

Colloqui.AT.e 2020

New Horizons for Sustainable Architecture

Nuovi orizzonti per l'architettura sostenibile

Editors

Santi Maria Cascone

Giuseppe Margani

Vincenzo Sapienza





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

QUALITÀ EDILIZIA DEGLI ANNI '60: LE CASE GESCAL DI COSENZA A. Campolongo, V. Guagliardi	176
LE COPERTURE LIGNEE DELLA CATTEDRALE DI PALERMO. CONOSCENZA E VALORIZZAZIONE COMPATIBILE C. Vinci, D. Giardina	189
IL RIUSO DEI MATERIALI BELLICI IN ARCHITETTURA. LE PIERCED STEEL PLANK A. Pagliuca, D. Gallo, P. P. Trausi	201
RILEGGERE L'ESPERIENZA INA-CASA: UN NUCLEO EDILIZIO NEL QUARTIERE NESIMA A CATANIA A. Moschella, A. Salemi, A. Lo Faro, A.A. Mondello, A. Roccasalva	211
TOOLS AND METHODS FOR KNOWLEDGE AND GRAPHIC REPRESENTATION	
ARCHIVI DIGITALI GEOREFERENZIATI: ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DELLO SVILUPPO DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE A BOLOGNA NELLA SECONDA METÀ DEL NOVECENTO A. C. Benedetti, C. Costantino, R. Gulli	225
STRUMENTI BIM PER L'ANALISI TERMICA DEL PATRIMONIO EDIFICATO ESISTENTE R. Agliata, R. Macchiaroli, L. Mollo	241
EXTENDED REALITY (XR) AND ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS S. Ahmadzadeh Bazzaz, A. Fioravanti	252
CONSTRUCTION TECHNIQUES AND PERFORMANCE IN EXISTING BUILDINGS	
GLI ISTITUTI DI ELETTRONICA, AUTOMATICA, GEOFISICA E ARTE MINERARIA DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELLA "SAPIENZA" – STRATEGIE PER UN INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA M. Pugnaletto, C. Paolini	262
STORIA DELL'EDILIZIA BOLOGNESE TRA LE DUE GUERRE, 1920-1940 C. Costantino, A.C. Benedetti, G. Predari	277
VINCENZO SINATRA E L'ARTE DEL COSTRUIRE CON LE PIETRE SACRE C. Fianchin	292
AN ENERGY-RESILIENT METHODOLOGY IN CLIMATE CHANGING CHALLENGE FOR HISTORIC DISTRICTS. THE CASE OF A MEDITERRANEAN HISTORIC CENTER E. Cantatore, F. Fatiguso	306
LA BIBLIOTECA TECNICO-SCIENTIFICA NEL CAMPUS DI FISCIANO DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO DI NICOLA PAGLIARA C. Sicignano	326
UNA PUNTEGGIATA DI PIETRA IN SIMBIOSI CON IL PAESAGGIO RURALE E URBANO IN SICILIA. ABBEVERatoi, FONTANE, LAVatoi PUBBLICI E CISTERNE NELLA TRADIZIONE COSTRUTTIVA T. Campisi, A. D'Amore, M. Saeli	336
TAMPONATURE PORTATE IN ELEMENTI PREFABBRICATI IN OFFICINA R. Leone, F. Minutoli	350
CENTRI URBANI E VULNERABILITÀ SISMICA. IL CENTRO STORICO DI CATANIA G. Lombardo	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
SUSTAINABLE RETROFITTING OF MODERN AND PRE-MODERN HERITAGE	
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. Dessi, 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. Nicoella, 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
 DIGITIZATION, ROBOTICS AND INDUSTRIALIZATION FOR SUSTAINABLE BUILDINGS	
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
 LOW-COST AND LOW-CARBON ARCHITECTURE	
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
METHODS AND TECHNIQUES FOR BUILDING MANAGEMENT AND MONITORING	
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
UNCONVENTIONAL SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS AND TECHNIQUES	
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 L. Gargano, G. Donnarumma	1431
RECUPERO FUNZIONALE DI PAVIMENTAZIONI IN CALCESTRUZZO MEDIANTE TRATTAMENTO SUPERFICIALE CON POLIUREA E FINITURA ACRILICA: PROVE DI LABORATORIO E TEST APPLICATIVO F. Manzone, S. Errico, E. Portigliatti, D. Vasquez	1442
GLI INTONACI TRADIZIONALI: UNA SOSTITUZIONE (POCO) SOSTENIBILE A. Lo Faro, A. Mondello, A. Moschella, A. Salemi	1451
UN PROGETTO DI RIGENERAZIONE BIM-BASED: L'ESPERIENZA DI ELISIR – ENERGY, LIFESTYLED & SEISMIC INNOVATION FOR REGENERATED BUILDINGS L.C. Tagliabue, A.L.C. Ciribini	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 A. Artino, R. Caponetto, G. Evola, G. Margani, E.M. Marino	1483
DAL DETTAGLIO COSTRUTTIVO ALL'ANALISI DEL PONTE TERMICO ATTRAVERSO IL BIM G. Desogus, A. Sanna, M. Soddu, E. Quaquero	1496
THE DESIGN CRITERIA SYSTEM (DCS): A MULTICRITERIA EVALUATION MODEL TO IMPLEMENT ADAPTIVE REUSE STRATEGIES IN ABANDONED INDUSTRIAL CONTEXTS C. Vizzarri, F. Fatiguso	1508
PROGETTAZIONE E VERIFICA DEL SISTEMA DI ESODO CON STRUMENTI ALTERNATIVI: LA REALTÀ VIRTUALE IMMERSIVA R. Vancetti, E. Cereda	1526
VERSO LA NORMALIZZAZIONE DEL MATERIALE TERRA CRUDA IN ITALIA M. Achenza, A. Agus	1535

INTEGRATED DESIGN

INNOVATION FOR INCLUSION: THE 3D PRINTING TECHNOLOGY TO ENJOY THE CULTURAL HERITAGE F. Auricchio, A. Greco, G. Alaimo, V. Giacometti, S. Marconi, V. Mauri	1549
UN BIVACCO DI MONTAGNA PER GLI APPENNINI P. De Berardinis, G. Di Giovanni, M. Paolucci	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 S. Mannucci, F. Rosso, A. Peduzzi, C. Cecere, M. Ferrero	1579
RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA E SOSTENIBILE DI EDIFICI ESISTENTI CON ESOSCHELETRI A GUSCIO PREFABBRICATI: IL CASO STUDIO ADESA J. Zanni, S. Cademartori, A. Marini, A. Belleri, E. Giuriani, P. Riva, B. Angi, G. Franchini, A.L. Marchetti, P. Odorizzi, G. Luitprandi	1596

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

Friends



Città Metropolitana di Catania



Comune di Catania



Ordine Architetti Pianificatori Paesaggisti
Conservatori Provincia di Catania



REGIONE SICILIA

Dipartimento dell'istruzione
e della formazione professionale



REGIONE SICILIA

Assessorato regionale
delle infrastrutture e della mobilità



REGIONE SICILIA

Assessorato regionale dell'Energia
e dei Servizi di Pubblica Utilità

Introduction

In the last century, the progress of science and technology was certainly rapid and exhilarating giving rise to a significant improvement in the conditions of human life. However, this remarkable progress has also determined significant negative effects: environmentally, the Earth's equilibrium has been progressively threatened; economically, there has been an unfair distribution of world wealth; and socially, for the widespread application of controversial consumer models.

These issues began to raise alarms and promote timid counteractions by small sensitive social groups who were often left isolated and muted by pessimism. Notwithstanding, especially recently, a much deeper and more comprehensive awareness has arisen bringing forth plenty of outpourings of sensitivity and demands for environmental welfare and the fundamental rights of man. This enormous collective sharing has contributed to the spreading of the important principle of sustainability, environmentally, socially and economically.

Faced with billions in poverty, and now more than ever, millions of fugitives, new frontiers of research are needed even in architecture which take into account the requirements of the economically and socially disadvantaged as well as a drastic reduction in environmental impact.

All of this does not mean reneging on Industry 4.0 but interpreting it as a catalyst for development and innovation to increase both the efficiency of businesses and citizens' services by means of a model of responsible development combining healthy competitiveness, sustainability and quality of life.

Within this context, the idea of a circular economy has a wider definition as does that of the resilience of an environment constructed against natural disasters; these research areas intertwine and are enriched by studying innovative materials and technologies as well as the history of construction. Sustainable architecture therefore becomes a field of experimentation to deal with the environmental, social and economic emergencies of our times.

The new horizons of engineering and architecture ought to be inspired by sustainability in support of more fairly distributed building, affordable and rigorously respectful of the planet and the individual. The Colloqui.AT.e 2020 Conference – New Horizons for Sustainable Architecture – was an opportunity to deepen the topics related to these issues, offering an opportunity for discussion for researchers and designers in the field of Building Engineering and Architecture. The event, which this year involved almost 300 participants, is promoted annually by Ar.Tec., a non-profit association set up by scholars of architecture and building techniques, with the aim of increasing awareness within the sector in the scientific community and among entrepreneurs and manufacturers.

