



## Terracuda e Nanotecnologie

Già con il Programma di Ricerca Nazionale PRIN 2006, dall'Unità di Ricerca UR/1, che fa capo all'Università degli Studi di Palermo, era stata affrontata la ricerca sui materiali compositi nanostrutturati, mirati al recupero e alla conservazione del patrimonio architettonico. E con Alberto Sposito, co-ordinatore nazionale e responsabile di una Unità di Ricerca, erano l'Unità chimico-fisica di Palermo e l'Unità che faceva capo all'Università di Messina. Con i fondi assegnati da tale PRIN l'Unità di Palermo ha organizzato nel 2009 il I Convegno Internazionale dal titolo *Nanotech for Architecture: innovative Technologies, Techniques and nanostructured Materials*, i cui atti sono stati pubblicati da Luciano Editore (2009). Inoltre, lo stesso anno e con gli stessi tipi sono state pubblicate le risultanze della ricerca con il titolo *Nanotecnologie & Nanomateriali per l'Architettura*. A tale PRIN ha fatto seguito quello del 2008, dal titolo *Terra cruda e Nanotecnologie: Tradizione, Innovazione e Sostenibilità*, di cui qui sono riportate le risultanze della ricerca. Dopo l'introduzione che presenta il progetto di ricerca, nella Prima Parte seguono le relazioni di Maria Luisa Germanà, Cesare Sposito, Giuseppe De Giovanni e Antonino Guglielmino. Nella Seconda Parte sono riportate gli esperimenti e diverse considerazioni fatte dal gruppo dei chimici coordinati da Stefana Milioto, dagli architetti Francesca Scalisi, Carmelo Cipriano e Salvatore Pitruzzella e dall'Ingegnere Teotista Panzeca. In ultimo Alberto Sposito traccia alcune valutazioni finali e indica delle tracce di ricerca.

*In copertina:* l'antica Città di Shibam, costruita in terracuda dal sec. XVI nello Yemen, Patrimonio dell'Umanità.

Terracuda e Nanotecnologie a cura di F. Scalisi e C. Sposito

# TERRACUDA E NANOTECNOLOGIE

## TRADIZIONE, INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ

a cura di

Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Alberto Sposito con i contributi di  
Giuseppe Cavallaro, Carmelo Cipriano, Giuseppe De Giovanni,  
Maria Luisa Germanà, Antonio Guglielmino, Giuseppe Lazzara,  
Stefana Milioto, Teotista Panzeca, Daniela Piazzese, Salvatore  
Pitruzzella, Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Francesca Scalisi, architetto e Dottore di Ricerca in *Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi*, è stata titolare di Assegno di Ricerca sul tema *Sperimentazione dei materiali nanostrutturati nei siti archeologici di Agrigento, Morgantina e Villa Romana del Casale*, presso l'Università degli Studi di Palermo. Già docente di *Progettazione dei sistemi costruttivi* e di *Elementi e materiali dell'Architettura* presso la Facoltà di Architettura di Palermo, svolge da anni attività di ricerca sui temi delle nanotecnologie applicate ai Beni Culturali e alle nuove costruzioni, dell'architettura bioclimatica e del rapporto tra nanotecnologie e risparmio energetico. Ha pubblicato varie monografie, tra cui: *Nanotecnologie per gli edifici: Innovazione tecnologica e nuovi materiali per le costruzioni* (2010) e *Tecnologie per il risparmio energetico degli edifici* (2011).

Cesare Sposito, architetto, svolge attività di ricerca nell'ambito della cultura architettonica, sul tema del recupero e della fruizione, con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale e ai materiali innovativi. Ricercatore e docente del *Laboratorio di Costruzioni I* presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Palermo, già Dottore di Ricerca in *Recupero del Patrimonio Edilizio ed Ambientale*, docente di *Progettazione dei Sistemi Costruttivi* e di *Tecnologia dell'Architettura*, è componente della Società Italiana di Tecnologia dell'Architettura (SITdA). Ha pubblicato varie monografie su questioni tecnologiche, tra cui i volumi: *L'Anfiteatro romano di Catania: conoscenza, recupero e valorizzazione* (2003), *Le Tommare: storia e architettura* (2007), *Suite d'Autore: architettura, design e tecnologia per una moderna cultura dell'ospitalità* (2008), *Architettura Sistemica: materiali ed elementi costruttivi* (2011), *I siti archeologici: dalla definizione del valore alla protezione della materia* (2012), *Sul recupero delle aree industriali dismesse* (2012).



