POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Microclimatic Design For Micro-Urban Design. A Case Study In Granada, Spain

Original
Microclimatic Design For Micro-Urban Design. A Case Study In Granada, Spain / Trane, M., Giovanardi, M., Pollo, R., Martoccia, C.. - In: SUSTAINABLE MEDITERRANEAN CONSTRUCTION. - ISSN 2420-8213. - ELETTRONICO. - 14:(2021), pp. 149-155.

Availability:
This version is available at: 11583/2948023 since: 2021-12-30T12:26:20Z

Publisher:
Luciano Editore

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

25 November 2026

Matteo Trane
Matteo Giovanardi
Riccardo Pollo
Chiara Martoccia

MICROCLIMATIC DESIGN FOR MICRO-URBAN DESIGN. A CASE STUDY IN GRANADA, SPAIN

Abstract
The *Healthy City* design requires a systemic and multi-scale approach, combining adaptation and mitigation and evaluating their effects in terms of quality of life. The paper assesses the impact of a design at micro-urban scale on the outdoor comfort conditions in Santa Adela district (Granada, Spain), a residential district with poor public and semi-public space quality. Therefore, the goal of the project is to promote a healthier urban environment by "redesigning" the microclimate and the space between buildings (or vice-versa). The design strategies adopted consist of: increasing blue and green infrastructure and permeable surfaces; redefining the mobility system; densifying the urban fabric, through the construction of a new multi-storey car parking, to free space for the aforementioned purposes. The modeling and simulation process is carried out in ENVI-met environment on the hottest summer day in 2019, comparing pre- and post-design scenarios. As a result, the design proposal on the public and open spaces strongly and positively impacts the outdoor condition with respect to the main comfort parameters.

Keywords: *Urban microclimate, ENVI-met, Healthy City, Adaptation, Climate mitigation*

Introduction

The ongoing climate challenge is embedded in a context of a systemic and structural "polycrisis" as Edgar Morin stated, involving economic, environmental, and social issues. This condition is evident in the "increasing vulnerability of urban systems exposed to environmental disasters that threaten the lifestyles, economies, and very survival of individuals" [1]. Sustainable city planning plays a primary role in reducing urban systems' environmental impact, thus increasing the built environment adaptivity with respect to sudden, unpredictable and increasingly frequent events.
Such an approach is mandatory to achieve the objectives set by the European Green Deal, framed in the broader context of the Agenda 2030 Sustainable Development Goals (SDGs). On the other hand, according to the UN [2] the global population will reach 9.7 billion inhabitants by mid-century. This will lead to a further increase in greenhouse gases emissions (GHG), given the current production and consumption models' confirmation, with the risk of turning the quality of life within cities worse and worse for a growing population. In this perspective, the SDG 11 of the 2030 Agenda aims to design resilient and inclusive

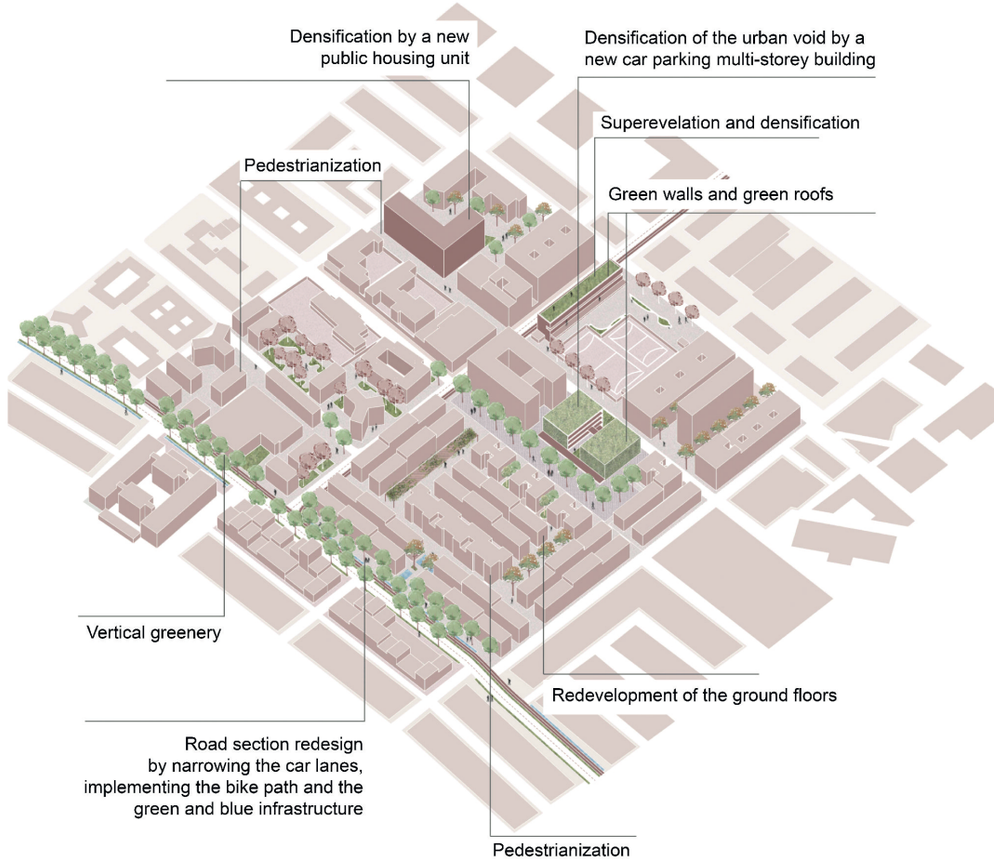

Fig.1 – Site-specific redevelopment design strategies

"Sustainable Cities and Communities", within which to take action for the Urban Heat Island (UHI) mitigation and the air quality improvement. This research concerns the design of the city at the micro-urban scale. In particular, the main objective of the paper is to identify site-specific strategies (Fig. 1) for the public space redevelopment as a mean to "design" the microclimate while adapting the cities, with a view to the mitigation of the climate change causes. In the following section, the paper highlights which strategies have positive impact in terms of both climate change adaptation and mitigation and their positive effects on the microclimate. Then, we present the case study and the design strategies we adopted, "assessed" also in terms of impact on the main outdoor comfort parameters. In conclusion, the main results are compared with some assumptions made in the literature, proving how the design of the Healthy City requires a systemic and multi-scalar approach.