Colloqui.AT.e 2020, which initially was intended to take place in Catania from 17th to 20th June 2020, was postponed to 10th December 2020, in remote mode, due to the limitations imposed

by the current pandemic emergency. The call for abstract was opened in November 2019 and collected 149 papers, divided into three topics, each of them subdivided into five thematic areas

A_ CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION:

1. History of construction
2. Tools and methods for knowledge and graphic representation
3. Construction techniques and performance in existing buildings
4. Sustainable retrofitting of modern and pre-modern heritage
5. Management and economic development of building heritage

B_ CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE

1. Sustainability in product, design and process innovation
2. Digitization, robotics and industrialization for sustainable buildings
3. Low-cost and low-carbon architecture
4. Methods and techniques for building management and monitoring
5. Unconventional sustainable building materials and technique

C_ BUILDING AND DESIGN TECHNIQUES:

1. Sustainability principles and practices for building reuse and renovation
2. Tools for building design and management
3. Integrated design
4. Architecture for emergencies
5. Participatory processes (design and construction)

The papers were sent to at least two independent experts, selected among the scientific committee, for double-blind peer review. We take the opportunity to thank all the reviewers, who contributed to raising the quality level of the conference proceedings, with careful and accurate comments and suggestions. The papers were finally revised by the editors and by the Publisher.

We would also like to thank everyone who contributed to the success of the event, namely the Ar.Tec. board, the patrons, the sponsors, the organizing committee and all the participants.

Catania, December 2020

*Santi Maria Cascone
Giuseppe Margani
Vincenzo Sapienza*

Introduzione

Nell'ultimo secolo il progresso della scienza e della tecnologia è stato senza dubbio rapido ed a tratti entusiasmante, determinando un notevole miglioramento delle condizioni di vita dell'uomo. Questa eccezionale tendenza alla crescita ha tuttavia prodotto rilevanti effetti negativi, sia a livello ambientale, arrivando progressivamente a minacciare l'equilibrio stesso del pianeta Terra, sia a livello economico, contribuendo ad un'iniqua distribuzione della ricchezza mondiale, sia a livello sociale, per lo svilupparsi di forme di antagonismo e di eversione.

La problematica ambientale e gli squilibri socio-economici hanno cominciato col destare allarmi parziali e promuovere timidi tentativi, affidati alla sensibilità di piccoli gruppi sociali, che spesso sono rimasti isolati e tacciati di catastrofismo. Tuttavia, soprattutto di recente, è emersa una consapevolezza molto più vasta e profonda, che ha determinato ampie manifestazioni di sensibilità e di rivendicazione della salvaguardia ambientale e dei diritti fondamentali dell'uomo. Questa condivisione collettiva ha contribuito a diffondere l'importante principio della *sostenibilità*, che opportunamente include istanze sia ambientali, che sociali ed economiche.

A fronte di miliardi di indigenti e, oggi più che mai, di milioni di migranti, occorrono nuove frontiere di ricerca che, anche in architettura, offrano una risposta alle esigenze delle fasce economicamente e socialmente più svantaggiate, oltre ad assicurare una riduzione significativa degli impatti sull'ambiente.

Tutto ciò non porta a rinnegare i principi dell'Industria 4.0, piuttosto induce a interpretare quest'ultima come motore di sviluppo per innovare e rendere efficienti sia i processi interni alle imprese, sia i servizi offerti ai cittadini; il tutto attraverso l'attuazione di un modello di sviluppo responsabile fatto di sana competitività, sostenibilità e qualità della vita.

In tale contesto, il tema dell'economia circolare assume una declinazione più ampia, come più ampio diviene quello della resilienza dell'ambiente costruito alle catastrofi naturali; questi ambiti di ricerca si intrecciano e si arricchiscono con lo studio di materiali e tecnologie innovative e con la storia della costruzione. L'architettura diventa quindi campo di sperimentazione per offrire risposte alle istanze connesse alla emergenza ambientale, sociale ed economica, propria del nostro tempo.

I nuovi orizzonti dell'ingegneria e dell'architettura dovranno pertanto ispirarsi a principi di sostenibilità, a sostegno di un'edilizia alla portata di tutti e rigorosamente rispettosa del pianeta e dell'individuo. Il Convegno Colloqui.AT.e 2020 – *New Horizons for Sustainable Architecture*, è stata una occasione per approfondire gli argomenti correlati a tali tematiche, offrendo un luogo di discussione ai ricercatori e agli operatori della progettazione, della costruzione e della produzione nell'ambito dell'Ingegneria Edile e dell'Architettura. La manifestazione, che ha visto il coinvolgimento di quasi 300 studiosi, si svolge in seno alle attività programmate annualmente dall'Ar.

Tec., un'associazione senza scopo di lucro fondata per iniziativa di studiosi dell'architettura e delle tecniche dell'edilizia, con il fine di curare la diffusione delle conoscenze di settore presso le comunità scientifiche e le realtà imprenditoriali e produttive in esso impegnate.

Colloqui.AT.e 2020, che inizialmente doveva svolgersi a Catania dal 17 al 20 giugno 2020, è stato posticipato al 10 dicembre 2020, in modalità a distanza, a causa delle limitazioni imposte dall'emergenza pandemica in corso. La call for abstract è stata aperta nel novembre 2019 e ha raccolto 149 contributi, ripartiti in tre *topic*, ciascuno dei quali suddiviso, a sua volta, in cinque aree tematiche.

A_CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION:

1. Storia della costruzione
2. Strumenti e metodi per la conoscenza e la rappresentazione
3. Tecniche costruttive e prestazioni negli edifici esistenti
4. Recupero sostenibile del patrimonio moderno e pre-moderno
5. Gestione e valorizzazione economica del patrimonio costruito

B_CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE

1. Sostenibilità nell'innovazione di prodotto, di progetto e di processo
2. Digitalizzazione, robotica, industrializzazione a servizio della sostenibilità
3. Edilizia low-carbon e low-budget
4. Metodi e tecniche per il controllo e il monitoraggio prestazionale degli edifici
5. Materiali e tecniche costruttive non convenzionali

C_BUILDING AND DESIGN TECHNOLOGIES:

1. Principi e pratiche di sostenibilità per il riuso e la riqualificazione
2. Strumenti per la progettazione e gestione degli edifici
3. Progettazione integrata
4. Architetture per le emergenze
5. Processi partecipativi (di progetto e di costruzione)

Ciascun contributo è stato sottoposto ad una procedura di revisione anonima da parte di almeno due esperti del comitato scientifico. Si coglie l'occasione per ringraziare tutti i revisori, che hanno contribuito ad innalzare il livello qualitativo dei lavori del convegno, con commenti e suggerimenti attenti e puntuali. I contributi sono stati infine vagliati dai curatori del volume e dall'Editore.

Un ulteriore ringraziamento va indirizzato a tutti coloro che hanno contribuito alla riuscita dell'evento, ossia al direttivo dell'Ar.Tec., gli enti patrocinatori, agli sponsor, al comitato organizzatore e a tutti i partecipanti.

Catania, dicembre 2020

*Santi Maria Cascone
Giuseppe Margani
Vincenzo Sapienza*

C – BUILDING AND DESIGN TECHNIQUES



New Horizons for Sustainable Architecture

Più leggero del baffo di un gatto. Il Grafene: storia di un materiale innovativo

G. Di Mari^{1*}, E. Garda^{2*}, A. Renzulli^{3**}, M. Sgro^{4*}

^{1*} Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica – DISEG, Torino, giuliana.dimari@polito.it

^{2*} Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica – DISEG, Torino, emilia.garda@polito.it

^{3**} Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale – DICEA, Roma, alessandra.renzulli@uniroma1.it

^{4*} Politecnico di Torino, Torino, marco.sgro@studenti.polito.it

Abstract

Lo sviluppo tecnologico ha da sempre caratterizzato l'evoluzione e la ricerca volta al miglioramento delle condizioni di vita dell'uomo. Ogni epoca storica è stata identificata dall'utilizzo di un determinato materiale: età della pietra, del rame, del bronzo, del ferro, dell'acciaio fino all'odierna età del silicio. In uno scenario futuro il Grafene potrebbe essere il materiale che, sotto il punto di vista innovativo e sostenibile, contraddistinguerà la modernità.

