gestione delle acque piovane può diventare un elemento per la progettazione della messa in sicurezza di porzioni di città. Mettendo in relazione i dati raccolti con superfici reali di un caso studio in ambito urbano, appare evidente l'impatto di mitigazione che questa soluzione può avere di fronte ad eventi piovosi estremi. Grazie ad interventi non invasivi sarà possibile quindi riqualificare aree densamente edificate riattivando un ciclo dell'acqua prima interrotto dall'impermeabilizzazione del suolo e ora possibile attraverso la gestione dinamica di stratigrafie opportunamente mappate in modelli BIM che riferiscono a dati specifici e relativi contesti (Fig. 6).

Ciò che è innovativo non è solo l'insieme di elementi tecnici, sensori e database per il funzionamento dei BRG, ma è l'approccio progettuale indispensabile ad esso: serve un processo edilizio attivo e interattivo durante tutto l'arco di vita utile del manufatto; ciò è possibile solo a condizione che l'operato dei progettisti sia supportato da strumentazioni, metodi di collaborazione, sistemi IoT e, soprattutto, da una profonda conoscenza e gestione dell'informazione per l'intero ciclo di vita di un cespite.

Le prime simulazioni progettuali hanno consentito considerazioni in merito al minor impatto ambientale della realizzazione





del sistema BGR, grazie alla riduzione dei volumi nel dimensionamento delle vasche di laminazione.

Sono state individuate quindi alcune fasi operative della ricerca in corso: dalla loro interazione e applicazione a svariati contesti, si ritiene possibile un progressivo miglioramento dell'intero apparato progettuale e gestionale dei BGR.

Una prima verifica è stata condotta su di un edificio di tipo

commerciale esistente, realizzato negli anni '90 e sito nell'area industriale della città di Portogruaro¹⁵. Per questo caso studio è stata progettata una copertura BGR con le caratteristiche analizzate: la copertura in esame conta 5.470 m² all'interno di un lotto di più di 15.000 m² e presenta una superficie di 4.000 m² su cui è possibile installare un BGR. Secondo la normativa, per la messa in sicurezza di tali superfici, sarebbe necessario costruire

08:00 pm, resulting in a total of 81 mm of rainfall.

During this time and with this rainfall, the sensor inside the basin recorded a 70 mm increase in the water level, which corresponds to 1,200 litres of rain collected by the 20 m² test field (Fig. 4). These findings are validated by the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (Eastern Veneto Land Reclamation Consortium). Considering a three-hour observation window before the end of the rainfall, the ratio between the total rainfall volume and the volume of water that would have entered the drainage system is 60/81, equivalent to 0.74.

Observing the three downpours, the BGR system significantly delayed water outflow, with delays ranging from 60 to 85 minutes depending on the intensity of the rain and the saturation level of the substrate.

In addition to the lamination effects provided by the vegetative substrate, the system's storage layer beneath the green roof also contributed to this delay. This layer reached full capacity at 09:20 pm during the fourth downpour, activating the overflow discharge mechanism.

As a result, the BGR system successfully retained all the water from the three initial downpours over the 18-hour period. Minimal water was discharged only during the final rainfall event of the day. This process prevents the first rainwater from entering the sewer system, ensuring sufficient delay to avoid overloading the infrastructure (Fig. 5). From the analysis of the rainfall event on 16 May 2024, and similar occurrences, the following conclusions can be drawn:

- Using the runoff coefficient defined as the ratio of the volume

discharged within three hours after the end of the downpour to the total rainfall volume, the substrate of the BGR system yielded a value of 0.74;

- By combining the functions of the vegetative substrate and the storage tank, the roof area covered by the BGR system can be excluded from the calculation of sealed surfaces in building projects. This aligns with the hydraulic invariance criteria outlined in DGR 2948/2009.

BIM model and scalability of experimental data using the "What If" approach

The analysis highlights the potential of a system that is both straightforward and rich in design, technical expertise, and technological experimentation. When scaled up, this rainwater management system could become a key tool for enhancing the safety of urban areas.

