

Gaia Turchetti,

Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, Italia

Abstract. La ricerca pone l'accento su potenzialità e limiti della ventilazione naturale, analizzandone con occhio critico possibili ricadute progettuali in uno specifico campo di indagine, la città storica. La *wind strategy* proposta, attraverso la calibrazione degli strumenti esistenti (computazionali e parametrici), la definizione di nuovi e specifici fattori morfometrici, la definizione di indicatori prescrittivi e prestazionali, schede speditive di analisi ed indirizzo progettuale, vuole fornire strumenti maggiormente efficaci e rispondenti alle peculiarità del tessuto storico, che aiutino progettisti ed amministrazione ad integrare il *wind factor* sin dalle prime fasi di trasformazione ponderata dello spazio urbano consolidato.

Parole chiave: Ventilazione naturale; Città storica; Adattamento ai cambiamenti climatici; Rigenerazione urbana; Performance culturale.

Come e perché parlare di *Wind strategy* Il cuore delle grandi città, inurbato in un sistema edilizio molto più esteso, risulta essere l'area maggiormente vulnerabile dell'intero organismo urbano, nella quale si registrano i fenomeni di UHI più intensi (Filpa, 2014; Musco, 2016).

Indirizzando la ricerca in questo ambito la sfida è duplice: da un lato coordinare specifiche politiche e pratiche di adattamento, dall'altro confrontarsi con le peculiarità del sito, tra necessità ambientali e di tutela, lavorando su singoli fattori e loro interazioni. Tra questi, il fattore ventilativo riveste un ruolo interessante per la comprensione delle condizioni di comfort dello spazio urbano (Giovannini *et al.*, 2011; Epa, 2008; Santamouris, 2007; Morris *et al.*, 2001; Di Napoli e Mercalli, 1998; Colacino e Baldi, 1991) in relazione alle caratteristiche del tessuto edilizio che incidono fortemente su intensità e direzione delle masse d'aria.

A livello operativo/sperimentale sono poche ma interessanti le ricerche svolte – come gli studi di Johansson (2014), Park, Tuller e Jo (2014) o Salata, Golasi e de Lieto Vollaro (2016 a-b) relativi ad un confronto tra condizione urbana periferica e centrale, le

linee di indirizzo del progetto RuRos-Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces (2004) o le sperimentazioni del progetto UrbVent-Natural Ventilation in Urban Areas (2003) o più recenti del Air Ventilation Assessment System della Municipalità di Hong Kong (2005) – che, al di là delle singole finalità, hanno posto l'accento su specifici problemi anemometrici nel contesto urbano. È necessario però compiere un ulteriore passo in avanti definendo una strategia condivisibile con i vari soggetti operanti (dal progettista all'amministrazione), in cui lo studio della ventilazione naturale diventi non accessorio ma basilare nella valutazione ambientale, configurando strumenti di supporto che possano aiutare nella fase di progettazione e costruendo una linea metodologica di indagine e valutazione che superi le specificità della singola esperienza progettuale. La *wind strategy* proposta, quindi, vuole essere autonoma e rivolta alla valutazione del *wind factor* e alle potenzialità di raffrescamento in condizione estiva in sinergia con altre strategie con cui deve necessariamente dialogare.

Tre le principali domande di ricerca:

1. Perché e come valutare il *wind factor* in specifici tessuti storici;
2. Quali gli strumenti di analisi efficaci per il particolare ambito di indagine;
3. Come rispondere alla carenza di strumenti operativi per questo specifico settore.

Le tappe per la costruzione della *wind strategy* Per la costruzione della strategia è necessario considerare il *wind factor* quale 'materiale progettuale' anche in ambiti 'fragili' come quelli storici e consolidati, inserendolo nel processo di adattamento urbano (Fig. 1) già nelle prime fasi di progettazione. Per far ciò, oltre alla costru-

Environmental quality of the historical city: the wind strategy challenge

Abstract. The research focuses on the potential and limits of natural ventilation, analysing with a critical look possible design effects in a specific field of investigation, the historical city. The proposed *wind strategy*, through the calibration of existing instruments (computational and parametric), the definition of new and specific morphometric factors, the definition of prescriptive and performance indicators, speditive sheets of analysis and planning direction, aims to provide tools more effective and responsive to the peculiarities of the historical fabric, which help designers and administration to integrate the *wind factor* from the earliest stages of thought out transformation of the consolidated urban space.

Keywords: Natural ventilation; Historical city; Adaptation to climate change; Urban regeneration; Cultural performance.

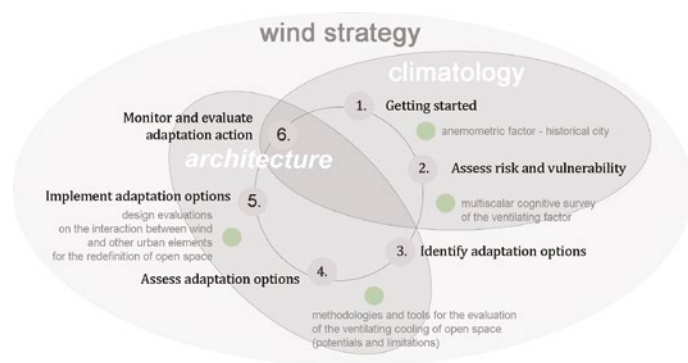
How to and why talk about *Wind strategy*

The heart of large cities, embedded in a much larger building system, is the most vulnerable area of the entire urban organism, where the most intense UHI phenomena occur (Filpa, 2014; Musco, 2016).

In directing research in this area, the challenge is twofold: on the one hand to coordinate specific adaptation policies and practices, and on the other hand to confront the peculiarities of the site, between environmental and protection needs, working on individual factors and their interactions. Among these, the ventilation factor plays an interesting role in understanding the comfort conditions of urban space (Giovannini *et al.*, 2011; Epa, 2008; Santamouris, 2007; Morris *et al.*, 2001; Di Napoli and Mercalli 1998, Colacino and Baldi, 1991) in

relation to the characteristics of the building fabric that strongly affect the intensity and direction of air masses.