Urban microclimate, adaptation, mitigation

The climate changes imply "a number of extreme events related to heat waves, heat islands, extraordinarily intense precipitation, storms, pluvial flooding, river flooding, floods, aridity and droughts, extreme windiness, cyclones, hurricanes, typhoons" [5], which are increasingly frequent and capable of triggering secondary effects on human health. Mitigation and adaptation often appear as distinct in the academic and governative bodies debate [6]. Nevertheless, a combinatorial approach is able to integrate policies for the reduction of climate-altering gas emissions (whose effects are evident in a long term perspective), the adaptation of the built environment (necessary in the short term), and the climate regulation at the local scale. Such an effort could represent a response to the complexity of the new "climate regime" [7] in the Healthy City perspective. Atmospheric emissions of climate-altering gases (and their removal) are a consequence of

Domain	*Strategies*	*Adaptation*	*Mitigation*	*Microclimate*
Green Infrastructure	Green roofs	Urban drainage, decentralizing water management	Reduction of long-wave radiation, thermal displacement, CO_2 absorption	Air quality improvement
	Green walls	Urban drainage	Lowering building vertical and soild surface temperatures, reduction of building energy demand, CO_2 absorption	Air quality improvement, lowering of Mean Radiant Temperatures (MRT)
	Urban forestry	Urban drainage	CO_2 absorption	Mitigation of the UHI, air quality improvement, safeguarding of biodivervisy and waters, lowering of MRT, wind speed reduction, suncreening
Urban and peri-urban agriculture	Indoor Farming, outdoor Farming, Urban Gardens	Allocation of fertile soil to manage the risk of sudden floods, reducing soil consumption	Reduction of the carbon footprint of the food, enhancing local production, CO_2 absorption, enhancing self-sufficiency dimension and bio-waste, limitating the use of chemical fertilizers, optimize water consumption, building redevelopment	Air quality improvement, lowering of MRT
Water management	Water ponds, floodable squares, rainwater reuse	Urban drainage, mitigating extreme events' effects	Reduction of the energy demand for distribution, pumping, heating systems	Lowering of MRT
Urban mobility	Pedestrianization, reduction of vehicle road sections, depaving, traffic calming	Allocating areas for all aforementioned purposes	CO_2 absorption, preventing GHG emissions by enhancing soft mobility	Air quality improvement, lowering of MRT

Tab.1 – Design strategies for win-win adaptation and mitigation and their effects on the urban microclimate

multiple processes, identifiable within urban sub-systems: buildings, transport, anthropogenic activities and needs, and green infrastructure [8]. Indeed, within the same urban context the GHG distribution pattern may vary even significantly [9]. Therefore, it is easier to identify the causal links and correlations existing between drivers - of an economic, social, regulatory and cultural nature -, activities and needs [10] at the neighborhood scale, as agents influencing the architectural design. As a result, the site-specific design at the micro-urban scale constitutes the "field of action" of the environmental design [11]. Here the benefits by combining adaptation strategies and mitigation policies are immediately experienced in terms of microclimate quality and its effects on human health.
Indeed, the presence of solar and wind shielding, urban morphology and density, reflectance and emissivity characteristics of materials, the "roughness" of vertical and horizontal surfaces, emissions due to anthropogenic processes, evapotranspiration mechanisms and the effects of advection due to the presence of vegetation are all variables determined by the design at micro-urban and building scale contributes to determine [12] and that affect the quality of local climate. As highlighted by the literature [13], a combinatorial approach "Adaptation feat. Mitigation" [6] is particularly effective in dealing with the climate crisis in the green infrastructure, urban and peri-urban agriculture, water management, and mobility domains. Finally, there is a deep-rooted correlation between mitigation of the climate change causes, climate adaptation and microclimate quality (Tab. 1).

Case study: Santa Adela District in Granada
Located in the autonomous community of Andalusia, in the south of the Iberian Peninsula, Granada extends for 88 km² and is inhabited by 232,208 people (Eurostat data). The reference



Fig. 2 – Santa Adela neighbourhood (red dashed line) within the Zaidin district, Granada

geographical coordinates of the city are 37° 11′ 0″ N, 3° 36′ 0″ W and its climate is Mediterranean, characterized by hot summers (Csa according to Köppen). The case study is located in the Zaidin district, which arose following the urban expansion of the 1950s in the southwest Granada. In particular, the project concerns the public housing district of Santa Adela (Fig. 2), which takes its name from the cooperative responsible for its construction to face the post-war housing crisis (1948). Being outside the 1951 Urban Plan, the first settlements in the district were informal. In 1960 Zaidin was already home to 15,000 inhabitants and, in the following decade, the building expansion led to a rapid reunion with the city, in the direction of the Genil River, which previously marked the urban limit to the south. The Zaidin district is one of the most densely populated areas of the city (about 9,200 inhabitants/Km²).
The research area is approximately 67,500 m² (250 x 270 m) (Fig. 2) and was mainly built in the 1960s. Here the presence of vegetation is minimal while the asphalted surfaces prevail. Indeed, from the analysis carried out (Fig. 3) it emerged that the presence of permeable soil amounts to 2% of the public and semi-public

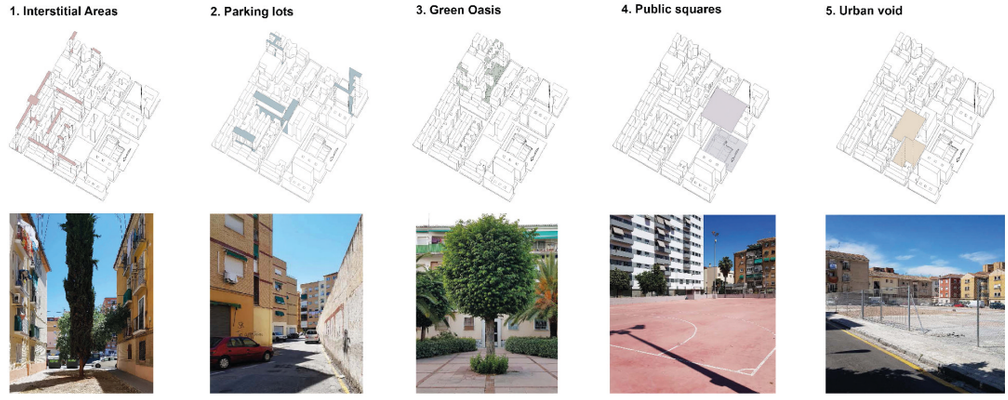

Fig. 3 – Typologies and location of the unbuilt spaces

connective tissue, and five different types of unbuilt spaces have been identified:
1. Interstitial areas, that is the spaces between residential buildings, mostly paved, characterized by the sporadic presence of trees and often used as parking lots;
2. Parking lots with asphalted surfaces;
3. A green oasis (Velasquez Square), the only area with greenery (mainly trees and shrubs);
4. The public square, recently built (2002), characterized by a sports area paved with a medium-dark conglomerate and the presence of sporadic shrubs;
5. An urban void, consequence of a recent demolition (2019) of two residential buildings.

