

Paola Marrone, Federico Orsini,
Dipartimento di Architettura, Università di Roma Tre, Italia

paola.marrone@uniroma3.it
federico.orsini@uniroma3.it

Abstract. Lo spazio pubblico, inteso come il sistema degli spazi urbani aperti, sta assumendo un ruolo sempre più importante nei processi di rigenerazione ambientale. Recenti esperienze mostrano, infatti, come sia possibile ripensare città resilienti, contrastando alcune delle problematiche urbane che stanno causando il deterioramento del *territorio* nel quale viviamo, partendo proprio dalla riqualificazione dello spazio pubblico. Basandosi su tali presupposti, la ricerca indaga le potenzialità degli spazi aperti come ambito d'intervento per l'adozione di misure di adattamento e di mitigazione. La ricerca, condotta su un caso di studio, è stata sviluppata utilizzando modelli di simulazione (Envi-met, SWMM) e confrontando scenari caratterizzati da diversi sistemi tecnologici innovativi.

Parole chiave: spazio pubblico, strategie di mitigazione e adattamento, sistemi tecnologici, modelli di simulazione.

Problematiche ambientali, sviluppo resiliente e spazio pubblico

Il costante incremento delle problematiche urbane (e.g. isola di calore, rischio idrico, ecc.) evidenzia come il modello di svilup-

po adottato fino ad oggi non sia stato capace di arrestare il processo di deterioramento del *territorio* nel quale viviamo (Clément, 2005; Branzi, 2006). Il cambiamento climatico (ISPRA, 2017), accentuato dall'elevato tasso di crescita urbana dell'ultimo secolo e dal conseguente aumento di produzione di gas serra, richiede capacità di 'sviluppo resiliente' (Adams e Watson, 2010), ovvero di uno sviluppo basato, oltre che su azioni di mitigazione, su codici di adattamento per rispondere in maniera veloce e flessibile agli shocks e stress derivanti dalle mutevoli esigenze ambientali, sociali ed economiche (Ahern, 2011) (Madanipour et al, 2014).

Trasformare le città in organismi resilienti, capaci di adattarsi alle pressioni naturali e antropogeniche, salvaguardando i caratteri essenziali per la stessa vita umana (Friedman, 2009), è una priorità oggi riconosciuta da Comunità Internazionale, Pubbliche Amministrazioni, Enti di Ricerca (Rockefeller Foundation, 2015) e da tut-

ti gli attori coinvolti nel processo edilizio. Trasformare gli insediamenti urbani e le infrastrutture in sistemi resilienti è un obiettivo prioritario e trasversale dei *Sustainable Development Goals*.

Sebbene il concetto di resilienza, nato nell'ambito dell'Ecologia negli anni Settanta, sia entrato recentemente nella pianificazione e rigenerazione urbana (Roberts, 2000), numerosi studi e ricerche si stanno occupando di definire nuove strategie di intervento (e.g. rinaturalizzazione, incremento permeabilità suoli, ecc.) (Jha et al., 2013; Losasso, 2015), sia per il sistema del *costruito*, inteso come l'insieme degli edifici, sia per il sistema del *non costruito*, ovvero quel tessuto connettivo aperto che infrastruttura la città e che ne costituisce gli spazi pubblici (SP) (Gehl, 1971). Tra queste strategie, il Piano di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PACC) previsti da alcune città (Barcellona, Copenaghen, Zurigo, Parigi) hanno eletto proprio lo SP come ambito di intervento privilegiato per l'adozione di specifiche azioni e strategie resilienti.

Complessità, indicatori e modelli di valutazione

Se le potenzialità della riqualificazione resiliente degli SP sono ormai chiare (European Com-

mission, 2013), la complessità del tema, dovuta alla molteplicità di relazioni e cicli che si instaurano all'interno del sistema urbano (Morin, 2008) e nel quale ogni trasformazione incide su un ampio quadro di problematiche e cicli urbani tra loro collegati (Gisotti, 2007), rende ancora incerta la misura effettiva delle esternalità positive. Studi sono stati condotti per: definire nuovi indicatori di resilienza urbana (Normandin et al., 2009; Iavarone et al., 2017; Carpenter et al., 2001); analizzare il ruolo dei materiali e le loro capacità di mitigazione e adattamento (Doulos et al., 2004; Santamouris, 2013; Ahiablame et al., 2012; Rogora e

Resilience and open urban environments. Comparing adaptation and mitigation measures

Abstract. Public space, understood as the system of open urban spaces, is assuming an increasingly important role in environmental redevelopment processes. Recent experiences show how it is possible to rethink resilient cities, addressing some of the urban issues behind the deterioration of the territory in which we live, starting by upgrading public space. Based on these assumptions, our research investigates the potential of open space as an environment in which adaptation and mitigation measures can be adopted. The research was conducted on a case study, developed using simulation models (Envi-met, SWMM) and compared scenarios using different innovative technology systems.

Keywords: public space, mitigation and adaptation strategies, technological systems, simulation models.

Environmental issues, resilient development and public space

The constant rise in urban environment problems (e.g. urban heat island, hydrogeological risk, etc.) shows how the development model adopted until now has been unable to halt the deterioration process of the territory in which we live (Clément, 2005) (Branzi, 2006). Climate change (ISPRA, 2017) has been accentuated by high urban growth in the last century and by the resulting increase in the production of greenhouse gases. This situation requires resilient development (Adams and Watson, 2010), i.e. one based not only on mitigation actions, but also on adaptation in order to respond quickly and flexibly to shocks and stresses deriving from our changing environmental, social and economic demands (Ahern, 2011; Madanipour et al., 2014). Transforming cities into resilient bod-

ies able to adapt to natural and anthropogenic pressures and safeguarding dimensions that are essential for human life itself (Friedman, 2009) are priorities recognized by the international community, public administrations, research institutes (Rockefeller Foundation, 2015) and by everyone involved in the building process. Transforming urban settlements and infrastructure into resilient systems is a primary and transversal objective of Sustainable Development Goals.

Although the concept of resilience, born in the ecology context in the Seventies, has recently been applied to urban planning and redevelopment (Roberts, 2000), numerous studies and research projects seek to define new intervention strategies (e.g. renaturation, increased soil permeability, etc.) (Jha et al., 2013; Losasso, 2015), for both the built system, understood as

Dessi, 2005); valutare con modelli di simulazione numerica e analisi strumentali gli effetti di singole componenti tecnologiche o strategie resilienti su isola di calore e rischio idrogeologico (Maleki e Mahdavi, 2016; Battista et al., 2016; Jia et al., 2012; D'Ambrosio e Leone, 2015; Temprano et al., 2006; Hua, 2016).