euro 24,00

ISBN 978-88-548-6044-5



9 788854 860445



## ESEMPI DI ARCHITETTURA

*Direttore*

Olimpia Niglio

Kyoto University, Japan

*Comitato scientifico*

Taisuke Kuroda

Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan

Rubén Hernández Molina

Universidad Nacional, Bogotá, Colombia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Pastor Alfonso Sánchez Cruz

Revista Horizontes de Arquitectura, Mexico

Alberto Sposito

Università degli Studi di Palermo

Karin Templin

University of Cambridge, Cambridge, UK

*Comitato di redazione*

Giuseppe De Giovanni

Università degli Studi di Palermo

Marzia Marandola

Sapienza Università di Roma

Mabel Matamoros Tuma

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana, Cuba

Alessio Pipinato

Università degli Studi di Padova

Bruno Pelucca

Università degli Studi di Firenze

Chiara Visentin

Università degli Studi di Pisa, Campus di Lucca

## ESEMPI DI ARCHITETTURA

La collana editoriale Esempi di Architettura nasce per divulgare pubblicazioni scientifiche edite dal mondo universitario e dai centri di ricerca, che focalizzino l'attenzione sulla lettura critica dei progetti. Si vuole così creare un luogo per un dibattito culturale su argomenti interdisciplinari con la finalità di approfondire tematiche attinenti a differenti ambiti di studio che vadano dalla storia, al restauro, alla progettazione architettonica e strutturale, all'analisi tecnologica, al paesaggio e alla città.

Le finalità scientifiche e culturali del progetto EDA trovano le ragioni nel pensiero di Werner Heisenberg Premio Nobel per la Fisica nel 1932.

... È probabilmente vero, in linea di massima, che nella storia del pensiero umano gli sviluppi più fruttuosi si verificano spesso nei punti d'interferenza tra diverse linee di pensiero. Queste linee possono avere le loro radici in parti assolutamente diverse della cultura umana, in diversi tempi ed in ambienti culturali diversi o di diverse tradizioni religiose; perciò, se esse veramente si incontrano, cioè, se vengono a trovarsi in rapporti sufficientemente stretti da dare origine ad un'effettiva interazione, si può allora sperare che possano seguire nuovi ed interessanti sviluppi.

Publicazione realizzata con Fondi del Programma di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale PRIN anno 2008.

Titolo del Programma:

NANOTECNOLOGIE PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE: I MATTONI IN TERRACRUDA.  
*NANOTECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE: THE BRICKS IN UNFIRED CLAY.*

Titolo del Volume:

TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE: TRADIZIONE, INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ.  
*UNFIRED CLAY AND NANOTECHNOLOGIES: TRADITION, INNOVATION, SUSTAINABILITY.*

Coordinatore Scientifico:

Prof. Arch. Alberto Sposito

# TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE

Tradizione, Innovazione, Sostenibilità

*a cura di*

Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Alberto Sposito *con i contributi di*  
Giuseppe Cavallaro, Carmelo Cipriano,  
Giuseppe De Giovanni, Maria Luisa Germanà,  
Antonino Guglielmino, Giuseppe Lazzara, Stefana Milioto,  
Teotista Panzeca, Daniela Piazzese, Salvatore Pitruzzella,  
Francesca Scalisi e Cesare Sposito



© by Alberto Sposito  
Dipartimento di Architettura  
Università degli Studi di Palermo

Copyright © MMXIII  
ARACNE editrice S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Raffaele Garofalo, 133/A-B  
00173 Roma  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-6044-5

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: maggio 2013

## Sommario

<i>Presentazione</i> . . . . .	9
<i>Presentation</i> . . . . .	10
FRANCESCA SCALISI e CESARE SPOSITO	

<i>Introduzione</i>	
Il progetto di ricerca PRIN 2008 . . . . .	II
<i>The Research Project PRIN 2008</i> . . . . .	27
ALBERTO SPOSITO	

