

Francesco Fiorito^{a,b}, Mattheos Santamouris^{a,c},

^a Faculty of Built Environment, University of New South Wales, Sydney (Australia)

^b Department of Civil, Environmental, Land, Building Engineering and Chemistry, Politecnico di Bari, Bari (Italy)

^c Department of Physics, National and Kapodistrian University of Athens, Greece

f.fiorito@unsw.edu.au
msantam@phys.uoa.gr

Introduzione

Secondo gli ultimi aggiornamenti statistici sulla crescita della popolazione mondiale, si prevede che entro il 2050 gli abitanti in aree urbane aumenteranno di circa 2,5 miliardi di unità, e che quasi due terzi della popolazione vivrà in città (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2014). Occorre notare che oggi solo poco più della metà della popolazione mondiale vive in aree urbane, sebbene il 75% dei consumi globali di energia primaria e il 50-60% del rilascio totale di gas serra in atmosfera provengano dal territorio antropizzato. Pertanto, il miglioramento della sostenibilità delle città non solo rappresenta una delle principali sfide del XXI secolo, ma costituisce un'opportunità stimolante per l'intero mondo dell'architettura, e un imperativo per l'attualità ed il futuro della ricerca architettonica. In questo contesto globale, uno dei problemi più pressanti è rappresentato dai cambiamenti climatici a scala globale e locale, che producono oneri notevoli per gli edifici esistenti e di nuova costruzione, sia in termini di peggioramento delle condizioni di comfort degli ambienti interni, che di incremento dei consumi energetici. Secondo il recente rapporto di sintesi del gruppo internazionale di studio sui cambiamenti climatici (IPCC, 2014), la probabilità di un incremento sostanziale delle temperature medie globali dell'aria, dovuto alle emissioni in atmosfera di gas serra originati dalle attività antropiche, è estremamente elevata. A seconda degli scenari previsti di emissioni in atmosfera di gas serra, la temperatura media globale dell'aria subirà un incremento compreso tra 1°C e 4°C entro la fine del XXI secolo, relativo ai livelli di temperatura rilevati nel periodo com-

preso tra il 1986 e il 2005. Occorre notare che il limite inferiore del precedente intervallo è relativo ad uno scenario che prevede drastica riduzione delle emissioni, mentre il limite superiore sarà raggiunto in assenza di alcun significativo cambiamento dello status quo delle politiche energetiche e di emissioni mondiali. Occorre, inoltre, sottolineare che i dati precedenti si riferiscono a variazioni medie globali della temperatura dell'aria e che, in ambiente antropizzato, l'incremento potenziale di temperatura dell'aria potrebbe risultare ancora più elevato. Difatti, in aree urbane, il calore sensibile dovuto alle attività antropiche e all'irraggiamento solare viene accumulato dalle superfici degli edifici e dalle pavimentazioni esterne e rilasciato localmente in atmosfera. Questo fenomeno è noto come Isola di Calore Urbana (ICU) e produce un ulteriore incremento della temperatura ambientale di picco pari a fino a 10°C, come documentato da diversi studi svolti nelle principali aree urbane mondiali (Santamouris e Kolokotsa, 2016). Inoltre, i cambiamenti climatici producono non solo l'aumento delle temperature medie e di picco, ma anche l'aumento della probabilità di occorrenza di eventi catastrofici e una maggiore variabilità dei tassi di precipitazioni piovose. Come reazione a catena, comfort, vivibilità, consumi energetici, e in generale la salute della popolazione residente in aree urbane vengono esponenzialmente peggiorati. Occorre, pertanto, ricercare soluzioni per far fronte ai sopramenzionati problemi e la ricerca nella progettazione e nella tecnologia dell'architettura è sempre più orientata verso la definizione di strategie per limitare gli effetti negativi di cambiamenti climatici e ICU. Difatti una nuova coscienza ambientale si sta gradualmente diffondendo tra