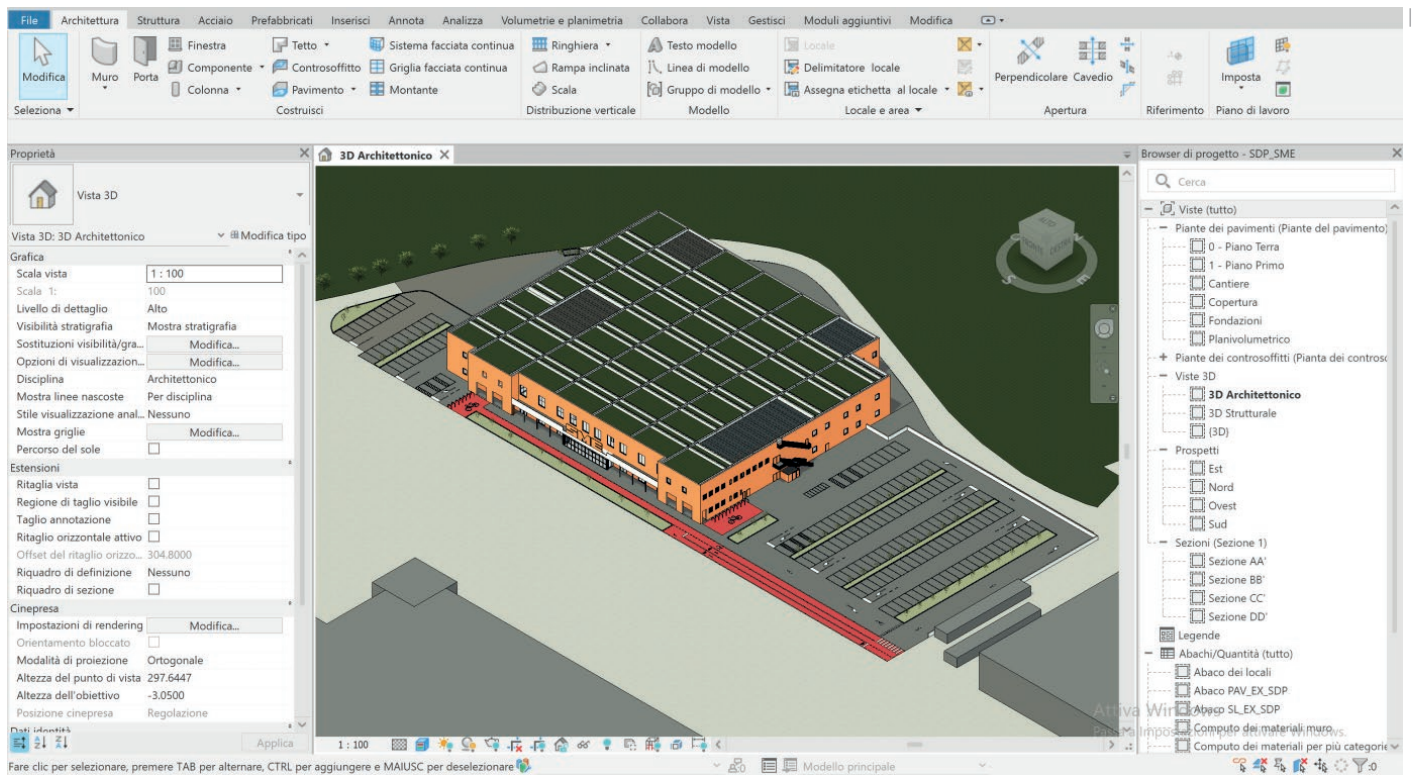
Correlating the collected data with real surfaces from an urban case study highlights the mitigation impact of this solution during extreme rainfall events. Through non-invasive interventions, it is possible to revitalize densely built-up areas by reactivating the water cycle, previously disrupted by soil sealing.