Obiettivi, Limiti della ricerca, Originalità e Metodologia

La letteratura scientifica ha messo in evidenza come la valutazione della resilienza urbana richieda una ridefinizione delle funzioni della città critiche per la sua capacità di adattamento. In questo ambito di temi, la ricerca ha affrontato lo studio dell'efficacia, in termini di mitigazione e adattamento, di alcuni sistemi tecnologici per la rigenerazione degli spazi aperti, allo scopo di individuare indicatori di resilienza rispetto ai fenomeni dell'isola di calore (UHI) e ai rischi idrologici (WR) legati alla gestione del ciclo delle acque meteoriche.

L'originalità del lavoro sta nella definizione di alcuni scenari urbani, riferiti a un caso di studio e generati attraverso l'uso combinato di due modelli, Envi-met e SWMM. Anche se l'utilizzo di questi modelli è sempre più diffuso, esistono ancora pochi esempi di applicazione combinata. A partire dal caso studio sono stati definiti alcuni scenari di trasformazione, caratterizzati da diverse azioni di mitigazione e adattamento. Gli scenari sono stati modellati per simulare gli impatti su UHI e WR e i risultati confrontati per individuare gli scenari migliorativi rispetto allo stato di fatto.

Questo testo presenta il caso studio e gli scenari progettuali e, in conclusione, analizza e confronta i dati e i risultati delle simulazioni della ricerca.

the set of buildings, and for the unbuilt system, i.e. the open connective tissue that infrastructures the city and that constitutes its public spaces (PS) (Gehl, 1971). Among these strategies, climatic adaptation plans defined by some cities (Barcelona, Copenhagen, Zurich, Paris) have chosen public spaces as their preferred area of intervention when adopting specific actions and resilient strategies.

Complexity, indicators and evaluation models

While it is now clear that resilient public spaces have redevelopment potential (European Commission, 2013), the complexity of the subject and the actual measurement of positive externalities remains uncertain due to the many relations and cycles established within the urban system (Morin, 2008) in which every transformation impacts

a broad framework of interconnected issues and urban cycles (Gisotti, 2007). Studies have defined new urban resilience indicators (Normandin et al., 2009; Iavarone et al., 2017; Carpenter et al., 2001), analysed the role of materials and their mitigation and adaptation ability (Doulos et al., 2004; Santamouris, 2013; Ahiablame, Engel, Chaubey, 2012; Rogora and Dessi, 2005), and assessed the effects of individual components or technological resilient strategies on heat islands and hydrogeological risks using numerical simulation models and instrumental analyses (Maleki and Mahdavi, 2016; Battista et al., 2016; Jia et al., 2012; D'Ambrosio and Leone, 2015; Temprano et al., 2006; Hua, 2016).

Objectives, limits, originality and research methodology

The scientific literature has highlighted

Caso studio: l'area di del Dipartimento di Lettere dell'Università Roma Tre

Lo SP del Dipartimento di Lettere e Filosofia dell'Università di Roma Tre è il caso studio. L'area (32.000 m²), compresa tra importanti arterie stradali (V. Marconi e V. Ostiense), sorge all'interno del tessuto urbano del quartiere Ostiense ed ospitava le fabbriche dell'Alfa Romeo (Fig. 1). Il recente inserimento delle funzioni universitarie ne ha modificato la destinazione d'uso, senza alterarne gli spazi: un grande edificio, l'ex fabbrica, accoglie le principali funzioni legate alla didattica; un secondo edificio destinato alla didattica si affaccia su V. Marconi; un grande spazio esterno (unico SP), completamente asfaltato, è destinato a parcheggio. L'area è un caso "rappresentativo" per le sue caratteristiche diffuse a livello urbano: arterie trafficate, assetto morfologico definito da discontinuità altimetriche, quasi totale impermeabilità dei suoli (88%), assenza di vegetazione, presenza di grandi volumi impermeabili. La rigidità, l'assenza di flessibilità e di spazi ecologici rendono, poi, l'area incapace di adattamenti rapidi e, pertanto, poco resiliente, ideale per testare azioni di mitigazione e adattamento.

Scenari a confronto

Gli scenari, costruiti applicando interventi e tecnologie riconosciuti dalla letteratura scientifica (Fig. 2) (incremento della permeabilità suolo, della vegetazione, ecc.) (Santamouris, 2013; Kelagher et al., 2015), con l'obiettivo di valutarne l'effettivo impatto rispetto a UHI e WR, sono:

1. SDF: stato di fatto;
2. HP1: intervento limitato all'area ad uso esclusivo dei pedoni, incremento superficie permeabile, inserimento *rain garden*, incremento alberature;

how an evaluation of urban resilience requires a redefinition of the city's functions, which are critical for it to be adaptable. In this context, our research studied the mitigation and adaptation effectiveness of a few technological systems for redeveloping open spaces in order to identify resilience indicators with respect to heat island phenomena (UHI) and hydrological risks (WR) related to the management of the rain-water cycle.

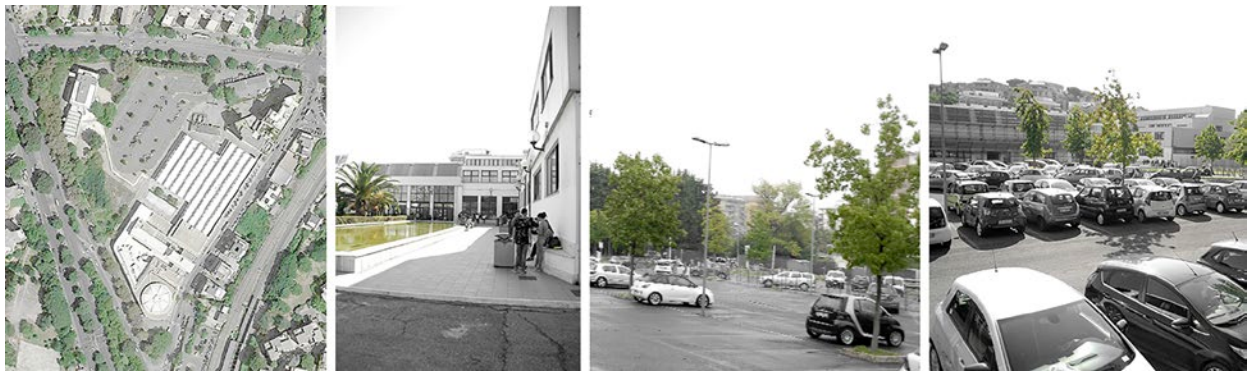
Our work is unique for its definition of certain urban scenarios with respect to a case study and generated through the combined use of two models: Envi-met and SWMM. While the use of these models is increasingly widespread, there are still few examples of their combined application. Starting from the case study, we defined transformation scenarios applying different mitigation and adaptation solutions.