Methodology and strategies

The assessment of the project in the area in terms of outdoor quality was carried out through a modeling and simulation process, by comparing pre- and post-design scenarios. The processes were carried out with ENVI-Met, a Computational Fluid-Dynamics (CFD) software whose use has been widely validated by the scientific literature in this field. Specifically, the modeling process was carried out by using the ENVI-met "Space" application; the simulation by the "ENVI-Guide" and "BioMet" applications, to process the local climate variables and assess the comfort perceived by the user; the results were read using the "Leonardo" application. Using the "Database Manager" application, the finishing materials of the horizontal surfaces were created or customized according to the state of the art conditions or to be designed. In addition, the influence of the trees is considered in terms of shading and evapotranspiration. Various climatic parameters were evaluated to assess the impact of the redesign of the space between buildings, within which the most relevant are:
- Potential Air Temperature (PAT) [°C], function of the inclination of the incident radiation, its intensity and multiple geographical and orographic factors [14], evaluated at 1.5 m height above the ground;
- Physiological Equivalent Temperature (PET) [°C], which represents the outdoor comfort conditions by combining objective parameters, such as radiant temperature and air speed, and subjective parameters, such as physical activity and the type of clothing worn [15], evaluated at 1.5 m height above the ground;
- Surface Temperatures (ST) [°C], depending on the physical characteristics of the finishing materials (including albedo, emissivity, roughness), the PAT, the reflection phenomena triggered by the surrounding horizontal and vertical surfaces.

The microclimatic analysis was carried out in particularly unfavorable statistical conditions,

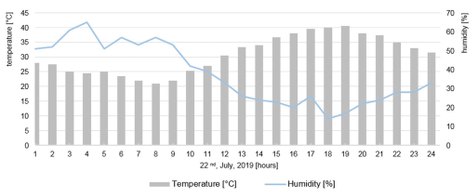

Fig. 4 Climatic data in Granada on 22nd July 2019



Fig. 5 – Design strategies in plot A

assuming the hourly air temperature, relative humidity, wind speed and direction values of 22nd July 2019 (Fig. 4) as the hottest day of the year detected by the weather station.
The design proposal consists of three clusters of targets, for each of which specific design strategies have been implemented (Fig. 1):
- *Pedestrianization*. Many interstitial areas have been pedestrianized redesigning the street urban sections. This has made it possible to free the public space from cars and redevelop it, implementing soft mobility through traffic calming strategies and by encouraging the use of sustainable public or private transport. Finally, the reconversion of the ground floors was envisaged, according to the needs identified in the meta-design phase, providing flexible spaces for coworking and study rooms, temporary residences, commercial activities, services, and parking for bikes.
- *Densification*. To this end, the "urban void" was converted into a multi-storey car park, near the pedestrianized areas and for the prevalent use of residents. The redevelopment of the ground floor implies the relocation of the existing residences. They will be located in an industrial lot (disused) to be redeveloped in compliance with the Urban Plan of Granada.
- *Green and blue infrastructure*. The green horizontal and vertical infrastructure has been greatly increased; the installation of green walls and roofs has been planned; the road sections for vehicles have been reduced, allowing the design of gardens, water ponds and cycle paths.

Results

The modeling and simulation process was carried out by discrete plots, identified by morphological and typological affinities of the built environment and to not to dilate the

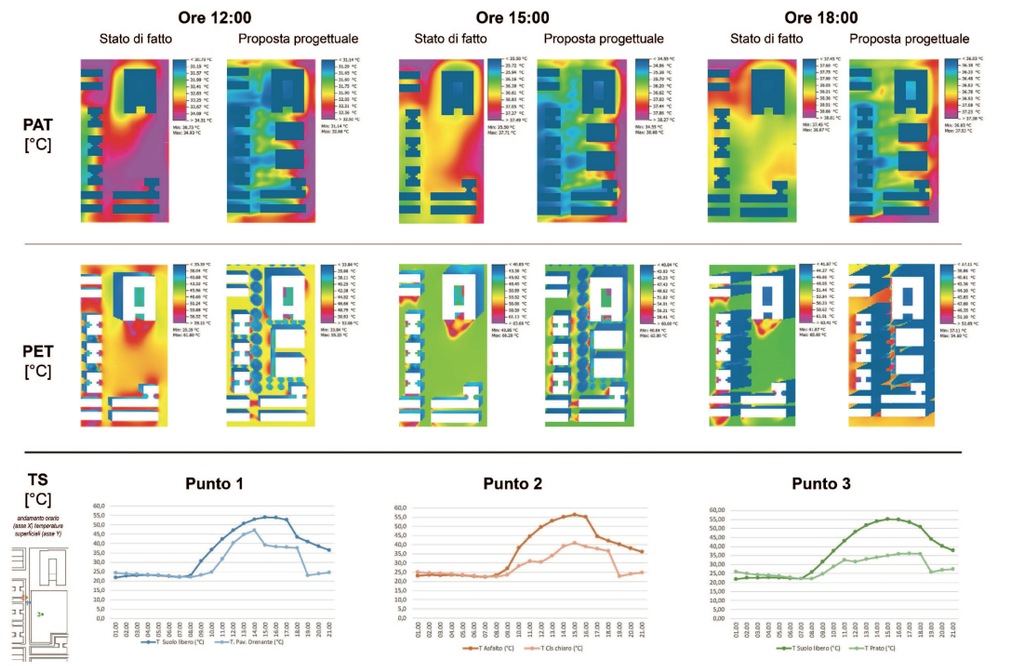

Fig. 6 Plot A, outputs of the simulation at 12AM, 3PM, 6PM

softwares calculation times, by ensuring greater spatial resolution of the model outputs at the same time.
Plot A. The site-specific design strategies (Fig. 5) aim at the densification of the urban fabric by the new multi-storey car park, hypothesized on pilotis to favor the wind circulation and to be used mainly by the residents, to make it possible to redevelop the space between the buildings in plots B and C; the green infrastructure implementation; the asphalted and waterproof surfaces devaping; the installation of green walls and roofs. The results of the simulations (Fig. 6) show how the strategies have a positive impact on the quality of the microclimate. In particular, the densification of the buildings involves a decrease in the maximum PAT value in the central hours of the day from about 1°C (12:00 AM) to about 2°C (3:00 PM). Similarly, the PET index improves significantly in the post-design scenario. In particular, the most significant variation is at 18:00, when the maximum PET values are 12°C lower than the current condition. The ST were assessed throughout the area and in particular in three significant points. They were selected to quantify the benefits coming from the change in flooring with respect to the daily hourly trend of the values. The points analyzed in the current urban void, whose new surfaces were provided in light concrete (Point 1) and meadow (Point 3), show a ST decrease of about 20°C in the central hours of the day (Point 3 at 3:00 PM).

Plot B. The design proposal (Fig. 7) concerns the redevelopment of the ground floor of the residential buildings and the space between them, by depaving the asphalted and waterproofed surfaces; the water ponds implementation and the enhancement of the green punctual infrastructure; the installation of pergolas to screen from direct solar radiation. Compared to the current status, the most evident PAT maximum value variations are recorded in the central hours of the day (approximately -4.5°C at 12:00 AM, -3.5°C at 3:00 PM), while variations of the minimum values are less evident (around -1°C between 12:00 AM and 3:00 PM). The flooring changes have favored a marked improvement in the ST. In particular, the most significant decrease is recorded in the points where the asphalt has been replaced with horizontal green (Point 3, -30°C approximately at 3:00 PM). Due to a contained albedo difference, concern Point 1 has smaller variations, showing a similar trend except from some central hours of the day (at 11:00 AM the delta between the existing and the project temperature is -20°C) (Fig. 8).

