

Gaia Turchetti, <https://orcid.org/0000-0001-6746-0544>

Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura, Università degli studi di Roma La Sapienza, Italia

gaia.turchetti@uniroma1.it

Abstract. L'aggiornamento tecnologico degli ultimi decenni ha permesso, a livello urbano, la definizione di nuovi strumenti per affrontare le problematiche connesse ai cambiamenti climatici. La ricerca si focalizza su metodologie e tecnologie utili per la definizione di nuove classificazioni morfometriche (RLCZ, Rome Local Climate Zone) e la conseguente costruzione di modelli parametrici specifici per il tessuto della città storica, partendo dal caso studio sulla città di Roma. Ciò a supporto di un processo progettuale consapevole e compatibile con le peculiarità di tessuti complessi. La metodologia e gli strumenti proposti, sperimentabili su scenari analoghi o ricalibrati per realtà differenti, possono fornire un ulteriore tassello conoscitivo, in integrazione con le sperimentazioni internazionali in corso.

Parole chiave: Local Climate Zone (LCZ); Adaptation and mitigation; Climate change; Historic city; Rome.

Introduzione

La città è caratterizzata da un mix tra pieni e vuoti relazionati secondo diversi rapporti di densità (Berghauer, Pont *et al.*, 2010), dove la definizione dello spazio costruito determina e delimita quello aperto e viceversa, in un mutuo rapporto tra percorsi e quinte stradali. La 'tradizionale' dualità pieno/vuoto, tipica di tessuti consolidati, è venuta indubbiamente meno con l'evoluzione moderna dell'idea di città in cui «roads and buildings follow their own dedicated forms» (Marshall, 2005). Le diverse stratificazioni, frutto di piccole e grandi variazioni sintomatiche di mutamenti di cultura, uso e percezione dello spazio, hanno determinato, nel tempo e in maniera più o meno significativa, mutamenti nella conformazione del tessuto urbano, interferendo anche sulla definizione di differenti condizioni climatiche. Comprendere queste dinamiche e i legami con i fenomeni fisici legati al microclima urbano risulta essere un'operazione estre-

Rome Local Climate Zone (RLCZ): decision-making support tool for the historical city

Abstract. Technological upgrading in recent decades has allowed, at the urban level, the definition of new tools to address issues related to climate change. The research focuses on methodologies and technologies that are useful for the definition of new morphometric classifications (RLCZ, Rome Local Climate Zone) and the consequent construction of specific parametric models for the fabric of the historic city, starting from the case study on the city of Rome. This is to support an informed design-making process that is compatible with the peculiarities of complex fabrics. The proposed methodology and tools, which can be tested on similar scenarios or recalibrated for different realities, can provide an additional piece of knowledge, integrated with ongoing international experiments.

Keywords: Local Climate Zone (LCZ); Adaptation and mitigation; Climate change; Historic city; Rome.

mamente complessa (Di Sabotino, *et al.*, 2010), che si complica maggiormente se ci soffermiamo su tessuti articolati come quelli storici. Proprio questi tessuti, inurbati in complessi organismi edilizi che ne hanno modificato gli equilibri, sono le aree maggiormente vulnerabile dell'intero territorio urbano e dove si registrano i fenomeni di UHI più intensi e un aumento di eventi atmosferici estremi (IPCC, 2022; EC, 2018; Rosenzweig *et al.*, 2018), come emerge chiaramente anche dalle elaborazioni del modello *UrbClim* nell'ambito del *Copernicus Climate Change Service*.

Per comprendere la complessità di questi scenari e poter operare, in una visione olistica, in termini di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici, è pertanto necessario trovare delle possibili strade che aiutino a 'semplificare', da un lato, i dati di partenza - facilitando le operazioni di calcolo- e conservare, dall'altro, quelle variabilità che contraddistinguono la morfologia di ogni singolo tessuto.

Per far fronte a questa necessità di sintesi, diversi filoni di ricerca a livello internazionale si sono indirizzati da decenni verso la parametrizzazione della morfologia urbana, partendo da una domanda di fondo: «Does urban climate research have quantitative guidelines to offer regarding street geometry?» (Oke, 1988).

Certamente, non si ricerca una risposta assoluta o univoca, ma una "geometria compatibile", ovvero una gamma di parametri a cui si può ridurre la realtà; parametri intesi come valori matematici (Rostagni, 2008), che vanno individuati, analizzati e messi in relazione tra loro al fine di definire una migliore qualità dello spazio urbano (Oke, 1988), ottimizzandone il comfort e minimizzandone le cause di discomfort.

Introduction

The city is characterised by a mix of solids and voids related according to different density ratios (Berghauer, Pont *et al.*, 2010), where the definition of the built space determines and delimits the open space and vice versa, in a mutual relationship between roads and the scenic layouts of streets. The 'traditional' full/empty duality, typical of established fabrics, has undoubtedly failed with the modern evolution of the idea of the city in which «roads and buildings follow their own dedicated forms» (Marshall, 2005). The different stratifications, the result of small and large variations symptomatic of changes in culture, use and perception of space, have determined, over time and in a more or less significant way, changes in the conformation of the urban fabric, also interfering in the definition of different climatic conditions.