At an operational/experimental level there are few but interesting researches carried out – such as the studies by Johansson (2014), Park, Tuller and Jo (2014) or Salata, Golasi and de Lieto Vollaro (2016 a-b) concerning a comparison between peripheral and central urban condition, the RuRos-Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces project directions (2004) or the experiments of the UrbVent-Natural Ventilation in Urban Areas project (2003) or more recently the Air Ventilation Assessment System of the Municipality of Hong Kong (2005) – which, beyond the individual aims, have highlighted specific anemometric problems in the urban context. It is necessary, however, to take a further step forward by defining a strategy



zione, in chiave architettonica, di un quadro critico-conoscitivo sul tema, è stato essenziale:

- Calibrare strumenti di indagine esistenti;
- Costruire nuovi specifici modelli di indagine adatti per la città storica;
- Estrapolare indicazioni progettuali di tipo prescrittivo e prestazionale;
- Definire uno strumento operativo di supporto.

La calibrazione degli strumenti esistenti

Tra gli strumenti di valutazione presi in esame (Tab. 1), si è scelto di lavorare su quelli diretti, parametrici e computazionali (Turchetti, 2017), valutandone limiti e potenzialità e progettandone l'integrazione per ottimizzarne le risposte in funzione delle peculiarità del tessuto storico, anche grazie allo studio su 10 aree campione nella città di Roma (Tab. 1) analizzate nell'arco di 5 mesi¹.

I dati diretti raccolti (*canopy layer* e *pedestrian level*) hanno consentito la definizione di un database utile sia per comprendere le variazioni del flusso anemometrico in interazione con il tessuto urbano, sia per validare i modelli computazionali e valutarne le discordanze col dato reale, arrivando alla definizione di un *Fattore di Calibrazione* (Turchetti, 2018) da applicare alla modellazione CFD. Grazie a una serie di sotto-fattori di correzione (di forma, intensità e direzione), che implementano ricerche esistenti (Bröde and Fiala, 2012; Park *et al.*, 2014; Salata *et al.*, 2016a), il *Fattore* consente di ridurre quanto possibile la discordanza individuata tra dato reale e simulato, che può compromettere una corretta lettura e comprensione dei possibili benefici del fattore anemometrico – e non solo – nonché alterare il calcolo degli indici di comfort.

that can be shared with the various stakeholders (from the designer to the administration), in which the study of natural ventilation becomes not accessory but fundamental in environmental assessment, configuring support tools that can help in the design phase and building a methodological line of investigation and evaluation that goes beyond the specifics of the individual design experience. The proposed *wind strategy*, therefore, wants to be autonomous and aimed at evaluating the *wind factor* and the cooling potential in summer conditions in synergy with other strategies with which it must necessarily interact.

There are three main research questions:

1. how to and why evaluate the *wind factor* in specific historical fabrics;
2. which analysis tools are effective for the particular field of investigation;

3. how to respond to the lack of operational tools for this specific sector.

The stages for the construction of the wind strategy

For the construction of the strategy it is necessary to consider the *wind factor* as a 'design material' even in 'fragile' areas such as historical and consolidated ones, including it in the process of urban adaptation (Fig. 1) already in the early stages of design. In order to do this, in addition to the construction, from an architectural point of view, of a critical-conscious framework on the subject, it was essential:

- to calibrate existing investigation tools;
- to build new specific investigation models suitable for the historical city;
- extrapolate prescriptive and performance design indications;
- define an expeditious support tool.

Altra calibrazione ha riguardato gli strumenti parametrici ed i relativi modelli di calcolo. Partendo dai primi studi morfometrici – da Ellefsen a Oke (1988, 2006) – sino alle più recenti ricerche di Steward e Oke (2012) e le sperimentazioni del Progetto Wudapt, è stato necessario lavorare alla definizione di nuovi fattori morfometrici che descrivessero in maniera puntuale l'*aspect ratio* dei diversi tessuti della città storica. Ciò ha consentito di definire una nuova classificazione morfometrica per Roma, denominata *Rome Local Climate Zone* (RLCZ) (Tab. 2) – base per la costruzione di specifici modelli parametrici – ed estrapolare nuovi valori dei rapporti dimensionali, differenti da quelli comunemente definiti (Tab. 3).

La costruzione di un modello semplificato di analisi. Il modello aria/acqua

Si riporta in questa breve trattazione un estratto relativo alle fasi di costruzione e sperimentazione del modello di analisi semplificata utilizzato. Prendendo come caso studio la città di Roma e considerando i nuovi fattori morfometrici estratti (RLCZ), i modelli parametrici costruiti (Fig. 2a) mantengono gli stessi rapporti morfometrici del tessuto reale², ma su maglia normalizzata e con una massa termica simile alla condizione reale. Per la loro analisi è stato adottato un metodo computazionale (CFD) che, lavorando in questo caso su maglia regolarizzata e con l'utilizzo del *Fattore di Calibrazione*, ha minimizzato le problematiche riscontrate su

Calibrating existing instrument

Among the evaluation tools examined (Tab. 1), it was decided to work on direct, parametric and computational tools (Turchetti, 2017), evaluating their limits and potential and designing their integration to optimise the responses according to the peculiarities of the historical fabric, also thanks to the study on 10 sample areas in the city of Rome (Tab. 1) analysed over 5 months¹.

The direct data collected (*canopy layer* and *pedestrian level*) allowed the definition of a database useful both to understand the variations of the anemometric flow in interaction with the urban fabric, and to validate the computational models and evaluate the discrepancies with the real data, reaching the definition of a *Calibration Factor* (Turchetti, 2018) to be applied to CFD modeling. Thanks to a

series of correction sub-factors (shape, intensity and direction), which implement existing research (Bröde and Fiala, 2012; Park *et al.*, 2014; Salata *et al.*, 2016a), the *Factor* allows to reduce as much as possible the discordanza identified between real and simulated data, which can compromise a correct reading and understanding of the possible benefits of the anemometric factor – and not only – as well as alter the calculation of comfort indexes.