HIGH PERFORMANCE TECHNOLOGIES AND THE FUTURE OF ARCHITECTURAL DESIGN

Introduction

It is expected that by 2050 the World's urban population will increase of nearly 2.5 billion units, and that almost two third of the population will live in urban areas (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2014). It is, also, worth noting that today only a little more than half of the population lives in urbanized areas, but that current cities consume about 75% of the world's primary energy and release about 50 to 60% of the world's total greenhouse gases. Therefore, improving sustainability of the cities is one of the key challenges of XXI century, a stimulating opportunity for architecture profession, but an imperative for current and future architectural research. Within this context, one of the most pressing issues is represented by local and global climate change, which produces an increased

burden on the existing and new building stock in terms of both occupants' comfort and energy demand. Following the latest reports available, it is likely that anthropogenic greenhouse gas emission will produce a substantial increase of the global average temperatures in the next decades. Depending on the forecasted pathways of greenhouse gas emissions, the global average temperature is expected to show an increase between 1°C and 4°C by the end of XXI century in comparison to the temperature levels experienced in the period 1986-2005 (IPCC, 2014). It is worth noting that the lowest limit of the previous range can only be met if stringent measures are taken, while the upper limit will be reached if no significant change will be made to current emission scenarios. The expected temperature change is even higher in anthropogenic environment, where

the additional heat accumulated and released by urban fabrics results in increased ambient temperatures. This phenomenon is known as Urban Heat Island (UHI) and works in tandem with climate change, providing an additional rise of the peak ambient temperature of up to 10°C, as documented in several studies carried out in major cities around the world (Santamouris and Kolokotsa, 2016). Moreover, climate change phenomenon produces not only the increase in annual and peak ambient temperatures, but also the increase of probability of occurrence of catastrophic events a higher variability of rates of precipitations. As a chain reaction, comfort, livability, energy consumptions, and in general population health in cities will exponentially worsen. It is, therefore, imperative to find solutions to cope with these issues and the research in

progettisti e il ravvivato interesse nello studio delle prestazioni degli edifici è un indicatore chiave della rinnovata consapevolezza verso questi temi. Nello specifico, lo studio delle tecnologie ad alte prestazioni e il loro rapporto con le strategie complementari di mitigazione e adattamento degli effetti a cambiamenti climatici e ICU rappresentano i nuovi fili conduttori della ricerca in questo campo; questi sono brevemente delineati nei paragrafi che seguono. Ciò costituisce una prima riflessione sul contributo futuro che la ricerca nella progettazione tecnologica dell'architettura sarà in grado di fornire al dibattito globale in architettura.

Tecnologie ad alte prestazioni e mitigazione degli effetti dell'isola di calore urbano e dei cambiamenti climatici

Il termine mitigazione include la serie di azioni intraprese per limitare l'entità dei cambiamenti climatici globali e locali. Quattro approcci specifici vengono, in genere, adottati con questo obiettivo; questi includono la riduzione dell'assorbimento della radiazione solare – mediante un aumento della riflessione solare degli involucri edilizi e delle pavimentazioni esterne –, l'aumento degli effetti di evapotraspirazione nell'ambiente costruito, la dissipazione del calore in eccesso generato dalle attività umane mediante l'utilizzo di dissipatori di calore, e in generale, la riduzione delle emissioni antropogeniche di calore (Akbari e Kolokotsa, 2016; Santamouris e Kolokotsa, 2016). I precedenti approcci, si traducono, quindi, in altrettante linee di ricerca, nelle quali risulta fondamentale lo studio e l'applicazione di tecnologie ad alte prestazioni, quali verde urbano, materiali riflettenti, e rivestimenti e materiali intelligenti innovativi. Uno studio di 220 progetti su larga scala, condotto mediante campagne di monitorag-

architectural design and technology is more and more oriented towards the definition of strategies to limit the negative effects of climate change and UHI. *Mitigation* and *adaptation* are two complementary strategies that can be adopted with this aim. Environmental consciousness is gradually spreading among architects and designers. The understanding of building performance is a key indicator of the change of interest in architecture and the study of high performance technologies represents one of the new drivers of research in this field. In the following paragraphs, innovative high performance technologies applied to mitigation and adaptation strategies are outlined. This constitutes a reflection on the future contribution that research in architectural technology can provide to the global debate in architecture.

