



Colloqui.AT.e 2020

# New Horizons for Sustainable Architecture

# Nuovi orizzonti per l'architettura sostenibile

Editors

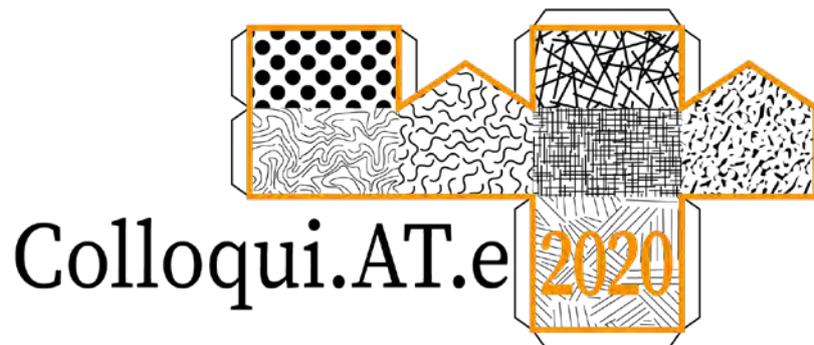
Santi Maria Cascone

Giuseppe Margani

Vincenzo Sapienza







Colloqui.AT.e

2020

**NEW HORIZONS  
FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE  
NUOVI ORIZZONTI  
PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE**

Editors

Santi Maria Cascone, Giuseppe Margani, Vincenzo Sapienza

*10 dicembre 2020*

*Virtual meeting*

*Organizing Institution: University of Catania*

I curatori, l'editore, gli organizzatori ed il Comitato Scientifico non possono essere ritenuti responsabili né per il contenuto, né per le opinioni espresse all'interno degli articoli.

Gli articoli pubblicati, i cui contenuti sono stati dichiarati originali dagli autori stessi, sono stati sottoposti ad un processo di *double-blind peer review*.

Negli articoli l'asterisco accanto al cognome di un autore indica il referente al quale indirizzare la corrispondenza.

The editors, the publisher, the organizers and the Scientific Committee cannot be held responsible either for the content or for the opinions expressed in the articles.

Published articles, whose contents have been declared original by the authors themselves, have been subjected to a double-blind peer review process.

In the articles, the asterisk next to the surname of an author indicates the contact person to whom correspondence should be addressed.

Il volume è a cura di / The volume was edited by:

*Santi Maria Cascone, Giuseppe Margani, Vincenzo Sapienza*

EdicomEdizioni  
Monfalcone (Gorizia)  
tel. 0481/484488  
fax 0481/485721  
info@edicomedizioni.com  
www.edicomedizioni.com  
www.edicomstore.it

© Copyright EdicomEdizioni

Vietata la riproduzione anche parziale di testi, disegni e foto se non espressamente autorizzata. Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e delle convenzioni internazionali.

The reproduction, even partial, of texts, drawings and photos is forbidden unless expressly authorized. All rights are reserved by law and international conventions.

ISBN 978-88-96386-94-1

Prima edizione dicembre 2020 / First edition December 2020

# Contents

## Indice

INTRODUCTION	18
INTRODUZIONE	20

### A – CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION

#### HISTORY OF CONSTRUCTION

NOTE SULLE COSTRUZIONI PREFABBRICATE TEMPORANEE ITALIANE DEGLI ANNI TRENTA E QUARANTA <b>L. Greco</b>	24
INDUSTRIALIZZAZIONE “SU MISURA”: LE SCUOLE-PILOTA DI LUIGI PELLEGRIN (1967-1975) <b>I. Giannetti</b>	35
DAL TELAIO AL PANNELLO (1940-1950). SPERIMENTAZIONE NELL’EDILIZIA RESIDENZIALE PREFABBRICATA SOVIETICA <b>A. Bertolazzi, U. Turrini, G. Croatto, G. Dorigatti, F. Chinellato, L. Petriccione</b>	48
STAZIONI E FERROVIE COME <i>WORLD HERITAGE SITES</i> . IL PROGETTO DI CONOSCENZA E RECUPERO DELLA PRIMA STAZIONE BAYARD A NAPOLI <b>P. Cucco</b>	62
L’ATTUALITÀ DEL MOTTO “DOV’ERA E COM’ERA”. LA RICOSTRUZIONE SOSTENIBILE DI MONUMENTI E CENTRI STORICI COME STRATEGIA DI COESIONE SOCIALE E TRASFERIMENTO DI VALORI STORICO-CULTURALI <b>F. Ribera, P. Cucco</b>	75
LA SICILIA E LA SCUOLA ITALIANA DI INGEGNERIA: PONTI E GRANDI STRUTTURE (1830-1980) <b>F. Cammarata</b>	86
EVOLUZIONE DEI LINGUAGGI ARCHITETTONICI TRA ’800 E ’900 NELLE CENTRALI IDROELETTRICHE DELLA VAL CELLINA <b>L. Petriccione, F. Chinellato, G. Croatto, U. Turrini, A. Bertolazzi</b>	104
IL SISMA E IL PATRIMONIO STORICO CULTURALE. IL CASO DELLA CHIESA DEL SANTUARIO DELLA MADONNA DELL’AMBRO <b>G. Di Mari, E. Garda, C. Montenovo, A. Renzulli</b>	120
PER IL RILIEVO E LO STUDIO DI MURATURE NEL CENTRO ITALIA POST TERREMOTO, IL CASO DELLA VALLE DEL TRONTO <b>C. Braucher</b>	136
IL CINEMA-TEATRO DI TORVISCOSA: TIPOLOGIA, MATERIALI, TECNICHE E STATO DI CONSERVAZIONE <b>M.V. Santi, S. Vallan, A. Frangipane</b>	151
PROMENADE SU VIA SÃO BENTO A SAN PAOLO, BRASILE: UNA RIFLESSIONE SUL PATRIMONIO CULTURALE <b>R.H. Vieira Santos</b>	164

QUALITÀ EDILIZIA DEGLI ANNI '60: LE CASE GESCAL DI COSENZA <b>A. Campolongo, V. Guagliardi</b>	176
LE COPERTURE LIGNEE DELLA CATTEDRALE DI PALERMO. CONOSCENZA E VALORIZZAZIONE COMPATIBILE <b>C. Vinci, D. Giardina</b>	189
IL RIUSO DEI MATERIALI BELLICI IN ARCHITETTURA. LE PIERCED STEEL PLANK <b>A. Pagliuca, D. Gallo, P. P. Trausi</b>	201
RILEGGERE L'ESPERIENZA INA-CASA: UN NUCLEO EDILIZIO NEL QUARTIERE NESIMA A CATANIA <b>A. Moschella, A. Salemi, A. Lo Faro, A.A. Mondello, A. Roccasalva</b>	211
<b>TOOLS AND METHODS FOR KNOWLEDGE AND GRAPHIC REPRESENTATION</b>	
ARCHIVI DIGITALI GEOREFERENZIATI: ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DELLO SVILUPPO DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE A BOLOGNA NELLA SECONDA METÀ DEL NOVECENTO <b>A. C. Benedetti, C. Costantino, R. Gulli</b>	225
STRUMENTI BIM PER L'ANALISI TERMICA DEL PATRIMONIO EDIFICATO ESISTENTE <b>R. Agliata, R. Macchiaroli, L. Mollo</b>	241
EXTENDED REALITY (XR) AND ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS <b>S. Ahmadzadeh Bazzaz, A. Fioravanti</b>	252
<b>CONSTRUCTION TECHNIQUES AND PERFORMANCE IN EXISTING BUILDINGS</b>	
GLI ISTITUTI DI ELETTRONICA, AUTOMATICA, GEOFISICA E ARTE MINERARIA DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELLA "SAPIENZA" – STRATEGIE PER UN INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA <b>M. Pugnaletto, C. Paolini</b>	262
STORIA DELL'EDILIZIA BOLOGNESE TRA LE DUE GUERRE, 1920-1940 <b>C. Costantino, A.C. Benedetti, G. Predari</b>	277
VINCENZO SINATRA E L'ARTE DEL COSTRUIRE CON LE PIETRE SACRE <b>C. Fianchin</b>	292
AN ENERGY-RESILIENT METHODOLOGY IN CLIMATE CHANGING CHALLENGE FOR HISTORIC DISTRICTS. THE CASE OF A MEDITERRANEAN HISTORIC CENTER <b>E. Cantatore, F. Fatiguso</b>	306
LA BIBLIOTECA TECNICO-SCIENTIFICA NEL CAMPUS DI FISCIANO DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO DI NICOLA PAGLIARA <b>C. Sicignano</b>	326
UNA PUNTEGGIATA DI PIETRA IN SIMBIOSI CON IL PAESAGGIO RURALE E URBANO IN SICILIA. ABBEVERatoi, FONTANE, LAVatoi PUBBLICI E CISTERNE NELLA TRADIZIONE COSTRUTTIVA <b>T. Campisi, A. D'Amore, M. Saeli</b>	336
TAMPONATURE PORTATE IN ELEMENTI PREFABBRICATI IN OFFICINA <b>R. Lione, F. Minutoli</b>	350
CENTRI URBANI E VULNERABILITÀ SISMICA. IL CENTRO STORICO DI CATANIA <b>G. Lombardo</b>	368

CINA ITALIA, METODOLOGIE DIFFERENTI DI COSTRUIRE CON LA TERRA CRUDA A. Guida, G. Bernardo, G. Pacente	384
LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ COME STRATEGIA PER LA RICOSTRUZIONE POSTSISMICA DEL CENTRO ITALIA. IL CASO STUDIO DEL CENTRO STORICO DI CALDAROLA L. Bernabei, G. Mochi, G. Predari	398
<b>SUSTAINABLE RETROFITTING OF MODERN AND PRE-MODERN HERITAGE</b>	
IL RECUPERO SOSTENIBILE DEL MODERNO: UN FUTURO POSSIBILE PER IL GRATTACIELO RAI DI TORINO E. Chiffi, G. Di Mari, E. Garda, A. Renzulli	411
RIGENERAZIONE BIOCLIMATICA ED AMBIENTALE DEGLI SPAZI APERTI DEL VILLAGGIO SAN LUCA (MS) B. Gherri, V. Maranhao, D. Poletti	428
INTEGRATED AND SUSTAINABLE RENOVATION OF RC FRAMED BUILDINGS THROUGH A NEW TIMBER-BASED ENVELOPE TECHNOLOGY G. Margani, G. Evola, C. Tardo, E.M. Marino	445
PENSIERO <i>LOW TECH</i> /AZIONE <i>LOW COST</i> . UN PROGETTO IN AUTOCOSTRUZIONE PER GLI SPAZI DELLA SCUOLA DI ARCHITETTURA DI CAGLIARI C. Atzeni, S. Cadoni, A. Dessì, F. Marras	457
PONTI TERMICI NELL'EDILIZIA STORICA IN AMBIENTE MEDITERRANEO: VALUTAZIONI E PROPOSTE DI INTERVENTO A. Lo Faro, G. Evola, A. Salemi, V. Costantino	470
UNA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DELLE FACCIATE DEGLI EDIFICI STORICI G. Ruggiero, R. Marmo, M. Nicoletta	488
PATRIMONIO LIQUIDO: STRATEGIE PROGETTUALI PER LA SOSTENIBILITÀ FUTURA DELLE SALINE DI SANTA POLA S. D'Urso, S. Leanza	500
THERMAL IMPROVEMENTS OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY AN INNOVATIVE PRECAST CONCRETE PANEL SYSTEM S. Martiradonna, F. Fatiguso, I. Lombillo	517
UN APPROCCIO SOSTENIBILE ALLA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO DI EDILIZIA PUBBLICA RESIDENZIALE: ANALISI ENERGETICA SPERIMENTALE E NUMERICA ED ANALISI ARCHITETTONICA F. Rosso, A. Peduzzi, L. Diana, S. Cascone, C. Cecere	529
LA CONOSCENZA DEL MATERIALE E DELL'OPERA PER UNA GESTIONE E UN RECUPERO SOSTENIBILE DEI MANUFATTI LAPIDEI: METODO E APPLICAZIONE SULL'INVOLUCRO DI MARMO DELLA CASA DELLE ARMI DI LUIGI MORETTI M. Ferrero, G. Arena, J. Navarro Navarro, F. Rosso, N. Vannucchi	548
PROTO-BIOCLIMATICA E MOVIMENTO MODERNO: SOLUZIONI FRANGISOLE IN ITALIA 1945-1965 C. Mele, C. Franchini	566
LA RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI ESISTENTI: UNA METODOLOGIA AHP-BASED PER IL SUPPORTO DECISIONALE E. Sicignano, P. Fiore, C. Falce, G. Donnarumma, E. D'Andria	582