Da quando nel 2010 *Andre Geim* e *Konstantin Novoselov* hanno ottenuto il premio Nobel per la Fisica, il Grafene è riconosciuto come la pietra filosofale tra i materiali innovativi. Forma allotropica del carbonio è costituito da uno strato monoatomico di conformazione esagonale, che conferisce leggerezza e robustezza al materiale. Presente in oggetti di uso quotidiano quali racchette, caschi e scarpe, risulta avere grandi potenzialità di applicazione in molteplici campi: dall'elettronica all'aeronautica, dalla medicina all'igiene, dal design all'edilizia. Per le sue proprietà innovative è stato infatti oggetto di studio per la realizzazione di protesi, di filtri per la desalinizzazione delle acque, oltre che per la produzione di acciai e calcestruzzi a più elevate prestazioni. Il crescente interesse nei confronti di questo materiale ha spinto alcune società europee ad approvare grandi progetti di ricerca come il *Graphene Flagship Project*, in cui la stessa Unione Europea ha investito per lo sviluppo di tecnologie e dispositivi. L'esperienza si è allargata con le aziende *Graphenea* e *BASF* con progetti di ricerca congiunti destinati allo sviluppo di applicazioni e prodotti innovativi.

Il seguente contributo presenta i risultati degli studi condotti nei diversi settori e si propone di indagare il determinante ruolo del Grafene nella società presente e futura, focalizzando l'attenzione sulla sua capacità di adattamento e d'ibridazione nei contesti descritti.

1. Il materiale delle meraviglie: il Grafene

Leggerezza, robustezza, flessibilità, trasparenza, elevata conducibilità elettrica sono alcune delle caratteristiche che rendono il Grafene il “materiale delle meraviglie” [1]. Per comprendere a pieno le proprietà di tale materiale si può semplicemente immaginare di trovarsi in un giardino e notare in lontananza un’ipotetica amaca di 1 m² legata a due alberi. Nell’avvicinarsi si potrebbe scorgere un gatto di circa 4 kg appollaiato su di essa. Se l’amaca fosse interamente realizzata in Grafene risulterebbe pressoché invisibile ai nostri occhi, ma riuscirebbe comunque a sostenere il gatto senza rompersi, nonostante pesi meno di un suo singolo baffo. La percezione che si avrebbe appena arrivati nel giardino sarebbe quindi legata alla visione di un gatto che fluttua tra due alberi. Tutto questo risulta essere possibile in quanto il Grafene è costituito da uno strato monoatomico di atomi di carbonio ibridati sp², che formano una struttura organizzata con una geometria esagonale a nido d’ape. Come avviene in natura, tale struttura conferisce nella sua semplicità geometrica una particolare stabilità al materiale. L’unità fondamentale esagonale è ripetuta per un numero variabile di volte, tali da formare una struttura planare di dimensioni comprese tra i 10 μm e i 30 μm chiamata ‘foglio’. Al suo interno gli elettroni sono indotti a muoversi bidimensionalmente lungo tutto il reticolo e risultano pertanto associabili a neutrini elettricamente carichi [2].

Il Grafene è un materiale della nostra quotidianità, nonostante la sua presenza non sia ancora del tutto manifesta ai più. Lo ritroviamo infatti in oggetti di uso comune quali racchette da tennis, scarpe, caschi da sport o da lavoro, ma è anche interessante considerare che chiunque abbia usato una normale matita ha probabilmente prodotto strutture simili al Grafene senza saperlo. La mina della matita infatti contiene grafite che, quando viene utilizzata su un foglio di carta, si divide in sottili strati che permangono sullo stesso. Una piccola parte dei tratti tracciati sarà costituita da un singolo strato di grafite, ovvero dal Grafene [3].

La difficoltà della scoperta del Grafene è da attribuire non tanto alla reperibilità del materiale, quanto alla possibilità di isolare singoli fogli sufficientemente grandi per identificarlo e verificarne la sua unicità bidimensionale. A evidenziare le sue molteplici qualità è stata la comunità dei fisici della *Royal Swedish Academy of Sciences*, quando ha conferito valore alla sua scoperta premiando Andre Geim e Konstantin Novoselov con il premio Nobel nel 2010. A destare stupore è stato proprio il fatto che, sebbene sia sempre stato noto che la grafite è composta da fogli esagonali di carbonio sovrapposti, si credeva che un singolo strato non potesse essere prodotto in forma isolata [4]. L’estrpolazione del foglio è stata ottenuta dal gruppo di Geim tramite esfoliazione meccanica o tecnica dello *scotch tape*. Questa tecnica, sviluppata dallo stesso gruppo, ha permesso di isolare uno strato di Grafene partendo dalla grafite pirolitica altamente orientata (HOPG). Con l’ausilio di un pezzo di nastro adesivo, da cui la tecnica prende il nome, si è proceduto alla rimozione del primo strato di grafite, solitamente ossidato e contaminato dall’esposizione con l’ambiente. Tale procedimento sarà ripetuto tante volte quante necessarie per ottenere il singolo layer di Grafene. La buona riuscita della tecnica è una conseguenza della debolezza dell’intensità della forza di legame (forza di *Van Der Waals*) tra un piano di Grafene e l’altro, che rende la grafite facilmente sfaldabile in direzione parallela al piano cristallino. Alla fine della procedura lo strato risultante sarà poi trasferito su di un wafer di silicio provvisto di uno strato di ossido di silicio [5]. Attualmente le tecniche di isolamento del Grafene sono numerose, ma quella prima descritta ga-

rantisce il miglior tipo di qualità cristallina e di purezza con le migliori caratteristiche elettriche e meccaniche per il materiale. Purtroppo però, questo metodo di lavorazione non è trasportabile su scala industriale e la dimensione dello strato ottenuto è dell'ordine dei micron, quindi straordinariamente piccolo.



Fig. 1. I premi Nobel Konstantin Novoselov e Andre Geim – © 2010, Rielaborazione degli autori.

Il metodo chimico

La tecnica maggiormente utilizzata è quindi il metodo chimico. La produzione del foglio di Grafene avviene per deposizione chimica: i cristalli di grafite sono trattati con una soluzione fortemente acida a base di acido solforico e nitrico. Vengono poi ossidati ed esfoliati fino ad ottenere cerchi di Grafene con gruppi carbossilici ai bordi. Mediante il trattamento con cloruro di tionile (SOCl_2), le molecole periferiche sono trasformate in cloruri acilici (alogenuri acilici composti da un acile e un atomo di cloro) e poi in ammidi. Il risultato è un cerchio di Grafene solubile in tetraidrofurano, tetraclorometano e dicloroetano [6].

Un team di ricercatori dell'Università di *Glasgow* è riuscito recentemente a ottenere la decomposizione chimica mediante l'utilizzo del vapore. È un procedimento che si basa sulla decomposizione di una serie di reagenti gassosi su di un substrato composto da materiali come nichel, rame e platino. Gli strati di Grafene ottenuti sui substrati risultano avere proprietà elettriche e ottiche migliori e, nello specifico caso del rame, il risultato ottenuto permetterebbe di ridurre anche i costi di produzione. A questo proposito, su "*Scientific Reports*" hanno dichiarato che con l'utilizzo di substrati in rame, nel caso in cui si consideri privo di trattamenti e tenendo conto che in commercio il costo di un singolo foglio si aggira intorno a un dollaro al m^2 , il costo totale si ridurrebbe di quasi 100 volte. Contrariamente, l'utilizzo di rame precedentemente trattato risulterebbe abbastanza esoso, dato che il prezzo si aggirerebbe intorno ai 115 dollari al m^2 [7].



Fig. 2. Tavola sinottica dei principali prodotti e applicazioni – © 2017, Graphene Flagship Project.

2. Scenari attuali e future applicazioni

«A cosa serve il Grafene? Non lo so. È come presentare un pezzo di plastica a un uomo di un secolo fa e chiedergli cosa ci si può fare. Un po' di tutto, penso» (Andre Geim) [8].

Diverse epoche storiche sono state identificate in relazione all'utilizzo di uno specifico materiale e il passaggio al nuovo ha richiesto centinaia di anni. Una domanda quindi sorge spontanea: considerando il Grafene come il materiale potenzialmente più innovativo e sostenibile del futuro, quanto tempo occorrerà prima che si possa inserire concretamente nella nostra realtà e riuscire a competere con i materiali tradizionali? Come ha espresso lo stesso Geim «Una volta scoperta una miniera d'oro, gli interventi da parte di varie aree di ricerca iniziano a moltiplicarsi e a farsi sempre più massicci. Quando ci mettiamo a pensare, noi esseri umani sappiamo essere piuttosto creativi. Mai avrei immaginato che entro il 2009-2010 si sarebbe già arrivati a produrre metri quadri di questo materiale. [...] Si parla di progressi estremamente rapidi.» In seguito alla sua scoperta infatti, questa miniera d'oro ha aperto orizzonti nel settore della ricerca e delle applicazioni in molteplici campi: dall'elettronica all'aeronautica, dalla medicina all'igiene, dal design all'edilizia. Con il passar del tempo infatti sono stati registrati consistenti incrementi nel numero di brevetti: come riporta Johan Rapp nel “La promessa del Grafene”, nel 2004 ne erano presenti solo 33, mentre alla fine del 2013 il numero era salito a oltre 5.000 [9]. La stessa Comunità Europea ha voluto stanziare fondi pari a un miliardo di euro per finanziare un progetto che coinvolge 23 paesi diversi e 150 gruppi di ricerca: il *Graphene Flagship Project*.