This is achievable through dynamic management of stratigraphies, mapped within BIM models that integrate specific data with environmental context variables (Fig. 6).

What is truly innovative is not just the combination of technical components, sensors, and databases that enable the operation of BGR systems, but the essential design approach that accompanies it. This requires an active and interactive construction process throughout the entire lifecycle of the structure. Such a process is feasible

07 | Caso studio: la struttura commerciale di grande dimensione che insiste su di un lotto 15.640 m²: gli standard di invarianza idraulica prevedono vasche di laminazione per un volume di 2.928 m³ per l'intera superficie. Elaborazione grafica di Marta Del Bello

Case study: a large commercial structure on a 15,640 m² plot. The hydraulic invariance standards require the installation of lamination tanks with a volume of 2,928 m³ for the entire area. Graphic elaboration by Marta Dal Bello



una vasca di laminazione in grado di gestire 345 m³. Attraverso una copertura BGR è possibile accumulare un volume (minimo) d'acqua pari a 100 litri/m² per un totale di 400 m³ sulla copertura del caso studio. Scalando i dati raccolti il 16 maggio 2024, su tale copertura si sarebbero accumulati 240 m³ di acqua utilizzabile, ad esempio, per la gestione del verde durante i periodi di siccità.

only if designers are equipped with collaborative tools and methods, IoT systems and, above all, a deep understanding and management of information over the asset's entire lifecycle. The initial design simulations have highlighted the reduced environmental impact of implementing the BGR system, primarily due to smaller volume requirements for lamination basins. Several operational phases of the ongoing research have been identified. A progressive improvement of the entire design and management framework for BGR systems is anticipated through their interaction and application across diverse contexts. The verification was conducted on an existing commercial building constructed in the 1990s, located in the industrial area of Portogruaro. For the case study, a BGR roof was designed

based on the analysed characteristics. The roof in question spans 5,470 m² within a lot of over 15,000 m², with 4,000 m² suitable for the installation of a BGR system. According to regulations, securing such surfaces would require the construction of a lamination basin capable of managing 345 m³ of water. However, with a BGR roof, it is possible to store a minimum volume of 100 litres/m², amounting to a total of 400 m³ directly on the roof of the case study building. Extrapolating from the data collected on 16 May 2024, this roof would have stored 240 m³ of water, which could be utilised, for instance, to manage green spaces during periods of drought. In the initial phase, a 3D BIM model of the building was created, incorporating the geometric, dimensional, and alphanumeric data of the structure as well as its boundary conditions. Au-

In questa fase di ricerca è stato realizzato il modello BIM 3D dell'edificio definendo i dati geometrici-dimensionali e alfanumerici della struttura oltre alle condizioni al contorno: è stato utilizzato Autodesk Revit 2025 (Fig. 7)

L'informatizzazione del modello in ambiente BIM ha richiesto poi la definizione di precisi requisiti informativi selezionati in base allo scopo del progetto: dall'obiettivo della ricerca discen-

todesk Revit 2025 was used for this process (Fig. 7). Digitisation of the model within the BIM environment required the definition of specific information requirements tailored to the project's objectives. Based on the guide by Penn State University (Messner *et al.*, 2021), three specific BIM uses were identified and are detailed in the table (Fig. 8). The second phase involved defining new parameters (runoff coefficient, water flow rate, safety coefficient, and water volume to be discharged) necessary for calculating runoff on the BGR roof, another key research objective. By establishing these parameters, schedules were created to calculate the outflow rate, providing essential data control and supporting preliminary sizing. These schedules, developed through the research, are now available for future projects.

The next steps allow the option of installing sensors on the roof, which is another key objective of the research. When integrated with the BIM system, the sensor network can enable real-time management during the operational phase of the project. This includes monitoring the roof's performance, detecting anomalies, collecting data to build a historical record of the stratigraphy's behaviour, and managing large volumes of information. The availability of historical data within cloud-based collaboration platforms will allow for scenario simulations. Each BGR system thus becomes an archive of information that, when combined with weather forecasts, can contribute to territory safety. It operates in a manner akin to the role historically played by drainage channels and reclamation pumps in safeguarding the land.

de l'uso del modello. Sono stati quindi estrapolati dalla guida della PennState University (Messner *et al.*, 2021) tre diversi usi riportati nella tabella (Fig. 8).