Another calibration concerned the parametric instruments and the relative calculation models. Starting from the first morphometric studies – from Ellefsen to Oke (1988, 2006) – up to the most recent research by Steward and Oke (2012) and the experimentations of the Wudapt Project, it was necessary to work on the definition of new morphometric factors that would accurately describe the *aspect ratio* of the

Tab.01 | Strumenti di valutazione presi in esame e utilizzati a Roma con localizzazione delle aree di indagine (fonte: 2018 Google)
 Evaluation tools examined and used in Rome with location of the survey areas (source: 2018 Google)



Tab.01

Model	Instrument type	Data collection mode	
Real size Model	Direct Instruments	Remote instruments*	Macrometeorological method Remote sensing systems (for propagation and/or reflection such as sodar, lidar, etc...)
		Proximity Tools** (fixed-mobile)	Intermediate method Fixed detection systems - urban weather stations Urban meteorological stations consulted: (processed and raw data) Meteorological observatory of the Collegio Romano CREA-CMA headquarters Lazio Arpa Weather Observatory Main direct tools used: Digital and hot wire anemometer {Wind speed [m/s]:operating range 0 +30 [m/s]; resolution 0.1; accuracy +/-3% F.S. in temp 4 at 32°C} {T°air [°C]: operating range -30+180°C [m/s]; resolution 1; accuracy +/-3% F.S. in the temp 4 range at 32°C}; Haussmann Psychrometer and digital {Relative humidity [%]: Operating range -20 +50 °C; resolution 0.1; accuracy ±0.3 °C (-60 +60 °C)} {T°air [°C]: operating range -40 +150 °C; resolution 0.1; accuracy ±0.3 °C (-60 +60 °C)}
Scale Models	'Representative' intruments***	Automated data collection system - model-based anemometric probes	
Parametric Models	Parametric Instruments	Parametric method parametric variables	Construction and use variables parametric specific.
Microscopic Models	Microscop Instruments/Computational Instruments	Computational method CFD Fluid Dynamics Computation	Selected software: Envi-Met v4.2 Pro

Note: *usually used for the assessment of wind energy at a site by air speed and direction. ** Although it is not a scientific definition, it has been used to better understand the scope of these instruments. ***Representation in scale of the actual data.

Tab. 02 |

Rome Local Climate Zone RLCZ									
Type of fabric	Composition								
	Description	Classification of fabrics from PRG	roughness class	H/W*	L/H	SVF	Coverage ratio (Sc/Sf)	% water-proof	
A	A1	intensely and very densely urbanized area, with 2-5 storey buildings, contiguous or very close together,	of mainly 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 Closer to the lowest value	0,63	95-85
	A2	often made of brick or stone (e.g. historical centre)	of mainly Renaissance origin		deep	long L/H=7,2		0,72	85-90
B	B1	intensely and very densely urbanized area, with 5-9 storey buildings, contiguous or very close together,	of urban renovation 8-900	7	uniform	short L/H=2,3	0,3-0,4 Closer to the highest value	0,47	80-85
	B2	often of reinforced concrete or mixed (expansion)	of expansion 8-900 block		uniform	short L/H=3,2		0,46	80-90
	B3	Medium urbanized area with buildings not very close together.	of expansion 8-900 with 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. The maximum and minimum values are indicated between the round brackets.

different fabrics of the historical city. This allowed to define a new morphometric classification for Rome, called *Rome Local Climate Zone (RLCZ)* (Tab. 2) – base for the construction of specific parametric models – and to extrapolate new values of dimensional ratios, different from those commonly defined (Tab. 3).

The construction of a simplified model of analysis. The air/water model

An excerpt from the construction and testing phases of the simplified analysis model used is given in this brief discussion. Taking as case study the city of Rome and considering the new extracted morphometric factors (RLCZ), the constructed parametric models (Fig. 2a) maintain the same morphometric ratios as the real fabric², but on normalised mesh and

with a thermal mass similar to the real condition. For their analysis, a computational method (CFD) has been adopted that, working in this case on regularised mesh and using the *Calibration Factor*, minimized the problems found on complex fabrics, recording average flow intensity values similar to the real ones collected.

This ‘ideal’ model has been designed with the inclusion of some ‘materials’, first of all the water, analysed in relation mainly to the conditions of radiation and ventilation – prevailing flow, upwind and downwind, calm zones –. To avoid, however, that the summer cooling of the ventilation-evaporative type turns into discomfort due to an increase of RH% of the site³, not only the positioning of the water in the fabric was analysed, but also the type of device and the possible modes of deliv-

ery in different seasons and/or hours. Therefore, 6 scenarios were hypothesised for each type of urban fabric analysed, different for the positioning of the ‘water’ device in relation to ventilation and sunshine (Fig. 2b) and with a water surface equal to 5-10 and 15% of the space surface⁴. Moreover, for each scenario a different type of device (Fig. 2c) was hypothesised, evaluating its microclimatic advantages through CFD instruments⁵, *in situ* measurements or acquiring useful indications from the literature. Finally, different modes of flow delivery (daily or seasonal regulation) were evaluated, assuming floor systems with non-permanent water surfaces or multifunctional furnishing solutions, also integrated with rainwater collection systems. Therefore, 19 scenarios were defined for each model type (Tab. 4).

The prescriptive and performance design guidelines

From the analysis of the scenarios on simplified models, two types of results have been deduced, applicable to cases with similar morphometric characteristics: one prescriptive and the other performance – understood in historical contexts also in terms of ‘cultural performance’ – providing indicative answers, certainly not definitive, on the effectiveness of certain design choices. In order to evaluate among the various scenarios the best comfort condition (both perceptual/emotional and psychological condition) (Nikolopoulou and Lykoudis, 2006) in terms of thermal perception (a rational experience that can be described according to a scale of values) (Dessi *et al.*, 2016), the *ante-operam* scenario was compared with the single constructed scenarios, using some environmental parameters

02 | (a) Due dei modelli semplificati: tipo A1 e B2 (tessuti di origine medievale e di espansione 8-900 ad isolato); (b)-(c) Localizzazione e tipologia di dispositivo nel modello ideale per tessuto di tipo A1
 (d) Two of the simplified models: type A1 and B2 (fabrics of medieval origin and expansion 8-900 per block); (b)-(c) Location and type of device in the ideal model for type A1 fabrics

Dimensional ratios urban canyon historical 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

Tab. 03

tessuti complessi, facendo registrare valori medi di intensità di flusso analoghi a quelli reali raccolti.