Il Graphene Flagship Project

Il *Graphene Flagship Project* è un progetto di ricerca europea sul Grafene, proiettato a raccogliere le migliori proposte per finanziare il percorso che porterà alla scoperta delle applicazioni più innovative da sviluppare. Il progetto ha un forte impatto sia sulla società che sulle industrie europee e, negli ultimi anni anche a livello internazionale ha registrato la nascita di diversi progetti di ricerca e di attività industriali attive nel campo, soprattutto negli Stati Uniti e in Asia. La ricerca scientifica a livello europeo è già in una fase avanzata, con risultati significativi ben dimostrati e riprodotti da diversi gruppi. Le principali applicazioni del Grafene hanno diversi anni di vita, il che significa che l'Europa gioca un ruolo importante in questa rivoluzione tecnologica ancora oggi in corso. Una delle nazioni che maggiormente ha collaborato e si è distinta nel campo della ricerca e dell'applicazione di prodotti a base di Grafene è l'Italia, che tuttora porta avanti progetti molto innovativi all'interno del *Graphene Flagship Project* e non solo [10].

Svariati sono i campi d'applicazioni in cui il *Graphene Flagship Project* ha iniziato a fare ricerca e in cui sono riusciti ad avere i primi risultati. In campo energetico, il Grafene è un materiale che si presta facilmente alla realizzazione di celle solari, celle a combustibile, di batterie e di supercondensatori. Le celle solari basate sulla struttura della Perovskite, per esempio, hanno un'elevata efficienza energetica e sono molto performanti per piccole superfici. Con l'integrazione del Grafene e dei suoi derivati, i ricercatori della *Graphene Flagship* hanno realizzato celle solari per grandi superfici con prestazioni superiori. Le caratteristiche di leggerezza, stabilità chimica, elevata flessibilità meccanica e elevata conducibilità elettrica sono proprietà determinanti per la

produzione e l'immagazzinamento di energia. Un esempio? Le batterie a base di Grafene, in cui la durata del ciclo di vita, la capacità energetica e la percentuale di carica è superiore a quelle agli ioni di litio. In particolare, il progetto *Graphene Enabled High-Energy Batteries for Automotive Applications* (GreenBAT) utilizza batterie con aggiunta di Grafene per automobili elettriche che, oltre a essere più facilmente smaltibili, avrebbero una vita utile pari a 450.000 chilometri, pari a due cicli di vita di un'autovettura standard.

Poi per le sue caratteristiche di flessibilità e robustezza ed essendo un foglio di ridotto spessore altamente conduttivo, il Grafene è molto utile anche nel settore dell'elettronica: può contribuire a migliorare le tecnologie dei chip e quelle incentrate sulla realizzazione di tecnologie wireless. Sono stati infatti già costruiti i primi prototipi di antenne flessibili per la comunicazione a corto raggio.

Risulta anche essere ideale per la realizzazione di sensori grazie alla sua elevata conducibilità elettrica e termica, all'ampia superficie che riesce a ricoprire, oltre che per le sue proprietà ottiche uniche. Numerosi sono i sensori a cui si fa riferimento: rilevatori di gas chimici, d'inquinamento ambientale, di pressione e delle sollecitazioni, per terminare con quelli utilizzati nel campo della biologia che sono destinati al rilevamento di molecole quali glucosio, colesterolo, emoglobina. Con il Grafene, i sensori sarebbero non solo ultra-sensibili, più piccoli e più leggeri, ma anche meno costosi dei sensori tradizionali. Recenti ricerche hanno dimostrato che il Grafene può essere incorporato con polimeri per realizzare sensori elettromagnetici con prestazioni più elevate. Anche nel campo medico-sanitario quindi assume una notevole rilevanza in quanto permette di trovare nuove soluzioni più efficaci e meno costose per la prevenzione e la cura delle malattie. È un materiale che sta aprendo la strada a nuove diagnosi e trattamenti medici specifici: la sua elevata estensione superficiale, la libertà di movimento degli elettroni, considerabili come neutrini, sono tutte condizioni favorevoli per l'applicazione in tale campo.

In aggiunta il Grafene con le sue caratteristiche di resistenza, isolamento, conducibilità, flessibilità e leggerezza, può solo migliorare le prestazioni di materiali già sul mercato, ma anche permettere di sfociare in nuovi campi di applicazione come avviene nel caso dei materiali compositi ultrasensibili e ultra leggeri e quelli utilizzati per rivestimenti.

Il Grafene può svolgere un ruolo chiave quindi anche per l'industria automobilistica, aerospaziale e delle costruzioni, dove può essere utilizzato per migliorare le proprietà dei pannelli delle automobili, dei parafanghi aerospaziali o del calcestruzzo. Per il settore aerospaziale, infatti un team del *Graphene Flagship Project* ha creato un prototipo dell'involucro di un *Airbus A350* all'avanguardia rendendo più sottile e leggero, la cui realizzazione e successivo utilizzo andrebbe a ridurre anche i costi, il carburante e le emissioni CO₂. Nel settore dei rivestimenti invece il materiale è utilizzato come additivo per gli intonaci o per ridurre la corrosione degli elementi metallici delle navi. In più l'elevata conducibilità e flessibilità del Grafene lo rende perfetto anche come un additivo per la termoformatura delle materie plastiche.

Il materiale delle meraviglie ha portato importanti innovazioni anche nel settore del design, dove è stato adoperato per le realizzazioni di accessori tecnologici da affiancare o integrare all'interno di orologi digitali, occhiali, capi di abbigliamento, etc. Non solo gadget fashion, ma anche molto utili per il controllo dei parametri vitali e delle condizioni ambientali esterne: di tale progetto sono

stati sviluppati numerosi prototipi soprattutto per quanto riguarda i dispositivi di analisi strumentali in campo medico [11].

È un futuro che si mostra alla portata di tutti grazie alla varietà dei prodotti nei relativi campi di applicazione, ai recenti progressi tecnologici e soprattutto alla continua dedizione alla ricerca che il *Graphene Flagship Project* promuove su questo tipo di materiale.



Fig. 3. Scenari attuali e future applicazioni del Graphene Flagship Project – © 2014, Rielaborazione degli autori.

Le partnership del Graphene Flagship Project: Graphenea e BASF

La natura collaborativa del progetto si manifesta nei progressi ottenuti sul campo tecnologico grazie alle ricerche teoriche e sperimentali portate avanti dai ricercatori e frutto della sinergia creatasi con diversi partner. Le collaborazioni intraprese sono numerose, ma due sono quelle più performanti, quelle con le aziende *Graphenea* e *BASF*.

Graphenea è una società che investe nel settore tecnologico dal 2010. Come si evince dallo stesso nome, è uno dei produttori leader di Grafene a livello mondiale. È stato uno dei primi partner aziendali ad aderire al programma *Graphene Flagship*, collaborando a stretto contatto sin dall'inizio. *Graphenea* ha avuto grande successo nel commercializzare il Grafene: attraverso la ricerca e l'innovazione sono state introdotte sul mercato i *CVD Graphene films*, i chip *Graphene Field-Effect-Transistors* (GFETs), i *Graphene Foundry Services* (GFAB) e i prodotti a base di ossidi di Grafene. Nel 2013 la società ha ricevuto un investimento da *Repsol* che ha permesso di estendere la ricerca al fine di ampliare l'applicazione in campo tecnologico, supportandola come azienda nella sua crescita e consentendole di mantenere la sua leadership internazionale nel settore della produzione del Grafene. [12] L'innovazione introdotta da questa azienda consiste nel colmare il divario tra la ricerca di laboratorio e la produzione commercializzata, tra ricerca accademica e produzione industriale. Amaia Zurutuza, direttore scientifico dell'azienda, ha osservato che la sola produzione standardizzata non è abbastanza: il Grafene può essere integrato all'interno dei prodotti in diversi scenari, al fine di garantire innovazione e sostenibilità. «Oggi ci stiamo concentrando non solo sulla produzione di Grafene, ma anche sullo sviluppo delle nostre capacità di lavorazione del materiale. La nostra partnership con la *Graphene Flagship* fornisce il supporto per contribuire a raggiungere questo obiettivo». Questo pensiero si è concretizzato attraverso la comprensione delle esigenze dei mercati e del panorama competitivo mondiale, fondamentale per il successo dell'azienda [13].