La seconda fase ha previsto la creazione di nuovi parametri (coefficiente di deflusso, portata d'acqua, coefficiente di sicurezza e portata d'acqua da smaltire) utili al calcolo del deflusso sulla copertura BGR, altro obiettivo della ricerca. Grazie alla definizione dei parametri, sono state generate delle *schedules* per il calcolo della portata d'acqua in uscita, utili per il controllo del dato e per la definizione di un predimensionamento. Gli abachi così sviluppati sono a disposizione di futuri progetti.

I passi successivi riferiscono all'applicazione dei sensori sulla copertura, ulteriore obiettivo della ricerca. La sensoristica, se è collegata al sistema BIM, può consentire di: gestire il progetto nella sua fase d'uso grazie al riscontro in tempo reale del comportamento della copertura; segnalare eventuali anomalie; raccogliere dati per costruire uno storico del comportamento della stratigrafia; gestire una enorme quantità di dati.

Grazie alla possibilità di avere uno storico dei dati raccolti all'interno delle piattaforme di collaborazione cloud, potranno essere effettuate simulazioni di scenari. Ogni BGR diviene quindi un archivio di informazioni che, a sistema con le previsioni meteorologiche, può lavorare per la messa in sicurezza del territorio al pari di quanto hanno fatto e fanno le canalizzazioni e le idrovore della bonifica.

Conclusioni

Il sistema BGR così studiato e sviluppato è quindi un articolato insieme di elementi tecnici, informazioni e strumenti di modellazione che non potrebbero interferire senza un'attenzione

Conclusions

The BGR system, as researched and designed, is a complex integration of technical components, informational frameworks, and modelling tools. These elements are interconnected by the research's focus on the performance of natural soils.

The need to collect and manage data for BGR design emerged from detailed observations of the test fields and a deep understanding of the natural balances influencing their operation.

The combination of technologies, sensors, and design strategies stems from this nuanced awareness, which drives significant innovation.

Enhancing design capabilities by focusing on the operational phases of the built environment is essential. Achieving this requires precise analysis of individual data points and the establishment of multiple correlations among them.

Experimentation on the test fields is now conducted alongside simulations in BIM models. Currently, efforts are focused on designing and programming a system with advanced digital maturity. This system will leverage the continuously collected big data to manage the information required for predictive modelling of weather events.

The groundwork for innovating rainwater management solutions is now established, and the BGR system is ready for planners. The project's information framework and its implementation through IoT systems are being fine-tuned. Once fully integrated into the BIM and GIS environment, the combination of hardware and software components will be a true innovation. Digital technologies will serve the project, enabling the BGR solution to scale effectively and address the

particolare posta nei confronti del comportamento dei suoli naturali. La necessità stessa di raccogliere e gestire dati per la progettazione dei BGR è sorta a valle dell'attenta osservazione dei campi prova e della comprensione della complessità degli equilibri naturali legati al loro funzionamento. L'insieme delle tecnologie, dei sensori e delle soluzioni progettuali è derivato da questa sottile sensibilità e sviluppa una forte spinta innovativa: è estremamente rilevante la necessità di ampliare le capacità di progetto ponendo attenzione alle fasi di esercizio del costruito attraverso un'attenta lettura di dati puntuali e di numerose correlazioni tra essi.

La sperimentazione sui campi prova è quindi ora gestita in parallelo alle simulazioni sui modelli BIM; è in fase di progettazione e di programmazione un sistema dall'avanzata maturità digitale tale da poter sfruttare i big data che vengono costantemente raccolti e da gestire le informazioni necessarie alle dinamiche predittive degli eventi meteorologici.