High performance technologies and mitigation of UHI and climate change
Mitigation comprises the set of actions undertaken to limit the magnitude of UHI and climate change. Four specific approaches are generally adopted to tackle this issue. These include the decrease of absorption of solar radiation – by means of an increase of solar reflectance of building fabrics and pavements –, the increase of the evapotranspiration phenomena in the built environment, the dissipation of the surplus heat generated by human activities by means of the use of heat sinks, and in general the reduction of the anthropogenic emissions of heat (Akbari and Kolokotsa, 2016; Santamouris and Kolokotsa, 2016). The above-mentioned approaches result in interesting lines of research in which the study and application of high performance technologies, such as urban greenery, cool materials and

coatings and innovative smart materials is crucial. Results from 220 large scale project, conducted by means of either monitoring campaigns or simulations have shown that current technologies applied to urban fabrics are able to produce a drop in peak ambient temperatures of up to 2-3°C (Santamouris et al., 2016). Although the maximum benefits in terms of UHI mitigation could be achieved by technologies that exploit water systems and urban green, the mitigation potential drastically increase when more technologies are combined together (Santamouris et al., 2016). However, all the available technologies are not yet able to completely counterbalance the negative effects of the UHI in dense cities. Therefore, more efficient solutions involving both the radical change of the shape of future cities and the adoption of advanced materials should be found. The goal is to develop materials able to keep the urban surfaces' radiant temperatures below the values of ambient temperature, to let them act as a heat sink. Some new technologies are under development and assessment. An example is represented by Retro-Reflective (RR) materials. The specific surface pattern of RR materials enhances the percentage of reflected radiation pointing towards the incidence direction. Therefore, this technology has better performances than traditional cool white technologies applied in vertical surfaces, showing an overall directional albedo. Models of application of these materials in urban fabric elements have revealed a significant decrease in the energy stored in the urban canyon in comparison with traditional technologies (Rossi et al., 2016). Another technology which is already mature to be implemented in real-scale projects is Photovoltaic (PV).

gio o simulazioni, mostra che le attuali tecnologie applicate ai tessuti urbani nuovi ed esistenti sono in grado di generare una riduzione delle temperature di picco dell'aria pari a fino 2-3°C (Santamouris et al., 2016). Sempre nello stesso studio viene riscontrato come i massimi benefici in termini di mitigazione della ICU sono ottenuti dall'applicazione di tecnologie che sfruttano sistemi ad acqua e tecniche di verde urbano, ma che il potenziale di mitigazione si amplifica aggregando più tecniche tra loro (Santamouris et al., 2016). Tuttavia, occorre sottolineare come, tra le tecnologie attualmente disponibili, non ce ne sia ancora alcuna in grado di sovvertire completamente gli effetti negativi della ICU in contesti antropizzati densi. Pertanto, occorre studiare soluzioni progettuali innovative che prevedano una rivisitazione globale della forma delle città e l'adozione di materiali avanzati, in grado di mantenere le superfici esterne dei fronti urbani a temperature inferiori a quelle dell'aria esterna, al fine di farli funzionare da dissipatori di calore. Alcune tecnologie innovative sviluppate con questi obiettivi sono in fase di studio e di applicazione sperimentale. Un esempio relativo ad una nuova tecnologia in fase di sviluppo è rappresentato dai materiali retro-riflettenti (RR). La particolare trama superficiale dei materiali RR determina un incremento della percentuale di radiazione solare riflessa verso la direzione di incidenza della radiazione stessa, ed un incremento della direzionalità dell'albedo. Ne consegue che superfici trattate con materiali RR presentano prestazioni migliori rispetto a quelle ottenute con l'applicazione di rivestimenti riflettenti chiari su superfici verticali. Applicazioni di tali materiali su superfici esterne in aree urbane, sviluppate attraverso modelli computazionali, hanno evidenziato una significativa diminuzione dell'energia immagazzinata nei canyon urbani, in