Nel 2014 nuovi partner entrano a far parte del *Graphene Flagship Project*, tra cui *BASF* un'altra azienda leader del settore chimico commerciale. *BASF* ha vissuto un crescente sviluppo nell'industria chimica dal 1946, raggiungendo un livello di competenza tecnica e di potenziale manifatturiero fra i più alti al mondo. Col tempo ha acquisito sempre più rilevanza sul piano internazionale, diversificando i suoi ambiti con diverse specializzazioni industriali: prodotti chimici, prodotti di nobilitazione, catalizzatori e metalli preziosi per catalizzatori, prodotti per l'agricoltura, prodotti chimici per l'edilizia, lastre di polistirene estruso, vernici, poliuretani, specialità chimiche e polimeri, additivi per materie plastiche e prodotti chimici per la carta [14]. In questo quadro si inserisce il suo interesse per il materiale delle meraviglie, in cui ha ritrovato un grande potenziale d'investimento, come ha dichiarato il Dr. Andreas Kreimeyer, membro del Consiglio di amministrazione di *BASF* e direttore esecutivo della ricerca nel settore: «Siamo alle soglie di una nuova tecnologia trasversale che rivoluzionerà numerose applicazioni e aprirà la strada alle innovazioni. La corsa alla scoperta di future applicazioni di materiali a base di carbonio come il Grafene è in pieno svolgimento e vogliamo essere tra i primi a sfruttare questo potenziale». Per questo motivo l'azienda ha stanziato diversi fondi al *Graphene Flagship Project* per la ricerca e lo sviluppo in questo settore [15].

Oltre il Graphene Flagship Project

Sembra che numerose aziende si siano interessate alla realizzazione di prodotti a base di Grafene, alcune in collaborazione *Graphene Flagship Project*, altre in totale autonomia. In questo modo sono stati introdotti sul mercato prodotti tra i più diversificati: dalla pasta magica *Silly Putty* che, grazie all'aggiunta nel composto di base del materiale nanometrico, diventa un dispositivo sensibile alle pulsazioni cardiache [16], allo spray contro i morsi di zanzara, utile alleato per la pelle [17]; dai microfoni trentadue volte più sensibili del normale, in grado di captare onde fino a 11 kHz di frequenza [18], alla spugna più resistente dell'acciaio, che pulisce le acque sporche dal petrolio assorbendo gli inquinanti organici [19].

Di notevole interesse poi risultano le applicazioni in alcuni specifici campi quali quello del design, dell'edilizia e della medicina.

Il materiale delle meraviglie fa moda.

È per questo motivo che la *Vollebak*, una start-up britannica, ha progettato e realizzato un nuovo prototipo di giacca sportiva con questo materiale. In questo prodotto, lo strato di Grafene è accoppiato a uno di nylon ad alta resistenza, rende la giacca completamente reversibile a seconda delle necessità. Indossandola in un verso o nell'altro si otterranno prestazioni e risultati estetici differenti. Ad esempio, se la si mette con lo strato di Grafene rivolto verso l'interno, permetterà il riscaldamento del corpo distribuendo il calore in modo uniforme su tutta la superficie e agirà con un'azione totalmente impermeabile e traspirante [20].

Un altro esempio da riportare è quello della *Colmar*, colosso nel campo della moda e dell'abbigliamento tecnico, che ha deciso di puntare sul Grafene nel suo progetto "*Grafene Plus G+*". Il materiale è stato sia scelto per le sue uniche caratteristiche di termoregolazione, sia per la sua struttura perfetta costituita dalla maglia monoatomica esagonale. Infatti, per la speciale stampa costituita da esagoni, permetterebbe una migliore circolazione del sangue e garantirebbe la trasmissione uniforme del calore dalle zone più calde a quelle più fredde [21].

In medicina fa miracoli con i fogli nanotecnologici al Grafene per la formazione di un nuovo tessuto osseo.

I ricercatori della facoltà di medicina e chirurgia dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma, in collaborazione con esperti dell'Istituto dei sistemi complessi del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Isc-Cnr) di Roma, hanno sviluppato un progetto per la ricostruzione personalizzata di parti lesionate dello scheletro. I fogli di Grafene, funzionando come stampi in 3D su cui prende forma il nuovo osso, permettono di personalizzare il prodotto a seconda della forma che si vuole ottenere. L'uso di questi fogli in campo clinico potrebbe beneficiare anche delle naturali proprietà antibiotiche dell'ossido di Grafene. «Il potere antibiotico rappresenta, quindi, un ulteriore vantaggio di questo tipo di materiale», spiega il professor Papi, «Infatti oltre a controllare i processi osteogenici, il Grafene possiede anche una naturale attività antibatterica. Questo è particolarmente interessante perché uno dei problemi principali quando si inserisce in un organismo un materiale sintetico è l'insorgenza di infezioni post operatorie».

Gli esperti dell'Università Cattolica si sono resi conto che a seconda della 'figura' dello stampo impressa sul foglio di Grafene con il raggio laser, queste cellule staminali si depositano sul foglio formando un nuovo osso unidirezionalmente secondo il processo naturale di crescita. Più precisamente, laddove il laser ha inciso il foglio le staminali si accumulano e formano osso; laddove il foglio non è stato inciso dal laser, le staminali non si trasformano in cellule 'mature'.

Il laser, a differenza di trattamenti con agenti chimici, permette di 'disegnare' sulla superficie del foglio uno specifico profilo e modulare di conseguenza dove si avrà più materiale osseo [22].

In aggiunta, recenti ricerche del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) hanno dimostrato che il Grafene è anche un desalinizzatore potente ed economico, un vero e proprio setaccio molecolare. Ciò è consentito dalla sua perfetta struttura molecolare che impedisce il passaggio degli ioni sodio e cloro attraverso la creazione di fori di diverse dimensioni all'interno della maglia esagonale. È stato un metodo pensato in sostituzione a quello dell'osmosi inversa, una tecnica che presenta un grosso svantaggio: per la sua applicazione infatti è necessaria una notevole pressione dell'acqua, che richiede a sua volta una notevole quantità di energia. Nelle simulazioni realizzate, il Grafene nanoporoso si è dimostrato essere in grado di ottenere la desalinizzazione dell'acqua marina con un metodo centinaia di volte più efficiente delle tradizionali tecniche di osmosi inversa, ottenendo un risparmio energetico del 65% [23].

3. Il Grafene e l'edilizia

Con maggiore attenzione ai temi della sostenibilità e dell'abbattimento dell'impatto ambientale, il Grafene trova diverse applicazioni anche nel settore edile.

I prodotti sul mercato

Una tra le più grandi innovazioni giunge dal Regno Unito. La società inglese *Graphene Company* ha messo in commercio una nuova vernice in Grafene con molteplici proprietà, che prende il nome di *Graphenstone*. Composta dal 98% di calce e il 2% di Grafene garantisce un duplice

effetto come rivestimento per esterni: da un lato assorbe notevolmente l'anidride carbonica, dall'altro l'utilizzo comporta una riduzione del quantitativo di vernice necessario per ottenere una finitura resistente alla corrosione. Un litro di vernice è in grado di ricoprire 8 m² di superficie con sole due mani di pittura e tre taniche da 15 l di vernice sono in grado di assorbire più di 10 kg di CO₂, lo stesso quantitativo che viene assorbito da un albero 'adulto' di 250 kg in un anno. Oltre che per usi esterni, la vernice può essere utilizzata anche sulle superfici interne dove il calore verrà immagazzinato e propagato uniformemente in tutta la struttura mantenendo la temperatura interna costante.

La stessa *Graphene Company* ha avuto il merito di introdurre il materiale delle meraviglie anche nelle malte di calce. La linea di prodotti *Lime Mortar*, immessa sul mercato nel 2017, prevede infatti l'aggiunta del Grafene come additivo all'interno di un composto al 100% naturale. Costituita da una miscela di grasselli di calce aerea, con inerti composti da carbonato di calcio di purezza maggiore al 90%, rocce silicee e pigmenti inorganici, è ottenuta a partire da processi tradizionali di cottura in forno a legna volti a mantenere invariate le proprietà e le qualità che caratterizzano la malta di calce naturale. Rispetto alla tradizione però l'aggiunta del Grafene, oltre a fornire una maggiore plasticità e lavorabilità, durezza e resistenza nel tempo, rende la muratura anche permeabile al vapore acqueo. Presenta poi eccellenti capacità di adesione e di assorbimento della CO₂, riduce la formazione di crepe e agisce anche come repellente per gli insetti. Può essere impiegata inoltre su tutti quegli edifici che necessitano di consolidamento strutturale, di regolazione dell'umidità e di maggiore efficienza energetica (miglioria garantita dalle elevate caratteristiche di conducibilità termica del Grafene) [24].