Understanding these dynamics and the links with physical phenomena related to the urban microclimate turns out to be an extremely complex operation (Di Sabotino, *et al.*, 2010), which becomes more complicated if we dwell on articulated fabrics such as the historic ones. Precisely, these fabrics, urbanised in complex-built structures that have modified their balances, are the most vulnerable areas of the entire urban territory, where the most intense UHI phenomena and an increase in extreme weather events are recorded (IPCC, 2022; EC, 2018; Rosenzweig *et al.*, 2018), as also evidenced by the elaborations of the *UrbClim* model within the *Copernicus Climate Change Service*. In order to understand the complexity of these scenarios and to be able to operate, in a holistic view, in terms of climate change adaptation and mitiga-

Questa parametrizzazione della forma urbana, nonostante l'esistenza di avanzati sistemi di calcolo computazionale, è ancora estremamente utile per la costruzione di modelli "morfometrici" (o geometrici) (Grimmond and Oke, 1999), in cui lo *street canyon* è l'unità geometrica di base. Questi modelli sono utili non solo per la nuova edificazione ma anche per contesti esistenti, al fine di comprendere ed estrapolare le relazioni tra parametri ambientali e caratteri morfologici, riducendone la complessità alle sole grandezze essenziali: altezza, ampiezza e lunghezza, densità e caratteristiche termo-fisiche, che caratterizzano lo spazio aperto così come quello costruito.

Dalla Local Climate Zone alla Rome Local climate Zone *L'importanza delle classificazioni morfometriche climate-based*

Un utile punto di partenza nei processi di parametrizzazione del tessuto urbano sono le classificazioni morfometriche *climate-based*, ovvero classificazioni che mettono in relazione la forma urbana con differenti parametri climatici, per la comprensione dei fenomeni di UHI. Dagli iniziali studi condotti da Chandler, negli anni Settanta del XX secolo, a quelli di Auer per la città di San Louis (USA) e poi di Ellefsen (decisivi per la definizione dei moderni indirizzi), si è arrivati nel 2004 alle rielaborazioni di T.R. Oke, che ridefinì una nuova classificazione con l'iniziale finalità di migliorare la localizzazione di stazioni meteorologiche urbane, affinché la strumentazione potesse meglio registrare le differenti condizioni climatiche. La classificazione di Oke, pubblicata nel 2006 nel bollettino del WMO, consta di 7 classi, definite "Urban Climate Zone" (UCZ), delle quali individua *aspect ratio*, classe di

tion, it is, therefore, necessary to find possible ways that help to 'simplify', on the one hand, the source data – facilitating computational operations – and to preserve, on the other hand, those variabilities that distinguish the morphology of each individual fabric. To address this need for synthesis, several international lines of research have for decades been directed toward the parameterisation of urban morphology, starting with a basic question, «Does urban climate research have quantitative guidelines to offer regarding street geometry?» (Oke, 1988). Certainly, neither an absolute nor an unambiguous answer is sought, but a "compatible geometry", that is, a range of parameters to which reality can be reduced; parameters understood as numerically expressible measures (Rostagni, 2008), which must be identified, analysed and related to each

other in order to define a better quality of urban space (Oke, 1988), optimising its comfort and minimising the causes of discomfort. This parameterisation of urban form, despite the existence of advanced computational systems, is still extremely useful for building "morphometric" (or geometric) models (Grimmond and Oke, 1999) in which the *street canyon* is the basic geometry unit. These models are useful not only for new constructions but also for existing contexts, in order to understand and extrapolate the relationships between environmental parameters and morphological characters, reducing complexity to the essential quantities: height, width and length, density and thermo-physical characteristics, which characterise open as well as built space.

rugosità e permeabilità dei suoli (Oke, 2006). Queste sette classi descrivono 7 differenti aree della città: dalle aree più densamente edificate ad aree semi rurali. Agli studi di Oke ne sono seguiti altri che ne hanno perfezionato o modificato la struttura. Il più significativo è quello proposto da I. D. Stewart, nella sua tesi dottorale del 2011. Il lavoro, supportato dallo stesso Oke, ha portato all'elaborazione di 17 classi definite "Local Climate Zone" (LCZ) strettamente relazionate, come si evince dal nome, alla scala di indagine locale: 10 riferite all'area edificata della città (*building types*) e 7 riferite all'uso dei suoli (*Land cover types*), con alcune precisazioni su aree industriali e stagionalità dei terreni liberi. Per ciascuna classe o zona vengono definiti specifici valori dimensionali e indicazioni sulle caratteristiche termo-fisiche generali (Tab. 1) (Stewart and Oke, 2012).

Queste classificazioni consentono una rapida lettura di specifiche realtà urbane e sono di estrema utilità per la definizione di modelli morfometrici di base, come dimostra, ad esempio, il progetto Wudapt (World Urban Database and Access Portal Tools). Ogni tipo di LCZ, associata a una serie di variabili di forma e funzione, può fornire indicazioni per la costruzione di modelli utili non solo per lo studio dell'isola di calore ma, più in generale, del comfort urbano e sono un elemento di partenza per la definizione di una mappatura standardizzata, base comune per una condivisione di informazioni. (Demuzere, Bechtel, et al., 2019; Ching, Mills, et al., 2018; Mills, Bechtel, et al., 2017).