## **MANAGEMENT AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF BUILDING HERITAGE**

MODELLI INFORMATIVI PER IL SUPPORTO ALLA DECISIONE NELL' AMBITO DEL MIGLIORAMENTO ENERGETICO DEI PATRIMONI EDILIZI UNIVERSITARI C. Cecchini, M. Morandotti	595
RIGENERARE LE AREE INDUSTRIALI DISMESSE M.P. Gatti, G. Cacciaguerra, A. Lorenzi	609
STRATEGIE PER IL RECUPERO, LA GESTIONE E LA VALORIZZAZIONE DEI SITI ARCHEOLOGICI: IL CASO DELL' ANFITEATRO FLAVIO DI POZZUOLI R. Castelluccio, A. Prota, G. Viotto, V. Vitiello	620
RIFUNZIONALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE PUBBLICO: IL CASO DEGLI OSPEDALI STORICI L. Diana, F. Polverino	634
CATALOGO DIGITALE E GESTIONE SMART DEL PATRIMONIO INDUSTRIALE DISMESSO IN BASILICATA A. Guida, V.D. Porcari, A. Lanzolla	653

## **B – CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE**

### **SUSTAINABILITY IN PRODUCT, DESIGN AND PROCESS INNOVATION**

IMITARE PER COSTRUIRE: DALLA NATURA ALLA BIOMIMETICA G. Ausiello, M. Compagnone, F. Sommese	666
I PANNELLI IN SCHIUMA DI ALLUMINIO NELLE ARCHITETTURE SOSTENIBILI G. Ausiello, M. Compagnone, F. Sommese	680
JOINTECH: TECNOLOGIA PER COSTRUZIONI IN LEGNO MULTIPIANO S.M. Cascone, A. Siragusa, G. Russo, N. Tomasello	697
L' AGRICOLTURA VA IN CITTÀ. NUOVE FRONTIERE DELLA SOSTENIBILITÀ ALIMENTARE G. Di Mari, E. Garda, C. Longo, A. Renzulli	712
COSTRUIRE SOSTENIBILE: IL CASO STUDIO DEL COMPLESSO "VILLE LE DUE QUERCE" D. Besana, G. Casubolo, M. Mastrangelo	727
VALUTAZIONE COMPARATIVA DELLE PRESTAZIONI MECCANICHE DI MALTE CONFEZIONATE CON INERTI DA RICICLO M. Nicoletta, C. Scognamillo, F. Vitale	742
SLICE INNOVATIVE COMPONENTS FOR SMART BUILDING ENVELOPES A. Astuti, F. Giusa, A. Monteleone, G. Rodonò, V. Sapienza, M. Voica	757
LA FILIERA DEGLI ISOLANTI TERMICI SINTETICI VERSO LA CIRCOLARITÀ E L' INFORMATIZZAZIONE A. Cernaro, O. Fiandaca	771
PROGETTARE LA CAPACITÀ DI ASSORBIMENTO DI UMIDITÀ PER MIGLIORARE COMFORT INDOOR E SOSTENIBILITÀ – UN CASO STUDIO S. Zanon, R. Albatici	790

BIM 7D: LA DIMENSIONE DELLA SOSTENIBILITÀ NEI SISTEMI BIM IN OTTICA DI HEALTHY BUILDINGS A. D'Amico, E. Currà, M. Angelosanti, G. Colò	804
NUOVI STRUMENTI, NUOVE FORME: UNA STRUTTURA VERDE SU UN GRATTACIELO DI MADRID G.D'Angelo, M.Fumo	825
L'ECONOMIA CIRCOLARE E L'INDUSTRIA 4.0 PER LA SICUREZZA DEI LAVORATORI. UN NUOVO PRODOTTO MULTIFUNZIONALE M. Rotilio, P. De Berardinis	834
PROGETTAZIONE SOSTENIBILE DI ARCHITETTURE PER LA ZOOTECNIA: L'ALLEVAMENTO DEI BOVINI DA CARNE D. Bosia, L. Savio, F. Thiebat	848
ANALISI DELL'ISOLA DI CALORE URBANA E DEI SUOI EFFETTI SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E DI COMFORT DEGLI EDIFICI. CASO DI STUDIO DELLA CITTÀ DI BARI F. Iannone, R. Casale	860
GREEN ROOF SYSTEMS: CHARACTERIZATION OF A LABORATORY TESTING METHOD FOR ASSESSING GROWING MEDIA THERMAL CONDUCTIVITY S. Cascone, A. Gagliano, R. Rapisarda, G. Sciuto	874
 <b>DIGITIZATION, ROBOTICS AND INDUSTRIALIZATION FOR SUSTAINABLE BUILDINGS</b>	
I COMPOSITI PULTRUSI: NUOVE FRONTIERE PER L'INGEGNERIA S.M. Cascone, C. Lagona, N. Tomasello	887
APPROCCIO COMPUTAZIONALE ALLA PROGETTAZIONE: DIGITALIZZAZIONE DEI PROCESSI INFORMATIVI PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE V. Giannakopoulos, S. Garagnani, A. Fotopoulou, A. Ferrante	901
DIGITAL ASSET MANAGEMENT ENABLING TECHNOLOGIES: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS L. Rampini, N. Moretti, F. Re Cecconi, M.C. Dejacó	919
 <b>LOW-COST AND LOW-CARBON ARCHITECTURE</b>	
LINEE GUIDA PER LA REALIZZAZIONE DI SCUOLE DELL'INFANZIA <i>CARBON ZERO</i> IN ITALIA F. Bazzocchi, C. Ciacci, V. Di Naso	932
POTENZIALE DI RISCALDAMENTO GLOBALE PER LE FASI DI COSTRUZIONE E GESTIONE DELLE SCUOLE DELL'INFANZIA <i>CARBON ZERO</i> IN ITALIA C. Ciacci, V. Di Naso	950
MATERIALI NATURALI PER L'ISOLAMENTO TERMICO DEGLI EDIFICI S.M. Cascone, N. Tomasello, M. Vitale	964
RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE NEGLI EDIFICI ESISTENTI ATTRAVERSO L'USO DI COPERTURE A VERDE PENSILE L. Guardigli, E. Volpe, P. Buttol, P. Sposato	974
IL DEFICIT ABITATIVO IN ARGENTINA: UN APPROCCIO SISTEMICO ATTRAVERSO LA FILIERA DEL LEGNO P. Piantanida, C. Pilar, A. Vottari	992

UNA PROPOSTA SOSTENIBILE E <i>LOW-COST</i> PER IL <i>SOCIAL HOUSING</i> L. Secchiari	1006
ANALYSIS OF BUILDING ENVELOPE RETROFIT STRATEGIES FOR LOW-RISE HIGH-DENSITY RESIDENTIAL HOUSING STOCK IN FOUR INDIAN CLIMATE CONTEXTS A. Sengupta, A.G. Mainini, G. Iannaccone	1018
<b>METHODS AND TECHNIQUES FOR BUILDING MANAGEMENT AND MONITORING</b>	
AUDIT OF THE COOLING ENERGY PERFORMANCE OF AN OFFICE BUILDING RETROFITTED WITH THERMALLY ACTIVATED BUILDING SYSTEMS (TABS) R. Laera, F. Iannone, I. Martínez Pérez, R. Tejedor López, L. de Pereda Fernández, R. Tendero Caballero	1033
DEMOLIRE O RIQUALIFICARE? <i>LIFE CYCLE COST ANALYSIS</i> E PIANO DI MANUTENZIONE PER IL CASO DI STUDIO <i>PRO-GET-ONE</i> M.A. Bragadin, M. D'Alesio, A. Ferrante	1051
INFLUENZA DI MODELLI DI GESTIONE PER IL FUNZIONAMENTO DI SISTEMI OSCURANTI INTERNI SUL CONSUMO ENERGETICO E IL COMFORT LUMINOSO N. Callegaro, S. Pontillo, R. Albatici	1068
UN PROTOCOLLO DI INDAGINE PER LA GESTIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE. LA TERMOGRAFIA A SUPPORTO DELLA DIAGNOSTICA C. Marchionni, M. Rotilio, P. De Berardinis	1084
MODELLAZIONE NUMERICA DEL PONTE TERMICO TRA PARETE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO E SOLAIO DI INTERPIANO T. Basiricò, A. Cottone	1098
LA SOSTENIBILITÀ COME <i>DRIVER</i> DI PROCESSO PER LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO UNIVERSITARIO I. Garofolo, C.A. Stival, N. Strazza	1110
FINALITÀ DELL'APPLICAZIONE DEL MOTION MAGNIFICATION AI MODELLI HBIM M. Angelosanti	1130
<b>UNCONVENTIONAL SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS AND TECHNIQUES</b>	
LIFE CYCLE ASSESSMENT DI UN EDIFICIO SCOLASTICO PROGETTATO SECONDO IL PASSIVE HOUSE STANDARD E. Tomasi Morgano, F. Nocera, G. Mangiafico	1145
“C'ERA UNA VOLTA”: PROCESSO COSTRUTTIVO SOSTENIBILE PER LA PROGETTAZIONE PARAMETRICA DI STRUTTURE TEMPORANEE VOLTATE E MODULARI IN MATERIALE RICICLABILE BIO-BASED M. Bonci, C. Mazzoli, D. Prati	1156
PIÙ LEGGERO DEL BAFFO DI UN GATTO. IL GRAFENE: STORIA DI UN MATERIALE INNOVATIVO G. Di Mari, E. Garda, A. Renzulli, M. Sgro	1173
LA MEMORIA COME MATERIALE DEL PROGETTO DELLA SOSTENIBILITÀ S. D'Urso	1189
SUL VANTAGGIO DEI SISTEMI COSTRUTTIVI MASSIVI IN TERRA BATTUTA PER I PAESI DEL MEDITERRANEO R. Caponetto, G. Giuffrida, F. Nocera	1209

HEMP: PAST, PRESENT, FUTURE FOR A SUSTAINABLE ARCHITECTURE T. Firrone, C. Bustinto	1226
EFFETTO DELLE FIBRE DI BASALTO SULLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA TERRA CRUDA M. La Noce, M. Bosco, G. Sciuto	1241
LA SPERIMENTAZIONE TECNO-TIPOLOGICA NEL PROGETTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO MODULARE AD USO DIREZIONALE: UN CASO STUDIO A L'AQUILA F. Cavalieri, L. Capannolo, G. Di Giovanni, P. De Berardinis	1256
ANALISI ENERGETICA DINAMICA E STRUTTURALE DI MODULI RICETTIVI IN XLAM F.A. Russo, G. Cocuzza Avellino, M. Detommaso, C. Borgia, F. Nocera, N. Impollonia	1268
SHAKE TABLE TESTS ON FULL-SCALE CONFINED STONE WALLS M. Brocato, D. Caraccio, D. Cascone, L. Jonard, F. Lo Iacono, M. Liuzzo, G. Navarra, M. Oliva, K. Rahmouni, J. Skinazi, G. Tesoriere, S. Tumbarello	1280
MALTE CEMENTIZIE A BASE DI GRAFENE: PROCESSO PRODUTTIVO E PROPRIETÀ S. Polverino, F. Bonaccorso, A. Brencich, A.E. del Rio Castillo, L. Marasco, R. Morbiducci	1294