Un altro caso interessante è quello del Superasfalto realizzato nel progetto EcoPave che ha coinvolto l'Università Bicocca, il Politecnico di Milano e l'azienda Iterchimica, leader mondiale negli additivi per l'asfalto. Di recentissima sperimentazione, i ricercatori hanno sviluppato un nuovo tipo di asfalto con un impatto ambientale minimo caratterizzato da extra-longevità, connessioni iperelastici e capacità di autosorregersi. Durante la fase di test è stato notato che, in termini di sostenibilità, la notevole resistenza meccanica del Grafene permette l'allungamento della vita utile del manto stradale con uno strato di asfalto minore. In aggiunta a questo prodotto lo stesso gruppo di ricerca sta portando avanti una sperimentazione sull'uso del Grafene anche per la realizzazione di vernici con elevata capacità di conduzione elettrica da integrare al Superasfalto, in modo da poter ricaricare i veicoli elettrici direttamente durante il transito [25]. Ed è proprio su tale progetto che l'Iterchimica insieme a *Directa Plus*, produttore e fornitore di prodotti a base grafenica, ha messo a punto il brevetto per il supermodificante a base di Grafene e plastica riciclata, il Gipave. Il prodotto mischiato agli altri materiali tradizionali è in grado di aumentare la durata (da 4-6 anni a 10), la resistenza (fino al 250% in più), l'economicità e l'eco-compatibilità del manto stradale. L'aggiunta del Grafene infatti conferisce all'asfalto elevata resilienza, un'ottima capacità di assorbire le perturbazioni e di resistenza sia ai grandi carichi ripetuti che agli elevati sbalzi di temperatura. Tali caratteristiche permettono che l'asfalto non si crepi e quindi evitano che si deformi. Una prima applicazione del prodotto è già stata realizzata a Roma in via Ardeatina nel novembre del 2019, dove sono stati sostituiti gli strati di usura e di binder. I risultati dei test condotti sul nuovo manto stradale hanno mostrato che, rispetto a un asfalto tradizionale, la pavimentazione

realizzata con Gipave ha una maggiore resistenza alla deformazione a parità di peso e sforzo applicato (+ 46% a 40°C). Inoltre, hanno mostrato un miglioramento della resistenza al passaggio di veicoli maggiore del 35%, oltre che un ormaiamento inferiore del 35% a 60°C. In seguito a tali risultati è partita a settembre dello stesso anno una seconda applicazione del prodotto sulla superstrada Milano-Meda che ha previsto il rifacimento di tutti e tre gli strati: base, usura e binder. I risultati saranno disponibili entro la fine del 2020 [26].

Da un'altra ricerca tutta italiana condotta dall'azienda leader Italcementi deriva un prodotto sorprendente e innovativo: il calcestruzzo intelligente al Grafene. Progetto avviato con la *Graphene Flagship* e presentato al *Mobile World Congress 2019*, la più importante fiera mondiale dedicata alla telefonia mobile e all'innovazione, prevede l'utilizzo del materiale delle meraviglie per la produzione di calcestruzzi che, grazie alle elevate caratteristiche di conducibilità elettrica, riscaldano pareti e pavimenti di un'abitazione. Sorprendente in quanto sembra che tale aggiunta non comprometta minimamente le caratteristiche di resistenza e fluidità del calcestruzzo. Con questo materiale quindi i ricercatori di Italcementi sono riusciti non solo a modificare il tipico comportamento isolante dei composti cementizi, permettendo il passaggio della corrente elettrica senza comprometterne le performance, ma hanno anche permesso, grazie alla trasformazione dell'energia elettrica in energia termica, che un sottilissimo strato di composto cementizio altamente conduttivo, posto al di sotto della pavimentazione o dell'intonaco, è in grado di offrire un sistema di riscaldamento poco invasivo ed efficace che incrementa il comfort abitativo e ottimizza gli spazi richiedendo poca manutenzione e contribuendo al risparmio energetico. La ricerca continua e in un futuro, non troppo lontano, tale calcestruzzo potrà essere utilizzato anche per il riscaldamento di superfici esterne, offrendo anche soluzioni anti-neve e anti-ghiaccio sicure ed *eco-friendly*. Nel prossimo futuro strade e piste ciclabili, rampe di autorimesse, moli e piste aeroportuali potranno essere ripulite da ghiaccio e neve senza bisogno di sale corrosivo e prodotti chimici antigelo, salvaguardando la sicurezza delle persone, la durabilità dei materiali e l'impatto sull'ambiente.

Di loro iniziativa è anche lo studio condotto per la realizzazione di applicazioni per il monitoraggio strutturale delle costruzioni: la conduttività del Grafene infatti fa in modo da poter monitorare sforzi, deformazioni e quadri fessurativi del calcestruzzo in tempo reale senza la necessità di appositi sensori aggiuntivi. Si tratta di soluzioni che permetteranno di intervenire tempestivamente nel caso di iniziali fenomeni di degrado delle infrastrutture, con grandi vantaggi dal punto di vista della durabilità delle opere.

Dal 2014 Italcementi è inoltre a capo di un progetto internazionale nato per sviluppare ulteriormente la proprietà disinquinante dei cementi fotocatalitici sempre a base di Grafene, in grado di aumentare l'efficacia del principio catalitico ed estenderne la sensibilità in condizioni di scarsa illuminazione. La ricerca ha portato nel 2017 alla registrazione di un brevetto in collaborazione con l'Università di Bologna e il *Technion– Israel Institute of Technology* (TRDF), partner di Italcementi nel progetto iniziale insieme all'*Eindhoven University of Technology* (TU/e). Oggi fanno parte del team di ricerca anche il *Cambridge Graphene Center* dell'Università di *Cambridge* (UCAM) e la *Technische Universität Dresden* (TUD) [27]. Per affrontare il problema del crescente inquinamento atmosferico nelle aree urbane, hanno dunque sviluppato un nuovo composito

costituito da Grafene accoppiato al biossido di titanio (TiO_2) con proprietà di fotodegradazione degli ossidi di azoto (NO_x) più potenti (fino al 70%) del solo biossido di titanio. Il nuovo materiale è stato realizzato tramite l'esfoliazione in fase liquida della grafite in presenza di nanoparticelle di biossido di titanio, usando solo acqua e pressione atmosferica. Il nanocomposito ottenuto sarà poi utilizzato sulla superficie dei materiali per rimuovere passivamente gli inquinanti dall'aria; applicato al calcestruzzo delle strade o sulle pareti degli edifici, le particelle inquinanti possono essere lavate via dalla pioggia o dal vento o pulite manualmente, praticando così lo *smog eating* [28].

Oltre al contributo offerto da Italcementi per l'introduzione del Grafene all'interno della miscela di calcestruzzo e per il confezionamento di prodotti proiettati a ridurre gli impatti ambientali e l'emissione di CO_2 , si inseriscono tra i contributi anche le ricerche svolte dai ricercatori della *Rice University* di *Houston* e della *C-Crete Technologies*. Questi ultimi infatti hanno ideato un nuovo processo di sintesi del Grafene, il *Flash Graphene*, volto a trasformare grandi quantità di rifiuti in fiocchi di Grafene. Il processo di formazione di tali fiocchi avviene in un reattore progettato appositamente che si riscalda rapidamente a 3.000 K. Al suo interno, grazie a tale innalzamento di temperatura, i rifiuti contenenti carbonio (rifiuti organici alimentari, il coke, i materiali plastici, gli scarti del legno e il biochar) vengono privati della componente gassosa. Questo processo va a costituire un punto di svolta non solo per la gestione dei rifiuti, ma anche per la formazione di calcestruzzi con prestazioni più elevate, con costi inferiori e capaci di ridurre l'inquinamento da NO_x . L'inserimento di *Flash Graphene* nell'impasto cementizio utilizzato per la produzione del calcestruzzo ha ottenuto risultati sorprendenti: lo 0,1% di tale prodotto potrebbe ridurre di un terzo l'impatto ambientale della fase di produzione, a tal punto da ridurre l'emissione annua di CO_2 fino all'8% [29]. Questi risultati hanno dimostrato che vi è la possibilità di produrre Grafene con metodi ancora più economici rispetto ai tradizionali.

Le sperimentazioni con l'ossido di Grafene (GO)

L'ossido di Grafene (GO) negli ultimi anni ha attirato grande attenzione per le sue caratteristiche ottiche (Schöche et al., 2017) [30], elettriche (Neyshtadt et al., 2015 [31]; Mahdiani et al., 2018 [32]), meccaniche (Wan et al., 2014) [33], chimiche (Gao, 2015 [34]; Safardoust-Hojaghan e Salavati-Niasari, 2017 [35]) e termiche (Yuan et al., 2014) [36].

L'introduzione dell'ossido all'interno dei composti cementizi ha indotto ricercatori di tutto il mondo a scoprirne le numerose proprietà.

Un primo studio è stato quello portato avanti da C. Lu, Z. Lu, Z. Li e C. K. Y. Leung nel quale i ricercatori hanno sperimentato come l'ossido di Grafene agisce sul comportamento meccanico degli *Strain Hardening Cementitious Composites* (SHCC), ovvero sui calcestruzzi a elevatissima duttilità. La sperimentazione ha verificato gli effetti dell'ossido sul materiale cementizio in termini di prestazioni meccaniche a compressione, trazione e flessione. I risultati meccanico-sperimentali ottenuti mostrano un evidente miglioramento del comportamento del materiale sotto sforzo: l'aggiunta dello 0,08% di GO ha portato a un aumento del 24,8% della resistenza a compressione, del 37,7% della resistenza a trazione (con deformazione finale invariata), l'80,6% della

resistenza a flessione e il 105% della tenacità alla frattura. L'ossido di Grafene conferisce inoltre una minore porosità al materiale, che ne accentua il miglioramento relativo al comportamento meccanico strutturale degli SHCC [37].