The scenarios were modelled to simulate their impacts on UHI and WR, and the results were compared to identify improvement scenarios with respect to the current situation.

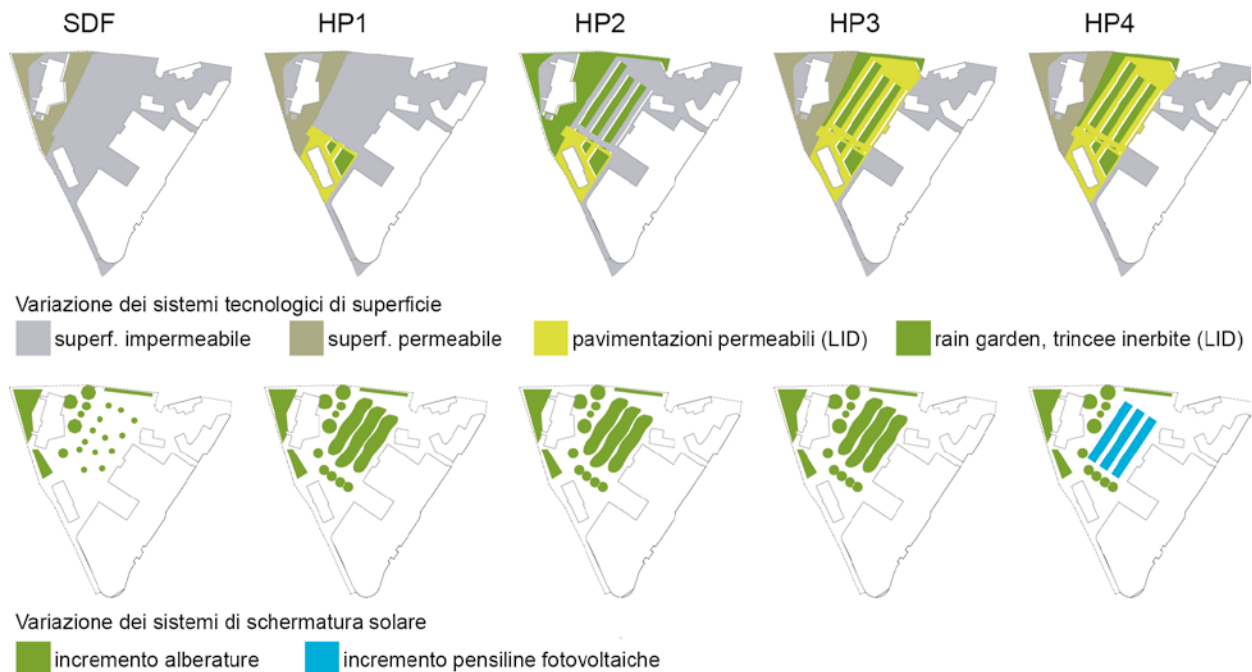
This text presents the case study and the design scenarios. In its conclusion, we analyze and compare the data and the results of the simulations.

Case study: The area of the Humanities Department of the Università Roma Tre

We studied the PS outside the Department of Humanities and Philosophy at the Università di Roma Tre. The area (32,000 m²) is located between two major roads (Via Marconi and Via Ostiense) and within the urban fabric of the Ostiense neighbourhood. It was formerly the home of the Alfa Romeo factories (Fig. 1). The university's recent establishment there changed the



| 01



| 02

area's intended use but did not alter its spaces: a large building (formerly the factory) is home to the classrooms, while a second building of classrooms faces Via Marconi. A large outdoor, fully asphalted space (the sole PS) is dedicated to parking. The area is "representative" for its characteristics common to the urban context: busy streets, a morphological system defined by different levels, almost total impermeability of the ground (88%), little vegetation, and the presence of large waterproof spaces. The area's rigidity, lack of flexibility and absence of ecological spaces render it unsuited for easy adaptations and, therefore, scarcely resilient, making it ideal for testing mitigation and adaptation actions.

Comparison of the scenarios

The scenarios were developed by applying interventions and technologies

recognized in the scientific literature (Fig. 2) (increasing ground permeability, vegetation, etc.) (Santamouris, 2013) (Kellagher et al., 2015) in order to assess their actual impact on UHI and WR:

1. SDF: current state;
2. HP1: intervention limited to the pedestrian area, increasing the permeable surface, adding a rain garden, planting trees;
3. HP2: HP1 + intervention on parking lot to increase the permeable surface, add a rain garden, plant trees.
4. HP3: HP2 + total permeability of parking lot;
5. HP4: HP3 + addition of a photovoltaic canopy.

The following LID (Low Impact Development) surface technological systems were examined (Fig. 3): permeable pavement composed of permeable interlocking paving, sand substrate,

drainage layer, grassy trenches, rain garden.

Table 1 shows the variations in the technological systems with respect to the SDF and their impact on UHI and WR environmental parameters.

Analysis of the data and of the results of the simulations with models

The strategic scenarios were tested to assess their impact on UHI and WR using:

- Envi-met 4.0: a 3D holistic computational model based on thermo-fluid dynamic principals that evaluates fluid-dynamic and thermodynamic interactions among the atmosphere, plants, surfaces and urban contexts. The model was developed by Bruse (Bruse and Fleer, 1998), and has undergone a high number of revisions and verifications. Tab.2 shows calibration parameters.
- SWMM (Stormwater Management Model): developed by the EPA (US

Environmental Protection Agency), estimates design waves based on rainfall in order to size and test urban drainage systems (Rossman, 2015). Appropriate modules can include the calculation of polluting loads and/or the quantitative and qualitative effects of multiple LID technologies.

Each scenario is modelled by defining environmental parameters, material physical properties, boundary conditions, etc.:

- Envi-met
- SWMM

The area of study was modelled based on the identified drainage system (SDF) and considering improvement scenarios (HP1-4). The forcer for the model is composed of rectangular synthetic hyetographs with an assigned return time (5 and 10 years) and duration (15 and 30 minutes). The rainfall possibility curve

3. HP2: HP1 + intervento su parcheggio con incremento superficie permeabile, inserimento *rain garden*, incremento alberature;
4. HP3: HP2 + totale permeabilità del parcheggio;
5. HP4: HP3 + introduzione pensilina fotovoltaica.

Sono stati considerati i seguenti sistemi tecnologici di superficie LID (Low Impact Development) (Fig. 3): pavimentazione permeabile, composta da autobloccanti permeabili, substrato di sabbia, strato drenante; trincee inerbite; *rain garden*.