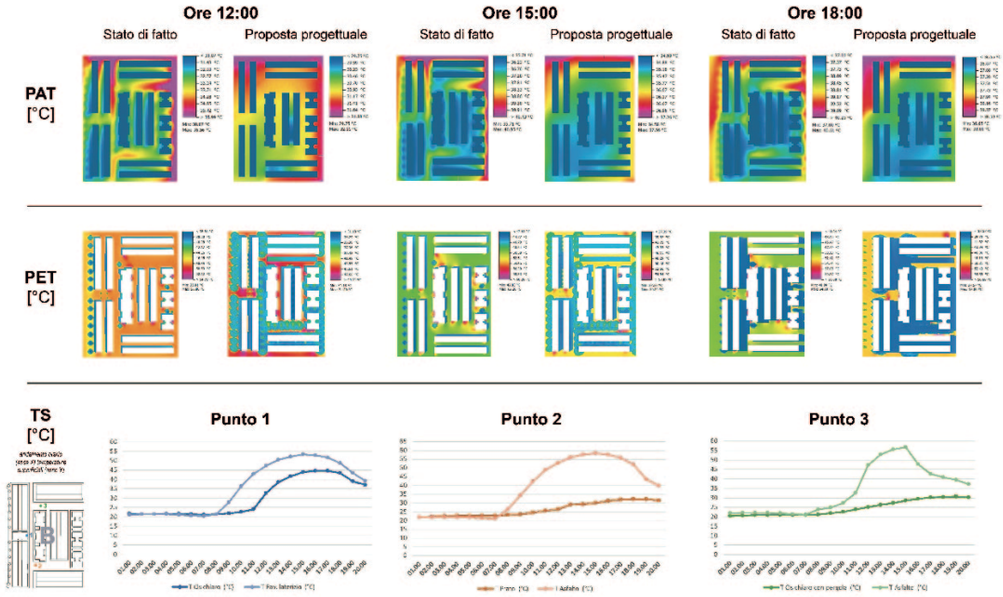

Fig. 8 – Plot B, outputs of the simulation at 12AM, 3PM, 6PM

Plot C. The strategies (Fig. 9) here involve the redesign of the roads (narrowing of the carriageway, insertion of a dual-lane cycle path, widening of the new light concrete sidewalks). In parallel, the green (horizontal and vertical) and blue infrastructures are implemented. Compared to the simulations of Plot A and B, the influence of the design with respect to the trend of the ST in the selected points is less evident, considering also the smaller effect provided by building shadows (in light of a wider road section than internal courtyards). The PAT shows more significant changes at 3:00 PM, where the maximum value in the design scenario is about 3.5°C lower than in the current state. The PET index, although it does not show significant variations with respect to the minimum values, demonstrates a widespread and general improvement in the whole area, net of the areas immediately adjacent to the south facades of the residential buildings, where the installation of green walls or new trees could be a solution (Fig. 10). In this case, the design should provide a system for shielding the direct solar radiation in a more effective way.



Fig. 7 – Design strategies in Plot B

Conclusions

The main results confirm some of the assumptions considered and present in the scientific literature, as well as the effectiveness of the design solutions with respect to the initial goal: "designing" the urban microclimate by the micro-urban design (or vice-versa). The issue is faced with respect to summer comfort, as it represents a critical factor in adaptation strategies to climate change and health protection. For this purpose, the variables of the local climate have been related to the behavior of the buildings, urban forms, materials and natural elements.
In particular, for the specific context, the urban density and morphology of the building are determining factors with respect to the microclimate and comfort conditions. Indeed, the influence of a dense tissue has both a direct (affecting the shading of the spaces between



Fig. 9 – Design strategies in Plot C

buildings) and indirect influence on the microclimate (in terms of mitigation of vehicular traffic emissions, positively influencing the main health determinants). The densification and the site-specific plot strategies actually allowed the decrease of PAT and ST and significantly improved the summer comfort index values. The orientation of the road axes (the urban canyons) also represents a primary element with respect to the definition of outdoor comfort: at the latitude considered, the simulations carried out demonstrate how the internal courtyards oriented according to the north-south axis are affected by ST values which are 8-10°C lower than those oriented along the east-west axis, with a PET index range of 15°C in the most critical hours. Lastly, green infrastructure represents one of the most important factors with respect to the mitigation of the UHI and it is a win-win solution for adaptation and mitigation. Indeed, the trees allow the cooling of the air through the evapotranspiration mechanism, greater shading of the ground surfaces, influencing the radiative exchanges, shielding the sun's rays and acting on the air humidity [16]. The increase in green infrastructure, combined with soil redefinition strategies (roadway redesign, de-waterproofing, de-paving, using surface materials with high albedo, installation of water blades and solar shading) implied the abatement of maximum PAT values of over 4°C in the most critical hours.

Micro-urban scale redesign strategies are able to improve environmental quality through the mitigation of the UHI and liveability in different contexts, rethinking the uses of residential spaces. This constitutes a primary element in the success of ecological transition policies, combining adaptation and mitigation, carbon neutrality and better quality on a social and individual level. The complexity of the global multiscale climate crisis requires a systemic "Green City Approach", based on high environmental quality, on the efficiency and circularity of resources and on the response to global warming in terms of adaptation and mitigation of the causes of climate change [14]. In this perspective, a holistic response is required to the *Healthy City*, combining the risk prevention with its mitigation, taking as a priority the definition of the quality of life in anthropized contexts. The project must aim at mitigating the vulnerability of the urban habitats, exacerbated by the recent pandemic crisis. This design and research framework implies rethinking cities and life inside of them in terms of health promotion.