velop materials able to keep the urban surfaces' radiant temperatures below the values of ambient temperature, to let them act as a heat sink. Some new technologies are under development and assessment. An example is represented by Retro-Reflective (RR) materials. The specific surface pattern of RR materials enhances the percentage of reflected radiation pointing towards the incidence direction. Therefore, this technology has better performances than traditional cool white technologies applied in vertical surfaces, showing an overall directional albedo. Models of application of these materials in urban fabric elements have revealed a significant decrease in the energy stored in the urban canyon in comparison with traditional technologies (Rossi et al., 2016). Another technology which is already mature to be implemented in real-scale projects is Photovoltaic (PV).

confronto a tecnologie tradizionali (Rossi et al., 2016). Un'altra tecnologia che è già matura per essere applicata in progetti a scala reale è quella fotovoltaica (FV). Diversi esempi di sistemi fotovoltaici integrati negli edifici applicati a superfici involucri verticali e orizzontali possono essere ritrovati in letteratura scientifica e nella pratica professionale. Tuttavia, questa tecnologia può essere vantaggiosamente utilizzata per la realizzazione di pavimentazioni esterne innovative. In una installazione sperimentale, sono stati valutati i benefici di una pavimentazione FV, dimostrando una riduzione di circa 5°C della temperatura superficiale e di circa 1°C di quella ambientale in confronto a pavimentazioni tradizionali (Efthymiou et al., 2016). I vantaggi di questa tecnologia possono essere ulteriormente incrementati se l'energia prodotta dal sistema fotovoltaico viene utilizzata per alimentare un impianto termoelettrico, capace di ridurre i picchi di temperature superficiali massime e minime.

Tecnologie innovative adattive

L'adattamento è il processo evolutivo tipico degli organismi viventi attraverso il quale essi reagiscono alle condizioni ambientali imposte, modificando le proprie caratteristiche fisiche visibili o fenotipi. Mentre al giorno d'oggi la biologia sta diventando fonte di ispirazione per il pensiero tecnologico (Bar-Cohen, 2006), il concetto di adattamento si sta diffondendo sempre di più nel campo della ricerca architettonica e ingegneristica (López et al., 2017; Knippers e Speck, 2012) e l'involucro edilizio è un candidato naturale per le esplorazioni tecnologiche sull'adattamento. L'adattamento in architettura ha come obiettivo il controllo delle proprietà fisiche di componenti e sistemi edilizi utilizzando gradienti di variabili am-

Several examples of building-integrated PV systems applied to facades and roofs can be found in literature and practice. However, this technology can be beneficially used for creating innovative outdoor pavements. In an experimental installation, the benefits of a PV pavement have been assessed and it was demonstrated a reduction of about 5°C in the surface temperature and of about 1°C in the ambient temperature in comparison to traditional pavements (Efthymiou et al., 2016). The benefits of this technology can be even enhanced if the energy produced by the PV panel is used to feed a thermoelectric system, capable of further cut the peaks in high and low surface temperatures.