Le classificazioni morfometriche climate-based per la città storica: il caso di Roma

La classificazione morfometrica LCZ, così come definita da Oke ed il suo team, fotografa una realtà urbana d'oltreoceano, ca-

From Local Climate Zone to Rome Local climate Zone

The importance of climate-based morphometric classifications

A useful starting point in urban fabric parameterisation processes are *climate-based* morphometric classifications, that is, classifications that relate the urban form to different climatic parameters to understand UHI phenomena. From the initial studies conducted by Chandler, in the 1970s, to those of Auer for the city of St. Louis (USA), and then by Ellefsen (decisive in the definition of modern addresses), in 2004 we reach the reworkings of T.R. Oke, who redefined a new classification with the initial purpose of improving the location of urban weather stations so that instrumentation could better record different climatic conditions. Oke's classification, published in 2006

in the WMO Bulletin, consists of 7 classes, termed "Urban Climate Zone" (UCZ), of which he identifies *aspect ratio*, roughness class and permeability of soils (Oke, 2006). These seven classes describe 7 different areas of the city, from the most densely built-up areas to semi-rural areas. Oke's studies were followed by others that refined or modified the structure. The most significant is the one proposed by I. D. Stewart in his 2011 doctoral dissertation. The work, supported by Oke himself, led to the definition of 17 classes called "Local Climate Zone" (LCZ) closely related, as the name implies, to the scale of local investigation: 10 referring to the built-up area of the city (*building types*) and 7 referring to land use (*land cover types*), with some specifications on industrial areas and seasonality of vacant land. Specific dimensional values and in-

Tab.01 | UCZ e LCZ a confronto: 1 description; 2 roughness class; 3 H/W; 4 % impermeabile/ Impervious surface fraction; 5 SVF; 6 Building surface fraction; 7 Pervious surface fraction; 8 Height of roughness elements, 9 Terrain roughness class. Rielaborazione G.Turchetti

UCZ and LCZ compared: 1 description; 2 roughness class; 3 H/W; 4 % impervious/ Impervious surface fraction; 5 SVF; 6 Building surface fraction; 7 Pervious surface fraction; 8 Height of roughness elements, 9 Terrain roughness class. Re-elaboration G.Turchetti

UCZ Urban climate zone					LCZ Local climate zone								
	description	roughness class (1)	H/W	% waterproof		description	SVF (2)	H/W	Building surface fraction (3)	Impervious surface fraction (4)	Pervious surface fraction (4)	Height of roughness elements (5)	Terrain roughness class (1)
1	intensively urbanised area with separate, closely spaced, high-rise buildings with cladding (e.g. city centre with skyscrapers)	8	>2	>90	1	Compact high-rise: Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	0.2-0.4	> 2	40-60	40-60	< 10	> 25	8
2	intensively and very densely urbanised area, with 2-5 storey buildings, contiguous or very closely spaced, often of brick or stone (e.g. historic centre)	7	1.0-2.5	>85	2	Compact midrise: Dense mix of midrise buildings (3-9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	0.3-0.6	0.75-2	40-70	30-50	< 20	10-25	6-7
3	highly urbanised, medium-density area, with buildings in a row or separate, but still close together (e.g. residential area)	7	0.5-1.5	70-85	3	Compact low-rise: Dense mix of low-rise buildings (1-3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	0.2-0.6	0.75-1.5	40-70	20-50	< 30	3-10	6
4	highly urbanised area, medium or low density, with large, low-rise buildings and paved car parks (e.g. commercial area)	5	0.05-0.2	70-95	4	Open high-rise: Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	0.5-0.7	0.75-1.25	20-40	30-40	30-40	>25	7-8
5	medium-developed, low-density suburban area with one- or two-storey houses (e.g. suburban residential areas)	6	0.2-0.6 (>1 se if with trees)	35-65	5	Open midrise: Open arrangement of midrise buildings (3-9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	0.5-0.8	0.3-0.75	20-40	30-50	20-40	10-25	5-6
6	mixed-use areas, with large buildings surrounded by large undeveloped areas (e.g. hospitals, airports)	5	0.1-0.5, it depends on the trees	<40	6	Open low-rise: Open arrangement of low-rise buildings (1-3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	0.6-0.9	0.3-0.75	20-40	20-50	30-60	3-10	5-6
7	semi-rural areas, with scattered houses in a natural or agricultural area (e.g. farms)	4	>0.05, it depends on the trees	<10	7	Lightweight low-rise: Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	0.2-0.5	1-2	60-90	< 20	<30	2-4	4-5
Notes: (1) The roughness height is set where the air velocity should theoretically be zero. Roughness values are given per terrain class (class 7: densely built-up area with no major variations in the height of buildings). (2) Sky View Factor is a parameter expressing the ratio between the radiation received (or emitted) by a flat surface and that received (or emitted) by the entire hemisphere. (3) Ratio of building plan area to total plan area (%). (4) Ratio of impervious/ pervious plan area (paved, rock) to total plan area (%). (5) Geometric average of building heights.					8	Large low-rise: Open arrangement of large low-rise buildings (1-3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	>0.7	0.1-0.3	30-50	40-50	<20	3-10	5
					9	Sparsely built: Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	> 0.8	0.1-0.25	10-20	< 20	60-80	3-10	5-6
					10	Heavy industry: Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	0.6-0.9	0.2-0.5	20-30	20-40	40-50	5-15	5-6