Un'altra testimonianza è riportata dalla sperimentazione svolta da N. T. K. Al-Saadi, A. Mohammed, R. Al-Mahaidi e J. Sanjayan. A. Mohammed e gli altri si soffermano su come si possano rinforzare le strutture esistenti in calcestruzzo, a esempio i ponti, durante la loro vita utile. Questo tipo di strutture sono esposte infatti a milioni di cicli ripetuti di carico per asse dovuti al continuo passaggio dei veicoli e tali sollecitazioni possono causare il crollo dell'infrastruttura ai limiti di carico al di sotto della resistenza statica finale. Dinanzi a queste problematiche, le strutture deteriorate possono essere riabilite in diversi modi: mediante l'utilizzo di rivestimenti in acciaio o in calcestruzzo, l'impiego di piastre d'acciaio legate esternamente, per sostituzione degli elementi degradati o tramite post-tensionamento esterno. Questi metodi tradizionali sebbene possano migliorare la capacità di resistenza e di rigidità delle strutture in calcestruzzo, aumentano di molto il carico permanente della struttura stessa e la loro installazione richiede molto tempo. In un'ottica di miglioramento non solo in termini di prestazioni del sistema strutturale, ma anche di ottimizzazione dei costi, si è indotti a ragionare su metodi e materiali alternativi che possano riparare o rafforzare gli elementi strutturali esistenti in calcestruzzo [38]. I materiali compositi fibrorinforzati (FRP), possono far al caso nostro. Alcuni studi hanno dimostrato che l'aggiunta dello 0,01- 0,03% di GO provoca un aumento della capacità a compressione di circa il 129% [39], mentre un'aggiunta dello 0,05% alla pasta cementizia può incrementare la resistenza a compressione di circa il 46% [40]; altri che l'aggiunta di ossido di Grafene può migliorarne la durata [41] e conferire una minore sorptività dell'acqua e un minore ingresso di cloruro nella matrice di cemento quando viene aggiunto uno 0,03% di GO [42]. Inoltre con l'introduzione dello 0,06% si può migliorare la resistenza al gelo e al disgelo dei composti cementizi senza riduzione delle resistenze meccaniche e limitare la carbonatazione rispetto alla miscela di riferimento. La nuova miscela cementizia sarà in grado di resistere agli sforzi meccanici fino a una temperatura di 800 °C [43].

A partire da queste considerazioni, Mohammed e gli altri ricercatori hanno inventato un innovativo adesivo cementizio autocompattante non polimerico ad alta resistenza (IHSSC-CA), prodotto con materiali cementizi con GO e alcuni additivi. I test hanno quindi dimostrato che l'utilizzo dell'ossido di Grafene all'interno di IHSSC-CA ha effettivamente migliorato la durata dell'adesivo cementizio, facendo sì da prolungare la durata di tutti i sistemi di rinforzo che utilizzano i FRP [38].

Il contributo offerto dai ricercatori W. Long, D. Zheng, H. Duan, N. Han e F. Xing dimostra invece come l'ossido di Grafene si connetta anche alle tematiche relative alla gestione economica e sostenibile dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) nei cantieri di tutto il mondo.

Negli ultimi anni l'Unione Europea ha calcolato una produzione annua di circa 850 milioni di tonnellate di rifiuti da C&D in Europa e già da tempo si è iniziato a ragionare su come questi scarti potessero essere riutilizzati come aggregati da riciclo all'interno delle miscele cementizie. Il prodotto finale però risultava essere più poroso rispetto ai calcestruzzi tradizionali (al punto da ri-

chiedere al composto un maggiore assorbimento d'acqua e un minore contenuto di umidità iniziale) e in più risultava avere legami più deboli tra gli aggregati riciclati e la matrice cementizia (con una conseguente riduzione delle proprietà meccanica dei compositi cementizi). Con la volontà di migliorare tali prestazioni, Long e gli altri hanno studiato il comportamento di diversi nanomateriali introdotti all'interno della miscela cementizia da riciclo, tra cui l'ossido di Grafene (GO). L'incorporazione di GO nel composto cementizio, con l'aggiunta degli aggregati riciclati fini, ha aumentato le caratteristiche del composto in termini di resistenza a flessione e a compressione al 28esimo giorno, rispettivamente del 19,2% e del 47,5%. Tali miglioramenti sono principalmente attribuibili al maggior contatto nella zona di transizione interfacciale tra la aggregato riciclato e la matrice cementizia. Il legame interfacciale tra aggregato fine riciclato e matrice cementizia è stato migliorato dunque grazie all'azione coesiva dei prodotti di idratazione abbinata all'effetto di riempimento dei nanofogli di ossido di Grafene, che ne ha comportato un incremento della durabilità dei compositi di cemento. I ricercatori hanno dimostrato che quest'ossido ha conferito maggiore resistenza alla struttura della pasta cementizia, in quanto, una volta introdotto nella miscela, ha riempito i pori presenti e ha accelerato il processo di idratazione [44].

Nello stesso studio inoltre hanno rilevato quanto i materiali da costruzione incidano sull'ambiente (oltre il 5% delle emissioni annuali di gas a effetto serra, misurate principalmente dalle emissioni di CO₂) e hanno valutato la domanda di energia primaria e le emissioni di gas serra, tenendo conto dell'impatto economico e ambientale dovuto al ciclo di vita del materiale. I ricercatori hanno dimostrato dunque che il materiale cementizio ottenuto da materiale da riciclo con aggiunta del GO ridurrebbe il 12% delle emissioni di gas serra e il 15% della domanda di energia primaria [45]. Questo tipo di prodotto è associabile quindi a un materiale verde in quanto in grado di apportare una riduzione netta in termini di impatti ambientali e di costi. L'utilizzo dell'ossido di Grafene nei composti cementizi ad aggregati fini riciclati ha portato dunque alla formazione di strutture a pori più densi, a una migliore distribuzione del vuoto, a una maggiore durata della loro vita utile, dimostrando di essere validi come materiali da costruzione in un'ottica di sostenibilità nel settore edile [44].

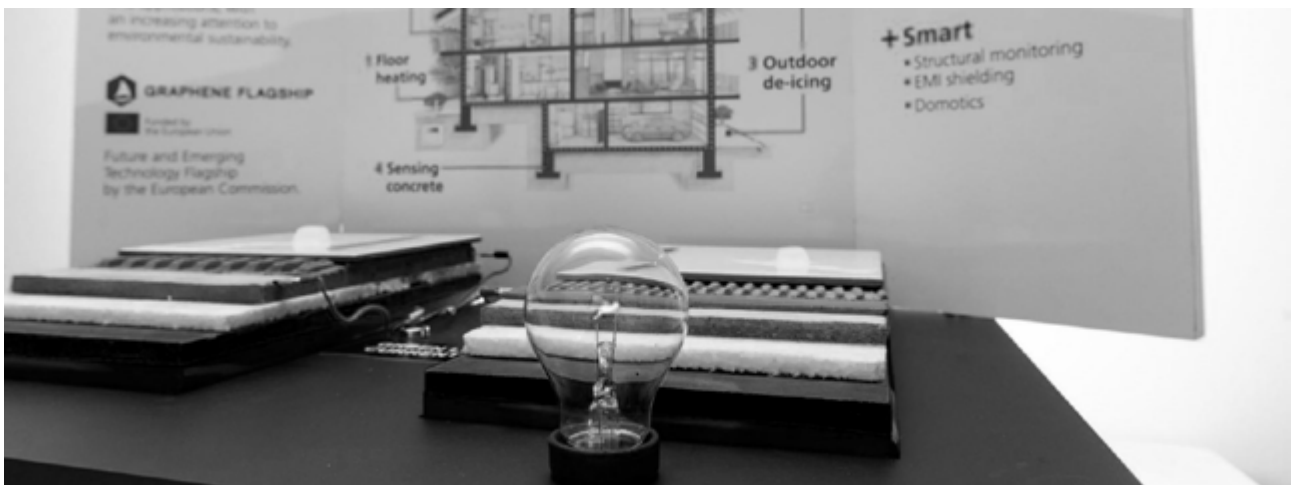


Fig. 4. Il grafene e l'edilizia – © 2019, Italcementi.

4. Conclusioni

Il Grafene è davvero il materiale delle meraviglie e il mondo scientifico l'ha capito ed è per questo che si sta battendo per mantenere alto il ritmo di ricerca e trarne maggiori vantaggi. È un materiale che condiziona e continuerà a condizionare lo scenario attuale e quello futuro nel settore della tecnologia in termini di sostenibilità e innovazione.