La Tab. 1 evidenzia le variazioni dei sistemi tecnologici rispetto allo SDF e la loro incidenza su parametri ambientali rilevanti per UHI e WR.

Analisi dei dati e dei risultati delle simulazioni con modelli

Gli scenari strategici sono stati testati per valutarne l'impatto rispetto a UHI e WR utilizzando:

- Envi-met 4.0: modello di calcolo olistico 3D basato sui principi della termo-fluidodinamica che valuta le interazioni fluidodinamiche e termodinamiche tra atmosfera, piante, superfici, contesti urbani. Il modello, sviluppato da Bruse (Bruse e Fleer, 1998), è stato sottoposto a un elevato numero di revisioni e verifiche. La Tab. 2 mostra i parametri di calibrazione del modello.
- SWMM (Stormwater Management Model): modello sviluppato dall'EPA (US Environmental Protection Agency), permette di stimare le onde di progetto a partire dagli input pluviometrici e di dimensionare e verificare i sistemi di drenaggio urbano (Rossman, 2015). Opportuni moduli possono integrare il calcolo dei carichi inquinanti e/o gli effetti quantitativi e qualitativi di molteplici tecnologie LID.

Ogni scenario è modellato, definendo parametri ambientali, proprietà fisiche dei materiali, condizioni al contorno, ecc.:

- Envi-met
- SWMM.

L'area di studio è stata modellata partendo dal sistema di drenaggio rilevato (SDF) e considerando gli scenari migliorativi (HP1-4). La forzante al modello è costituita da ietogrammi sintetici rettangolari di assegnato tempo di ritorno (5 e 10 anni) e durata (15 e 30 minuti). La curva di possibilità pluviometrica adottata è quella relativa al pluviometro di Roma Macao. Nel modello sono state implementate le tecnologie LID.

Risultati e discussione

Sono qui interpretati e discussi i risultati ottenuti con le simulazioni degli scenari ipotizzati, descritti nella Tab. 1 e Fig. 4.

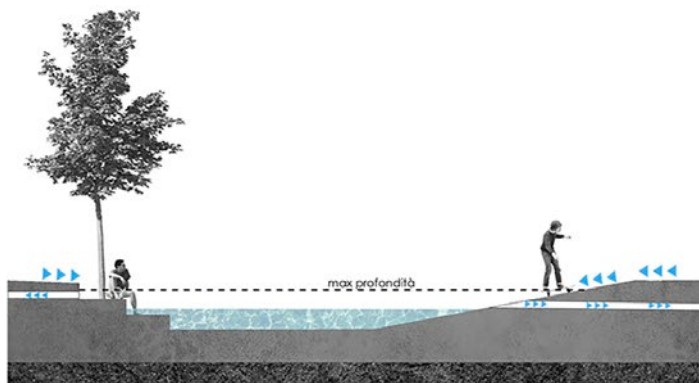
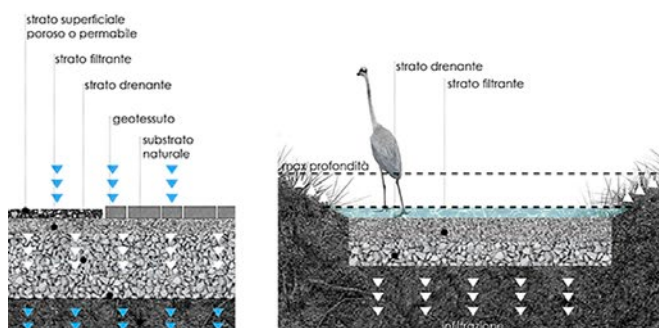
UHI-Impatto sulla temperatura superficiale TS

Il valore della TS varia al variare delle condizioni d'irraggiamento (RS) diretta o schermata e della tipologia di materiale (albedo e conducibilità termica del materiale). Lo SDF presenta problematiche evidenti su quasi tutta l'area con una TS massima compresa tra i 52-54 °C per quanto riguarda il parcheggio e tra i 46-48 °C per l'area pedonale.

Rispetto allo SDF, gli scenari progettuali hanno evidenziato una diminuzione della TS, e quindi una mitigazione dell'UHI, di 10-12 °C per lo spazio pedonale (HP 1), di 10-12 °C per lo spazio pedonale e di 5-7°C per il parcheggio (HP 2), di 10-12 °C per lo spazio pedonale e di 10-12 °C per il parcheggio (HP 3), di 10-12 °C per lo spazio pedonale e di 19-21°C per il parcheggio (HP 4).

03 | Schema delle tecnologie LID adottate. Da sinistra verso destra: pavimentazioni drenanti, trincee inerbite, rain garden

Diagram of LID technologies adopted. From left to right: draining pavement, grassy trenches, rain garden



Tab. 1 - La tabella descrive l'incidenza della variazione dei sistemi tecnologici rispetto a quei parametri ambientali che incidono su UHI e WR: albedo, area ombreggiata, superficie permeabile e produzione di energia da copertura fotovoltaica. Riporta i dati e le variazioni prima rispetto ai singoli ambiti di intervento (area pedonale – area a parcheggio), poi per l'area presa nel suo complesso

The table presents the impact of the variation of the technological systems with respect to environmental parameters affecting UHI and WR: albedo, shaded area, permeable surface and energy production by photovoltaic coverage. It contains data and variations first with respect to the individual areas of intervention (pedestrian area, parking lot), then for the area as a whole

Design scenario	Area of intervention	Environmental parameter	Values by area of intervention		Values of the overall area	
			Data	Partial variation	Absolute value	Partial variation
SDF	Pedestrian area	Average ground albedo	0.12			
		Shaded area	6%			
		Soil permeability	15%		0.12	
		Energy production	0 KW/h		10%	
	Parking lot	Average ground albedo	0.10		12%	
		Shaded area	23%		0	
		Soil permeability	00%			
		Energy production	0 KW/h			
HP1	Pedestrian area	Average ground albedo	0.51	+38%		
		Shaded area	8%	+2%		
		Soil permeability	25%	+10%	0.42	+30%
		Energy production	0 KW/h	+0%	11%	+1%
	Parking lot	Average ground albedo	0.10	+0%	19%	+7%
		Shaded area	23%	+0%	0	+0%
		Soil permeability	00%	+0%		
		Energy production	0 KW/h	+0%		
HP2	Pedestrian area	Average ground albedo	0.51	+38%		
		Shaded area	8%	+2%		
		Soil permeability	25%	+10%	0.44	+32%
		Energy production	0 KW/h	+0%	17%	+7%
	Parking lot	Average ground albedo	0.19	+9%	32%	+20%
		Shaded area	48%	+25%	0	+0%
		Soil permeability	53%	+53000%		
		Energy production	0 KW/h	+0%		
HP3	Pedestrian area	Average ground albedo	0.51	+38%		
		Shaded area	8%	+2%		
		Soil permeability	25%	+10%	0.49	+37%
		Energy production	0 KW/h	+0%	17%	+7%
	Parking lot	Average ground albedo	0.42	+32%	43%	+31%
		Shaded area	48%	+25%	0	+0%
		Soil permeability	100%	+53000%		
		Energy production	0 KW/h	+0%		
HP4	Pedestrian area	Average ground albedo	0.51	+38%		
		Shaded area	8%	+2%		
		Soil permeability	25%	+10%	0.55	+43%
		Energy production	0 KW/h	+0%	17%	+7%
	Parking lot	Average ground albedo	0.68	+58%	43%	+31%
		Shaded area	48%	+25%	500	+50000%
		Soil permeability	100%	+53000%		
		Energy production	500	+50000%		

adopted is that for Rome Macao. LID technologies were used in the model.