Costruito questo modello 'ideale' si è intervenuti progettualmente con l'inserimento di alcuni 'materiali', primo tra tutti l'acqua, analizzata in relazione prevalentemente alle condizioni di irraggiamento e ventilazione – flusso prevalente, sopra e sotto vento, zone di calma -. Per evitare, però, che il raffrescamento estivo di tipo ventilativo-evaporativo si trasformi in motivo di discomfort, a causa di un aumento di UR% del sito³, è stato analizzato non solo il posizionamento dell'acqua nel tessuto, ma anche il tipo di dispositivo e le possibili modalità di erogazione nelle differenti stagioni e/o ore.

Sono stati quindi ipotizzati 6 scenari per ogni tipo di tessuto urbano analizzato, differenti per posizionamento del dispositivo 'acqua' in relazione a ventilazione e soleggiamento (Fig. 2b) e con superficie d'acqua pari al 5-10 e 15% della superficie dell'invaso⁴.

Inoltre per ogni scenario è stata ipotizzata una differente tipologia di dispositivo (Fig. 2c), valutandone i vantaggi microclimatici attraverso strumenti CFD⁵, misurazioni in situ o acquisendo dalla letteratura utili indicazioni.

Sono stati infine valutate differenti modalità di erogazione del flusso (regolazione giornaliera o stagionale) ipotizzando sistemi a pavimento con superfici d'acqua non permanenti o soluzioni di arredo polifunzionale, anche integrati con sistemi di raccolta delle acque meteoriche. Si è quindi arrivati a definire 19 scenari per ciascun modello tipo (Tab. 4).

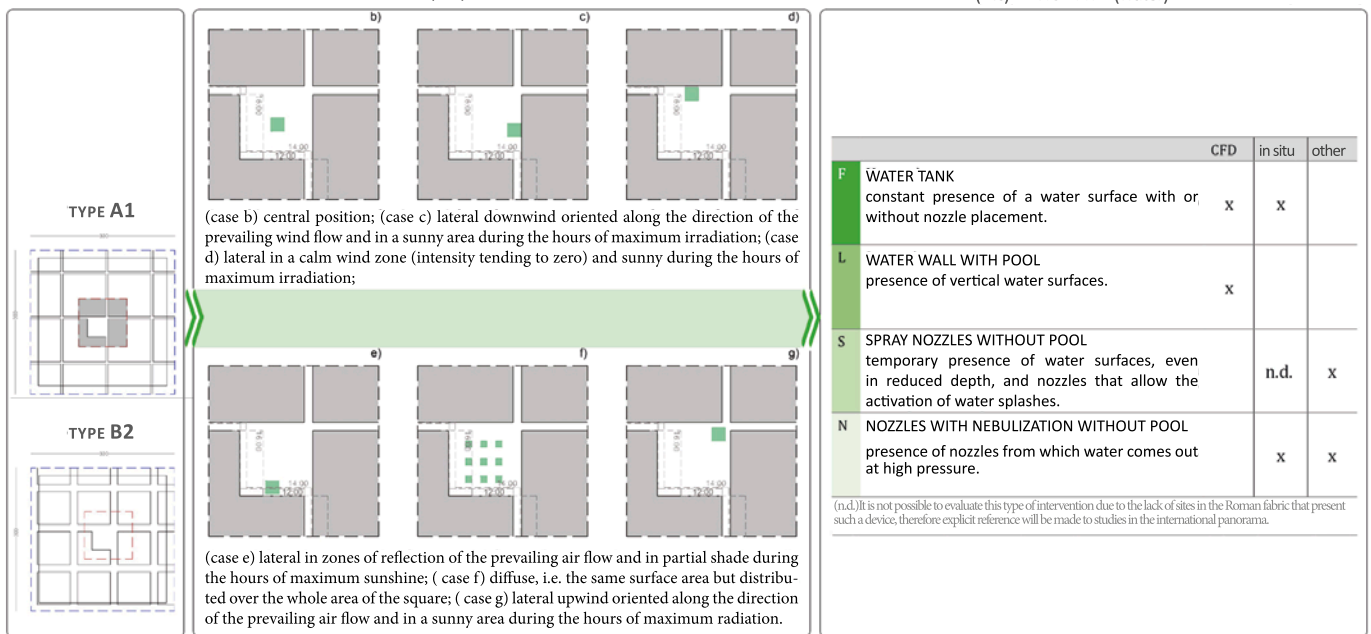
Le indicazioni progettuali prescrittive e prestazionali Dall'analisi degli scenari su modelli semplificati sono stati dedotti due tipi di risultato, applicabili a casi con analoghe caratteristiche morfometriche: uno prescrittivo e l'altro prestazionale – inteso in ambiti storici in

(2.a) SIMPLIFIED MODELS

(2.b) LOCALISATION OF DEVICE

(2.c) DEVICE TYPE (water)