## **C – BUILDING AND DESIGN TECHNIQUES**

### **SUSTAINABILITY PRINCIPLES AND PRACTICES FOR BUILDING REUSE AND RENOVATION**

DALLO STUDIO ARCHEOLOGICO DELLE MALTE STORICHE ALLA PROGETTAZIONE DELLE MALTE DA RESTAURO. CASE STUDY: LE TERME ACHILLIANE DI CATANIA S.M. Cascone, G.A. Longhitano, L. Longhitano, N. Tomasello	1310
NUOVE TECNOLOGIE PROGETTUALI PER IL RIUSO E LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILI DI AMBIENTI IPOGEI DI VALORE CULTURALE E. Quagliarini, G. Bernardini, M. Lucesoli, B. Gregorini, M. D'Orazio	1326
APPROCCI PROBABILISTICI ALLA VALUTAZIONE DEI COSTI GLOBALI DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI G. Maracchini, E. Di Giuseppe, F. Stazi, M. D'Orazio	1338
ELEMENTI DI RIFLESSIONE TEORICO-PRATICA PER LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILE E. Conte	1355
STRATEGIE DI DENSIFICAZIONE PER LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILE DELLE CITTÀ. IL CASO DEL QUARTIERE KALLITHEA AD ATENE A. Ferrante, A. Fotopoulou, C. Mazzoli	1368
STUDIO DELLA METODOLOGIA PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO TECNICO-ECONOMICO NEGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA: IL PROGETTO EENVEST G. Salvalai, G. Paoletti, M.M Sesana, A. Andaloro	1386
RECUPERO E RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA DELLE SCUOLE DEL REGNO A ROMA: STRATEGIE DI INTERVENTO ENERGETICO SOSTENIBILE E. Currà, M. Russo, L. Severi, E. Habib, M. Morganti, S. Grignaffini	1398
VALUTAZIONE DI STRATEGIE DI INTERVENTO PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI INVOLUCRI EDILIZI TRASPARENTI S. Colajanni e A. Schifano, E.A. Altopiano	1414

ANALISI STORICO-ARCHITETTONICA E RIUSO SOSTENIBILE DEI CONVENTI CAPPUCCINI DELL' ANTICA PROVINCIA RELIGIOSA DI BASILICATA-SALERNO <b>L. Gargano, G. Donnarumma</b>	1431
RECUPERO FUNZIONALE DI PAVIMENTAZIONI IN CALCESTRUZZO MEDIANTE TRATTAMENTO SUPERFICIALE CON POLIUREA E FINITURA ACRILICA: PROVE DI LABORATORIO E TEST APPLICATIVO <b>F. Manzone, S. Errico, E. Portigliatti, D. Vasquez</b>	1442
GLI INTONACI TRADIZIONALI: UNA SOSTITUZIONE (POCO) SOSTENIBILE <b>A. Lo Faro, A. Mondello, A. Moschella, A. Salemi</b>	1451
UN PROGETTO DI RIGENERAZIONE BIM-BASED: L'ESPERIENZA DI ELISIR – ENERGY, LIFESTYLED & SEISMIC INNOVATION FOR REGENERATED BUILDINGS <b>L.C. Tagliabue, A.L.C. Ciribini</b>	1465

## **TOOLS FOR BUILDING DESIGN AND MANAGEMENT**

METODOLOGIA PER LO SVILUPPO DI UN SISTEMA DI SUPPORTO DECISIONALE PER LA RIQUALIFICAZIONE SISMICA ED ENERGETICA DI EDIFICI A STRUTTURA INTELAIATA <b>A. Artino, R. Caponetto, G. Evola, G. Margani, E.M. Marino</b>	1483
DAL DETTAGLIO COSTRUTTIVO ALL' ANALISI DEL PONTE TERMICO ATTRAVERSO IL BIM <b>G. Desogus, A. Sanna, M. Soddu, E. Quaquero</b>	1496
THE DESIGN CRITERIA SYSTEM (DCS): A MULTICRITERIA EVALUATION MODEL TO IMPLEMENT ADAPTIVE REUSE STRATEGIES IN ABANDONED INDUSTRIAL CONTEXTS <b>C. Vizzarri, F. Fatiguso</b>	1508
PROGETTAZIONE E VERIFICA DEL SISTEMA DI ESODO CON STRUMENTI ALTERNATIVI: LA REALTÀ VIRTUALE IMMERSIVA <b>R. Vancetti, E. Cereda</b>	1526
VERSO LA NORMALIZZAZIONE DEL MATERIALE TERRA CRUDA IN ITALIA <b>M. Achenza, A. Agus</b>	1535

## **INTEGRATED DESIGN**

INNOVATION FOR INCLUSION: THE 3D PRINTING TECHNOLOGY TO ENJOY THE CULTURAL HERITAGE <b>F. Auricchio, A. Greco, G. Alaimo, V. Giacometti, S. Marconi, V. Mauri</b>	1549
UN BIVACCO DI MONTAGNA PER GLI APPENNINI <b>P. De Berardinis, G. Di Giovanni, M. Paolucci</b>	1563
UN <i>FRAMEWORK</i> MULTISCALARE PER L'AUMENTO DI RESILIENZA E SOSTENIBILITÀ NELLE AREE URBANE: METODO E APPLICAZIONE AD UNO SCENARIO ESPLORATIVO AL 2050 <b>S. Mannucci, F. Rosso, A. Peduzzi, C. Cecere, M. Ferrero</b>	1579
RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA E SOSTENIBILE DI EDIFICI ESISTENTI CON ESOSCHELETRI A GUSCIO PREFABBRICATI: IL CASO STUDIO ADESA <b>J. Zanni, S. Cademartori, A. Marini, A. Belleri, E. Giuriani, P. Riva, B. Angi, G. Franchini, A.L. Marchetti, P. Odorizzi, G. Luitprandi</b>	1596

LA VENTILAZIONE URBANA NELLA CITTÀ COMPATTA MEDITERRANEA: UNA METODOLOGIA OPERATIVA MULTIDISCIPLINARE PER MIGLIORARE LA SOSTENIBILITÀ E LA RESILIENZA DELLE AREE URBANE <b>O. Palusci, C. Cecere</b>	1609
UNA CONCEZIONE UNITARIA PER UN COSTRUIRE SOSTENIBILE <b>P. Fiamma</b>	1628
SENSIBLE NETWORKED FAÇADE UNIT FOR A HEALTHY AND COMFORTABLE ENVIRONMENT <b>T. Poli, A. G. Mainini, A. Speroni, J.D. Blanco Cadena, F. Re Cecconi, S. Rinaldi, P. Bellagente, L. Tagliabue, A. Ciribini</b>	1643
LA “SOSTENIBILITÀ PAESAGGISTICA” NELL’ERA GLOBALE: L’OPERA DI FERNANDO MENIS TRA ARCHITETTURA E PAESAGGIO <b>S. Calvagna</b>	1654
 <b>ARCHITECTURE FOR EMERGENCIES</b>	
MAM: UN MODULO ABITATIVO TEMPORANEO PERSONALIZZABILE E AUTOCOSTRUIBILE <b>S. De Gregorio, P. De Berardinis, P. Rossi</b>	1668
PROGETTAZIONE SOSTENIBILE DI UN MODULO ABITATIVO PER L’EMERGENZA <b>G. Sciuto</b>	1681
COOLING ISLANDS: MICROARCHITETTURE PER IL BENESSERE DELLE UTENZE DEBOLI DURANTE LE ONDATE DI CALORE IN AMBITO MEDITERRANEO <b>R. Corrao, A.R. Cataldo, G. L. Danesi</b>	1696
ARCHITETTURE ADATTIVE MEDIANTE UN NUOVO MODULO TENSEGRALE PIEGHEVOLE DI TIPO T4 <b>G. Ruscica, A. Micheletti</b>	1714
 <b>PARTICIPATORY PROCESSES (DESIGN AND CONSTRUCTION)</b>	
APPROCCIO <i>USER-ORIENTED</i> PER IL RINNOVAMENTO ENERGETICO: L’ANALISI ETNOGRAFICA APPLICATA AI PROGETTI DI RIQUALIFICAZIONE <b>D. Prati, S. Spiazzi, G. Cerinšek, A. Ferrante</b>	1724
I QUADERNI DEL LUMASSÌN. CRONACHE DI CANTIERE <b>A. Renzulli, R. Mazelli, A. Bocco</b>	1743
BENI CULTURALI COME BENI COMUNI: MODELLI DI GESTIONE PARTECIPATA PER UNA EFFICACE VALORIZZAZIONE <b>M.R. Pinto, S. De Medici</b>	1759
VALUING HERITAGE FROM A COMMUNITY-BASED PERSPECTIVE. SOME REFLECTIONS FOR THE MAKING OF THE ECOMUSEUMS IN SICILY, IT <b>G. Pappalardo</b>	1776

# COMMITTEES

## Ar.Tec. Council

Riccardo Gulli – President  
Marco D’Orazio – Vice-president  
Rossano Albatici – Board member

Santi Maria Cascone – Board member  
Fabio Fatiguso – Board member  
Manuela Grecchi – Board member

## Scientific committee

Rossano Albatici  
Frida Bazzocchi  
Carlo Caldera  
Rosa Caponetto  
Santi Maria Cascone  
Rossella Corrao  
Giorgio Croatto  
Marco D’orazio  
Enrico Dassori

Enrico De Angelis  
Pierluigi De Berardinis  
Flavia Fascia  
Fabio Fatiguso  
Annarita Ferrante  
Marina Fumo  
Ilaria Garofolo  
Maria Paola Gatti  
Manuela Grecchi

Antonella Guida  
Riccardo Gulli  
Tullia Iori  
Raffaella Lione  
Grazia Lombardo  
Angelo Lucchini  
Giuseppe Margani  
Marco Morandotti  
Renato Morganti  
Stefania Mornati

Angela Moschella  
Placido Munafò  
Tiziana Poli  
Francesco Polverino  
Enrico Quagliarini  
Angelo Salemi  
Vincenzo Sapienza  
Gaetano Sciuto  
Enrico Sicignano  
Gabriele Tagliaventi

## Organizing committee

Steering committee  
Santi Maria Cascone  
Giuseppe Margani  
Vincenzo Sapienza

Professional conference organizer  
Antonio Artino  
Stefano Cascone  
Gianluca Rodonò

# SUPPORTERS

## Patrons



## Sponsors



Associazione Nazionale Costruttori Edili di Catania



Fondazione dell'Ordine  
degli Ingegneri della Provincia di Catania



**I.G.C. S.r.l.**



Ordine Ingegneri della Provincia di Catania

**Prince Tourist S.r.l.**

**S.C.S. Costruzioni Edili S.r.l.**



**VICA S.r.l.**

## **C – BUILDING AND DESIGN TECHNIQUES**



New Horizons for Sustainable Architecture

## Cooling islands: microarchitetture per il benessere delle utenze deboli durante le ondate di calore in ambito mediterraneo

R. Corrao<sup>1\*</sup>, A.R. Cataldo<sup>2</sup>, G. L. Danesi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, rossella.corrao@unipa.it

<sup>2</sup> Alberto Rosario Cataldo, Ingegnere, libero professionista, Palermo, cataldoalbertorosario@gmail.com

<sup>3</sup> Giovanni Luca Danesi, Ingegnere, libero professionista, Palermo, lucadanesi@outlook.it

### Abstract

Negli ultimi decenni si è assistito al progressivo innalzamento della temperatura globale del pianeta causato dalle emissioni di gas serra nell'atmosfera: uno degli effetti più evidenti di tale surriscaldamento globale è il cosiddetto Urban Heat Island (UHI) effect che comporta un sensibile aumento delle temperature in corrispondenza delle aree urbane, con gravi danni sull'uomo e sull'ambiente. L'articolo riporta i risultati ottenuti attraverso la sperimentazione progettuale e le simulazioni analitiche condotte per valutare l'efficacia dell'utilizzo della vegetazione e dell'acqua nebulizzata come strategie combinate di mitigazione del microclima urbano in ambito Mediterraneo, in cui sempre più frequentemente si verificano insostenibili ondate di calore durante la stagione estiva. La verifica di alcuni dei benefici derivabili dall'applicazione di tali strategie è stata condotta utilizzando software dedicati che hanno consentito di quantificare l'effettivo abbassamento delle temperature in uno spazio urbano coperto ottenuto grazie all'installazione di un "canopy verde", una microarchitettura aperta, installabile in contesti urbani densamente edificati qual è quello del centro storico di Palermo, luogo scelto per la sperimentazione. Lo studio è stato articolato in tre parti: la prima, dedicata ad una breve analisi del fenomeno dell'UHI e del surriscaldamento globale analizzando cause, conseguenze ed eventuali strategie utilizzabili per contrastarlo; la seconda, dedicata al progetto del "canopy verde", una microarchitettura aperta – integrata con elementi vegetali e con nebulizzatori d'acqua – finalizzata al miglioramento del benessere outdoor delle utenze deboli durante le ondate di calore estive; la terza, dedicata all'analisi microclimatica dello scenario urbano ridefinito grazie all'inserimento della microarchitettura progettata e confrontato con lo stato di fatto, al fine di quantificare l'effettivo raffrescamento ottenuto e l'efficacia della soluzione progettuale proposta.