Tab.01

Tab. 02 |

Fabric	PRG Codes	Project codes	
of medieval origin	T1	A	A1
of Renaissance and modern pre-unification expansion	T2		A2
of 19th-twentieth-century urban restructuring	T3	B	B1
nineteenth-twentieth-century expansion by blocks	T4		B2
nineteenth-twentieth-century expansion to point building lots	T5		B3

ratterizzata da canyon prevalentemente rettilinei, da una forte verticalità e alta densità dell'edificato, etc. L'immagine che ci viene restituita è molto distante da quella della città europea e primariamente italiana. Sebbene, pertanto, sia interessante perseguire un linguaggio comune e condiviso volto alla standardizzazione delle analisi, nella ricerca qui presentata si vuole proporre un differente approccio al tema, calibrando e ridefinendo le classificazioni di partenza in base alle specificità del tessuto urbano oggetto di studio: la città storica italiana.

Partendo da questo presupposto, una prima fase del lavoro ha previsto la comparazione delle caratteristiche morfometriche dei tessuti descritti nelle LCZ con le caratteristiche dei tessuti della città italiana.

La LCZ 2 descrive la città storica come «zona intensamente e molto densamente urbanizzata, con edifici a 2-5 piani, contigui o molto ravvicinati, spesso di mattoni o pietra (es. centro storico)» (Tab. 1). Se analizziamo, però, nel dettaglio i singoli rapporti dimensionali di questa specifica categoria, essi risultano essere talmente ampi da accomunare tessuti che, pur facendo parte della città storica, presentano caratteristiche spaziali molto differenti.

Prendendo come caso studio la città storica di Roma, sono stati, quindi, selezionati oltre 40 differenti brani di tessuto costituenti

dications of general thermo-physical characteristics are defined for each class or zone (Tab. 1). (Stewart and Oke, 2012).

These classifications allow for a quick reading of specific urban realities and are extremely useful for establishing basic morphometric models, as demonstrated, for example, by the Wudapt (World Urban Database and Access Portal Tools) project. Each type of LCZ, associated with a set of shape and function variables, can provide insights for the construction of models that are useful not only for the study of the heat island but, more generally, of urban comfort, and are a starting point for the definition of standardised mapping, a common basis for information sharing. (Demuzere et al., 2019; Ching et al., 2018; Mills et al., 2017).

Climate-based morphometric classifications for the historic city: the case of Rome

The LCZ morphometric classification, as defined by Oke and his team, photographs an overseas urban reality, characterised by predominantly rectilinear canyons, strong verticality and high density of the built-up area, etc. The image we get is very distant from that of the European and primarily Italian city. Hence, although it is interesting to pursue a common and shared language aimed at standardising analysis, in the research presented here we want to propose a different approach to the topic by calibrating and redefining the starting classifications according to the specificities of the urban fabric under study: the Italian historic city.

Starting from this assumption, a first phase of the work involved comparing the morphometric characteristics of

la città storica (come perimetrata nel PRG) (Tab. 2) e, partendo dall'analisi di questi tessuti, si è proceduto a:

- selezionare i parametri delle LCZ compatibili con le specificità dei tessuti analizzati;
- elaborare nuovi parametri morfometrici, caratterizzanti le realtà oggetto di studio.

Per ogni tipologia di tessuto sono stati rilevati, attraverso telerilevamento e indagini sul campo, dati dimensionali e proprietà termo-fisiche generali che sono confluiti in specifiche schede, base della nuova classificazione morfometrica proposta. Le schede (Fig. 1) riportano le elaborazioni relative alle seguenti voci: tipo di tessuto, descrizione, classificazione del tessuto da PRG, schema del canyon di riferimento, classe di rugosità, rapporto H/W, rapporto L/H, SVF, rapporto di copertura, permeabilità dei suoli.

Comparando i valori estratti dall'analisi con quelli provenienti dalle classificazioni esistenti, è stato possibile valutarne le discordanze e ridefinire alcuni valori soglia che meglio rappresentano le specificità del tessuto storico esaminato. Le principali discordanze emerse sono relative all'*aspect ratio* dei canyon urbani, ovvero ai rapporti dimensionali che caratterizzano la sezione trasversale e longitudinale dei canyon. Il Rapporto H/W (ovvero altezza del fronte costruito/larghezza della sede stradale) solitamente classificato in *Regular* (per i canyon con

the fabrics described in the LCZs with the characteristics of the fabrics of the Italian city.