| 02



Tab.04 |

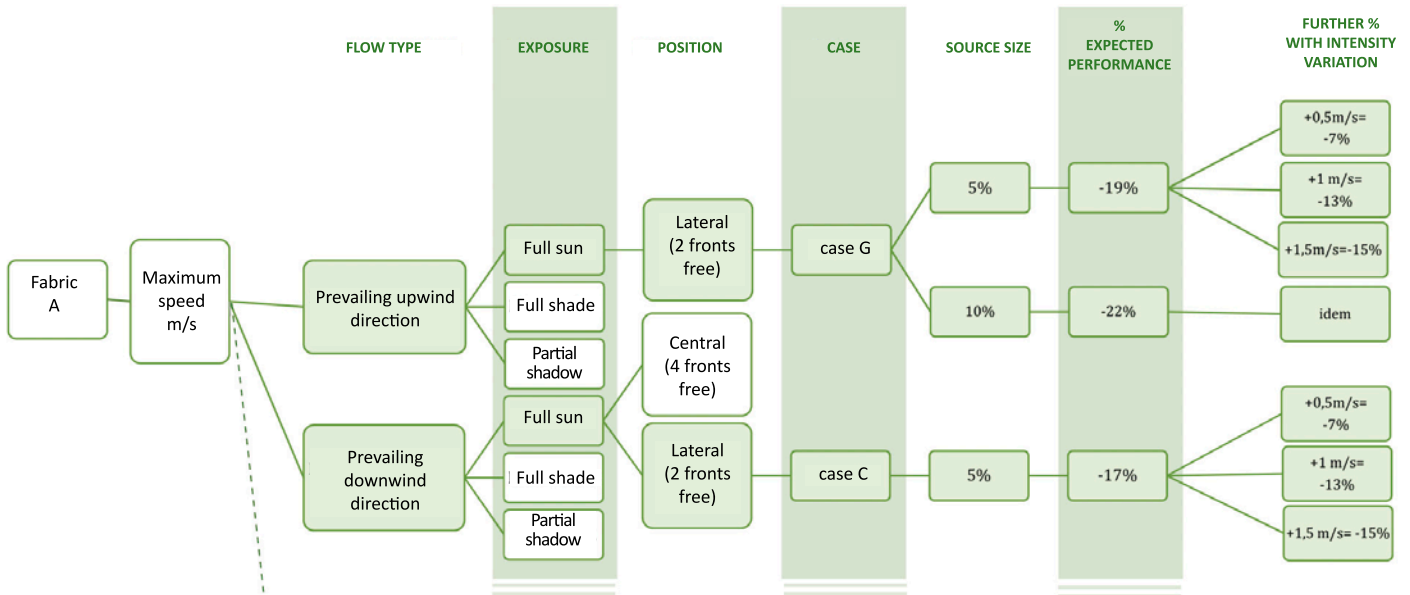
SCENARIOS ANALYSED

Device type	Location	Flow type	Exposure	Device size	Fabric	
					A1	B2
Punctual tank	Central (B)	calm wind	sun	+5%	x	x
				+10%	x	x
				+15%	x	
	Lateral (C)	downwind	sun	+5%	x	x
	Lateral (D)	calm wind	sun	+5%	x	x
				+10%	x	
	Lateral (E)	calm wind	semi-shaded	+5%	x	x
Diffused (F)	varied	various	tot 5%	x	x	
Lateral (G)	upwind	sun	+5%	x	x	
			+10%	x	x	
Wall	Central (LB)	calm wind	sun	+5%	x	x
				+10%	x	x
				Lc+h 2m	x	
	Lateral (LC)	downwind	sun	+5%	x	x
	Lateral (LD)	calm wind	sun	+5%	x	x
	Lateral (LE)	primary flow reflection	semi-shaded	+5%	x	x
				+10%	x	x
Lateral (LG)	upwind	sun	+5%	x	x	

Device type	Location	Flow type	Exposure	Device size	Fabric
Nebulization	Diffused (H)	varied	various	x	In situ/lit.
Sprays from the ground	Diffused (i)	varied	various	x	lit.

The "x" indicates the cases analysed through the computational simulation (Envi-Met software v.4); the "in situ" indicates the cases for which it was necessary to carry out a field evaluation of the searched data because they cannot be calculated with the software. The term 'lit' indicates information collected from research already developed.

03 |



termini di *performance* anche culturale – fornendo delle risposte orientative, non certo definitive, sull'efficacia di determinate scelte progettuali.

Per valutare tra i vari scenari la migliore condizione di comfort (condizione sia percettivo/emozionale che psicologica) (Nikolopoulou e Lykoudis, 2006) in termini di sensazione termica (esperienza razionale descrivibile secondo una scala di valori) (Dessi *et al.*, 2016) è stato messo a confronto lo scenario *ante-operam* con i singoli scenari costruiti, utilizzando alcuni parametri ambientali ($T^{\circ}a$, UR, TMR) e due indici di comfort (PMV⁶ e MOCI⁷) e valutate le diverse risposte in relazione a direzione ed intensità di flusso.

Le analisi sono state eseguite sia su arco temporale limitato (04:00 e 14:00 ore di picco su Roma), sia esteso (04:00-20:00) come media giornaliera, affiancate da verifiche puntuali.

Partendo da uno scenario *ante-operam*, che ha fatto registrare valori di PMV elevati nelle ore di picco e nella media giornaliera (PMV h14:00=3,80 e PMV giorno=3,63), sono stati registrati – in relazione alla variazione dei singoli parametri presi in esame – miglioramenti nei vari scenari (Fig. 3) intorno al 17-22% soprattutto nelle ore di picco, con alcuni lievi peggioramenti nelle ore notturne ovviabili lavorando su tipologia e modalità di erogazione del dispositivo. Il miglioramento ottenuto, non certo risolutivo di una condizione di discomfort, può però fornire un utile tassello se visto in sinergia con altri interventi progettuali. Partendo poi dalle analisi sul caso reale e sui modelli CFD e basandosi anche su indicazioni prescrittive emerse da varie ricerche tra cui il progetto RuRos (Kofoed e Gaardsted, 2004), gli studi Grimmond e Oke (1999), Santamouris e Wouters (2006), Erell (2008), De Santoli (2011) e Tucci (2012), le sperimentazio-

($T^{\circ}a$, RH, TMR) and two comfort indices (PMV⁶ and MOCI⁷) and evaluating the different responses in relation to direction and intensity of flow.

The analyses were carried out both on a limited time span (04:00 and 14:00 peak hours on Rome) and extended (04:00-20:00) as a daily average, backed up by punctual checks.

Starting from an *ante-operam* scenario, which recorded high PMV values in peak hours and in the daily average (PMV h14:00=3.80 and PMV day=3.63), improvements in the various scenarios (Fig. 3) were recorded – in relation to the variation of the individual parameters examined – around 17-22%, especially in peak hours, with some slight worsening in the night hours, which can be avoided by working on the type and delivery mode of the device. The improvement obtained, certainly not conclusive of

a condition of discomfort, however, it can provide a useful element if seen in synergy with other design interventions. Starting from the analysis of the real case and CFD models and also based on prescriptive indications shown from various researches such as the RuRos project (Kofoed and Gaardsted, 2004), the studies of Grimmond and Oke (1999), Santamouris and Wouters (2006), Erell (2008), De Santoli (2011) and Tucci (2012), the experimentations carried out have allowed to increase the knowledge not only on the interaction between ventilation and urban fabric, but also on the interaction between ventilation, water and urban fabric.