Results and discussion

Below we interpret and discuss the results obtained with the scenario simulations, defined in Tab. 1 and Fig. 4.

UHI-Impact on surface temperature ST

The ST value varies with the direct or screened irradiance conditions (RS) and the type of material (material albedo and thermal conductivity). The SDF presents obvious problems for almost the entire area with a maximum ST of between 52 and 54°C for the parking lot and 46-48°C for the pedestrian area.

With respect to the SDF, the design scenarios showed a decrease of ST and mitigation of the UHI by 10-12°C for the pedestrian area (HP 1), 10-12°C for the parking area (HP 2), 10-12°C for the pedestrian area and 10-12°C for the parking area (HP 3), and 10-12°C for the pedestrian area and 19-21°C for the parking area (HP 4).

UHI - Impact on air temperature AT

The AT value is strongly influenced by RS and ST. The SDF has an AT of between 32 and 33°C in the parking area. The design scenarios reduce this value, improving user thermal comfort and

mitigating the effects of the UHI by 1°C (HP 2), 1-2°C (HP 3), and 2-3°C (HP 4).

UHI - Impact on average radiant temperature ART

The ART value is strongly influenced by RS, ST and AT. The SDF shows a high ART over almost the entire area, between 67 and 69°C.

By adding cool pavement and increasing the number of trees, the proposed design scenarios mitigate this critical value. In particular, we note a decrease in ART by 5-7°C and 20-24°C, respectively.

WR - impact on the rainwater cycle

The impact on the WR was assessed based on the final flow rate of the last conduit (m³/second). In particular, the estimated flood waves for the return time RT=5 years and rain durations d=15 minutes and 30 minutes, are shown in Fig. 5.

We can distinguish the effect of the two different technologies by analysing the time path of the flood waves of the curves for the different scenarios:

- The rain garden, with a significant rainwater retention capacity (500 m³), functions as true storage, smoothing the flood peak without altering the volume. This system has

UHI-Impatto sulla temperatura dell'aria TA

Il valore della TA è fortemente influenzato dalle RS e dalla TS. Lo SDF presenta una TA nell'area del parcheggio compresa tra i 32-33°C.

Gli scenari progettuali permettono una diminuzione di tale valore, migliorando il comfort termico degli utenti e mitigando gli effetti dell'UHI, di 1°C (HP 2), di 1-2°C (HP 3), di 2-3°C (HP 4).

UHI-Impatto sulla temperatura media radiante TMR

Il valore della TMR è influenzato principalmente dalle RS, dalla TS e dalla TA. Lo SDF presenta una elevata TMR su quasi tutta l'area, compresa tra 67-69°C.

Gli scenari progettuali proposti, tramite l'inserimento di *cool pavement* e l'incremento di alberature, permettono di mitigare tale valore critico. In particolare possiamo osservare una diminuzione della TMR rispettivamente di 5-7 °C e di 20-24 °C.

WR - Impatto sul ciclo delle acque meteoriche

L'impatto sul WR è stato valutato in base alla portata finale all'ultima condotta (m³/secondo). In particolare, le onde di piena stimate per il tempo di ritorno TR=5anni e durate di pioggia d=15 minuti e 30 minuti, sono riportate nella Fig. 5.

Analizzando lo sviluppo temporale delle onde di piena delle curve associate ai diversi scenari, possiamo distinguere l'effetto delle due differenti tecnologie:

- il *rain garden*, dotato di una sensibile capacità ritenzione delle acque meteoriche (500 mc), opera come un vero e proprio invaso, laminando il picco di piena senza alterare il volume. Tale sistema ha un importante impatto sulla portata al colmo diminuendola di oltre il 50%;

- i pavimenti permeabili, posizionati a monte del *rain garden*, disperdono acqua nel suolo diminuendo il volume totale. L'impatto di questi LID, la cui capacità di azione è fortemente dipendente dalla permeabilità dei materiali utilizzati, ha un impatto più limitato e contribuisce comunque ad un ulteriore abbattimento della portata del 10% circa.

Si è, inoltre, messo in evidenza come all'aumentare della durata della pioggia (e al diminuire della sua intensità media), vi sia una generale diminuzione dell'impatto del *rain garden* e un aumento dell'impatto relativo dei pavimenti permeabili. Tale risultato è congruente con le dinamiche di funzionamento delle due soluzioni, ovvero la capacità dei bacini di ritenzione di assorbire maggiori quantità di acqua in minor tempo, posticipando e diminuendo l'onda di piena.