LCZ 2 describes the historic city as an «intensely and very densely urbanized area, with 2-5 story buildings, contiguous or very close together, often of brick or stone (e.g. historic center)» (Tab. 1). However, if we analyse the individual size ratios of this specific category in detail, they turn out to be so broad that they put together fabrics which, although part of the historic city, have very different spatial characteristics.

Taking the historic city of Rome as a case study, more than 40 different pieces of fabric constituting the historic city (as per the perimeter in the PRG) were, therefore, selected (Tab. 2) and, starting by analysing them, we proceeded to:

- select LCZ parameters compatible with the specificities of the tissues analysed;

- develop new morphometric parameters, characterising the realities under study.

For each type of fabric, dimensional data and general thermo-physical properties were collected through remote sensing and field surveys, which were incorporated into specific sheets, the basis of the proposed new morphometric classification. The sheets (Fig. 1) report the elaborations for the following items: fabric type, description, fabric classification from PRG, reference canyon pattern, roughness class, H/W ratio, L/H ratio, SVF, cover ratio, and soil permeability.

By comparing the values extracted from the analysis with those coming from the existing classifications, it was possible to assess their discordanzes and to redefine some threshold values, which better represent the specificities of the historic fabric examined.

Tipo di tessuto	Descrizione	C. PRG	Area di intervento	Schema canyon dell'area di intervento	Classe di rugosità	H/W	L/H	SVF	Rapporto di copertura*	% Imp.
T1(A)	Via della Fontanella Borghese. Tra via di Monte D'Oro e via del Corso.		41°54'14"N 12°28'39"E		7	2,1	8,4	0,2-0,3	0,60	85-95
T2(A)	Via Frattina. Tra via Belsiana e via Mario de' Fiori.		41°54'14,33"N 12°28'49,30"E		7	2,68	9,51	0,2-0,4	0,72	85-90
T3(B)	Via Arenula. Tra Lungotevere de' Cenci e via d'...		41°53'32,14"N 12°28'28,85"E		7	1,03	2	0,2-0,4	0,58	80-85
T1(A)	Via dell' Tra Lan e via de									
T4(B)	Via Sicilia. Tra via Pive e via Lucania.		41°54'36"N 12°29'49"E		7	1,8	3,4	0,3-0,4	0,56	80-85
T2(A)	Via Me Tra via									
T3(B)	Via de Tra vi e via t									
T4(B)	Via Calabria. Tra via Pive e									
T5(B)	Via Pompeo Magno. Tra via Marcantonio Colonna e via Alessandro Farnese.		41°54'36,02"N 12°28'01,58"E		6	0,85	0,97	0,43	0,43	70-75
T5(B)	Via Giovanni Paisiello. Tra via Nicolò Porpora e via Claudio Monteverdi.		41°55'03,09"N 12°29'37,07"E		6	1,11	1,47	0,40	0,40	70-75
T5(B)	Via di Villa Patrizi. Tra via Gabriele Falloppio e Piazza Galeno.		41°54'35,28"N 12°30'26,55"E		6	0,96	3,4	0,26	0,26	70-75
T1(A)	Via di C									
T2(A)	Via Zu Tra via									
T3(B)	Piazz Tra Li e via t									
T4(B)	Via Sicilia. Tra via Lucan									
T5(B)	Via di Villa Patrizi. Tra via Gabriele Falloppio e Piazza Galeno.									
T1(A)	Piazza									
T1(A)	Via Puglia. Tra via Sicilia									

The main discordances that emerged are related to the *aspect ratio* of urban canyons, that is, the dimensional ratios that characterise the cross-sectional and longitudinal sections of canyons. The H/W Ratio (that is, height of the built frontage/width of the roadway), usually classified as *Regular* (for canyons with *aspect ratio* ≈ 1); *Avenue* (< 0.5) and *Deep canyon* (≈ 2), in the case study analysed presents values that exceed the threshold reported to us by the literature. Taking into consideration the analysed fabrics, and specifically those of "medieval origin", these are characterised by extremely narrow streets overlooked by buildings even of 4-6 stories (or with different inter-story levels). To bring this specificity back into the classification, it was decided to increase the scale with the H/W value > 4, defined as *More Deep canyon* (Tab. 3).

Describing the longitudinal section of the canyons, however, a difference in the minimum threshold values emerged. As a common practice, in the L/H ratio (canyon length/frontage height), length (L) is considered as «[...] the road distance between two major intersections subdividing/ the street canyon, into *short* (L/H=3), *medium* (L/H =5) and *long* (L/H=7)» (Ahmad *et al.*, 2005). Reading this definition in relation to the historical fabric once again, it was decided to consider as 'major intersections' (binding the value of the L factor) both intersections with wider urban roads (compared to the average of the analysed urban space), and the presence of wider areas or dilations in the path. Such conditions determine a variation in the aspect ratio of the urban space itself and, consequently, a different behaviour primarily of the

anemometric and radiative factor. In fact, the L/H ratios that can be recorded are different, for example, in a point allotment fabric versus a small block fabric. This clarification always responds to the rationale of standardising the definitions that the literature brings back to us - mainly suited to describe fabrics that in most cases are extremely regular - to the typicality of the historical fabric analysed. Therefore, even for the definition of the L/H ratio it was appropriate to redefine the minimum threshold by introducing the *More Short canyon*, that is, with L/H= 1-2 (Tab. 3). This process of analysis and reworking, therefore, led to the definition of specific LCZs for the fabric of Rome, which in the context of this research were defined as Rome Local Climate Zone, or RLCZ (Tab. 4).