### 1. Cambiamenti climatici, UHI effect ed azioni di contrasto

A partire dalla seconda metà dell'Ottocento del secolo scorso si è cominciato a registrare un progressivo aumento della concentrazione di "gas serra" nell'atmosfera – quali: anidride carbonica,

metano e protossido di azoto – dovuti al progressivo aumento dell’attività industriale. La presenza nell’atmosfera di tali gas è indispensabile per la vita dell’uomo sulla terra, in quanto insieme costituiscono il sistema di regolazione della temperatura globale definendo il cosiddetto “effetto serra” naturale; con la rivoluzione industriale, però, l’incremento delle emissioni di natura antropogenica di tali gas in atmosfera ha notevolmente intensificato tale effetto causando il progressivo innalzamento della temperatura della superficie terrestre con danni ambientali oggi divenuti tangibilmente gravi e, probabilmente, irreversibili. In particolare, la concentrazione di diossido di carbonio è quasi raddoppiata, partendo da un valore iniziale di 280 ppm, registrato nell’era preindustriale, fino ad un valore massimo pari a 413 ppm, raggiunto nel 2017 [1]. Nonostante le molteplici direttive in tema di sostenibilità ambientale emanate a livello internazionale, soltanto negli ultimi anni tali valori hanno subito un lieve calo, diminuendo progressivamente fino ad un valore di 411,85 ppm, registrato nel 2019.

I rapporti annuali della NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e della NASA (National Aeronautics and Space Administration), in accordo con la WMO (World Meteorological Organization) mostrano che il 2018 è stato il quarto anno consecutivo più caldo mai registrato da quando sono iniziate le misurazioni, ossia a partire dal 1880: nel corso degli ultimi decenni, infatti, la temperatura globale è progressivamente aumentata definendo una variazione termica di circa 1,1°C rispetto alla temperatura media del XX secolo (nel mese di Gennaio 2020, ad es., sono stati registrati 18,3°C in Antartide, circa 0,8°C in più rispetto al 2015, quando erano stati registrati 17,5°C nella Base Esperanza della Penisola Antartica). Inoltre, secondo le proiezioni pubblicate dall’IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [2], si prevede che la temperatura globale sia destinata ad aumentare ulteriormente nel corso del XXI secolo fino ad un massimo di circa 4°C entro il 2100, con una differenza sempre maggiore fra la temperatura registrata in città e quella delle aree periferiche e rurali (Fig. 1a).

Oltre al surriscaldamento globale, il cambiamento climatico in atto sta determinando anche altri fenomeni quali: la variazione del regime delle precipitazioni; lo scioglimento dei ghiacciai e il conseguente l’innalzamento del livello medio del mare; la variazione degli equilibri ecosistemici relativi alla flora e alla fauna accompagnati, sempre più frequentemente, da eventi estremi quali: “ondate di calore” estive, “bombe d’acqua”, siccità, alluvioni, cicloni, ecc., che rivelano, tutti, una significativa e sempre crescente vulnerabilità ambientale che spesso, sommata ad una cattiva gestione del territorio, provoca ingenti danni e perdite di vite umane.

### ***Il fenomeno dell’isola di calore nei centri urbani (UHI effect)***

Una delle più evidenti manifestazioni di tale progressivo cambiamento climatico è il fenomeno dell’isola di calore (in inglese Urban Heat Island effect): si tratta di «... un fenomeno microclimatico che si verifica nelle aree metropolitane e consiste in un significativo aumento della temperatura nell’ambito urbano rispetto alla periferia e, soprattutto, alle aree rurali circostanti ...» [3]. È causato principalmente dalla densità del tessuto urbano e dalle caratteristiche termiche e radiative dei materiali che ne costituiscono le superfici (in primo luogo, asfalto e cemento) nelle quali prevale l’assorbimento della radiazione solare piuttosto che la riflessione della stessa. Durante il giorno, infatti, l’irraggiamento solare “carica” gli edifici di calore che viene rilasciato durante

la notte; esso rimane, però, intrappolato nella città in quanto gli edifici stessi, a causa della loro distribuzione nel tessuto urbano e/o della loro configurazione planimetrica ed altimetrica, rallentano o bloccano completamente la circolazione dell'aria e, quindi, il raffrescamento e l'abbassamento della temperatura.

Anche le attività antropiche che si concentrano maggiormente nelle aree urbanizzate e nelle loro immediate vicinanze, contribuiscono alla formazione dell'isola di calore, a causa dei crescenti livelli di emissioni di gas serra dovuti alle attività industriali, all'intenso traffico automobilistico, agli impianti di riscaldamento/condizionamento degli edifici. Questi ultimi, da soli, contribuiscono al 40% delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'aria e, in Italia, mediamente raggiungono addirittura il 64% in alcune città di medio/grandi dimensioni quali Milano, Genova, Firenze, Parma e Perugia (Fig. 1b) [4].

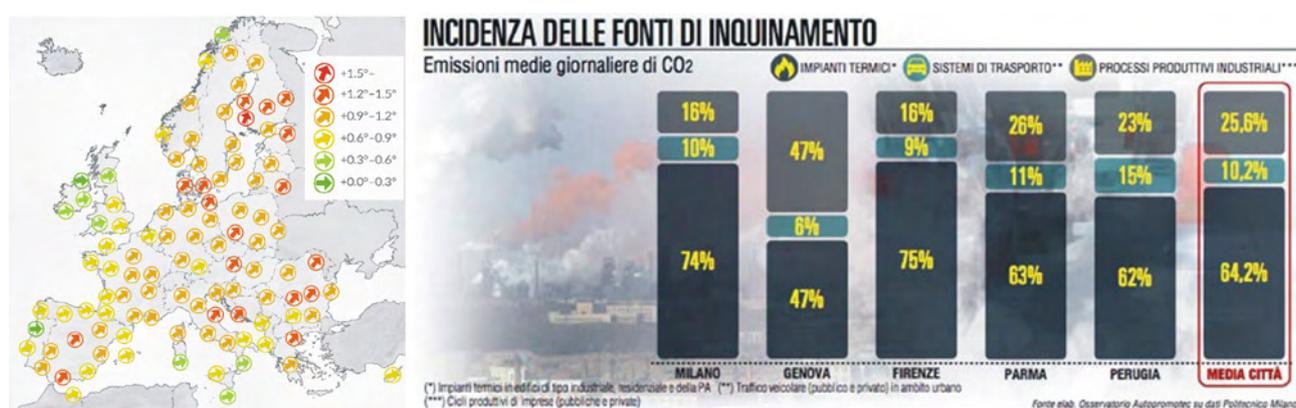


Fig. 1. a Incremento delle temperature dal 2000 al 2018 in alcune città Europee – © 2018, European Data Journalism Network (EDJNet) <https://www.onedegreewarmer.eu/> – Fig. 1. b Incidenza delle fonti di inquinamento in 5 città italiane medio/grandi – © 2017, Osservatorio Autopromotec/Politecnico di Milano <http://www.arpat.toscana.it/notizie/arparnews/2017/174-17/riscaldamento-degli-edifici-e-inquinamento-dell'aria>.

Parallelamente alla crescente urbanizzazione, le città sono state caratterizzate dalla progressiva riduzione degli spazi destinati alla vegetazione, elemento di notevole importanza all'interno delle aree densamente costruite non soltanto per la realizzazione di aree "verdi" per lo più destinate al tempo libero dei cittadini, ma anche e soprattutto – come è stato ampiamente dimostrato negli ultimi anni da studi scientifici condotti in diversi contesti climatici – ai fini della mitigazione del microclima urbano.

Già nel 1951 A. Sundborg spiegò la definizione del contesto climatico urbano e, in particolare, il fenomeno dell'isola di calore urbana in termini di bilancio energetico, basandosi sull'analisi del flusso di energia in entrata e in uscita dal sistema urbano stesso, secondo cui l'energia assorbita, generata dall'attività antropogenica è bilanciata mediante il riscaldamento dell'aria e l'accumulo di calore sulle superfici artificiali [5]. Tale bilancio dipende dal valore di albedo, ossia il coefficiente di riflessione di una superficie sottoposta all'irraggiamento solare: più alto è l'albedo (valore massimo pari a 1), maggiore è la quantità di energia che una superficie riflette; al contrario, più basso è il valore di albedo, maggiore sarà la quantità di energia che una superficie assorbe e quindi maggiore sarà il surriscaldamento della stessa. La superficie urbana tende ad assorbire

molta più energia solare rispetto a quella delle aree rurali circostanti causando un maggiore surriscaldamento dell'aria che, sia durante la stagione estiva che durante quella invernale, è pari a circa 2 - 5° C [6]. Se, quindi, in inverno il fenomeno dell'isola di calore, conseguentemente all'innalzamento della temperatura, permette di migliorare la condizione di comfort outdoor, durante la stagione estiva, invece, contribuisce a rendere le città invivibili.

L'energia assorbita dal sistema urbano e successivamente rilasciata nell'aria durante la notte, sotto forma di radiazione infrarossa, dovrebbe essere trasferita all'atmosfera attraverso un processo definito come evapotraspirazione, innescato dalla disponibilità di una certa quantità di umidità e, quindi, di acqua, nel terreno e dalla presenza di vento. Si stima che l'evapotraspirazione globale contrasti annualmente circa il 22% dell'irraggiamento totale disponibile nella parte superiore dell'atmosfera terrestre [7]. La riduzione dell'evapotraspirazione alterando l'equilibrio energetico del sistema urbano – in quanto al calore è impedito di allontanarsi nell'atmosfera – contribuisce, quindi, alla generazione dell'effetto isola di calore.

Il fenomeno dell'UHI comporta, ovviamente, un maggiore consumo di energia ai fini del raffrescamento meccanico degli ambienti di vita (e, in particolare, degli edifici residenziali) per il miglioramento del comfort indoor; l'incremento delle emissioni di inquinanti e di gas serra nell'atmosfera che producono significativi, in alcuni casi, peggioramenti della qualità dell'aria e dell'acqua e che comportano, sempre più frequentemente, l'insorgere di patologie respiratorie – quando non di patologie mortali – con notevole compromissione della salute dei cittadini e di aggravio di spesa per la collettività [8, 9].

### *Cooling Island e mitigazione del microclima urbano*

I cambiamenti climatici registrati negli ultimi decenni hanno suscitato una crescente preoccupazione circa il fenomeno dell'isola di calore urbana e le ripercussioni a scala più ampia, ossia in termini di surriscaldamento globale, conducendo i governi di 196 paesi, dopo circa venti anni di negoziati, a siglare nel corso della 21<sup>a</sup> conferenza delle parti (COP 21), tenutasi a Parigi nel 2015, il primo accordo universale per contrastare i cambiamenti climatici della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) [10]. A seguito di tale accordo si è acceso, ancor di più, il dibattito politico e quello scientifico a livello internazionale circa le strategie da adottare al fine di contrastare l'innalzamento della temperatura globale e, conseguentemente, di limitare i danni arrecati al pianeta.

Numerosi studi hanno dimostrato che la vegetazione “offre il massimo sollievo dallo stress da calore”: essa, infatti, influisce sul bilancio energetico del sistema urbano sia direttamente, modificando il microclima in relazione alla riduzione della temperatura locale [11], sia indirettamente, riducendo l'accumulo di calore sulle superfici urbane e, conseguentemente, anche i consumi legati al condizionamento meccanico degli ambienti; inoltre, l'elemento vegetale contribuisce al processo di evapotraspirazione in quanto permette la traspirazione, ossia l'evaporazione dell'acqua attraverso le parti aeree della pianta, assorbendo energia dalla radiazione solare che ne aumenta il calore latente al fine di mantenere la temperatura delle foglie e dell'aria circostante più bassa [12]. L'evapotraspirazione può essere ulteriormente incrementata mediante l'integrazione della vegetazione con l'acqua. Come sapevano bene gli antichi costruttori arabi (solo per riferirci alla tra-

dizione costruttiva dei paesi del Mediterraneo), la presenza di una fontana zampillante o di una vasca d'acqua in movimento negli edifici o negli spazi adiacenti, quando non collocate in aree urbane densamente edificate (come sono, oggi, le nostre città), permette di godere dei benefici che derivano dall'evaporazione dell'acqua stessa. Durante le ore della mattina, infatti, l'acqua assorbe energia solare riscaldandosi; nel corso della giornata, poi, quando la temperatura superficiale e la differenza di pressione tra aria e vapore acqueo raggiungono il picco massimo, si genera un flusso evaporativo che prosegue anche durante la notte, in relazione alla quantità di energia immagazzinata dall'acqua da liberare nell'aria.