Potrebbe sembrar strano come in così poco tempo dalla scoperta, tale materiale abbia già permesso di poter utilizzare nuove batterie senza aver la necessità di cambiarle tanto frequentemente, di rivoluzionare il mondo dell'edilizia con nuovi tipi di cementi, con sistemi di riscaldamento delle abitazioni riducendo considerevolmente l'impatto dell'inquinamento ambientale, essendo in grado di assorbire l'anidride carbonica direttamente dai rivestimenti delle nostre abitazioni. Esempi come questi sono sicuramente possibili soprattutto grazie al principale ruolo assunto dal *Graphene Flagship Project* che ha stravolto e dato vita a nuove realtà nell'ambito della ricerca e dell'applicazione; il cui prioritario obiettivo, al di là della creazione di soluzioni applicabili nell'immediato, è quello di indirizzare nuovi scenari di ricerca verso lo sviluppo di tecnologie future volte al miglioramento delle nostre condizioni di vita.

Ciò che si sta scoprendo adesso avrà dei risvolti clamorosi solamente dopo decenni se non secoli dalla relativa scoperta: così è stato per le rivoluzioni scientifiche del passato e così sarà in futuro. Un detto popolare greco afferma che "l'anziano saggio planterà dei semi da cui prima o poi sbocceranno e cresceranno alberi sotto i quali, lui stesso, sa già che non potrà mai sedervisi" ed è proprio ciò che di più affascinante la scienza possa insegnarci e tramandarci: innovazione e scoperta devono attuarsi ora, consci del fatto che il maggior risvolto delle attuali invenzioni saranno il lascito sul quale lavoreranno le generazioni future.

Riferimenti bibliografici

- [1] Smith A. A Chip Off the Old Block. The Nobel Prize, 2010.
- [2] The Royal Swedish Academy of Science. Graphene. Stoccolma, Kungl. Vetenskaps Akademien, The Royal Swedish Academy Of Sciences, 2010.
- [3] <https://www.ecoseven.net/energia/biomasse/nel-Grafene-antenato-della-matita-il-futuro-della-tecnologia-e-dell-energia.html>
- [4] Geim A, Novoselov S. The rise of graphene. Nature Materials 6: 183-191, 2007.
- [5] Bae S, Kim H, Lee Y et al. Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes. Nature Nanotechnology 5: 574-578, 2010.
- [6] Wolf EL, Busetto R (a cura di). Grafene. Proprietà e applicazioni. Tecniche nuove, Milano, 2015.
- [7] <https://www.focus.it/tecnologia/innovazione/il-Grafene-super-economico>
- [8] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2010/press-release/>
- [9] https://www.sandvik.coromant.com/it-it/mww/Pages/INN_Graphene.aspx
- [10] <https://www.cnr.it/it/news/5805/il-progetto-flagship-Grafene-raddoppia-l-italia-in-prima-fila>
- [11] <http://graphene-flagship.eu/>

- [12] <https://www.graphenea.com/>
- [13] <https://graphene-flagship.eu/news/Pages/The-Graphene-Flagship-Means-Business.aspx>
- [14] <https://www.basf.com/ru/ru/media/news-releases/2012/09/p-12-416.html>
- [15] <https://graphene-flagship.eu/graphene-flagship-strengthens-industrial-base-with-new-strategic-advisors-and-leadership-team>
- [16] <https://graphene-flagship.eu/silly-putty-sensors>
- [17] <https://www.focus.it/scienza/scienze/uno-scudo-di-Grafene-contro-i-morsi-delle-zanzare>
- [18] <https://www.focus.it/tecnologia/innovazione/microfoni-al-Grafene>
- [19] <https://www.focus.it/ambiente/ecologia/il-Grafene-che-bonifica-un-alleato-contro-gli-sversamenti-di-idrocarburi>
- [20] <https://www.vollebak.com/product/graphene-jacket-1/>
- [21] <https://www.colmar.it/it-it/cms/index/stories/graphene>
- [22] Palmieri V, Barba M, Di Pietro L, Gentilini S, Braidotti MC, Ciancico C, Bugli F, Ciasca G, Larciprete R, Lattanzi W. Reduction and shaping of graphene-oxide by laser-printing for controlled bone tissue regeneration and bacterial killing. *IOP Science* 5: 2018.
- [23] Cohen-Tanugi D, Grossman JC. Water Desalination across Nanoporous Graphene. *American Chemical Society*: 2012.
- [24] <https://graphenstone.com/>
- [25] <https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2019/10/03/nella-smart-city-arriva-il-superasfaltoRScienze10.html?ref=search>
- [26] <https://iterchimica.it/?s=Gipave>
- [27] <https://www.italcementi.it/it/il-cemento-al-Grafene-che-conduce-lelettricit -e-puo-riscaldare-le-case-al-mobile-world-congress>
- [28] Guidetti G, Pogna EAA, Lombardi L, Tomarchio F, Polishchuk I, Joosten RRM, Ianiro A, Soavi G, Sommerdijk NAJM, Friedrich H, Pokroy B, Ott AK, Goisis M, Zerbetto F, Falini G, Calvaresi M, Ferrari AC, Cerullo F, Montalti M. Photocatalytic activity of exfoliated graphite–TiO₂ nanoparticle composites. *Nanoscale* 4: 2019.
- [29] Luong DX, Bets KV, Algozeeb WA, Stanford MG, Kittrell C, Chen W, Salvatierra RV, Ren M, McHugh EA, Advincula PA, Wang Z, Bhatt M, Guo H, Mancevski V, Shahsavari R, Yakobson BI, Tour JM. Gram-scale bottom-up flash graphene synthesis. *Nature* 577: 647-651, 2020.
- [30] Sch chea S, Honga N, Khorasaninejad M, Ambrosio A, Orabona E, Maddalena P, Capasso F. Optical properties of graphene oxide and reduced graphene oxide determined by spectroscopic ellipsometry. *Applied Surface Science* 421: 778-782, 2017.
- [31] Neyshtadt S, Kriegel I, Rodríguez-Fernández J, Hug S, Lotschbcd B, Da Como E. Electronically coupled hybrid structures by graphene oxide directed self-assembly of Cu_{2-x}S nanocrystals. *Nanoscale* 15: 2015.
- [32] Mahdiani M, Soofivand F, Ansari F, Salavati-Niasari M. Grafting of CuFe₁₂O₁₉ nanoparticles on CNT and graphene: Eco-friendly synthesis, characterization and photocatalytic activity. *Journal of Cleaner Production* 176: 1185- 1197, 2018.

- [33] Wan YJ, Tang LC, Gong LX, Yan D, Li YB, Wu LB, Jiang JX, Lai GQ. Grafting of epoxy chains onto graphene oxide for epoxy composites with improved mechanical and thermal properties. *Carbon* 69: 467-480, 2014.
- [34] Gao W. *Graphene Oxide. Reduction Recipes, Spectroscopy, and Applications*. Springer, Berlin, 2015.
- [35] Safardoust-Hojaghan H, Salavati-Niasari M. Degradation of methylene blue as a pollutant with N-doped graphene quantum dot/titanium dioxide nanocomposite. *Journal of Cleaner Production* 148: 31-36, 2017.
- [36] Yuan B, Bao C, Song L, Hong N, Liew KM, Hu Y. Preparation of functionalized graphene oxide/polypropylene nanocomposite with significantly improved thermal stability and studies on the crystallization behavior and mechanical properties. *Chemical Engineering Journal* 237: 2014.
- [37] Lu C, Lu Z, Li Z, Leung CKY. Effect of graphene oxide on the mechanical behavior of strain hardening cementitious composites *Construction and Building Materials* 120: 457-464, 2016.
- [38] Al-Saadi NTK, Mohammed A, Al-Mahaidi R, Sanjayan J. A state-of-the-art review: Near surface mounted FRP composites for reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials* 209: 748-769, 2019.
- [39] Lu S, Liu J, Sun T, Ma Y, Zhou Q. Effect of GO nanosheets on shapes of cement hydration crystals and their formation process, *Construction and Building Materials* 64: 231-239, 2014.
- [40] Chuah S, Pan Z, Sanjayan JG, Wang CM, Duan WH. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide. *Construction and Building Materials* 73: 13-124, 2014.
- [41] Mohammed A, Sanjayan JG, Duan WH, Nazari A. Incorporating graphene oxide in cement composites: a study of transport properties. *Construction and Building Materials* 84: 341-347, 2015.
- [42] Mohammed A, Sanjayan JG, Nazari A, Al-Saadi TKN, Duan WH. Graphene oxide as additive to replace using air-entraining agents, *ACI Material Journal* 144: 2017.
- [43] Mohammed A, Sanjayan JG, Nazari A, Al-Saadi TKN. Effects of graphene oxide in enhancing the performance of concrete exposed to high temperature. *International Journal of Civil Engineering*. 15: 61-71, 2017.
- [44] Long WJ, Zheng D, Duan HB, Han N, Xing F. Performance enhancement and environmental impact of cement composites containing graphene oxide with recycled fine aggregates. *Journal of Cleaner Production* 194: 193-202, 2018.
- [45] Duan H, Wang J, Huang Q. 2015. Encouraging the environmentally sound management of C&D waste in China: an integrative review and research agenda. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 43, 611-620.