The acquisition of new prescriptive indications, reported in figure 4, can be a useful step forward to direct the whole process of 'compatible' transformation of the urban space, from the first

design phases, towards more effective actions in relation to the specificities of the site.

design phases, towards more effective actions in relation to the specificities of the site.

Risultati: lo strumento di supporto speditivo

I principali risultati del lavoro sono:

- un quadro internazionale aggiornato su politiche, strategie, piani, linee guida, sperimentazioni con particolare attenzione ai tessuti storici;
- nuovi fattori morfometrici della città storica (RLCZ) e nuovo modello morfometrico;
- fattore di calibrazione CFD;
- indicazioni prescrittive e prestazionali a scala urbana.

Tutti questi punti sono poi confluiti, in maniera sistematizzata, in Schede Speditive di Analisi (Fig. 5) che guideranno il progettista o l'amministrazione dall'analisi alla selezione della possibile azione progettuale migliorativa in termini di comfort ambientale, facilitando, in prima istanza, una lettura comparata tra aspetti morfologici, morfometrici e ambientali del tessuto ed aiutando nella localizzazione dei punti critici del tessuto sui quali effettuare indagini di dettaglio. Non linee guida ma schede di facile consultazione in fase decisionale, iterabili e interattive, implementabili nel tempo e soprattutto flessibili – per adattarsi alle peculiarità di questi complessi tessuti urbani – inserendo il tema della ventilazione tra le problematiche/potenzialità progettuali.

design phases, towards more effective actions in relation to the specificities of the site.

Results: the speditive support tool

The main results of the work are:

- an updated international framework on policies, strategies, plans, guidelines, experimentations with particular attention to historical fabrics;
- new morphometric factors of the historical city (RLCZ) and new morphometric model;
- CFD calibration factor;
- prescriptive and performance indications at urban scale.

All of these points have then been collected, in a systematised way, in Speditive Analysis Sheets (Fig. 5) which will guide the designer or the administration from the analysis to the selection of the possible improvement design

action in terms of environmental comfort, facilitating, in the first instance, a comparative reading between morphological, morphometric and environmental aspects of the fabric and helping in the localisation of the critical points of the fabric on which to carry out detailed investigations. Not guidelines, but sheets that are easy to consult in the decisional phase, iterable and interactive, implementable over time and above all flexible – to adapt to the peculiarities of these complex urban fabrics – by inserting the theme of ventilation among the problems/potential design.

Conclusions

The results of the research, from the calibration to the definition of new methods and tools to the definition of useful design indications in the pre-intervention phase, are intended

DEVICE TYPE	LOCATION	DIMENSION	DELIVERY METHOD
Water tank	<p>D.1 it is preferable to position the source laterally, but not close to surfaces to be conserved.</p> <p>D.5 for wind intensity equal to or less than 1.5m/s: it is preferable to position the source as close as possible to the point of entry of the flow into the space considered.</p> <p>D.5 bis for wind strengths higher than 1,5m/s: it is preferable to position the source downwind of the zone with the highest thermal mass.</p> <p>D.6 along the prevailing flow direction, avoid placing the water surface near an area with reduced SVF to reduce the deterioration of thermal stress at night.</p> <p>D.7 in the upwind position, it is not advisable to increase the water surface with an insignificant improvement in the thermal sensation and a considerable increase in UR%.</p> <p>D.9 positioning, where possible, a vertical surface of water reduces the radiant temperature of that part of the space.</p>	<p>D.3 designing the water surface with dimensions equal to 10-15% of the surface of the reservoir determines a percentage improvement of the thermal condition of about 20% compared to the case ante-operam. In relative terms, an increase of the surface area to 10% results in an average improvement of about 7% in relation to a starting size of 5%, while an increase of the size of 15% results in an improvement of about 10% in relation to the starting size (5%).</p> <p>D.3 bis increasing by twice the size of the water surface determines about 20% improvement compared to the case ante-operam, which can reach 40% if you design a surface high of at least one meter.</p> <p>D.4 the influence area of the water surface depends not only on the dimensional ratio between water and space but also on the degree of closure of the fronts.</p> <p>D.8 the minimum size of the pool that can be used to obtain improvements, although reduced, is around 5% of the surface of the space analysed.</p>	<p>D.2 daily adjustment of the water flow is recommended (reduction/absence of water volume at night)</p>
Water wall with pool	<p>D.10 it is preferable to place a water wall in a semi-shade area in areas with low relative humidity.</p>	<p>D.11 the large water wall size does not affect the thermal condition of the model (data to be further checked).</p> <p>D.12 for wind strengths higher than 1,5m/s it is preferable not to increase the water surface in shaded areas, starting from the minimum size of 5% of the reservoir surface.</p>	
Spray nozzles without pool/ Nozzles with nebulization without pool	<p>D.13 the presence of water jets only exhibits a mitigating effect during daylight hours if these jets are distributed evenly over the entire surface of the space and in cyclic operation at close intervals.</p> <p>D.16 Place water sprayer in confined areas.</p>	<p>D.14 For the hygrometric levels recorded in the city of Rome, it is preferable to use jet systems, even sprayed ones, without the presence of a simultaneous water surface, unless this surface has reduced dimensions (<5%).</p>	<p>D.13 the presence of water jets only exhibits a mitigating effect during daylight hours if these jets are distributed evenly over the entire surface of the space and in cyclic operation at close intervals.</p> <p>D.15 to limit the time of operation of the spray system to the hours of maximum sunshine (data to be subjected to further verification)</p>

* We talk about upwind and downwind when the device is placed before or after the obstacle, which in this case is represented by the thermal mass of the square.

to add a further piece to the already more consolidated knowledge aimed at improving the urban microclimate, providing a methodology of analysis and a new speditive tool that facilitates its application, with a view to responding primarily to the lack of operational tools that consider the characteristics of resilience and invariance of the fabric of the historical city. The desirable operational impacts of the research, aimed mainly at designers and public administration as subjects operating at urban level in 'mending' operations, are not intended to lead to standardise

behaviours or design actions – something that would distort the concept of 'project' especially in fragile fabrics such as historical ones – but to build a strategy that implements the already existing knowledge bases for a correct design action.

ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution presents part of the results of the doctoral research, to date the subject of subsequent developments, conducted by the author at the La Sapienza University of Rome, with the support of CNR-IDASC.

NOTES

¹ A 'speditive measurement campaign' (05-09/2016) with direct instrumentation was tested under CNR-IDASC supervision (Tab. 1).

² Ref. fabrics of the historical city, PRG Rome.

³ Evaporative cooling is effective at RH ≤50%. In Rome the average values in summer are around 48%, with peaks in the early hours of the day; in spring it is just over 50%; in winter and autumn on average around 70%.

⁴ The size depended on the assessment of the impact of the surface area of wa-

ter in relation to the total surface area of the Roman squares analysed.

⁵ It was decided to use the ENVI-met v.4 pro software which allows water to be treated in CFD simulation, although it does not yet allow the definition of some scenarios for which in situ measurements or literature has been used.

⁶ It was chosen to use ENVI-met processing and the RayMan 1.2 software calculation model coupled with (Matarakis *et al.*, 2010).

⁷ Mediterranean outdoor comfort Index (Salata *et al.*, 2016a; Golasi *et al.*, 2016).

Conclusioni

I risultati della ricerca, dalla calibrazione alla definizione di nuovi metodi e strumenti alla definizione di indicazioni progettuali utili in fase di pre-intervento, vogliono aggiungere un ulteriore tassello a conoscenze già più consolidate volte al miglioramento del microclima urbano, fornendo una metodologia d'analisi e un nuovo strumento speditivo che ne facilita l'applicazione, nell'ottica di rispondere in primis alla carenza di strumenti operativi che considerano le caratteristiche di resilienza e invarianza dei tessuti della città storica. Le auspicabili ricadute operative della ricerca, rivolte principalmente a progettisti e amministrazione pubblica quali soggetti operanti a livello urbano nelle operazioni di 'rammendo', non vogliono portare a standardizzare comportamenti o azioni progettuali – cosa che snaturerebbe il concetto di 'progetto' soprattutto in tessuti fragili come quelli storici – ma costruire una strategia che implementi le basi conoscitive già esistenti per una corretta azione progettuale.

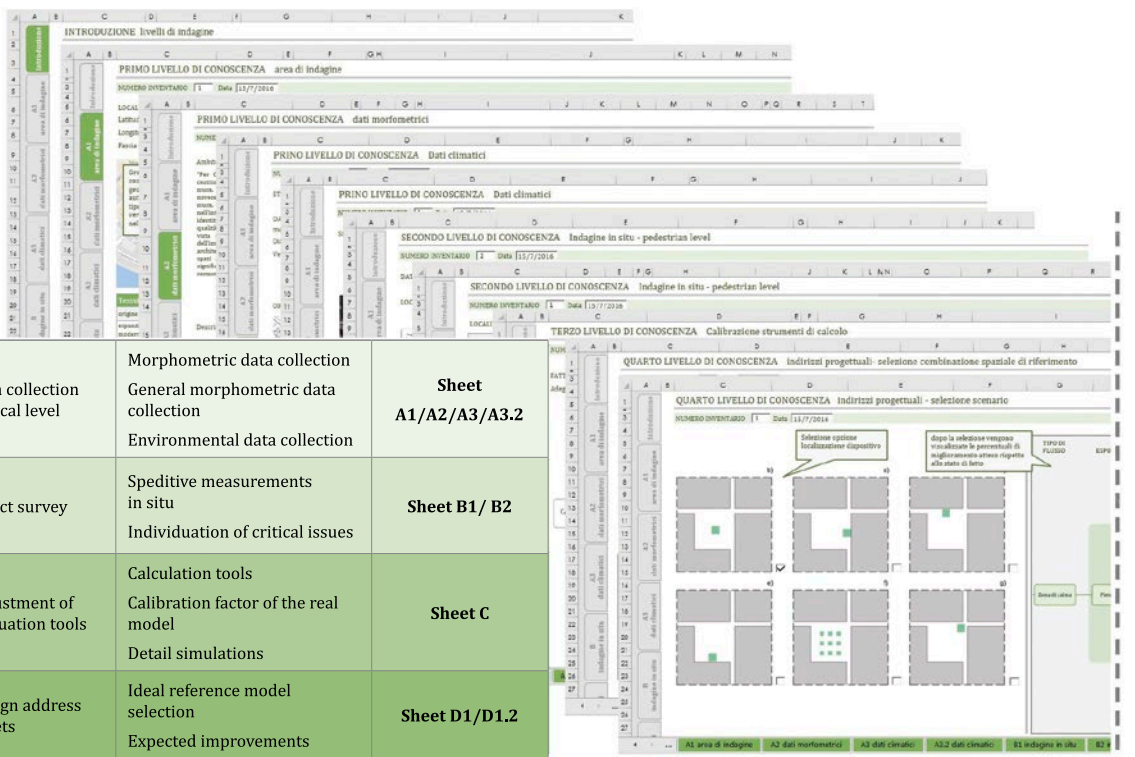
ACKNOWLEDGEMENTS

Il contributo presenta parte dei risultati della ricerca dottorale, ad oggi oggetto di successivi sviluppi, condotta dall'autore presso la Sapienza Università di Roma, con il supporto del CNR-IDASC.