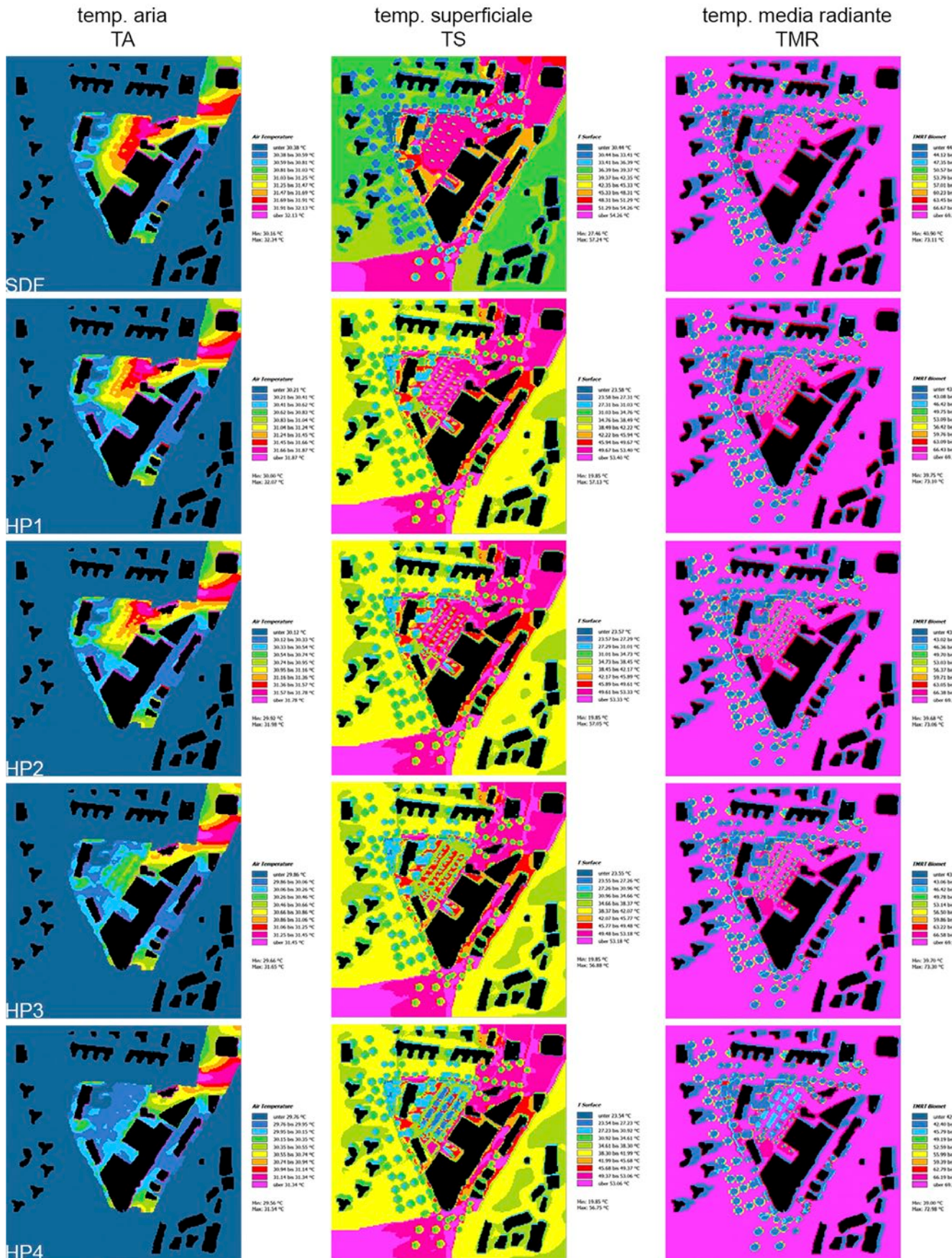
Conclusioni e sviluppi futuri

La ricerca ha indagato l'impatto che alcune tecnologie di superficie applicate allo SP (pavimentazioni permeabili, alberature, sistemi LID) possono avere rispetto alle problematiche dell'UHI e del WR. Il caso studio è stato utilizzato per confrontare lo SDF con scenari di trasformazione urbana (HP 1-4), caratterizzati da un incremento progressivo di azioni per la mitigazione e l'adattamento. La valutazione è stata fatta utilizzando due modelli di simulazione: Envi-met per l'UHI e SWMM per il WR.

In accordo con i risultati della letteratura scientifica, lo studio evidenzia (Tab. 3) come, in generale, gli scenari proposti (HP 1-4) permettano di migliorare le condizioni ambientali dell'area, mitigando gli effetti dell'UHI e del WR. Nello specifico si può osservare che:

Tab. 2 - La tabella mostra i valori utilizzati per definire le condizioni al contorno del modello
The table shows the values used to define the model's boundary conditions

Variable	Parameter	Source
Grid size	250*250*30	-
Simulation date	1 July 2017	-
Simulation duration	48 hours	-
Atmospheric temperature at 2500 m [K]	296	Battista et al. [2016]
Wind speed [m/s]	1	Case study
Wind direction [°]	270 (west)	Case study
Specific humidity at 2500 m [%]	7	Bruse et al. [2015]
Relative humidity at 2 m [%]	65	Bruse et al. [2015]
Ground roughness [m]	0.01	Bruse et al. [2015]
Material physical properties	Default	Bruse et al. [2015]



05 | Riduzione sulla portata finale dei sistemi LID applicati nei 4 scenari migliorativi (HP 1-4), rispetto allo stato di fatto. I grafici rappresentano il funzionamento dei LID con piogge di durata di 15 min (sx) e di 30 (dx)

Reduction of the final flow rate of the LID systems applied in four improvement scenarios (HP 1-4), with respect to the current state (SDF). The graphs represent the functioning of the LID controls with rains lasting 15 (left) and 30 min (right)

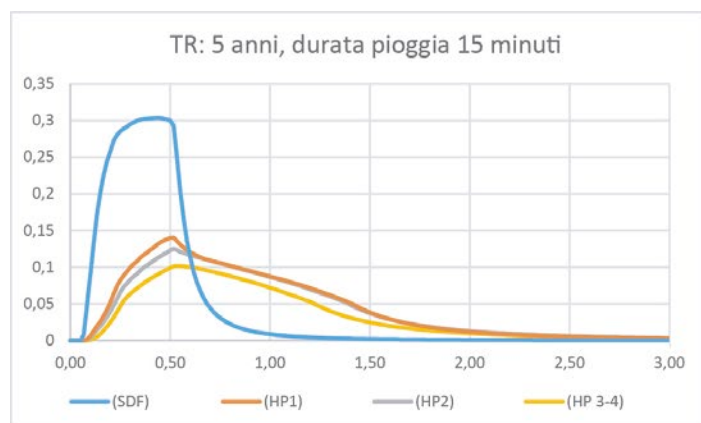


Fig. 6

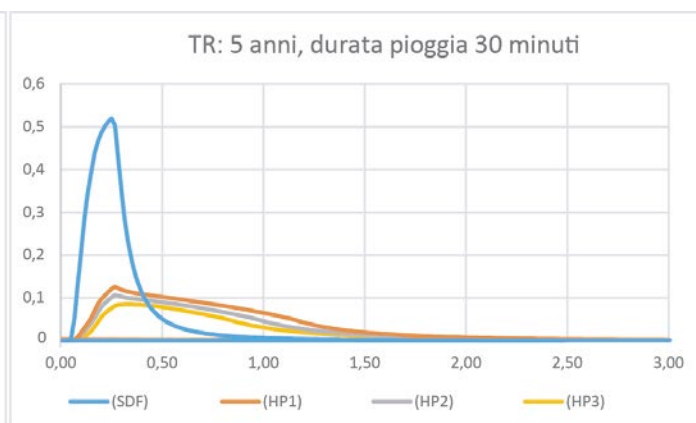


Fig. 7

Tab. 3 - Impatto delle scelte progettuali e dei sistemi tecnologici rispetto all'UHI
Impact of design choices and of technological systems on the UHI