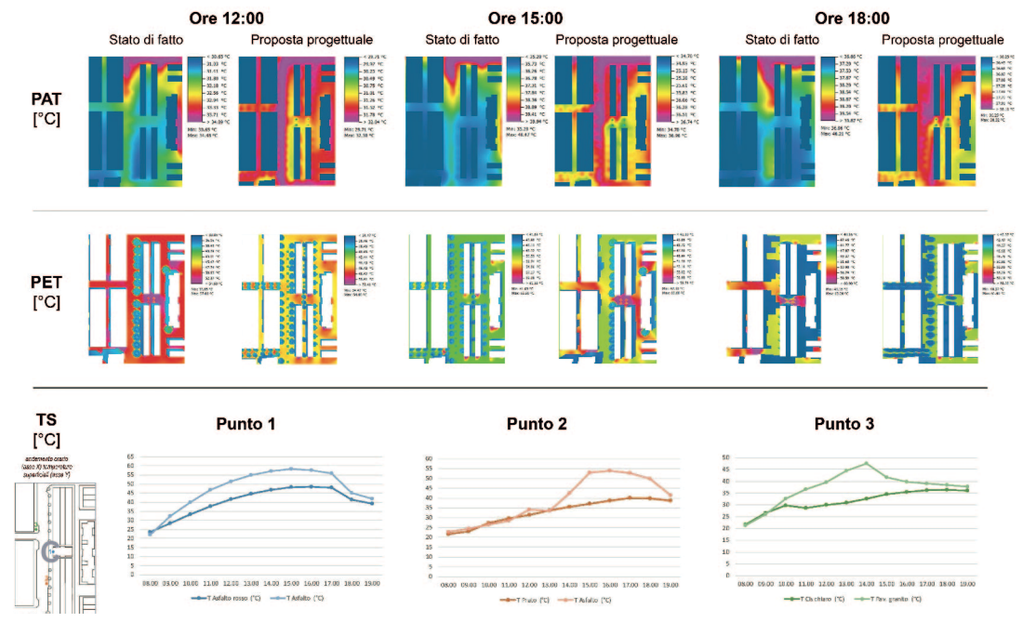

Fig. 10 – Plot C, outputs of the simulation at 12AM, 3PM, 6PM

REFERENCES

[1] Losasso, M. & Verde, S. (2020). Strategie progettuali di adattamento urbano ed edilizio in scenari di multirischio ambientale. *AGATHON*, *08*, 64-73.

[2] UN – Department of Economic and Social Affairs, Popular Division (2019). *World Urbanization Prospects – The 2018 Revision*.

[3] Erell, E., Pearlmutter D. & Williamson, T. (2011). *Urban microclimate. Designing the space between buildings*. Earthscan: London.

[4] Francese, D. (2020). Sustainable construction, social health and Sustainable Development. *SMC, 11*, 5-18.

[5] Tucci, F., Cecafosso, V. & Turchetti, G. (2021). La multiscalarità degli interventi di adattamento climatico: programmi strategici, metaprogettazione e progetti dimostratori. In R. Bologna, M. Losasso, E. Mussinelli, F. Tucci (Eds.), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico* (pp. 61-68), Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli.

[6] Pollo, R. & Trane, M. (2021). Adaptation, Mitigation, and Smart Urban Metabolism towards the Ecological Transition. In C. Sposito (Ed.), *Possible and preferable scenarios of a Sustainable Future. Towards 2030 and beyond* (pp. 74-89), Palermo University Press: Palermo.

[7] Losasso, M. (2021). L'innovazione del progetto ambientale nel nuovo regime climatico. In R. Bologna, M. Losasso, E. Mussinelli, F. Tucci (Eds.), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico* (pp. 7-10), Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli.

[8] Trane, M. (2020), Metodologie e strumenti per una valutazione dei flussi di materia e di energia alla scala micro-urbana. In M. Perriccioli, M. Rigillo, S. Russo Ermolli, F. Tucci (Eds.), *Design in the Digital Age. Technology, Nature, Culture* (pp. 77-79), Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli.

[9] Kellett, R., Christen, A., Coops, N. C., van der Laan, M., Crawford, B., Tooke, T.R. & Olchovski, I. (2013). A systems approach to carbon cycling and emissions modeling at an urban neighborhood scale. *Landscape and Urban Planning, 110(1)*, 48-58.

[10] Dijst, M., Worrel, E., Böcker, L., Brunner, P., Davoudi, S., Geertman, S. et al. (2018). Exploring urban metabolism. Towards an interdisciplinary perspective. *Resources Conservation and Recycling, 132*, 190-203.

[11] Pollo, R., Trane, M. & Giovanardi, M. (2021). Urban metabolism, modelli interdisciplinari e progetto alla scala micro-urbana. *TECHNE, 21*, pp. 154-64.

[12] Pollo, R., Biolchini, E., Squillacioti, G. & Bono, R. (2020). Designing the healthy city: an

interdisciplinary approach. *SMC, 12*, 150-55.
[13] Grafakos, S., Trigg, K., Landauer, M., Chelleri, L. & Dhakal, S. (2019). Analytical framework to evaluate the level of integration of climate adaptation and mitigation in cities. *Climatic Change*, 154, 87-106.
[14] Tucci, F. & Cecafosso, V. (2021). Green Cities between adaptive design and circularity of resources. *SMC, 13*, 136-47.
[15] Cimillo, M. (2021). PET. In M. Losasso, M.T. Lucarelli, M. Rigillo, R. Valente (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale*, Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli.
[16] Pollo, R. (2015). Progettare l'ambiente urbano. Riflessioni e strumenti. Carocci Editore: Roma.

NOTES

The paper is the result of a shared work by the authors who are equally responsible for it. To identify the specific contributions, Pollo and Trane wrote section 1 and 2, Trane section 4, Giovanardi and Trane section 3; Trane, Giovanardi, Pollo and Martoccia sections 5 and 6. The modeling and simulation process on ENVI-met has been carried out by Martoccia and Trane. All images have been elaborated by Martoccia and Trane.

PROGETTARE IL MICROCLIMA PER PROGETTARE ALLA SCALA MICRO-URBANA. UN CASO STUDIO A GRANADA, SPAGNA

Sommatio
Il progetto della Città Sana (Healthy City) richiede un approccio sistemico, in grado di combinare gli ambiti dell'adattamento e della mitigazione e di valutarne gli effetti in termini di qualità della vita. Il contributo analizza l'impatto sul comfort outdoor di una proposta progettuale nel distretto di Santa Adela (Granada, Spagna), connotato da una modesta qualità degli spazi pubblici e semipubblici. A tal fine, l'obiettivo della proposta riguarda il progetto di una città più salubre attraverso il "progetto" del microclima (o viceversa) e, di conseguenza, lo spazio tra gli edifici. Le strategie adottate riguardano: l'incremento dell'infrastruttura verde e blu e delle superfici permeabili; la ridefinizione della mobilità; la densificazione del tessuto attraverso la realizzazione di un parcheggio multipiano, per riqualificare lo spazio pubblico rispetto agli obiettivi fissati. Il processo di modeling and simulation è stato condotto utilizzando i dati del giorno climaticamente più sfavorevole del 2019 in ambiente ENVI-met, confrontando lo scenario pre- e post-progettuale. I risultati dimostrano come il progetto migliori significativamente le condizioni di comfort rispetto ai parametri considerati.