High performance adaptive technologies

Adaptation is the evolutionary process typical of living organisms through

which they react to imposed external conditions changing their visible physical characteristics or phenotypes. As nowadays biology is becoming source of inspiration for technological thinking (Bar-Cohen, 2006), the concept of adaptation is spreading more and more in architectural and engineering research (López et al., 2017; Knippers and Speck, 2012) and building envelope is the natural candidate for technological explorations on adaptation. Examples of adaptation involve the control of physical properties of building components and systems using gradients of outdoor environmental variables with the aim of improving outdoor and indoor comfort and liveability and reduce the consumption of energy. Examples of adaptive technologies involve the control of shape, colour, and other surface properties of building components using environmental triggers, such

as ambient and radiant temperature, solar irradiance, and Relative Humidity (RH) gradients. Change of shape is generally linked to the need of users to control indoor comfort conditions (Fiorito et al., 2016). Several prototypes of adaptive morphing skins have been developed and tested. Among these, it is worth mentioning the prototype of a morphing skin controlled by RH gradients. The system, developed in the laboratories of the University of Stuttgart, fully opens at 40±3% RH and closes at 80±3% RH and is based on the hygroscopic properties of timber-based products (Reichert et al., 2015). The benefits of such as this device rely on the embedded intelligence of the system to perform complex movements, which, on the opposites, should be actuated through complex controls and mechanisms. On a similar concept but with a different control variable has

worked Doris Sung, developing a prototype of an urban canopy with tiles composed of thermo bi-metals. In this case the trigger is represented by a temperature gradient of the tiles, produced by the combined effect of the variation of ambient temperature and of absorption of solar radiation. In the case of the prototype developed by Sung, the temperature range for the activation of the change of shape is around 21°C and the ultimate goal is the activation of natural ventilation and solar shading mechanisms (Dent and Sherr, 2014). Colour is another property of architectural components that can be transformed using innovative technologies. Solar energy, in the form of either visible or thermal radiation, is often used to control the performance of these components and to trigger their adaptation. The so-called chromogenic technologies find application in both

worked Doris Sung, developing a prototype of an urban canopy with tiles composed of thermo bi-metals. In this case the trigger is represented by a temperature gradient of the tiles, produced by the combined effect of the variation of ambient temperature and of absorption of solar radiation. In the case of the prototype developed by Sung, the temperature range for the activation of the change of shape is around 21°C and the ultimate goal is the activation of natural ventilation and solar shading mechanisms (Dent and Sherr, 2014). Colour is another property of architectural components that can be transformed using innovative technologies. Solar energy, in the form of either visible or thermal radiation, is often used to control the performance of these components and to trigger their adaptation. The so-called chromogenic technologies find application in both

del rivestimento esterno – della radiazione solare, con conseguente aumento della temperatura radiante. Nel caso del prototipo sviluppato da Sung, l'intervallo di temperatura per l'attivazione del cambiamento di forma è di circa 21°C e l'obiettivo finale è l'attivazione di ventilazione naturale e di meccanismi di ombreggiamento solare (Dent e Sherr, 2014).

Il colore è un'altra delle proprietà di componenti architettoniche che può essere modificata utilizzando tecnologie innovative. L'energia solare, sotto forma di radiazione visibile o termica, è spesso usata per controllare le prestazioni di tali componenti e per attivare il loro adattamento. Le cosiddette tecnologie cromatiche trovano larga applicazione nei componenti trasparenti e opachi di involucro edilizio. Tra le tecnologie già mature, i materiali fotoelettrici (Bechinger et al., 1996) sono un esempio di tecnologia emergente, che ha già mostrato notevoli benefici se applicata a superfici trasparenti di edifici, incrementando le condizioni di benessere visivo (Cannavale et al., 2013) e riducendo in maniera significativa il fabbisogno energetico degli edifici (Favoio et al., 2016). Gli effetti termici dovuti all'assorbimento della radiazione solare possono essere sfruttati per attivare variazioni delle proprietà superficiali degli edifici e degli elementi di rivestimento di spazi esterni. Un esempio è rappresentato dall'uso di materiali termocromici, in grado di convertire le superfici esterne da captatori di energia termica (quando il rivestimento presenta una temperatura inferiore a quella di transizione) a riflettenti (quando il materiale si trova ad una temperatura superiore a quella di transizione). Pigmenti termocromici trovano già applicazione nella realizzazione di asfalti a cambiamento di proprietà termiche e risultati sperimentali hanno mostrato una riduzione massima delle temperature superficiali di componenti a