The RLCZ as a basis for building simplified models
 The definition of a *climate-based* morphometric classification specific to the historical city presented here is part of the objective of defining expeditious tools that can provide input data for morphometric models incorporating *urban canopy* parameters in their formulations. The purpose is to evaluate, even for complex fabrics such as historical ones, possible urban redevelopment scenarios with a view to adaptation and mitigation to climate change. Thus, starting from the RLCZ, geometric models were defined, whose mesh respects the proposed proportions for each class, starting from average values among those recorded (Tab. 5). The utility of models constructed in this way lies in proposing a simplified computational tool that, based on regularisation and normalisation

Tab.03 | Nuovi valori soglia della classificazione proposta. Elaborazioni G.Turchetti
New threshold values of the proposed classification. G.Turchetti elaborations

Tab.03 |

Dimensional ratios urban canyon historic city			
H/W		L/H	
value	definition	value	definition
~0,5	shallow	1-2	more short
~1	uniform	~3	short
2-4	deep	~5	medium
> 4	more deep	~7	long

aspect ratio ≈ 1); *Avenue* (< 0.5) e *Deep canyon* (≈ 2), nel caso studio analizzato presenta valori che eccedono la soglia che la letteratura ci riporta. Prendendo in esame i tessuti analizzati, e nello specifico quelli di “origine medievale”, questi sono caratterizzati da strade estremamente strette su cui si affacciano edifici anche di 4/6 piani (o con diverso livello interpiano). Per riportare questa specificità nella classificazione si è deciso di incrementare la scala con il valore $H/W > 4$, definito come *More Deep canyon* (Tab. 3).

Descrivendo la sezione longitudinale dei canyon, invece, è emersa una differenza nei valori minimi di soglia. Come prassi

comune, nel rapporto L/H (lunghezza del canyon/altezza dei fronti) si considera la lunghezza (L) come «[...] the road distance between two major intersections subdividing/the street canyon, into *short* (L/H=3), *medium* (L/H =5) and *long* (L/H=7)». (Ahmad et al. 2005:700). Rileggendo questa definizione in relazione al tessuto storico, si è scelto di considerare come ‘maggiori intersezioni’ (che delimitano il valore del fattore L) sia gli incroci con le arterie urbane di maggiore ampiezza (rispetto alla media dell’invaso analizzato), sia la presenza di slarghi o dilatazioni del percorso, condizioni queste che determinano una variazione dell’*aspect ratio* dell’invaso stesso e di conseguenza

Tab.04 | Rome Local Climate Zone RLCZ: la nuova classificazione proposta. Elaborazione G.Turchetti
Rome Local Climate Zone RLCZ: the proposed new classification. Elaboration G.Turchetti

Tab.04 |

Rome Local Climate Zone RLCZ									
Type of fabric		description	Fabric classification by PRG	roughness class	H/W*	L/H	SVF	Coverage ratio (Sc/Sf)	% waterpr.
A	A1	intensively and very densely urbanised area, with 2-5 storey buildings, contiguous or very closely spaced, often of brick or stone (e.g. historic centre)	of predominantly medieval origin	7	deep more deep 2,83 (5,9-0,5)	medium L/H= 5,4 (8,4-3,3)	0,2-0,4 Più vicino al valore + basso	0,63	95-85
	A2		of predominantly Renaissance origin		deep	long L/H=7,2		0,72	85-90
B	B1	intensively and very densely urbanised area, with 5-9 storey buildings, contiguous or very close together, often of reinforced concrete or mixed (expansion)	of urban restructuring 8-900	7	uniform	short L/H=2,3	0,3-0,4 Più vicino al valore + alto	0,47	80-85
	B2		of expansion 8-900 block		uniform	short L/H=3,2		0,46	80-90
	B3	Medium urbanised area with buildings not very close together.	of expansion 8-900 point allotment		uniform	short L/H=1,9		>0,5	0,36

* The value reported is the average of the values recorded in the sample tissues. Maximum and minimum values are indicated in round brackets

Tab. 05 | Caratteristiche della maglia dei modelli geometrici proposti per i tessuti di tipo A1 e B2. Elaborazione G.Turchetti
 Mesh characteristics of the proposed geometric patterns for A1 and B2 type fabrics. Elaboration G.Turchetti

scenario 1	
fabric A1	
<i>description</i>	
fabrics of medieval origin	
<i>building characterization</i>	
H m buildings	16,4
<i>characterization of the street</i>	
W m vie	5,1
Lm vie	88,6
<i>dimensional ratios</i>	
H/W	3,2 deep
L/H	5,4 medium
<i>square characterization</i>	
Wm squares	43
cop. ratio	0,75

scenario 4	
fabric B2	
<i>description</i>	
nineteenth- and twentieth-century expansion fabrics for a block	
<i>building characterization</i>	
Hm buildings	21,2
<i>characterization of the street</i>	
W m vie	15,1
Lm vie	68,9
<i>dimensional ratios</i>	
H/W	1,4 uniform
L/H	3,25 short
<i>square characterization</i>	
Lm squares	53,4
cop. ratio	0,57