Parole-chiave: *Microclima urbano, ENVI-met, Healthy City, Adattamento, Mitigazione climatica*

Introduzione
La complessità della sfida climatica si inserisce, secondo Edgar Morin, in una condizione di "policrisi" sistemica e strutturale, che riguarda la dimensione economica, ambientale, sociale e si ripercuote sulla "crescente vulnerabilità dei sistemi urbani esposti alle catastrofi ambientali che minacciano gli stili di vita, le economie e la sopravvivenza stessa degli individui" [1]. La progettazione sostenibile delle città, nell'ottica di ridurne gli impatti ambientali e al contempo incrementarne la capacità adattiva rispetto a cambiamenti repentini, imprevedibili e sempre più frequenti, risulta pertanto cogente nell'ottica del raggiungimento degli obiettivi fissati dal Green Deal Europeo, inseriti nel più ampio contesto delle strategie di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030. Per altro verso, la crescita della popolazione globale (che, secondo le stime dell'ONU, raggiungerà i 9.7 miliardi di abitanti entro la metà del secolo) [2] comporterà un incremento delle emissioni di GHG stante la conferma dei modelli di produzione e consumo attuali, con il rischio di rendere peggiore la qualità della vita per una fascia sempre più consistente di popolazione. In questa prospettiva, l'obiettivo 11 dell'Agenda 2030 riguarda la progettazione di "Città e Comunità Sostenibili", resilienti e inclusive, all'interno delle quali è necessario operare anche ai fini della mitigazione dell'Isola di Calore Urabana (UHI) e del miglioramento della qualità dell'aria.
Per le considerazioni fatte, è necessario che l'impatto del progetto - a tutte le scale - venga valutato in termini di bilancio ambientale e sociale. Il miglioramento delle condizioni microclimatiche che connotano lo spazio pubblico, all'interno del quale intercorre la maggior parte delle relazioni sociali [3], può contribuire significativamente alla definizione della qualità della vita all'interno delle città. Per altro verso, gli obiettivi legati alla gestione delle risorse e dei consumi energetici ai fini della mitigazione climatica sono strettamente connessi con le istanze relative alla promozione della salute e del comfort negli ambienti di vita urbana, da considerarsi come responsabilità del progettista [4]. L'esperienza condotta e di seguito esposta riguarda il progetto site-specific (Fig. 1) alla scala micro-urbana, ed in particolare il progetto del suolo come mezzo per "progettare" il microclima (e viceversa) attraverso l'adattamento dello spazio costruito, nell'ottica della mitigazione delle cause del cambiamento climatico. Dopo aver messo in evidenza le strategie in grado di agire contemporaneamente in termini di adattamento, mitigazione e miglioramento delle condizioni microclimatiche, vengono illustrati il caso studio e le strategie progettuali adottate, "testate" anche in termini di efficacia rispetto ai principali parametri di comfort outdoor. Nelle conclusioni, vengono sintetizzati i principali risultati, che confermano alcune le ipotesi considerate e riportate in letteratura, nonché la necessità di adottare un approccio sistemico e multi-scalare per la progettazione della Healthy City.

Microclima urbano, adattamento, mitigazione
I cambiamenti climatici in atto implicano il verificarsi di "alcuni eventi estremi legati a ondate di calore, isole di calore, precipitazioni di straordinaria intensità, tempeste, pluvial flooding, river flooding, alluvioni, fenomeni di aridità e siccità, ventosità estreme, cicloni, uragani, tifoni" [5], sempre più frequenti e capaci di innescare effetti secondari che si ripercuotono sulla salute umana. Le strategie di mitigazione e adattamento appaiono sovente distinte al livello del dibattito accademico e degli organi governativi [6]. Tuttavia, un approccio combinatorio, che integri l'adozione di politiche per la riduzione dell'emissione di gas climalteranti - con effetti ravvisabili nel lungo termine -, l'adattamento dell'ambiente costruito - necessario nel breve termine - e la regolazione del clima alla scala locale si configurerebbe come risposta capace di fronteggiare la complessità del nuovo "regime climatico" [7], nella prospettiva del progetto della Città Sana. Per altro verso, le emissioni in atmosfera di gas climalteranti (e il loro prelievo) sono da intendersi come conseguenza di processi multipli, identificabili all'interno di sotto-sistemi del contesto urbano: gli edifici, i trasporti, le attività e i bisogni di origine antropica e l'infrastruttura verde [8]. Anche all'interno dello stesso sistema urbano, pertanto, il pattern di emissione dei gas climalteranti può mostrare significative variazioni [9]. Alla scala del quartiere, dunque, risulta più facile identificare i nessi causali e le correlazioni esistenti tra driver - di natura economica, culturale, sociale e normativa -, attività e bisogni [10], in grado di informare il progetto di architettura. Il progetto site-specific alla scala micro-urbana, ambito di azione della progettazione ambientale [11], risulta quindi in grado di mettere maggiormente in rilievo i benefici derivanti dall'adozione di un approccio combinatorio tra adattamento e mitigazione - i cui effetti siano immediatamente esperibili in termini di qualità del microclima e, quindi, di effetti sulla salute umana.
In termini di microclima, la presenza di schermature rispetto alla radiazione solare e al vento, la morfologia e la densità urbana, le caratteristiche di riflettanza ed emissività dei materiali, la "rugosità" delle superfici verticali e orizzontali, le emissioni dovute ai processi antropici, i meccanismi evapotraspirativi e gli effetti dell'avvezione dovuti alla presenza della vegetazione sono di fatto variabili che il progetto dello spazio pubblico alla scala urbana ed edilizia concorre a determinare [12]. Così come riportato in letteratura [6] [13], gli ambiti all'interno dei quali l'approccio combinatorio "Adaptation feat. Mitigation" [6] risulta essere particolarmente efficace per fronteggiare le sfide poste dal cambiamento climatico in atto riguardano l'infrastruttura verde, l'agricoltura urbana e peri-urbana, la gestione idrica, la mobilità. In definitiva, esiste, ed è radicata, una correlazione tra mitigazione delle cause del cambiamento climatico, adattamento e qualità del microclima (Tab. 1).