Oltre all'installazione di fontane e/o giochi d'acqua all'interno delle piazze che punteggiano il tessuto urbano di ogni città contemporanea, un sistema sempre più diffuso, oggi, per abbassare la temperatura in prossimità di luoghi molto frequentati e garantire, così, durante i mesi più caldi, il benessere dell'utenza, è quello che prevede l'utilizzo dell'acqua nebulizzata.

Si tratta di un sistema impiantistico che eroga acqua ad alta pressione attraverso ugelli dal diametro molto piccolo; le gocce d'acqua erogate evaporano immediatamente a contatto con l'aria che, aumentando la sua umidità, diventa più fresca e pesante innescando un flusso d'aria fresca discendente che contribuisce a creare condizioni di comfort outdoor più adeguate allo svolgimento di attività all'aperto (prevalentemente ludiche).

## **2. Vantaggi microclimatici derivabili dall'integrazione della vegetazione e dell'acqua in edifici e città**

Per contrastare i cambiamenti climatici e garantire spazi di vita (indoor ed outdoor) adeguati al benessere degli abitanti delle città contemporanee si va diffondendo la consapevolezza che sia sempre più necessario, se non imprescindibile, fare ricorso – per le nuove costruzioni – ad «...un'architettura compatibile con l'uomo e le sue attività, rispettosa dell'ambiente naturale e integrata nel contesto, in grado, quindi, di soddisfare i bisogni attuali e assicurare quelli delle future generazioni, privilegiando l'utilizzo di tecnologie costruttive e materiali non inquinanti e non pericolosi per la salute dei cittadini ...» [13]. In questo contesto, la vegetazione e l'acqua assumono un ruolo particolarmente importante: progettare gli “spazi verdi” della città contemporanea significa, infatti, «... riformulare il paesaggio artificiale, statico e invariabile, e avvicinarlo a quello vivo, dinamico e mutevole del mondo vegetale e animale ...» [14], in modo da definire una stretta relazione tra architettura e “natura”, determinante – come ampiamente dimostrato negli ultimi anni – per il miglioramento delle condizioni di comfort indoor e outdoor dell'individuo. Ma i benefici derivabili dall'utilizzo della vegetazione “integrata” in edifici e città non sono una scoperta recente.

### ***Funzioni della vegetazione e dell'acqua in edifici e città: breve excursus storico***

L'utilizzo della vegetazione con funzione ornamentale, almeno nel mondo occidentale, può farsi risalire al I secolo a.C., quando posta all'interno degli “Hortus”, acquisì un carattere prettamente estetico, di abbellimento dello spazio. Accanto alle piante da vitto si iniziarono, infatti, a coltivare anche piante semplicemente “belle”, dando vita agli “Horti”, appunto, giardini di grandi dimen-

sioni, contornati da porticati, in cui era frequente anche la presenza dell'acqua. Quest'ultima divenne la protagonista dei giardini islamici, in armonia con la ricca vegetazione, resa "visibile" da fontane, vasche, zampilli, piccoli canali che, correndo da un bacino all'altro, contribuivano a ricreare l'idea del "paradiso maomettano" (come nel grande parco del Genoard della Zisa di Palermo, luogo di "delizie e piaceri"). L'acqua, però, negli edifici arabi veniva utilizzata non solo per abbellire ma, anche, in uno ad altri "accorgimenti" tecnico-costruttivi (come possono essere intese le muqarnas), per raffrescare gli spazi. Si conoscevano già, allora, seppure empiricamente, i benefici derivabili dall'utilizzo combinato dell'acqua e della vegetazione che riuscivano a garantire, soprattutto nelle giornate più calde, il comfort degli abitanti di case e palazzi. I castelli della Zisa di Palermo, o dell'Alambra di Granada (per citare solo i più famosi), rappresentano esempi emblematici dell'utilizzo di due elementi naturali (vegetazione ed acqua, appunto) che, combinati, danno vita ad un sistema di raffrescamento passivo in grado di garantire il comfort degli utenti a costo energetico nullo.

Nel Medioevo, le condizioni politiche e sociali portarono le città a chiudersi all'interno della cinta muraria difensiva, conseguentemente, la presenza della vegetazione si limitò al cosiddetto "Hortus conclusus" dei conventi e dei monasteri, dove assumeva funzione esclusivamente produttiva, o nei giardini di corte, dove la sua funzione era relegata al puro piacere estetico.

A partire dal Quattrocento la graduale apertura delle città verso l'esterno, oltre le mura cittadine, con la realizzazione di numerose ville suburbane – quali, in Italia, ad esempio, quelle palladiane –, condusse all'utilizzo della vegetazione come elemento di decorazione dello spazio architettonico intorno alla villa.

Nei giardini rinascimentali del Cinquecento e del Seicento, la vegetazione venne utilizzata, invece, oltre che con finalità estetiche (considerando l'elemento vegetale riconducibile a forme volute grazie alla cosiddetta "ars topiaria") anche come elemento di protezione dai venti e, di nuovo, come "umidificatore" dell'aria. Spesso alla vegetazione si aggiungeva, poi, l'acqua, adoperata con intento decorativo sotto forma di fontane zampillanti, ruscelli, vasche, cascate, creando effetti scenografici particolarmente suggestivi, nei cosiddetti "teatri d'acqua" che creavano spazi esterni particolarmente confortevoli durante le giornate estive.

Nel XVIII secolo, il "giardino paesistico o pittoresco" inglese vide la vegetazione impiegata come strumento per ricreare "luoghi di natura"; la stessa, infatti, disposta in modo "spontaneo" e "naturale", si integrava con l'acqua, necessaria al fine di conferire dinamismo alla composizione. Quest'ultima non appariva più, però, in canali rettilinei e forme geometriche predeterminate (come in passato), ma si sviluppava in ruscelli dall'andamento sinuoso che confluivano in laghetti dalle sponde informi, quanto più possibile simili a quelle riscontrabili in natura. Contemporaneamente, la vegetazione acquisiva un nuovo significato in relazione al processo di espansione urbana ed al rinnovamento della città: ampie aree verdi vennero, infatti, realizzate all'interno delle città europee più importanti (si pensi ai boulevard parigini, ai parchi londinesi, al ring viennese, solo per citarne alcuni) al fine di contrastare il degrado di alcune aree, migliorando le condizioni di vita dei cittadini. In tale contesto nacquero i "giardini pubblici", ai quali venivano riconosciute, oltre alla funzione ornamentale e microclimatica, anche funzioni ricreative, igieniche ed in grado di garantire il benessere psicologico dei cittadini. Anche in questi casi, insieme alle molteplici essenze vegetali, spesso importate da paesi lontani (quali il Sud America o le Indie), veniva fre-

quentemente utilizzata l'acqua, come elemento di abbellimento e decoro ma anche per garantire spazi urbani più salubri e freschi durante la stagione estiva, in particolare.

Nel XX secolo gli spazi vegetati (artificialmente) divennero sempre più connessi al tessuto urbano: Le Corbusier, sostenitore della vegetazione come componente primaria della città moderna, sviluppò una visione secondo cui l'elemento vegetale, oltre che essere "integrato" negli edifici (si ricordi uno dei suoi famosi "5 punti dell'architettura" che rimanda ad una idea di "tetto giardino", da non intendersi affatto, però, in senso letterale) doveva, altresì, costituire l'elemento connettivo del tessuto urbano con gli edifici stessi (vedi, ad es. la ricca vegetazione posta tra i frangisole in calcestruzzo del Palazzo dell'Associazione dei Cotonieri, realizzato nel 1954 ad Ahmadabad).

Negli ultimi decenni del XX secolo, conseguentemente alla crescente consapevolezza del degrado ambientale e del conseguente riscaldamento globale, l'attenzione dei ricercatori, in primis e delle comunità internazionali più avvertite si è sempre più indirizzata verso i temi legati ai cambiamenti climatici ed alle strategie utilizzabili per contrastarli proponendo, tra le altre, azioni che mirano ad utilizzare la vegetazione come strategia di mitigazione del microclima e di contrasto al cosiddetto fenomeno dell'isola di calore Urbana (UHI), che affligge le più grandi metropoli dei diversi continenti, senza tralasciarne alcuna.

### *Il "verde" nelle città contemporanee e negli edifici*

In relazione alla crescente consapevolezza secondo cui l'integrazione della vegetazione negli edifici permette di ottenere notevoli miglioramenti delle prestazioni energetiche degli stessi, oltre che benefici ambientali da tutti percepibili, a partire dagli anni Novanta del secolo scorso sono stati realizzati diversi edifici emblematici che hanno contribuito, oltre che a diffondere le tecnologie legate ai cosiddetti "Vertical Garden", inizialmente progettati da Patrick Blanc, (si vedano, ad esempio, i living wall del Caixa Forum di Madrid o del Musée du quai Branly di Parigi), anche a sensibilizzare l'opinione pubblica rispetto ai temi della mitigazione del microclima, del risparmio energetico degli edifici, della salvaguardia ambientale.

La crescente diffusione dei sistemi vegetati, più o meno integrati negli edifici (seppure non sempre, purtroppo, realmente "sostenibili") può essere riconducibile, da un lato, all'esplicita volontà di garantire e/o migliorare le prestazioni energetiche degli edifici e di mitigare il microclima urbano, dall'altra, al "ritorno d'immagine" che ne può derivare – e per il committente e per l'architetto progettista o per la municipalità in cui l'edificio ricade – in quanto la vegetazione è percepita dalla collettività, oggi più di ieri, come un "materiale edilizio" fortemente ecologico.

Le diverse modalità di integrazione della vegetazione nel costruito sono correlate alla sua collocazione: oltre alle aree vegetate di pertinenza degli edifici oggi è possibile pensare alla realizzazione, neanche troppo onerosa, di vere e proprie pareti verdi oppure, più "classicamente", l'elemento vegetale può essere integrato in copertura per la realizzazione di tetti verdi di tipo intensivo o estensivo. Tali possibilità offerte dalla messa a punto di soluzioni tecnologiche preconfezionate, facilmente individuabili sul mercato ed adattabili alla conformazione degli involucri edilizi contemporanei, permette di aumentare le superfici adibite a "verde" in aree già densamente urbanizzate e, quindi, di amplificare gli effetti benefici della vegetazione, siano essi diretti – sulla qualità dell'aria e sulla temperatura – nonché indiretti, legati al miglioramento delle prestazioni

dell'involucro stesso degli edifici esistenti, con conseguente riduzione dei consumi dovuti all'utilizzo di fonti di energia non rinnovabili per l'alimentazione dei sistemi di condizionamento degli ambienti interni.

L'azione della vegetazione genera, quindi, diversi effetti: di protezione – capta gli agenti inquinanti presenti nell'aria; abbatte le polveri sottili, mitiga il microclima; attenua la velocità del vento e dei rumori –, bionaturalistici – produce biomassa; conserva la biodiversità; fitodepura l'acqua –, economico-produttivi – genera prodotti agricolo-alimentari; disegna il paesaggio; riduce i costi per la salute pubblica offrendo aree ricreative che migliorano il benessere psico-fisico degli individui [15].

### *L'acqua nebulizzata come elemento di mitigazione del microclima urbano e di miglioramento della qualità dell'aria*

L'acqua, così come la vegetazione, contribuisce notevolmente alla mitigazione del microclima urbano, soprattutto in corrispondenza di contesti climatici temperati, come quello del Mediterraneo e/o in climi, caldi, sia aridi che umidi. Essa può essere integrata nel tessuto urbano in differenti stati di aggregazione: allo stato liquido (con fontane o vasche), oppure allo stato gassoso, prevedendo l'installazione di impianti di nebulizzazione in corrispondenza di spazi pubblici e/o privati. In particolare, la strategia di raffrescamento evaporativo legata all'utilizzo dell'acqua nebulizzata è stata, negli ultimi anni, oggetto di numerosi studi scientifici [16, 17, 18] che ne hanno dimostrato la validità al fine di ottenere un abbassamento delle temperature strettamente dipendente, però, dalla variazione di alcuni parametri climatici (quali la temperatura di partenza dell'aria, l'umidità relativa, la nuvolosità, le precipitazioni, il vento).