L'insieme delle questioni tecniche e pratiche per innovare le soluzioni per la gestione dell'acqua piovana è quindi pronto, il BGR è a disposizione dei progettisti. L'informazione del progetto e la sua implementazione attraverso sistemi di IoT sono in corso di affinamento. Sarà l'integrazione in ambiente BIM e GIS del sistema BGR a consentire al sistema di elementi hardware e software di divenire una reale innovazione: la collaborazione tra la capacità progettuale e il supporto delle tecnologie digitali consentirà di impiegare questa soluzione tecnologica alla scala adatta ad affrontare il cambiamento climatico in atto. Gli esiti dei dati sperimentali rilevati e l'impatto della loro scalabilità possono diventare strumenti a supporto dell'adeguamento normativo, per lo sviluppo di scenari di mitigazione a

challenges posed by ongoing climate change.

The results of the experimental data and their scalability potential can serve as valuable tools to support regulatory compliance, develop urban-scale mitigation strategies, and redefine contractual frameworks for integrated design and construction collaboration among various stakeholders in the construction supply chain (Giana, 2022).

For future research development, optimised rainwater management and harvesting through BGR systems are regarded as significant advancements for the urban environment. The computerised BGR model could contribute to the creation of Digital Twins for cities, enabling the management of not only runoff and rainwater use but also of various other aspects of the interaction between the built and natural environments.

NOTES

¹ «Land and soil are fragile and limited resources, they are subject to the pressure of an ever-increasing search for space: urban sprawl and soil sealing consume nature and turn precious ecosystems into desert-like concrete» (European Commission, 2021).

² <https://www.innoveneto.org/wp-content/uploads/2021/09/BGR-scheda-DAKU.pdf> (Accessed on: 01/11/2024).

³ Technical know-how and building materials are provided by DAKU Italia.

⁴ A wide range of data is collected. These include: moisture content in the soil, water level within the reservoirs, temperature and air humidity, and in situ environmental data (Toolbox, 2022).

⁵ Percentage values provided by EPA (United States Environmental Protection Agency) and used by AdriAdapt,

Uso del modello	Descrizione	Discipline	Categorie di oggetti	Strategie di modellazione o informative	Output
U1. Acquisizione delle condizioni esistenti	Il modello BIM è utilizzato per sviluppare e supportare il rilievo dello stato di fatto dell'opera	Architettura e Struttura	Strutture; Chiusure; Partizioni esterne;	Software di modellazione e attrezzature di rilievo convenzionale	Informazioni dettagliate sul layout e sulle caratteristiche tecnologiche; quantità in tempo reale.
U2. Monitoraggio delle prestazioni del sistema	Utilizzo di modelli e dati dei sensori di una struttura per valutare e modellare le prestazioni funzionali complessive dei sistemi della struttura, ad esempio strutturali, meccanici, idraulici	Architettura; Struttura; Impianti speciali	Impianti di fornitura servizi	Utilizzo di software di modellazione e sistemi di controllo degli edifici; sistemi IoT;	Esaminare scenari "what if" per valutare alternative per una struttura; miglioramento delle prestazioni del sistema; riduzione dei costi operativi e dell'impatto ambientale.
U.3 Analisi delle prestazioni di sostenibilità	Il modello BIM permette di abilitare, nelle varie fasi del ciclo di vita di un'opera, analisi del livello di sostenibilità dell'opera secondo uno o più degli standard e protocolli per la certificazione della sostenibilità	Architettura; Struttura; MEP; Impianti speciali	Strutture; Chiusure; Partizioni esterne	Utilizzo di software e/o plugin di modellazione 3D e di analisi della sostenibilità aggiornati; creazione di nuovi parametri di progetto (condivisi)	Facilitare l'interazione, la collaborazione e il coordinamento; valutazione tempestiva e affidabile delle alternative progettuali;

scala urbana e per ripensare a nuovi strumenti contrattuali di collaborazione integrata per la progettazione e costruzione tra i differenti attori della filiera delle costruzioni (Giana, 2022)
 Al fine dello sviluppo futuro della ricerca, la gestione e la raccolta ottimizzata dell'acqua piovana tramite BGR è considerata una effettiva miglioria per l'ambiente urbano: il modello informatizzato BGR potrà essere impiegato nella creazione dei *Digital Twin*

delle città, per gestire non solo il deflusso e l'utilizzo dell'acqua piovana, ma anche altri numerosi aspetti della relazione tra il costruito e l'ambiente naturale.