transparent and opaque components. Photoelectrochromic materials (Bechinger et al., 1996) are an example of emerging technology, which has already demonstrated to be beneficial when applied to transparent surfaces of buildings, producing an improvement of visual comfort conditions (Cannavale et al., 2013) and a significant reduction of total building energy demand (Favoio et al., 2016). Moreover, the thermal effects due to the absorption of solar radiation can be used to trigger variations of properties of external surfaces of building and cities. An example is the use of thermochromic materials, which convert surfaces from energy-absorbing (below the transition temperature) to energy-reflecting (above the transition temperature). Applications of thermochromic powders as pigments in asphalt coatings have shown a maximum reduction of

the surface temperature of the component of up to 6.6 °C in comparison to conventional asphalt coatings (Hu and Yu, 2016). In another research, the use of thermochromic pigments in coating was experimentally assessed. Pigments with a trigger temperature of 30°C were tested and, during summer peak conditions, a reduction of 18-20°C was observed in comparison to conventional coatings with same base colour (Karlessi et al., 2009). This was the result of the change of colour of the thermochromic pigment from dark to colourless due to the increase of the temperature of the coating. Such as these coatings, applied to the outer surfaces of building fabrics and outdoor pavements produce double benefits during the winter and summer period. During the summer period, the lighter colour of the coating contributes in reducing the surface temperature of building components,

base di asfalto termocromico pari fino a 6,6°C, in confronto con rivestimenti bituminosi tradizionali (Hu e Yu, 2016). In un'altra ricerca, l'uso di pigmenti termocromici in elementi di rivestimento superficiale di edifici è stato valutato sperimentalmente. In questo caso sono stati utilizzati pigmenti termocromici con una temperatura di transizione pari a 30°C e questi sono stati testati sperimentalmente in regime estivo. È stata osservata una riduzione di 18-20°C rispetto ai rivestimenti convenzionali con lo stesso colore di base (Karlessi et al., 2009). Questo risultato è dovuto al cambiamento di colore del pigmento termocromico da scuro ad incolore, causato dall'aumento della temperatura superficiale. Inoltre questi rivestimenti, se applicati alle superfici involucrali di edifici e a pavimentazioni esterne, sono in grado di produrre un doppio beneficio, sia in regime estivo sia in regime invernale. Durante il periodo estivo, il colore più chiaro del rivestimento contribuisce a ridurre la temperatura superficiale dei componenti, riducendo così temperature esterne e carichi termici di raffrescamento, mentre durante il periodo invernale il rivestimento, non raggiungendo la temperatura di innesco, assume una colorazione scura che incrementa i guadagni solari indiretti e riduce i carichi termici di riscaldamento.

Conclusioni

La professione nel settore dell'architettura è, oggi giorno e più che mai, di fronte a cambiamenti radicali, essendo chiamata a rispondere attivamente alle grandi sfide del XXI secolo. Tra queste i cambiamenti climatici rappresentano una delle questioni più urgenti. In questo contesto, la ricerca nel campo della tecnologia deve lavorare in uno scenario culturale e scientifico più ampio e complesso e l'innovazione deriva dalla definizione di

thus decreasing outdoor temperatures and building cooling loads, during the winter period, the coating does not reach the trigger temperature and, therefore, assumes a dark colour which increases solar indirect gains and decreases building heating loads.