La nebulizzazione di un liquido – in questo specifico caso, l'acqua – consiste nella sua riduzione in gocce minutissime ottenuta dal suo scontro con un getto d'aria ad elevata velocità oppure costringendolo a passare attraverso un orifizio avente una sezione molto stretta, pari a 5-15 micron: tanto più stretta è la sezione di passaggio dell'orifizio, tanto maggiore sarà la pressione a cui il liquido è sottoposto. Una volta avvenuta la formazione delle gocce, si assiste all'evaporazione dell'acqua e conseguentemente al raffreddamento dell'aria.

Il processo di nebulizzazione è definito da una trasformazione termodinamica di tipo adiabatico: si tratta, quindi, di una trasformazione nel corso della quale non si verifica uno scambio di calore tra il sistema e l'ambiente; in altri termini, l'energia non viene né ceduta né assorbita ( $Q = 0$ ) ma viene trasformata in calore latente di vaporizzazione ( $\lambda v$ ), ossia la quantità di calore necessaria affinché si verifichi il passaggio di stato dell'acqua da liquido a gassoso: il risultato di tale processo è, quindi, una diminuzione della temperatura.

Una trasformazione di raffrescamento per evaporazione, detta anche “raffrescamento adiabatico”, oltre all'abbassamento della temperatura, prevede allo stesso tempo anche un incremento della percentuale di umidità relativa, dovuto alla vaporizzazione dell'acqua. Per questo motivo, al fine di ottenere una condizione di comfort, è necessario che siano bilanciati correttamente i valori della temperatura e dell'umidità relativa. La condizione di comfort per il corpo umano è definita da un valore di umidità compreso tra il 45% e il 55%; al di sopra di tali valori percentuali si verifica un innalzamento dell'indice di calore (Heat Index o HI), ossia quel parametro che stima il disagio

fisiologico causato dalla presenza di alte temperature ed elevati tassi di umidità, mentre al di sotto di tali valori si ha un'eccessiva secchezza dell'aria che comporta difficoltà respiratorie, aumento della volatilità delle polveri e proliferazione dei batteri, con conseguenze sulla salute dell'uomo. In questo senso, i sistemi di nebulizzazione contribuiscono al miglioramento della qualità dell'aria sotto diversi punti di vista: non soltanto in relazione al suo raffrescamento ma, anche in relazione all'assorbimento della polvere e dei pollini, l'allontanamento degli insetti e dei batteri.

### 3. Un “canopy verde” come isola di raffrescamento per contrastare le ondate di calore in ambito mediterraneo

Numerosi sono gli esempi, in tutto il mondo, di microarchitetture che, integrate con la vegetazione e l'acqua – prevalentemente impiegata nei suoi due stati liquido e gassoso, quando non “solido” (come nel caso del frigidarium del *Beatfuse* – vincitore nel 2006 del PSI MoMA Young Architects Program – in cui ogni sabato mattina, per tutto il periodo della sua installazione, venivano posizionati 12 blocchi di ghiaccio a formare una panchina che contribuiva ulteriormente a rinfrescare l'ambiente, Fig. 2) –, hanno consentito, in diversi contesti climatici, di ottenere spazi aperti, più o meno ombreggiati, in grado di garantire adeguati livelli di comfort outdoor anche in presenza di condizioni “estreme”, dovute ad anomale ondate di calore estivo.



Fig. 2. Frigidarium del BEATFUSE, © 2006, Obra Architects, installato nel cortile del Contemporary Art Center, New York, USA <http://obraarchitects.com/projects/93/ps1-moma>.

L'integrazione della vegetazione e di sistemi impiantistici per l'acqua nebulizzata e, in alcuni casi, per la produzione di energia da fonti rinnovabili (che azzerano il consumo di energia necessaria per il funzionamento dei sistemi di raffrescamento adottati), hanno consentito di realizzare, in diversi contesti climatici, spazi urbani caratterizzati da un adeguato comfort termico durante i mesi estivi, che favorisce l'uso degli stessi da parte delle cosiddette “utenze deboli” e, al contempo, ridisegna alcuni brani di città (soprattutto se riferiti alle periferie).

Gli esempi riportati in Fig. 3, che costituiscono solo una sintesi della ricerca condotta su diverse microarchitetture realizzate in tutto il mondo (analizzate e schedate in base ai materiali impiegati, i sistemi di raffrescamento adottati, la presenza o meno di vegetazione, ecc) [19] favoriscono la sosta all'aria aperta degli anziani ed il gioco dei bambini, anche durante le giornate di calura estiva. Gli impianti di nebulizzazione adottati, spesso integrati nei sub componenti costituenti gli elementi portanti e/o di supporto delle microarchitetture stesse, sono essenzialmente caratterizzati da

un tubo di alimentazione idrica, che ha la funzione di collegare la pompa alla rete idrica urbana; una centralina nebulizzatrice, che regola la pressione dell'acqua all'interno dell'impianto; una tubazione per alta pressione, che collega la pompa alle linee di nebulizzazione; raccordi per alta pressione e ugelli, che hanno la funzione di erogare l'acqua nebulizzata.

**CANOPY**

nArchitects, 2004  
MoMA-P.S.1 Contemporary Art Center  
New York, USA



**STRATEGIE ADOTTATE**  
VEGETAZIONE  
VASCHE D'ACQUA  
ACQUA NEBULIZZATA

**BEATFUSE**

Obra Architects, 2006  
MoMA-P.S.1 Contemporary Art Center  
New York, USA



**STRATEGIE ADOTTATE**  
VEGETAZIONE  
VASCHE D'ACQUA  
ACQUA NEBULIZZATA

**ECO-BOULEVARD**

Ecosistema Urbano, 2007  
Bulevar de la Naturaleza  
Madrid, ES



**STRATEGIE ADOTTATE**  
VEGETAZIONE  
VASCHE D'ACQUA  
FOTOVOLTAICO

**LIVING PAVILION**

A. Ha & B. Behin, 2010  
Governors Island  
New York, USA



**STRATEGIE ADOTTATE**  
VEGETAZIONE  
VASCHE D'ACQUA  
ACQUA NEBULIZZATA

Fig. 3. Microarchitetture per spazi aperti raffrescati con acqua nebulizzata e/o vegetazione integrati.

### Progetto di un “canopy verde” amovibile per il centro storico di Palermo

Seppure il progetto sia stato elaborato pensando ad una microarchitettura atopica, che funzioni come un’isola di raffrescamento urbana da posizionare, all’occorrenza, per soccorrere le utenze deboli ed aiutarle a gestire meglio le ondate di calore estive quando si trovano negli spazi aperti della città contemporanea, la microarchitettura che qui si propone è stata progettata pensando (anche) ad uno spazio aperto del centro storico della città di Palermo, situato nell’antico quartiere dell’Albergheria e caratterizzato da una forte carenza di elementi vegetali e da un fitto tessuto edilizio che, ostacolando la ventilazione, intrappola il calore – immagazzinato dalle superfici dell’involucro degli edifici e da quelle asfaltate di strade e piazze – causando un sensibile innalzamento delle temperature. La scarsa presenza della vegetazione nel quartiere impedisce, infatti, una sufficiente mitigazione del surriscaldamento globale, che potrebbe essere ridotto grazie al processo di evapotraspirazione delle piante. Queste ultime, però, difficilmente possono trovare spazio per la loro piantumazione, essendo il sottosuolo di strade e piazze già ampiamente “occupato” dagli impianti tecnologici della città che potrebbero essere danneggiati dall’apparato radicale di alberi e/o arbusti. Per il progetto del “canopy verde” si è, quindi, pensato, oltre che a soddisfare i requisiti connessi ai temi della “leggerezza”, della rapidità e facilità di montaggio, dell’economia di tempi e costi di realizzazione, della riciclabilità e della sostenibilità economica, anche, prevalentemente, ad uno spazio capace di fornire ombra e frescura alle utenze deboli che frequentano il vicino “Ospedale dei Bambini” – situato proprio al margine del quartiere dell’Albergheria –, impiegando la vegetazione e l’acqua nebulizzata e verificandone, poi, gli effettivi benefici attraverso simulazioni analitiche in grado di dimostrare i vantaggi del nuovo scenario urbano proposto. Si tratta, essen-

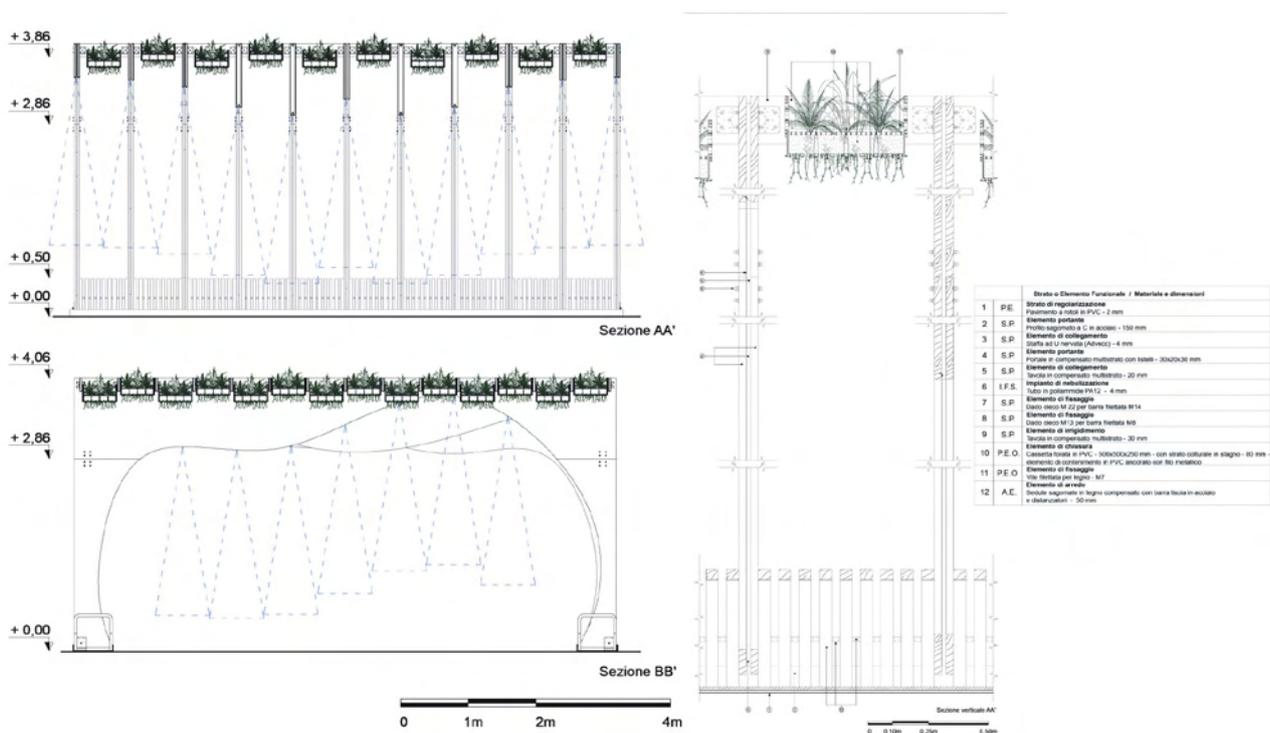


Fig. 4. Prospetto e sezione del “canopy verde” e particolare costruttivo del sistema di integrazione dei moduli prevegetati.

zialmente, di una microarchitettura con un ingombro volumetrico parallelepipedo, costituito da una base quadrata di 8 m per lato, ed un'altezza di 4 m. Tale volumetria è, effettivamente, ottenuta dalla successione di 11 portali di legno lamellare, variamente sagomati a formare un interno dinamico al quale si contrappone la regolarità dell'estradosso vegetato (Fig. 4).