Caso studio: il distretto di Santa Adela in Granada, Spagna
Situata nella comunità autonoma dell'Andalusia, al sud della Penisola iberica, Granada si estende per 88 km² ed ospita 232.208 abitanti (dati Eurostat). Le coordinate geografiche di riferimento della città sono 37° 11′ 0″ N, 3° 36′ 0″ W e il suo clima è mediterraneo caratterizzato da estati calde (Csa secondo Köppen). L'area oggetto della ricerca si colloca nel distretto Zaidin (Fig. 2), sorto in seguito all'espansione urbana degli anni '50 del Novecento, nel quadrante a sud-ovest della città. In particolare, il progetto riguarda il quartiere di edilizia residenziale pubblica di Santa Adela, che prende il nome dal Patronato responsabile della sua realizzazione, costituitosi nel 1948 in risposta al disagio abitativo del dopoguerra. Trovandosi al di fuori del Piano Urbanistico del 1951, i primi insediamenti nel quartiere avevano carattere informale; nel 1960 Zaidin ospitava già 15.000 abitanti e, nel decennio successivo, l'espansione edilizia ne determinò un rapido ricongiungimento con la città, in direzione del fiume Genil, che precedentemente segnava il limite urbano a sud. Il quartiere Zaidin costituisce una delle aree più densamente popolate della città, pari a circa 9.200 ab/Km². Nello specifico, l'area campione per la sperimentazione occupa una superficie di circa 67.500 m² (250 x 270 m) (Fig. 2), all'interno della quale la presenza di vegetazione è minima e prevalgono le superfici asfaltate. Dall'analisi effettuata (Fig. 3), di fatto, è emerso come la presenza di suolo permeabile si attesti al 2% del totale delle superfici connettive, all'interno delle quali sono state identificate cinque tipologie di spazio non edificato:
- Le aree interstiziali, ovvero gli spazi tra gli edifici residenziali, per lo più pavimentate, caratterizzate dalla sporadica presenza di alberature e sovente utilizzate come parcheggi;
- Le aree a parcheggio, asfaltate;
- Un'oasi verde (Piazza Velasquez), l'unica caratterizzata dalla presenza di verde, principalmente alberature e arbusti;
- La piazza pubblica, di recente realizzazione (2002), caratterizzata da un'area sportiva pavimentata mediante conglomerato cementizio e dalla presenza di sporadici arbusti;
- Un vuoto urbano, generato in seguito alla recente demolizione (2019) di due edifici residenziali.

Caso studio: il distretto di Santa Adela in Granada, Metodologia e strategie
La valutazione della proposta progettuale in termini di qualità e comfort outdoor è stata effettuata mediante un processo di modeling and simulation dell'area in ambiente ENVI-Met, un software Computational Fluid-Dynamics (CFD) il cui utilizzo è ampiamente validato dalla letteratura scientifica di riferimento. Il processo

di modeling, nello specifico, è stato effettuato mediante l'applicativo "Space" di ENVI-met; il processo di simulation mediante "ENVI-Guide" e "BioMet", in grado di elaborare rispettivamente le variabili relative al clima rilevato alla scala locale e di valutare il comfort percepito dall'utente; la lettura dei risultati è avvenuta mediante l'applicativo "Leonardo". Per mezzo dell'applicativo "Database Manager", sono stati creati i materiali di finitura che caratterizzano le superfici orizzontali nello stato di fatto e di progetto. Inoltre, viene considerato l'influsso, in termini di ombreggiamento ed evapotraspirazione, delle alberature presenti e in progetto.

Per valutare l'impatto della proposta relativa alla riconfigurazione dello spazio tra gli edifici, sono stati valutati diversi parametri climatici, di cui si riportano quelli ritenuti più significativi:

- Temperatura dell'Aria Potenziale (PAT) [°C], funzione delle densità di radiazione solare e di fattori geografici e orografici [14], valutata ad un'altezza di 1.5 m dal terreno;

- Temperatura Fisiologica Equivalente (PET) [°C], che rappresenta le condizioni di comfort in un ambiente esterno combinando parametri oggettivi, quali la temperatura radiante e la velocità dell'aria, e parametri soggettivi, come l'attività fisica e il tipo di abbigliamento [15], valutata ad un'altezza di 1,5 m dal terreno;

- Temperature Superficiali (ST) [°C], funzione delle caratteristiche fisiche dei materiali di finitura (tra cui albedo, emissività, rugosità), della PAT, dei fenomeni di riflessione innescati dalle superfici orizzontali e verticali circostanti.

L'analisi microclimatica è stata effettuata in condizioni particolarmente sfavorevoli, assumendo i valori orari (temperatura dell'aria, umidità relativa, direzione e velocità del vento) del 22 luglio 2019 (Fig. 4), il giorno più caldo dell'anno cui si riferisce la serie storica utilizzata nel calcolo e rilevata da stazione meteorologica. La proposta progettuale si articola nelle strategie progettuali (Fig. 1) riassumibili in tre cluster di obiettivi.

- Pedonalizzazione. Al fine di ridefinire le sezioni stradali, liberando lo spazio pubblico dalle automobili per consentirne una riqualificazione, molte aree interstiziali sono state pedonalizzate, implementando la mobilità dolce attraverso strategie di traffic calming e incentivando l'utilizzo di mezzi pubblici. È stata infine prevista la riconversione dei piani terra in prossimità delle aree pubbliche riqualificate, in funzione delle esigenze identificate in fase metaprogettuale e al fine di ricavare spazi flessibili per coworking e aule studio, residenze temporanee, attività commerciali di vicinato, servizi, parcheggio per le biciclette.

- Densificazione. L'area identificata in precedenza come "Vuoto urbano" è stata destinata a parcheggio multipiano, in prossimità delle aree pedonalizzate e ad uso prevalente dei residenti. È stata infine ipotizzata la dislocazione delle residenze esistenti ai piani terra, in adesione con il Piano Urbano di Granada, in un lotto industriale (dismesso) di prossima riqualificazione.

- Infrastruttura verde e blu. PL'infrastruttura verde è stata fortemente incrementata; è stata prevista l'installazione di pareti e tetti verdi; le sezioni stradali carrabili sono state ridotte, consentendo l'installazione di giardini, specchi d'acqua e percorsi ciclabili.

Risultati

Il processo di modeling and simulation è stato condotto per lotti discreti, identificati per affinità tipologiche e morfologiche, al fine di non dilatare i tempi di calcolo del software e, allo stesso tempo, garantire una maggiore risoluzione spaziale degli output del modello

Lotto A. Le strategie progettuali site-specific (Fig. 5) mirano a densificare il tessuto urbano per mezzo del nuovo parcheggio pluripiano, ipotizzato su pilotis per favorire la ventilazione e riservato principalmente ai residenti dell'area, nell'ottica di poter riqualificare lo spazio tra gli edifici nei lotti B e C; al potenziamento dell'infrastruttura verde; a sostituire le superfici asfaltate e impermeabili; a installare pareti e tetti verdi. I risultati delle simulazioni condotte (Fig. 6) evidenziano come le strategie abbiano impatto positivo sulla qualità del microclima degli spazi esterni. In particolare, la densificazione del costruito comporta una diminuzione della PAT massima nelle ore centrali della giornata da 1°C circa (ore 12:00) a 2°C circa (ore 15:00). Allo stesso modo, l'indice PET indica un netto miglioramento dei valori nello scenario post-intervento. In particolare, la variazione più significativa è apprezzabile alle ore 18:00, quando i valori di PET massima sono inferiori di 12°C rispetto alla condizione attuale. Le temperature superficiali sono state valutate in tutta l'area e in particolare in tre punti significativi, per valutare l'incidenza del cambio di pavimentazione rispetto all'andamento orario giornaliero dei valori. I punti analizzati nell'attuale vuoto urbano, la cui nuova finitura superficiale è stata prevista in calcestruzzo chiaro (Punto 1) e verde orizzontale (Punto 3), mostrano una diminuzione massima dei valori di ST di circa 20°C circa nelle ore centrali della giornata (Punto 3 ore 15:00).