Tab. 05

Real dimensional ratios compared

<i>real dimensional ratios compared (average value)</i>	
H/W	3,8 deep
L/H	5,4 medium
average coverage ratio*	0,64

<i>real dimensional ratios compared (average value)</i>	
H/W	1,41 uniform
L/H	3,2 short
average coverage ratio*	0,45

* The coverage ratio is evaluated on a 100mx100m portion of the fabric.

of the urban fabric, can help to test different intervention scenarios in an expeditious manner. The validity of this simplification lies in providing the planner – with a certain approximation determined by the incidence of the morphological factor, which can, in any case, be evaluated in subsequent levels of in-depth study – with an indicative value of expected improvement for each scenario. This allows an initial assessment of the process to be undertaken in a reasonably short time.

Conclusions

The desire to talk about a specific urban setting, characterised by a temporal overlap and stratification to be

protected and enhanced, depended on having found how, in the scientific field, we often talk about cities but little about the peculiarities of the urban fabrics that characterise them. This choice entailed the need to recalibrate and sometimes rethink the tools of knowledge and calculation to adapt them to the complexity of the existing situation analysed. In the consolidated city, and even more so in the complex urban mesh of the historic city, the possibilities for action are undoubtedly more limited. However, correct knowledge of the climatic datum can play an interesting role in the operations of ‘mending’ the urban fabric, leading, if analysed in synergy with the other competing

factors, to an improvement with a view to adaptation and mitigation to climate change. Methodologies and tools provided are, therefore, conceived as a useful building block to facilitate a comparative reading between morphological, morphometric and environmental aspects, helping to locate critical points on which to carry out subsequent detailed investigations, and providing design directions that integrate a mitigation and adaptation rationale in the early stages of planning and design, with operational repercussions that primarily concern the planner alongside the administration in their key roles at the local level. The proposed classifications and mod-

els, although built specifically on the fabric of the historic city of Rome, are designed to be adaptable to urban realities with similar *aspect ratios*. The replicability of the methodology followed (from the direct analysis of the fabrics, to the definition of new morphometric classes, to the definition of computational models) may lead, over time, to define classifications and models increasingly responsive to the peculiarities of historical fabrics that are even very different from each other. The aim is to establish processes that are increasingly ‘compatible’ with the specificities of the existing situation, starting from this first piece of knowledge integrated with ongoing international experiments.

un differente comportamento primariamente del fattore anemometrico e radiativo. Differenti infatti sono i rapporti L/H registrabili, ad esempio, in un tessuto a lottizzazione puntiforme rispetto a quello a piccolo isolato. Tale precisazione risponde sempre alla logica di uniformare le definizioni che la letteratura ci riporta – adatte prevalentemente a descrivere tessuti che nella maggior parte dei casi si presentano estremamente regolari – alla tipicità del tessuto storico analizzato. Pertanto, anche per la definizione del rapporto L/H è stato opportuno ridefinire la soglia minima introducendo il *More Short canyon*, ovvero con $L/H = 1-2$ (Tab. 3).

Questo processo di analisi e rielaborazione ha portato, quindi, alla definizione di LCZ specifiche per il tessuto di Roma, che nell'ambito di questa ricerca sono state definite come *Rome Local Climate Zone*, ovvero RLCZ (Tab. 4).

La RLCZ come base per la costruzione di modelli semplificati

La definizione di una classificazione morfometrica *climate-based* specifica per la città storica qui presentata, rientra nell'obiettivo di definire strumenti speditivi che possano fornire dati di input per modelli morfometrici che incorporino i parametri della *urban canopy* nelle loro formulazioni, al fine di valutare, anche per tessuti complessi come quelli storici, possibili scenari di riqualificazione urbana in ottica di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici.

Partendo quindi dalla RLCZ, sono stati definiti modelli geometrici la cui maglia rispetta le proporzioni proposte per ciascuna classe, partendo da valori medi tra quelli registrati (Tab. 5).

L'utilità di modelli così costruiti è nel proporre uno strumento di calcolo semplificato che, basandosi su una regolarizzazione e

normalizzazione del tessuto urbano, possa aiutare a testare in maniera speditiva diversi scenari di intervento. La validità di questa semplificazione consta nel fornire al progettista – con una certa approssimazione determinata dell'incidenza del fattore morfologico che potrà comunque essere valutato nei successivi livelli di approfondimento – un valore orientativo di miglioramento atteso per ciascuno scenario, che consenta, in tempi ragionevolmente brevi, una iniziale valutazione sul processo da intraprendere.