La sinuosità delle differenti sagomature dei portali rievoca la deformazione di una goccia d'acqua in movimento, donando dinamicità allo spazio coperto. Il passo tra gli interassi dei portali (pari a 80 cm) è stato definito in relazione alle prescrizioni relative all'ottimizzazione del raffrescamento ottenuto attraverso l'utilizzo di un impianto di nebulizzazione e valutando un'altezza dell'intradosso della copertura inferiore a 4 m. I portali sono costituiti da due fogli di legno compensato multistrato, di 3 cm ciascuno, installati su elementi di supporto costituiti da listelli in legno di 2 x 2 cm; inoltre, in corrispondenza delle estremità sono state posizionate delle tavole in legno che, percorrendo tutta l'altezza del portale, fungono da elemento di irrigidimento e di collegamento delle due parti di cui è costituito, fissate mediante dadi e barre filettate.

Al fine di evitare interventi che compromettano l'integrità della pavimentazione esistente nei luoghi di installazione, nell'ottica della facilità e rapidità di montaggio, si è scelto di poggiare la microarchitettura senza fissarla al suolo: sono stati, quindi, previsti due profili sagomati a e di lunghezza pari all'intera microarchitettura, al fine di predisporre un appoggio per i portali alla distanza predefinita, calcolata in funzione dell'impianto di nebulizzazione dell'acqua; a tali profili sono state precedentemente saldate delle staffe a U nervate nella parte inferiore al fine di staccare l'elemento ligneo da terra proteggendolo dall'umidità.

I portali sono collegati in alto tra loro con tavole lignee di 72 x 20 x 3 cm, fissate tramite staffe ad L e collocate ad una distanza di 55 cm l'una dall'altra. Tali tavole fungono sia da elemento di irrigidimento dell'intera struttura che da elemento di supporto per i moduli prevegetati installati tra i portali a formare gli elementi di attenuazione della luce e, con l'impianto di nebulizzazione dell'acqua, in grado di garantire il raffrescamento evaporativo dello spazio sottostante. Qui sono state previste delle sedute, poste tra i portali e realizzate mediante l'accostamento di elementi sagomati in legno compensato dello spessore di 5 cm. Solo alcune di queste panchine sono fisse, in particolare, quelle poste in corrispondenza dell'alloggiamento per la pompa dell'impianto di nebulizzazione fungendo, quindi, anche da elemento di protezione; tutte le altre sono invece mobili, permettendo all'utente di poterle spostare all'interno dello spazio (Fig. 5).



Fig. 5. Viste del “canopy verde” collocato nel quartiere dell'Albergheria di Palermo, in prossimità dell'Ospedale dei Bambini (sin) e della Chiesa di San Giuseppe Cafasso (dex). Lo spazio urbano è attualmente destinato a parcheggio, pur trovandosi in prossimità anche del percorso arabonormanno, patrimonio UNESCO.

### L'integrazione della vegetazione

La microarchitettura progettata è dotata di moduli prevegetati per la mitigazione microclimatica che permettono di ridurre l'accumulo di calore sulle superfici urbane, innescando il processo di evapotraspirazione ed assorbendo il calore dovuto alla radiazione solare, riducendo, quindi, la temperatura dell'aria.

Si è scelto di realizzare i moduli prevegetati – guardando al progetto del Living Pavilion di New York – riciclando le cassette in plastica utilizzate dai produttori ortofrutticoli che portano quotidianamente le loro merci nel vicino mercato del Ballarò. La forma quadrata, di 50 x 50 x 25 cm delle cassette si presta bene allo scopo: presenta, infatti, un fondo traforato sul quale è stato previsto uno strato di sfagno (una varietà di muschio naturale particolarmente leggero e permeabile, che non possiede radici e ha una grande capacità di ritenzione idrica) dello spessore di 8 cm; superiormente, poi, una griglia sottile ancorata alla cassetta mediante fili metallici, serve a compattare lo strato sottostante e consente di predisporre la vegetazione che è stata prevista sia al di sopra che al di sotto dello strato colturale. Infatti, per l'estradosso del modulo prevegetato è stata prevista la coltivazione della specie erbacea *Carex flacca* – una graminacea sempreverde con fogliame flessuoso di colore verde grigio, che raggiunge un'altezza massima di 25 cm –; all'intradosso, invece, è stata prevista la *Zoysia tenuifolia* – una graminacea macroterma di consistenza filiforme, che raggiunge un'altezza massima di 10 cm –. Si tratta di due specie erbacee particolarmente adeguate alla necessità di mitigazione microclimatica dettata dal progetto, in quanto sono caratterizzate da una buona resistenza al caldo ed all'irraggiamento solare e presentano un elevato potenziale evaporativo; inoltre, non necessitano di frequente irrigazione e di frequenti interventi manutentivi.

I moduli prevegetati, inseriti negli spazi tra le tavole in legno sistemate tra i portali, sono fissati mediante bulloni alle tavole stesse, ma risultano da queste adeguatamente distanziati permettendo il passaggio della luce solare che, filtrata dalle foglie, crea nel corso della giornata – in relazione alla geometria sinuosa dei portali ed alla posizione del sole – interessanti giochi di luce ed ombra. I moduli prevegetati possono fornire diversi livelli di inverdimento, in relazione alle tipologie di specie erbacee scelte e di ombreggiamento ed in funzione anche della loro distribuzione nel reticolo della copertura: sono stati previsti quattro livelli di inverdimento, in relazione agli schemi sotto riportati (Fig. 6).

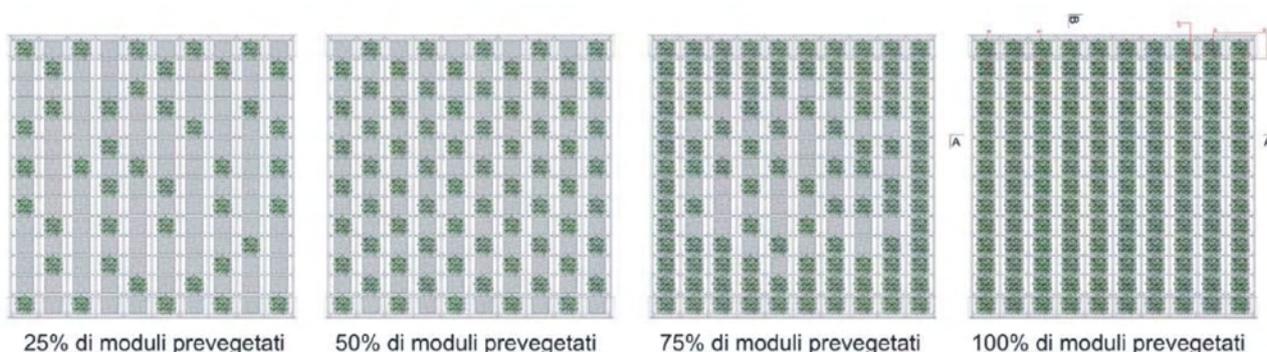


Fig. 6. Schemi di inverdimento della copertura.

### *L'integrazione dell'acqua nebulizzata*

È stato previsto un impianto integrato di nebulizzazione dell'acqua che, in un'azione mitigatrice della vegetazione, permette di implementare l'evapotraspirazione e quindi di abbassare ulteriormente la temperatura dell'aria al di sotto del "canopy verde". Esso risulta nascosto tra i sub-componenti che costituiscono la struttura portante, al fine di garantire i requisiti connessi all'aspetto (impedendo la vista dei sub-componenti stessi che lo costituiscono) ed alla sicurezza, proteggendoli, anche da eventuali manomissioni e/o atti vandalici.

La pompa ad alta pressione, necessaria ad alimentare l'impianto, è collocata in appositi alloggiamenti posti al di sotto delle sedute fisse, al fine di ripararla dagli agenti atmosferici e da eventuali manomissioni ma, allo stesso tempo, renderla facilmente accessibile agli operatori per le attività di montaggio e manutenzione. Si tratta di una centralina nebulizzatrice delle dimensioni di 49x41x30 cm, caratterizzata da una pressione di 70 bar che permette di alimentare fino a 80 ugelli; è alimentata dalla rete idrica comunale prevedendo, inoltre, la presenza di un gruppo di filtri per il trattamento e la purificazione dell'acqua in entrata. A partire dalla pompa si dipartono le tubazioni in corrispondenza di ciascun portale, le quali permettono di trasportare l'acqua in pressione alla quota dell'intradosso della copertura: si tratta di sottili tubicini in poliammide PA12 del diametro di 4 mm, fissati all'interno dell'intercapedine della struttura lignea mediante elementi fermacavo. Percorrendo l'intera lunghezza del portale, tali tubazioni sono interrotte ad intervalli regolari dalla presenza dei raccordi in acciaio necessari al fissaggio degli ugelli, anch'essi in acciaio per essere più adeguati a sopportare un impiego intenso, soprattutto durante i mesi estivi. In merito al loro posizionamento, è stato necessario valutare l'altezza alla quale collocarli, al fine di evitare l'eccessivo aumento dell'umidità dell'aria nello spazio sottostante: in particolare è stato considerato un passo di 80 cm, in funzione anche dell'altezza a disposizione, passo che ha anche determinato il posizionamento della struttura portante. Tale sistema di raffrescamento prevede un consumo di energia elettrica contenuto a fronte dei benefici microclimatici ottenibili, stimati attraverso le simulazioni di cui si dirà più avanti in questo lavoro; inoltre, per un maggiore risparmio di risorse è stata prevista l'integrazione alla pompa ad alta pressione di un timer digitale, al fine di definire l'alternanza di pausa e lavoro dell'impianto. Valutando l'influenza del contesto climatico di riferimento, in ragione anche delle schede tecniche fornite da diverse aziende che producono impianti di nebulizzazione, è stato previsto un raffrescamento medio dell'aria di circa 3-7 °C.

#### **4. Verifica dei benefici del raffrescamento evaporativo**

Per verificare l'efficacia dell'utilizzo della vegetazione e dell'acqua nebulizzata come strategie combinate per la mitigazione del microclima in contesti densamente edificati – quali quello del quartiere storico dell'Albergheria di Palermo –, sono state effettuate delle simulazioni microclimatiche con il software ENVI-met<sup>®</sup> riferendosi anche alle attività di ricerca pregresse [20, 21] ed agli studi attualmente condotti anche in altri contesti climatici di riferimento che esulano da quello del Mediterraneo [22, 23, 24]. Tenendo conto dell'area geografica e delle corrispondenti condizioni climatiche, nonché della configurazione dello spazio urbano, si è proceduto ad una analisi dello stato di fatto e dello scenario di progetto che prevede l'installazione del "canopy ver-

de” sin qui descritto, procedendo poi con l’analisi microclimatica al fine di valutarne la risposta in termini di comfort outdoor.

### ***Analisi dello stato di fatto e degli scenari di progetto alla macroscala del quartiere***

L’area di studio ricade, come già accennato, nello storico quartiere dell’Albergheria di Palermo e si presenta fortemente frammentata: si riscontrano, infatti, la presenza di edifici di diversa epoca, con uno sviluppo in altezza che varia da una singola elevazione e fino ad un massimo di dieci elevazioni fuori terra. Inoltre, come già accennato, tutto il quartiere è caratterizzato da una forte carenza di vegetazione. Al fine di verificare i benefici apportati dalla presenza del “canopy verde” nell’area in esame è stato realizzato un modello sulla base di una griglia di 125 x 125 x 20 celle, ognuna delle quali di dimensioni pari a 4 x 4 x 4 m. Sulla griglia è stata ridisegnata l’area in esame mappando le singole celle al fine di distinguere le aree edificate dalle pochissime aree vegetate – di cui è stata specificata la natura dell’essenza arborea o della specie erbacea – e il tipo di suolo – distinguendo le aree pavimentate in asfalto o in battuto cementizio, ecc.