NOTE

- Si è sperimentata con la supervisione del CNR-IDASC una 'campagna speditiva di misurazione' (05-09/2016) con strumentazione diretta (Tab. 1).
- Rif. tessuti della città storica, PRG Roma.
- Il raffrescamento evaporativo è efficace con UR $\leq 50\%$. A Roma i valori medi in estate sono intorno al 48%, con picchi nelle prime ore del giorno; in primavera si supera di poco il 50%; in inverno ed autunno in media intorno al 70%.
- La dimensione è dipesa dalla valutazione di incidenza della superficie d'acqua rispetto alla superficie totale delle piazze romane analizzate.
- Si è deciso di utilizzare il software ENVI-met v.4 pro che consente di trattare anche l'acqua nella simulazione CFD, sebbene non permette ancora la definizione di alcuni scenari per i quali si è ricorso a misurazioni in situ o a letteratura di settore.
- Si è scelto di utilizzare in sinergia le elaborazioni di ENVI-met e il modello di calcolo del software RayMan 1.2 (Matzarakis *et al.*, 2010).
- Mediterranean outdoor comfort Index (Salata *et al.*, 2016a; Golasi *et al.*, 2016).

FIRST LEVEL OF KNOWLEDGE (Identification phase)	Data collection at local level	Morphometric data collection General morphometric data collection Environmental data collection	Sheet A1/A2/A3/A3.2
SECOND LEVEL OF KNOWLEDGE (Qualitative phase)	Direct survey	Speditive measurements in situ Individuation of critical issues	Sheet B1/ B2
THIRD LEVEL OF KNOWLEDGE (Analytical phase)	Adjustment of evaluation tools	Calculation tools Calibration factor of the real model Detail simulations	Sheet C
FOURTH LEVEL OF DESIGN ADDRESS (Proactive phase)	Design address sheets	Ideal reference model selection Expected improvements	Sheet D1/D1.2



REFERENCES

- Bröde, P. and Fiala, D. (2012), "Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)", *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56(3), pp. 481-94.
- Colacino, M. and Baldi, M. (1991), *La climatologia della città di Roma*, CNR, Roma.
- De Santoli, L. (2011), *La ventilazione naturale: il moto naturale dell'aria per il controllo delle condizioni ambientali*, Flaccovio Editore, Palermo.
- Dessi, V., Farnè, E., Ravanello, L. and Salomoni, M.T. (2016), *Rigenerare la città con la natura. Strumenti per la progettazione degli spazi pubblici tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna (RN).
- Di Napoli, G. and Mercalli, L. (1998), "Il topoclima urbano di Torino: la temperatura", *Nimbus*, Vol. 13-14, pp. 16-29.
- EEA (2012), *Urban adaptation to climate change in Europe. Report 2*, Office Off. Publ. EU, Luxembourg.
- Epa (2008), "Reducing urban heat islands: compendium of strategies", available at: www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium.
- Erell, E. (2008), "The Application of Urban Climate Research in the Design of Cities", *Advances in Building Energy Research*, Vol. 2, pp. 95-121.
- Filpa, A. (2014), "La carta della vulnerabilità climatica di Roma 1.0", in AA.VV., *Le città e la sfida dei cambiamenti climatici*, ISPRA, Roma.
- Giovannini, L., Zardi, D. and de Franceschi, M. (2011), "Analysis of the urban thermal fingerprint of the city of Trento in the Alps", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 50, pp. 1145-1162.
- Golasi, I., Salata, F., de Lieto Vollaro, E., Coppi, M. and de Lieto Vollaro, A. (2016), "Thermal Perception in the Mediterranean Area: comparing the Mediterranean Outdoor Comfort Index (MOCI) to Other Outdoor Thermal Comfort Indices", *Energies*, Vol. 9, p. 550.
- Grimmond, C.S.B. and Oke, T.R. (1999), "Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 38, pp. 1262-1292.
- Johansson, E. (2014), "Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies - the need for standardization", *Urban Climate*, Vol. 10, pp. 346-366.
- Kofoed, N.U. and Gaardsted, M. (2004), *Considerazioni sul vento negli spazi urbani. Progettare gli spazi aperti nell'ambito urbano: un approccio bioclimatico*, CRES, Grecia.
- Matzarakis, A., Ruthz, F. and Mayer, H. (2010), "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model", *International Journal of Biometeorology*, Vol. 54, pp. 131-139.
- Morris, C.J.G. et al., (2001), "Quantification of the Influences of Wind and Cloud on the Nocturnal Urban Heat Island of a Large City", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 40(2), pp. 169-182.
- Musco, F. (2016), "Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario", available at: link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-3-319-10424-9.
- Nikolopoulou, M. and Lykoudis, S. (2006), "Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries", *Building and Environment*, Vol. 41, pp.1455-1470.
- Oke, T.R. (2006), *Initial guidance to obtain representative meteorological observation at urban scale*, WMO, Geneve.
- Oke, T.R. (1988), "Street design and urban canopy layer climate", *Energy and Buildings*, Vol. 11, pp. 103-113.
- Park, S., Tuller, S.E. and Jo, M. (2014), "Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments", *Landscape and Urban Planning*, Vol. 125, pp.146-155.
- Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, R. and de Lieto Vollaro, A. (2016a), "Urban microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI-met simulation outputs to experimental data", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 26, pp. 318-343.
- Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, R. and de Lieto Vollaro, A. (2016b), "Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A trasversal study in Rome,Italy", *Building and Environment*, Vol. 96, pp. 46-61
- Santamouris, M. and Wouters, P. (2006), *Building Ventilation: The State of the Art*, Earthscan, Londra.
- Santamouris, M. (2007), "Heat Island Research in Europe:The State of the Art", *Advances in Building Energy Research*, pp. 123-150.
- Stewart, I.D. and Oke, T.R. (2012), "Local climate zones for urban temperature studies", *Bulletin of the American Mathematical Society*, Vol. 93(12), pp. 1879-1900.
- Tucci, F. (2012), *Atlante dei sistemi tecnologici per l'Architettura Bioclimatica. Ventilazione naturale negli edifici*, Alinea, Firenze.
- Turchetti, G. (2018), *Ventilazione naturale nella città storica. Metodologie e strumenti per la valutazione speditiva del fattore di ventilazione per il miglioramento delle condizioni di comfort dello spazio aperto*, PhD Tesi, Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, Tutor L. Cupelloni.
- Turchetti, G. (2017), "Urban microclimate: natural ventilation and open space in the historic city. Summary of critical evaluation on the Italian and international research", *Proceedings of the 4th WTA International PhD Symposium*, pp. 157-163.