Concluding remarks

Architectural profession is now facing more than ever radical changes as it is called to answer to changed needs affected by the major challenges of XXI centuries, among which climate change represents one of the most pressing issues. Within this context, research in the technology field has to work in a wider and more complex cultural and scientific scenario and innovation comes from the definition of new cultural borders (Losasso, 2015). Identification, study and transfer, from the research and development stage to the

design one, of innovative high performance systems is, therefore, one of the major contributions of architectural technology to the solution of the issues that the architectural profession will face in the next Century. It is essential, not only to understand the individual benefits that each technological solution can give, but also to identify how all solutions can be integrated, as climate change and Urban Heat Island can be fought only if a systemic approach is adopted.

nuovi confini culturali (Losasso, 2015). L'identificazione, lo studio e il trasferimento, dalla fase di ricerca e sviluppo alla fase progettuale di sistemi innovativi ad alte prestazioni è, dunque, uno dei principali contributi che la tecnologia può fornire alla pratica professionale. Risulta essenziale, pertanto, studiare e comprendere non solo i benefici individuali che ciascuna soluzione tecnologica è in grado di fornire, ma anche identificare strategie per integrare correttamente tra loro diverse soluzioni. I cambiamenti climatici locali e globali, difatti, possono essere eradicati solamente se un approccio sistemico viene adottato.

REFERENCES

- Akbari, H., Kolokotsa, D. (2016), "Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research", *Energy and Buildings*, Vol. 133, pp. 834-852.
- Bar-Cohen, Y. (2006), *Biomimetics: biologically inspired technologies*, CRC, Boca-Raton.
- Bechinger, C., Ferrere, S., Zaban, A., Sprague, J. and Gregg, B.A. (1996), "Photoelectrochromic windows and displays", *Nature*, Vol. 383, pp. 608-610.
- Cannavale, A., Fiorito, F., Resta, D. and Gigli, G. (2013), "Visual comfort assessment of smart photovoltachromic windows", *Energy and Buildings*, Vol. 65, pp. 137-145.
- Dent, A., Sherr, L. H. (2014), *Material innovation : architecture*, Thames & Hudson, London.
- Efthymiou, C., Santamouris, M., Kolokotsa, D. and Koras, A. (2016), "Development and testing of photovoltaic pavement for heat island mitigation", *Solar Energy*, Vol. 130, pp. 148-160.
- Favoino, F., Fiorito, F., Cannavale, A., Ranzi, G. and Overend, M. (2016), "Optimal control and performance of photovoltachromic switchable glazing for building integration in temperate climates", *Applied Energy*, Vol. 178, pp. 943-961.
- Fiorito, F., Sauchelli, M., Arroyo, D., Pesenti, M., Imperadori, M., Masera, G. and Ranzi, G. (2016), "Shape morphing solar shadings: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 55, pp. 863-884.
- Hu, J., Yu, X. (2016), "Innovative thermochromic asphalt coating: characterisation and thermal performance". *Road Materials and Pavement Design*, Vol. 17, pp. 187-202.
- IPCC CORE Writing Team, Pauchauri, R.K. and Meyers, L.A. (Eds.) (2014), *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Geneva, Switzerland.
- Karlessi, T., Santamouris, M., Apostolakis, K., Synnefa, A. and Livada, I. (2009), "Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures", *Solar Energy*, Vol. 83, pp. 538-551.
- Knippers, J., Speck, T. (2012), "Design and construction principles in nature and architecture". *Bioinspiration and Biomimetics*, Vol. 7.
- López, M., Rubio, R., Martín, S. and Ben, C. (2017), "How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 67, pp. 692-703.
- Losasso, M. (2015), "Urban regeneration: Innovative perspectives", *Techne*, Vol. 10, pp. 4-5.
- Reichert, S., Menges, A. and Correa, D. (2015), "Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness", *Computer-Aided Design*, Vol. 60, pp. 50-69.
- Rossi, F., Castellani, B., Presciutti, A., Morini, E., Anderini, E., Filipponi, M. and Nicolini, A. (2016), "Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons". *Energy and Buildings*, Vol. 126, pp. 340-352.
- Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., Prasad, D. and Synnefa, A. (2016), "Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects", *Solar Energy*.
- Santamouris, M. and Kolokotsa, D. (2016), *Urban Climate Mitigation Techniques*, Taylor & Francis.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs (2014), *World Urbanization Prospects. The 2014 Revision*, United Nations, New York City (USA).