Dopo un’analisi dettagliata dei dati climatici si è scelto di eseguire le simulazioni nel giorno estivo in cui si registra un valore della temperatura più vicino ai valori medi stagionali, ossia il 15 Agosto, avviando le simulazioni considerando, inizialmente, lo stato di fatto. Le simulazioni hanno fornito i dati relativi a temperatura, velocità del vento ed irraggiamento solare che, elaborati attraverso l’interfaccia grafica Leonardo, hanno mostrato evidente come nell’area esaminata vi siano dei valori di velocità del vento modesti – dovuti all’effetto barriera che gli edifici esercitano – e picchi di temperatura che raggiungono i 29.55°C, con un elevato livello di radiazione solare diretta dovuto alla mancanza di spazi esterni ombreggiati. Si è, quindi, passati alla simulazione degli scenari di progetto che hanno previsto l’installazione del “canopy verde” in tre diversi spazi aperti del quartiere, che hanno forme e dimensioni diverse e che tutt’ora non presentano alcuna precisa funzione pubblica se non quella che caratterizza la maggior parte degli spazi aperti della città storica e, cioè, di parcheggio “pubblico a pagamento non autorizzato” (!). Nel disegno dell’area già definita per l’analisi dello stato di fatto sono state inserite le tre microarchitetture definendone le specifiche circa le dimensioni ed il tipo di vegetazione adottata per la realizzazione della copertura vegetata, ossia la *Carex flacca*. Considerando le stesse condizioni climatiche e gli stessi intervalli temporali utilizzati per l’analisi dello stato di fatto, si sono elaborate le simulazioni al fine di valutare i benefici microclimatici ottenuti a scala urbana. Dall’osservazione dei dati di output ottenuti attraverso l’interfaccia grafica Leonardo e dal confronto di quest’ultimi con la mappa cromatica relativa allo scenario dello stato di fatto, si è notata una lieve variazione degli indici cromatici registrati in prossimità delle aree in cui è previsto l’inserimento dei “canopy verdi”.

### ***Analisi dello stato di fatto e di uno degli scenari di progetto alla microscala***

Al fine di valutare quantitativamente il raffrescamento dovuto alla presenza dei “canopy verdi” si è ritenuto opportuno effettuare ulteriori simulazioni considerando un’area più ristretta del quartiere intorno alle microarchitetture. Si è scelto di analizzare, in particolare, lo scenario relativo allo spazio aperto che nello stato di fatto mostra il valore più elevato di temperatura e che risulta collocato in prossimità di un ospedale e di una chiesa – entrambi molto frequentati dalle cosiddette “utenze deboli” (bambini ed an-

ziani) –, nonché punto d’inizio del percorso pedonale previsto per la fruizione delle architetture arabo – normanne della città di Palermo, patrimonio dell’UNESCO. La collocazione del “canopy verde” proprio in quest’area, quindi, mira a predisporre un luogo di sosta ombreggiato e fresco, in cui potersi riparare durante le calde giornate estive e/o nel corso delle anomale ondate di calore che sempre più spesso si verificano anche nelle stagioni intermedie in ambito mediterraneo. Infatti, per effetto della vegetazione e dell’acqua nebulizzata disposte in copertura, lo spazio del “canopy verde” può diventare una vera e propria “isola di raffrescamento urbana”, un punto di ritrovo per gli anziani e/o per i bambini del quartiere, altrimenti costretti a rimanere a casa – con i condizionatori costantemente in funzione – per contrastare gli effetti delle ondate di calore. Si è proceduto, quindi, al ridisegno del modello da analizzare attraverso il software ENVI-met, impostando le dimensioni della cella pari a 1 x 1 x 1 m, in relazione ad una griglia di 120 x 120 x 20 celle. La simulazione microclimatica ha permesso di ottenere informazioni relative alla temperatura, la velocità del vento e la radiazione solare diretta. Dall’esame delle mappe cromatiche riportate in Fig. 7, emerge chiaramente come si modifichi l’andamento delle temperature nell’area in prossimità del canopy, registrando: un abbassamento della temperatura di circa 1° C; una riduzione della velocità del vento di circa 0,5 m/s – poiché la microarchitettura funge anche, naturalmente, da barriera frangivento –; una diminuzione della radiazione solare diretta di 450 W/mq.

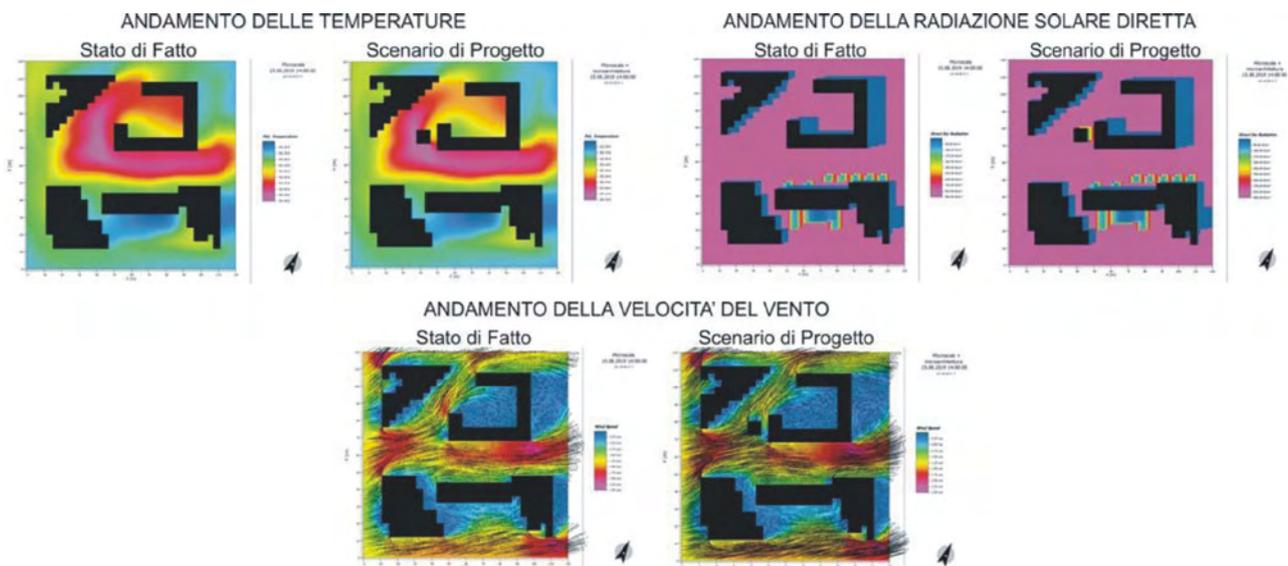


Fig. 7. Confronto tra l’andamento delle temperature, della radiazione solare e della velocità del vento tra lo stato di fatto e lo scenario di progetto.

## 5. Riflessioni conclusive

Le simulazioni microclimatiche hanno permesso di analizzare l’effetto benefico del “canopy verde” – progettato impiegando la vegetazione e l’acqua nebulizzata e collocato in uno degli spazi aperti del quartiere dell’Albergheria, sito nel centro storico della città di Palermo –, ai fini della realizzazione di un’ “isola di raffrescamento” in grado di accogliere le cosiddette “utenze deboli” durante le giornate di calura estiva o le ondate di calore anomale che si verificano anche durante le stagioni intermedie (primavera ed autunno). In particolare, l’analisi dei dati di output ottenuti mediante l’in-

terfaccia grafica Leonardo, ha permesso di evidenziare un limitato abbassamento delle temperature outdoor; ciò è dovuto al fatto che, nonostante la microarchitettura preveda, nella configurazione adottata per lo studio, una superficie vegetata pari a 64 mq – il 100% della superficie utilizzabile per l'installazione dei moduli prevegetati – questi ultimi sono caratterizzati da una specie erbacea di ridotte dimensioni, con un'altezza non superiore a 25 cm che, seppur presentando un elevato potere evaporativo, non consente di raggiungere livelli di raffrescamento equiparabili a quelli ottenibili impiegando essenze erbacee/arboree di diverso tipo e dimensioni. La possibilità, però, offerta dal sistema di moduli prevegetati, di variare il tipo di specie erbacea in relazione al contesto micro-climatico di riferimento – considerando, ad esempio, piante con un'altezza ed un indice di densità fogliare maggiori –, può incrementare l'evapotraspirazione e quindi il raffrescamento dell'aria circostante. Inoltre, il carattere modulare della microarchitettura progettata dà la possibilità di affiancare due o più moduli, al fine di aumentare la superficie vegetata e quindi l'effetto benefico della stessa che, combinato con la riduzione di temperatura ottenuta dall'impiego dell'acqua nebulizzata, può consentire di allestire in breve tempo, uno spazio pubblico attrezzato come un'"isola di raffrescamento" nel centro della città antica, in cui gli abitanti possono ritrovarsi, fornendo un luogo in grado di garantirne il benessere ma, anche, di far risparmiare energia per il condizionamento delle abitazioni riducendo, conseguentemente, anche l'effetto isola di calore urbana.

### ***Riferimenti bibliografici***

- [1] <https://www.co2.earth/>
- [2] <https://www.ipcc.ch>
- [3] Marchesi S, Zauli Sajani S, Lauriola P. Isole di calore e misure di mitigazione. *Ecoscienza* 5, 2013, 1
- [4] Centro Studi Autopromotec, *Econometrica* ([www.econometrica.net](http://www.econometrica.net)) Elaborazione dati sulla base di uno studio del Politecnico di Milano elaborato nel 2017 sulle emissioni di CO<sub>2</sub> in 5 città italiane di medio/grandi dimensioni.
- [5] Sundborg A. *Climatological studies in Uppsala: with special regard to the temperature conditions in the urban area*. *Geographica* 22, Universitets Geografiska Institution, Uppsala, 1951.
- [6] Perini K. *Progettare il verde in città*, Milano, Franco Angeli, 2013, 16.
- [7] Gunawardena KR., Wells MJ, Kershaw T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment* 584-585: 1042 2017.
- [8] World Health Organization (WHO),. *COP 24 Special Report: Health and Climate Change*, 2018.
- [9] Castelli L. *Architettura sostenibile*, UTET Tecnico, 2008.
- [10] <https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsgno=XXVII-7-d&chapter=27&dang=en>. Accordo firmato nel 2018 da 195 membri dell'UNFCCC (Uniteci Nations Framework Convention on Climate Change) a cui 184 paesi hanno aderito.
- [11] Wilmers F. Effects of vegetation on urban climate and buildings. *Energy and Buildings* 15: 508, 1990.
- [12] Gunawardena KR, Wells MJ, Kershaw T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment* 584-585: 1042-1043, 2017.
- [13] Castelli L. *Architettura sostenibile*. op. cit.

- [14] Perini K. *Progettare il verde in città*, op. cit.
- [15] Pirani A. *Il verde in città. La progettazione del verde negli spazi urbani*, Ozzano dell'Emilia (BO), Edagricole, 2004, 12.
- [16] Ishii T, Tsujimoto M, Yoon G, Okumiya M. Cooling System with Water Mist Sprayers for Mitigation of Heat-island. In: *The seventh International Conference on Urban Climate, Conference Proceedings*, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan, available on line: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.623.2702&rep=rep1&type=pdf>
- [17] Ulpiani G, Di Perna C, Zinzi M. Water nebulization to counteract urban overheating: development and experimental test of a smart logic to maximize energy efficiency and outdoor environmental quality. *Applied Energy* 239: 1091-1113, 2019.
- [18] Tsujimoto M. Development of Heat Island Control System with Water Mist Sprayer. In: *Building Summaries of Technical Papers of Annual Meeting*. D-1, 2004, 805-808.
- [19] Danesi GL. *Cooling Islands: verifica dell'efficacia di soluzioni passive per il raffrescamento evaporativo degli spazi urbani delle città mediterranee*. Tesi di laurea, relatore prof.ssa R. Corrao, Università degli Studi di Palermo, a.a. 2017-18.
- [20] Corrao R. The vegetation for mitigating the microclimate and designing livable and healthy public spaces in Palermo City Centre. In: Moccia FD, Sepe M (ed.). *Urbanistica Informazioni, Special Issue – 11° INU Study Day Interruptions, Intersections, Sharing and Overlappings*. New perspectives for the territory. INU Edizioni, Marzo - Aprile 2018, 29-36.
- [21] Pastore L, Corrao R, Kvols Heiselberg P. The effects of vegetation on indoor thermal comfort: The application of a multi-scale simulation methodology on a residential neighborhood renovation case study. *Energy and Buildings* 146: 1-11, 2017.
- [22] Dimoudi A, Nikolopoulou M. Vegetation in the urban environment microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35: 69-76 2003.
- [23] Dombrovsky LA, Solovjov VP, Webb BW. Attenuation of solar radiation by a water mist from the ultraviolet to the infrared range. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 112: 1182-1190 2011.
- [24] Noro M, Lazzarin R. Urban heat island in Padua, Italy: Simulation analysis and mitigation strategies. *Urban Climate* 14: 187-196 2015.