Lotto B. La proposta (Fig. 7) riguarda la riqualificazione degli spazi al piano terra delle maniche costruite e dello spazio tra queste, mediante il depaving delle porzioni asfaltate e impermeabilizzate e l'inserimento di verde orizzontale; la realizzazione di specchi d'acqua e il potenziamento del verde puntuale; l'inserimento di pergole per schermare la radiazione solare diretta. Rispetto allo stato di fatto, le variazioni più significative nei valori massimi di PAT sono registrate nelle ore centrali della giornata (-4.5 °C circa alle ore 12:00, -3.5 °C circa alle ore 15:00), mentre la variazione dei valori minimi è più contenuta (-1°C circa tra le ore 12:00 e le ore 15:00). Il cambio di finitura delle superfici orizzontali ha favorito un netto miglioramento delle temperature superficiali. In particolare, la diminuzione più significativa si registra nei punti in cui l'asfalto è stato sostituito con il verde orizzontale (Punto 3, -30°C circa alle ore 15:00). Variazioni meno significative, dovute anche ad una differenza di albedo contenuta, riguardano invece il Punto 1, dove il delta tra la temperatura esistente e di progetto è più evidente alle ore 11:00 (-20°C) (Fig. 8).

Lotto C. Le strategie per la ridefinizione del suolo (Fig. 9) coinvolgono il sedime stradale, per cui è previsto il restringimento della carreggiata carrabile, l'inserimento di una pista ciclabile a doppia corsia e l'ampliamento dei marciapiedi, realizzati con una pavimentazione in calcestruzzo chiaro. Parallelamente, sono state implementate le infrastrutture verde (orizzontale e verticale) e blu. Rispetto alle simulazioni precedentemente condotte, l'influenza delle scelte progettuali sui valori di ST nei punti selezionati è meno significativa, anche per la minore azione dell'ombra portata dagli edifici (considerata una sezione stradale più ampia rispetto ai cortili interni). La PAT mostra variazioni più significative alle ore 15:00, dove il valore massimo nello scenario progettuale è inferiore di circa 3.5 °C rispetto allo stato di fatto. L'indice PET, sebbene non dimostri variazioni significative rispetto ai valori minimi, dimostra un diffuso e generale miglioramento in tutta l'area, al netto delle aree immediatamente adiacenti alle testate cieche degli edifici residenziali esposti a sud, per le quali è ipotizzabile l'installazione di pareti verdi o di nuove alberature (Fig. 10). In questo caso, una strategia progettuale più efficace dovrebbe dunque prevedere una maggiore schermatura della radiazione solare incidente.

Conclusioni

I risultati, di cui sono stati riportati gli output più significativi, confermano le ipotesi indagate e riportate dalla letteratura scientifica di riferimento, nonché l'efficacia delle soluzioni progettuali rispetto all'obiettivo iniziale: "progettare" il microclima urbano attraverso il progetto alla scala micro-urbana (o viceversa). In particolare il tema viene indagato rispetto al comfort estivo che rappresenta un fattore critico nelle strategie di adattamento al cambiamento climatico e alla tutela della salute. A questo scopo, le variabili del clima locale sono state messe in relazione con il comportamento del costruito, delle forme urbane, dei materiali e degli elementi naturali.

Nel contesto in esame, la densità del costruito è un fattore determinante rispetto alla definizione del microclima e delle condizioni di comfort, sia direttamente (incidendo sull'ombreggiamento degli spazi tra gli edifici) sia indirettamente (in termini di mitigazione delle emissioni dovute al traffico veicolare, influenzando positivamente i principali determinanti di salute). La liberazione dello spazio tra gli edifici dalle auto, in combinazione con le strategie ipotizzate, ha di fatto consentito la diminuzione dei valori massimi, minimi e medi della PAT e delle ST, migliorando significativamente i valori relativi agli indici di comfort estivo. L'orientamento degli assi stradali (i canyon urbani) si conferma elemento decisivo in tal senso: alla latitudine considerata, le simulazioni condotte dimostrano come i cortili interni orientati secondo l'asse nord-sud, nella simulazione dello stato di fatto, siano interessati da valori di temperature superficiali inferiori di 8-10°C in media rispetto a quelli orientati secondo l'asse est-ovest, con una variazione dell'indice PET che raggiunge i 15°C nelle ore più critiche. Da ultimo, l'infrastruttura verde rappresenta uno dei fattori più importanti rispetto alla definizione del microclima e si configura come una delle soluzioni win-win (adattamento e mitigazione) più efficaci. Oltre a consentire il raffrescamento dell'aria mediante il meccanismo di evapotraspirazione, le alberature permettono infatti una maggiore ombreggiatura delle superfici al suolo, influenzando gli scambi radiativi, schermando i raggi solari e agendo sull'umidità dell'aria [16]. L'incremento dell'infrastruttura verde, abbinata alle strategie di ridefinizione del suolo (ridisegno delle carreggiate, riduzione delle superfici impermeabilizzate, depaving, utilizzo materiali superficiali con elevata albedo, installazione di lame d'acqua e schermature solari) hanno consentito l'abbattimento dei valori massimi di PAT di oltre 4°C nelle ore più critiche.

La valutazione dell'efficacia delle strategie di progettazione a scala microurbana, capaci di migliorare la qualità ambientale attraverso la mitigazione del microclima e la vivibilità nei diversi contesti, ripensando gli usi degli spazi residenziali, costituisce un elemento decisivo nel successo delle politiche di transizione ecologica, associando adattamento e mitigazione, carbon neutrality e migliore qualità a livello sociale e individuale. La complessità e la multiscalarità della crisi climatica globale necessitano infatti di adottare un approccio sistemico di tipo "Green City", basato su un'alta qualità ambientale, sull'efficienza e la circolarità delle risorse e sulla risposta al global warming in termini di adattamento e mitigazione delle cause del cambiamento climatico [14]. In questa prospettiva, è richiesta una risposta articolata, che coniughi la dimensione della prevenzionea del rischio a quella della sua attenuazione, assumendo come prioritaria la definizione della qualità della vita per il progetto della Healthy City. Il progetto dello spazio capace di mitigare le condizioni di vulnerabilità all'interno degli habitat urbani, esacerbate infine dalla recente crisi pandemica, si configura oggi come il framework progettuale e di ricerca di riferimento all'interno del quale ripensare le città e la vita all'interno di esse, in termini di promozione della salute.

NOTE

Il paper è il risultato di un lavoro congiunto degli autori. Al fine di identificare i contributi specifici, Pollo e Trane hanno scritto i paragrafi 1 e 2; Trane il paragrafo 4; Giovanardi e Trane il paragrafo 3; Trane, Giovanardi, Pollo e martoccia i paragrafi 5 e 6. Tutte le elaborazioni sul software ENVI-met e le immagini contenute sono state elaborate da Martoccia e Trane.