NOTE

¹ «Terreni e suoli sono risorse fragili e limitate, soggette alla pressione di una sempre crescente ricerca di spazio: l'espansione urbana e l'impermeabilizza-

project funded by the Interreg Italy-Croatia Cross-Border Cooperation Programme 2014-2020.

⁶ The test procedure is defined by FLL:2008. Three rainfalls 24 hours apart with a duration of 15 minutes are simulated on a test field with only the substrate. During each rainfall, the growing layer is subjected to no less than 108 mm/hour (considering a variability of 10%). The average of three tests determines the runoff coefficient of a substrate.

⁷ Values set out in 6.2.4 of UNI 11235:2015.

⁸ DAKU Irriga® is a patented system based on NbS (Nature-based Solutions) principles, which allows optimal and natural growth of the root system. The water is in the storage and drainage panel, reaches the filter layer and, afterwards, the substrate. This happens thanks to capillary chimneys.

⁹ Building Information Modelling is a methodology for optimising the production and collaborative management of works in the construction industry over its entire life cycle (ISO 19650, UNI 11337). In the design phase, it allows dynamic BGR verifications, and in the building management phase it can be implemented with sensor data.

¹⁰ DAKU Intensivo.

¹¹ DAKU Irriga®.

¹² The analysis was thus defined and structured by the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale.

¹³ The data measured by the level sensor corresponds to the amount of water accumulated in each m², net of the footprint of vertical elements that structure the storage panel. 10 mm/m² does not correspond to 10 l/m², but to 8.63 l/m². Furthermore, the quantity accumulated during this water bomb is

not the maximum that can be accumulated by the BGR: not all the water present was discharged on the day before the rain. Therefore, at the time of the rainfall on 16/05/2024, 20 mm of water was already present in the reservoir.

¹⁴ This is possible if the height of the storage tank is dimensioned to balance the input from the substrate to the discharge to the public network of 10 l/(s*ha).

¹⁵ Simulation carried out with Marta Dal Bello, architect and author of the thesis entitled "Future Green. Innovative methods for water management and protection through the integration of Nature Based Solutions in BIM design", supervisor: Maria Antonia Barucco, co-rapporteurs: Federica Crosato and Marta Possiedi.

zazione del suolo consumano la natura e trasformano preziosi ecosistemi in deserti di cemento» (Commissione Europea, 2021).

² <https://www.innoveneto.org/wp-content/uploads/2021/09/BGR-scheda-DAKU.pdf> (nov. 2024).

³ Il know-how tecnico e i materiali da costruzione sono dell'azienda DAKU Italia.

⁴ Viene rilevata una vasta gamma di dati tra cui: il contenuto di umidità nel terreno, il livello d'acqua all'interno dei bacini di accumulo, la temperatura e l'umidità dell'aria e dati ambientali *in situ* (Toolbox, 2022).

⁵ Valori percentuali forniti da EPA (United States Environmental Protection Agency) e utilizzati AdriAdapt, progetto finanziato dal Programma di cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Croazia 2014-2020.

⁶ La procedura di test è definita dall'FLL:2008. Vengono simulate tre piogge a distanza di 24 ore l'una dall'altra della durata di 15 minuti su un campo prova con il solo substrato. Durante ogni pioggia lo strato di coltura viene sottoposto a fenomeni di intensità non inferiore ai 108 mm/ora (considerando una variabilità del 10%). Il risultato che determina il coefficiente di deflusso di un determinato substrato è la media delle tre prove.