Design scenario		ST	DST %	AT	DAT %	ART	DART %
SDF	Pedestrian area	46-48	-	30.5-31.5	-	66-69	-
	Parking lot	52-54	-	31.5-32.5	-	66-69	-
HP1	Pedestrian area	35-38	12-15%	30.0-30.5	2-5%	59-62	7-10%
	Parking lot	50-52	2-5%	31.0-32.0	-	63-66	2-5%
HP2	Pedestrian area	35-38	12-15%	30.0-30.5	2-5%	59-62	7-10%
	Parking lot	47-50	8-10%	30.5-31.5	2-5%	59-62	7-10%
HP3	Pedestrian area	35-38	12-15%	29.5-30.0	2-5%	59-62	7-10%
	Parking lot	40-44	20-22%	30.0-30.5	6-8%	59-62	7-10%
HP4	Pedestrian area	35-38	12-15%	29.5-30.0	2-5%	59-62	7-10%
	Parking lot	32-34	38-40%	29.5-30.0	8-10%	42-45	34-38%

a significant impact on the flow at the peak, decreasing it by over 50%;

- The permeable pavement, positioned upstream of the rain garden, disperses water in the soil, decreasing the total volume. The impact of these LID controls, whose capability depends strongly on the permeability of the materials used, is more limited but contributes to further reduce the flow rate by approximately 10%.

It was also observed that an increase in the duration of rains (and a decrease in its average intensity) generally decreased the impact of the rain garden and increased the relative impact of the permeable pavement. This result is consistent with the operating dynamics of the two solutions, i.e. the retention basins' ability to absorb more water in less time, delaying and decreasing the flood wave.

Conclusions and future developments

The research investigated the impact that certain surface technologies applied to PS (permeable pavements, trees, systems, LID systems) may have with respect to UHI and WR concerns. The case study compared the current state with urban transformation scenarios (HP 1-4), characterized by a progressive increase in mitigation and adaptation actions. The evaluation used two simulation models: Envi-met for UHI, and SWMM for WR.

In agreement with the results of the scientific literature, the study shows (Tab. 3) how the proposed scenarios (HP 1-4) generally improve the area's environmental conditions, mitigating the effects of UHI and WR. Specifically, it can be observed that:

- changing the pavement type (from asphalt to light-coloured, highly

porous interlocking slabs) decreases average surface temperature by 12-15%, and planting trees by 38-40%. This improvement is due to the different albedo value of the new pavement (0.60) and of the new vegetation (0.25) compared to the existing asphalt (0.10)

- by modifying ground permeability, the same pavement change positively impacts the volume of total discharge, as expected and as demonstrated in the literature. In particular, replacing asphalt with permeable pavement (HP3-4) increases the permeability of the pedestrian area by 10% and that of the parking lot totally. Along with this total increase (close to 400% compared to SDF), the final storm water flow rate decreases by about 10%.
- the insertion of two large rain gardens with water capacity slows water

flow, reducing the flow peak point by over 50%.

In agreement with the scientific literature in the sector, we can make a number of general recommendations, to be verified on a case-by-case basis, on the effectiveness of the technologies to provide mitigation and adaptation actions in redeveloping the PS:

- permeable systems and renaturation strategies have a strong impact on UHI and WR
- trees or photovoltaic canopies offer major benefits in reducing ST and ART with respect to changing the type of pavement
- LID systems are effective for smoothing the flood wave and for decreasing the volume of incoming water, though it is important to remember that their effectiveness depends to a considerable extent on the technological solutions

- la variazione della pavimentazione (da asfalto a masselli autobloccanti chiari con alto indice di porosità) favorisce un decremento della temperatura superficiale media del 12-15%, che in presenza di alberature è pari al 38-40%. Tale miglioramento è dovuto al diverso valore di albedo della nuova pavimentazione adottata (0.60) e della nuova vegetazione (0.25) rispetto al quello dell'asfalto esistente (0.10);
 - lo stesso cambio di pavimentazione, come prevedibile e dimostrato in letteratura, incidendo sulla permeabilità del suolo, modifica positivamente il volume di deflusso totale. In particolare, la sostituzione dell'asfalto con la pavimentazione permeabile (HP3-4) incrementa del 10% la permeabilità dell'area pedonale e totalmente per l'area a parcheggio. A tale incremento totale (quasi 400% rispetto a SDF) corrisponde una diminuzione di circa 10% della portata finale;
 - l'inserimento di due ampi *rain garden* con capacità di detenzione delle acque permette di rallentare il deflusso delle acque, riducendo il punto di picco del flusso di oltre il 50%.
- In accordo con la letteratura scientifica di settore, possono essere desunte alcune indicazioni generali, da verificare caso per caso, sull'efficacia delle tecnologie considerate ai fini di prevedere azioni di mitigazione e adattamento nella riqualificazione dello SP:
- sistemi permeabili e strategie di rinaturalizzazione hanno un forte impatto su UHI e WR;
 - alberature o pensili fotovoltaiche hanno benefici maggiori in termini di riduzione di TS e TMR rispetto al cambio di pavimentazione;
 - i sistemi LID hanno efficacia rispetto a laminazione dell'onda di piena o della diminuzione del volume di acqua al recapito, ricordando come la loro efficacia dipenda in maniera sensibile

dalle soluzioni tecnologiche adottate (permeabilità dei materiali, spessori, ecc.);

- i sistemi LID sono meno efficienti all'aumentare del tempo di ritorno o all'aumentare dell'intensità e per tale ragione la loro progettazione va supportata da appositi sistemi fognari.

In conclusione, i risultati dimostrano come, nel caso in oggetto, un'accurata scelta e combinazione di tecnologie in grado di mitigare le problematiche dell'UHI e del WR possano concorrere a incrementare la capacità di adattamento e la qualità ambientale di uno SP, dimostrandosi potenziali caratteristiche per incrementare la resilienza ai fenomeni climatici in un processo di riqualificazione urbana.

Lo studio evidenzia, al contempo, come in alcuni casi tali trasformazioni, per quanto efficaci, possano tuttavia non essere sufficienti. Le città, infatti, sono organismi complessi e, in quanto tali, devono essere ripensate, progettate non solo nella loro forma urbana, ma nel loro funzionamento complessivo. E questo ripensamento non può prescindere dal comportamento degli stessi abitanti. Progettare la città resiliente significa, quindi, ripensarne la struttura fisica, costruito e spazi aperti allo stesso tempo, al fine di realizzare tutte quelle strutture e infrastrutture capaci di accogliere la vita dell'essere umano e delle altre specie viventi, guidandone la transizione verso un'etica stessa del comportamento resiliente.