Conclusioni

La volontà di parlare di uno specifico ambito urbano, caratterizzato da una sovrapposizione e stratificazione temporale da tutelare e valorizzare, è dipesa dall'aver riscontrato come, in campo scientifico, si parli spesso di città ma poco delle peculiarità dei tessuti urbani che la caratterizzano. Questa scelta ha comportato la necessità di ricalibrare e a volte ripensare gli strumenti di conoscenza e calcolo per adattarli alla complessità dell'esistente analizzato. Nella città consolidata, ed ancor di più nella complessa maglia urbana della città storica, le possibilità di azione sono indubbiamente più limitate, eppure nelle operazioni di 'rammendo' del tessuto urbano la corretta conoscenza del dato climatico può rivestire un ruolo interessante, portando, se analizzata in sinergia con gli altri fattori concorrenti, ad un miglioramento in un'ottica di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici.

Metodologie e strumenti forniti sono quindi pensati come un tassello utile per facilitare una lettura comparata tra aspetti morfologici, morfometrici e ambientali, aiutando nella localizzazione dei punti critici, sui quali effettuare successive indagini di dettaglio, e fornendo indirizzi progettuali che integrino logi-

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper presents some in-depth studies carried out by the author, a Research Fellow at the Dept. of Planning, Design and Technology of Architecture, Sapienza University, Rome. These studies originate from the results of doctoral research conducted in collaboration with the CNR-IDASC Institute of Acoustics and Sensors "Orso Mario Corbino", which is now the focus of further developments.

che di mitigazione e adattamento nelle prime fasi di programmazione e progettazione, con ricadute operative che riguardano primariamente il progettista accanto all'amministrazione nei loro ruoli chiave a livello locale.

Le classificazioni e i modelli proposti, sebbene costruiti specificatamente sul tessuto della città storica di Roma, sono pensati per essere adattabili a realtà urbane che presentano analoghi rapporti di *aspect ratio*. La replicabilità della metodologia seguita (dall'analisi diretta dei tessuti, alla definizione di nuove classi morfometriche, alla definizione di modelli di calcolo) potrà portare, nel tempo, a definire classificazioni e modelli sempre più rispondenti alle peculiarità di tessuti storici anche molto differenti tra loro, con l'obiettivo di instaurare processi sempre più 'compatibili' con le specificità dell'esistente, partendo da questo primo tassello conoscitivo in integrazione con le sperimentazioni internazionali in corso.

RINGRAZIAMENTI

Il presente contributo presenta alcuni approfondimenti condotti dall'autore, Assegnista di ricerca presso il Dip. di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'architettura della Sapienza Università di Roma, che nascono da risultati della ricerca dottorale condotta in collaborazione con il CNR-IDASC Istituto di Acustica e Sensoristica "Orso Mario Corbino" e ad oggi oggetto di successivi sviluppi.

REFERENCES

Ahmad, K., Khare, M., Chaudhry, K.K. (2005), "Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections – a review," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 93, pp. 697-717.

Berghauser Pont, M., Haupt, P. (2010), *Spacematrix: Space, Density and Urban Form*, NAI Publisher, Rotterdam.

Ching, J., Mills, G., Bechtel, B., et al. (2018), "WUDAPT: An Urban Weather, Climate, and Environmental Modeling Infrastructure for the Anthro-

pocene", in *Bull Am Meteorol Soc*, Vol. 99, n. 9, pp. 1907-1924.

Demuzere, M., Bechtel, B., Mills, G. (2019), "Global transferability of local climate zone models", *Urban Climate*, Vol. 27, pp. 46-63.

Di Sabotino, Leo, L.S., Cataldo, R., Ratti, F.C., Britter, R.E. (2010), "Construction of Digital Elevation Models for a Southern European City and a Comparative Morphological Analysis with Respect to Northern European and North American Cities", *Bull Am Meteorol Soc*, Vol. 49, pp. 1377-1396.

EC (2018), *Urban Atlas-copernicus*, Available at: <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>.

Grimmond, C.S.B., Oke, T.R. (1999), "Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form", *J Appl Meteorol Climatol*, Vol. 38, pp.1262-1292.

IPCC (2022), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Working Group II, Intergovernmental Panel on Climate Change*, Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

Marshall, S. (2005), *Streets & patterns*, SponPress Taylor & Francis Group, London.

Mills, Bechtel, Foley, Ching, See, Feddema (2017), "The WUDAPT Project: Status of Database and Portal Tools", 13th Symp. of the Urban Environment, Seattle, WA, *Amer. Meteor. Soc.*, 9.1.

Oke T.R. (1988), "Street Design and Urban Canopy Layer Climate", *Energy and Buildings*, Vol. 11, pp. 103-113.

Oke T.R. (2006), "Initial guidance to obtain representative meteorological observation at urban scale", *World Meteorological Organization*, Vol. 81.

Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., et al. (2018), "Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network: Summary for City Leaders" in C. Rosenzweig, W. Solecki, P. Romero-Lankao, et al. (Eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*, Xvii-Xlii. Cambridge University Press, Cambridge.

Rostagni (2008), *Luigi Moretti 1907-1973*, Electa, Milano.

Stewart, I.D., Oke, T.R. (2012), "Local climate zones for urban temperature studies", *Bull Am Meteorol Soc*, Vol. 93, n. 12, pp. 1879-1900.