⁷ Valori stabiliti al punto 6.2.4 della UNI 11235:2015.

⁸ DAKU Irriga® è un sistema brevettato basato su principi delle NbS (Nature-based Solutions), che permette un'ottimale e naturale crescita dell'apparato radicale. L'acqua, erogata direttamente nel pannello di accumulo e drenaggio, viene rilasciata allo strato di filtro, e in seguito al substrato, tramite camini capillari.

⁹ Il Building Information Modeling è una metodologia che permette di ottimizzare la produzione e la gestione collaborativa di opere nell'ambito delle costruzioni per il suo intero ciclo di vita (ISO 19650, UNI 11337). In fase di progetto consente verifiche dinamiche del BGR e in fase di gestione dell'immobile è implementabile con i dati rilevati dalla sensoristica.

¹⁰ DAKU Intensivo.

¹¹ DAKU Irriga®.

¹² L'analisi è stata così definita e strutturata dal Consorzio di Bonifica Veneto Orientale.

¹³ Il dato rilevato dal sensore di livello corrisponde alla quantità di acqua accumulata a m² al netto dell'ingombro degli elementi verticali che strutturano il pannello di accumulo. 10 mm/m² non corrispondono a 10 l/m², ma a 8,63 l/m². Va precisato che la quantità accumulata non è la massima accumulabile dal BGR: il giorno precedente la pioggia non è stata scaricata la totalità dell'acqua presente; pertanto, al momento della pioggia del 16/05/2024 all'interno del bacino di accumulo era già presente una quantità d'acqua pari a circa 20 mm.

¹⁴ Ciò è possibile qualora l'altezza dell'accumulo sia dimensionata per bilanciare l'apporto dal substrato (grazie al ritardo di risposta di cui al punto precedente) allo scarico verso la rete pubblica pari a 10 l/(s*ha).

¹⁵ Simulazione svolta con Marta Dal Bello, architetto e autrice della tesi di laurea dal titolo "Verde Futuro. Metodi innovativi per la gestione e la tutela dell'acqua attraverso l'integrazione delle Nature Based Solutions nella progettazione BIM", relatrice: Maria Antonia Barucco, correlatrici: Federica Crosato e Marta Possiedi.

REFERENCES

ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) (2024), *Meteo. Evento del pomeriggio di giovedì 16 maggio 2024: la sintesi*, pp. 1-5. Available at: <https://www.arpa.veneto.it/notizie/in-primo-piano/meteo-evento-del-pomeriggio-di-giovedi-16-maggio-2024-la-sintesi> (Accessed on 06/09/2024).

Giana, P. E., (2022). "Accordi collaborativi e modellazione informativa", Editoriale Scientifica.

Consiglio dell'Unione Europea (2023), *Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla ripristinazione della natura (PE-74-2023-REV-1)*. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CONSIL:PE_74_2023_REV_1 (Accessed on 06/09/2024).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf (Accessed on 06/09/2024).

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) (2019), *Il Clima Futuro in Italia: Analisi delle proiezioni dei modelli regionali*. Available at: <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/il-clima-futuro-in-italia-analisi-delle-proiezioni-dei-modelli-regionali> (Accessed on 06/09/2024).

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) (2021), *Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati*, Available at: https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Mappe_peric.html (Accessed on 06/09/2024).

Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., and Zikic, N. (2021). BIM Project Execution Planning Guide, Version 3.0. Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, Available at <http://bim.psu.edu> (Accessed on 28/11/2024).

Author M. (2022) *Verde Hi-Tech. Ricerca, innovazione e cambio di paradigma*, in "Soluzioni resilienti per la gestione dell'acqua piovana", *Officina Toolbox*, Vol. n. 5, pp. 10-19, Available at: https://issuu.com/antefermaedizioni/docs/toolbox_05_web (Accessed on 25/11/2024).

World Bank (2021) A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience. World Bank, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/36507> (Accessed on 25/11/2024).