RINGRAZIAMENTI

Un sincero ringraziamento ai professori Aldo Fiori, Alessandro Salvini, Francesco Asdrubali e Antonio Zarlenga del Dipartimento di Ingegneria di Roma Tre senza i quali non sarebbe stato possibile acquisire le necessarie competenze per sviluppare gli scenari.

adopted (material permeability, thickness, etc.)

- LID systems are less efficient in increasing return time or intensity. For this reason, their design must be backed by appropriate sewage systems.

In conclusion, the results show that, in the case in question, careful selection and a combination of technologies able to mitigate UHI and WR problems can help improve the environmental quality of a PS, demonstrating their potential usefulness in increasing resilience to climatic phenomena in an urban redevelopment process. The methodological approach followed and the mitigation effects measured can therefore be applied to new case studies to identify more complex and comprehensive strategies, not only for mitigation, but adaptation as well.

At the same time, the study highlights how, while effective, such transforma-

tions may not be sufficient in some cases. Indeed, cities are complex organisms and as such, not only their urban form, but their overall functioning must be rethought and redesigned. And this rethinking must not ignore the behaviour of residents. Therefore, designing a resilient city means rethinking its physical structure, both its built and open spaces, in order to create all those structures and infrastructures capable of hosting the life of human beings and other living species, guiding the transition toward an ethic of resilient behaviour.

ACKNOWLEDGMENTS

Sincere thanks to professors Aldo Fiori, Alessandro Salvini, Francesco Asdrubali and Antonio Zarlenga of the Department of Engineering of Roma Tre, without whose help we would not have acquired the skills necessary to develop the scenarios.

REFERENCES

- Adams, M. and Watson, D. (2010), *Design for flooding: architecture, landscape, and urban design for resilience to climate change*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA.
- Ahern, J. (2011), "From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world", *Landscape and Urban Planning*, Vol. 100 No. 4, pp. 341-343.
- Ahiablame, L. M., Engel, B. A. and Chaubey, I. (2012), "Effectiveness of low impact development practices: Literature review and suggestions for future research", *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 223 No. 7, pp. 4253-4273.
- Battista, G., Carnielo, E. and De Lieto Vollaro, R. (2016), "Thermal impact of a redeveloped area on localized urban microclimate: A case study in Rome", *Energy and Buildings*, No. 133, pp. 446-454.
- Branzi, A. (2006), *Modernità debole e diffusa*, Skira, Milano.
- Bruse, M. and Fleer, H. (1998), "Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model", *Environmental Modelling & Software*, Vol. 13 No. 3-4, pp. 373-384.
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M. and Abel, N. (2001), "From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?", *Ecosystems*, Vol. 4 No. 8, pp.765-781.
- Clément, G. (2005), *Manifesto del Terzo paesaggio*, Macerata, Quodlibet.
- D'Ambrosio, V. and Leone, M. F. (2015), "Controllo dei rischi del cambiamento climatico e progettazione ambientale per una rigenerazione urbana resiliente. Il caso applicativo di Napoli Est", *Techne*, No. 10, pp. 130-140.
- Doulos, L., Santamouris, M. and Livada, I. (2004), "Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials" *Solar Energy*, Vol. 77 No. 2, pp. 231-249.
- European Commission (2013), *Building a Green Infrastructure for Europe*, Luxembourg.
- Friedman, Y. (2009), *L'architettura di sopravvivenza. Una filosofia della povertà*, Bollati, Bologna.
- Gehl, J. (1971), *Life Between buildings: Using Public Space*, Island Press, Washington-Covelo-London.
- Gisotti, G. (2007), *Ambiente umano*, Flaccovio, Palermo.
- Hua, X. (2016), "Costruzione di un sistema di paesaggio urbano di infrastrutture per la gestione delle acque piovane : Nanjing come caso di studio", *Techne*, No. 11, pp. 151-157.
- Iavarone, R., Gravagnuolo, A., Esposito Devita, G. and Alberico, I. (2017), "Resilient city, an approach to cope with natural hazard", *World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation*, Proceedings of the XV International Forum, Le Vie dei Mercanti, pp. 764-763.
- ISPRA (2017), *Dossier consumo di suolo*, available at: <http://www.isprambiente.gov.it/it/ispra-informa/area-stampa/dossier/consumo-di-suolo-2017> (accessed 10 December 2017).
- Jha, A. K., Miner, T. W. and Stanton-Geddes, Z. (2013), *Building Urban Resilience: Principles, Tools and Practice*, The World Bank.
- Jia, H., Lu, Y., Yu, S. L. and Chen, Y. (2012), "Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village", *Separation and Purification Technology*, No. 84, pp. 112-119.
- Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P., Wallingford, H. R., Environment Agency (2015), *The SUDS Manual*, Ciria, available at: <https://doi.org/London C697> (accessed 15 October 2017).
- Losasso, M. (2015), "Rigenerazione urbana: prospettive di innovazione", *Techne*, No. 10, pp. 4-5.
- Madanipour, A., Knierbein, S. and Degros, A. (2014), *Public Space and the Challenges of Urban Transformation in Europe*, Routledge, London, UK.
- Maleki, A. and Mahdavi, A. (2016), "Evaluation of Urban Heat Islands Mitigation Strategies Using 3Dimensional Urban Micro- Climate Model Envi-Met", *Asian Journal of Civil Engineering*, Vol. 17 No. 3, pp. 357-371.
- Morin, E. (2008), *On complexity*, Hampton Press, Cresskill, NJ.
- Normandin, J., Therrien, M. and Tanguay, G. (2009), "City strength in times of turbulence: strategic resilience indicators", *Proceedings of the Joint Conference on City Futures*.
- Roberts, P. (2000), "The evolution, Definition and Purpose of Urban Regeneration", in Roberts, P. and Sykes, H. (Eds), *Urban Regeneration: A handbook*, Sage, London, pp. 9-36.
- Rockefeller Foundation and Arup (2005), *City Resilience Framework*, New York, USA.
- Rogora, A. and Dessì, V. (2005). Il comfort ambientale negli spazi aperti, EdicomEdizioni, Gorizia.
- Rossmann, L. A. (2015), *Storm Water Management Model User's Manual*, (EPA/600/R-14/413b).
- Santamouris, M. (2013), "Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 26, pp. 224-240.
- Temprano, J., Arango, O., Cagiao, J., Suarez, J. and Tejero, I. (2006), *Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain*, Water SA, Vol. 32 No. 1, pp. 55-63.