### PARTE PRIMA – *Terracruda e nanotecnologie*

Terracruda in Sicilia: dal Patrimonio Architettonico alle potenzialità contemporanee. . . . .	49
MARIA LUISA GERMANÀ	

Architettura in terra. . . . .	61
CESARE SPOSITO	

Le nanotecnologie per l'architettura . . . . .	75
GIUSEPPE DE GIOVANNI	

Costruire con la terra. . . . .	89
ANTONINO GUGLIELMINO	

### PARTE SECONDA – *Gli esiti della ricerca*

Correlazioni struttura-proprietà di materiali compositi nanoargilla/biopolimero . . . . .	101
GIUSEPPE CAVALLARO, GIUSEPPE LAZZARA, STEFANA MILIOTO, DANIELA PIAZZESE	

Le modalità di esecuzione dei mattoni in terracruda . . . . .	111
FRANCESCA SCALISI	



Prove di resistenza a compressione e a flessione dei campioni in terracuda . . . . .	137
FRANCESCA SCALISI	
Valutazioni sulla resistenza dei campioni nanostrutturati. . . . .	153
TEOTISTA PANZECA	
Prove di durabilità e di resistenza meccanica sui mattoni in terra cruda nanostrutturati. . . . .	157
CARMELO CIPRIANO	
Simulazione delle caratteristiche termofisiche di mattoni in terracuda con nanodischi di argilla con il metodo degli elementi finiti e loro applicazioni . . . . .	169
SALVATORE PITRUZZELLA	
Caratterizzazione acustica di mattoni in terracuda addizionati con nanodischi di argilla . . . . .	197
SALVATORE PITRUZZELLA	
<i>Conclusioni</i> . . . . .	213
<i>Conclusions</i> . . . . .	221
ALBERTO SPOSITO	
<i>Bibliografia</i> . . . . .	235

# Le nanotecnologie per l'architettura

GIUSEPPE DE GIOVANNI\*

*ABSTRACT – As a new way of approaching the utilization of the resources of this planet earth, the Author proposes baked earth as a natural, ecological and widely available building material, accessible everywhere and to everybody; starting from the Manifesto for the Right to Build with Baked Earth, the Author cites several examples of contemporary architecture built from this material.*

La nanotecnologia, grazie alla possibilità di manipolare la materia alla scala nanometrica, viene ritenuta in grado d'innescare una nuova rivoluzione industriale. A tale scala la materia si comporta in maniera diversa rispetto alla macroscale: gli oggetti possono cambiare colore e forma molto più facilmente, proprietà fondamentali come forza, rapporto superficie-massa, conducibilità ed elasticità possono essere migliorate per creare materiali in grado di offrire prestazioni superiori rispetto a quelle attuali. Le possibilità offerte dalla nanotecnologia investono i settori più disparati, dall'elettronica alla medicina, dall'energia all'aeronautica, solo per citarne alcuni; tra questi quello edilizio viene considerato come una promettente area di applicazione della nanotecnologia. Le notevoli modifiche ai materiali e di conseguenza ai processi costruttivi indicano che la nanotecnologia può offrire una innovazione radicale e sistemica nell'Architettura; quando, se e come gli operatori del settore, architetti, ingegneri, ricercatori, costruttori e produttori, abbracceranno tale innovazione, essi determineranno il futuro della pratica architettonica.

In ambito architettonico l'avvento di materiali nanostrutturati interessa l'edificio nella sua totalità, dalla struttura ai rivestimenti, dall'illuminazione alla produzione di energia e, cosa molto importante, viene considerato determinante per l'efficienza energetica degli edifici. La nanotecnologia offre nuovi mezzi tecnologici con cui affrontare i cambiamenti climatici e contribuire a ridurre le emissioni di gas serra nel prossimo futuro. La prima fase del protocollo di Kyoto è terminata nel 2012 e le emissioni di CO<sub>2</sub> di tutto il mondo dovranno essere di-

\* Giuseppe De Giovanni è Professore Ordinario di *Tecnologia dell'Architettura* all'Università degli Studi di Palermo e Coordinatore del Corso di Studio in Architettura, sede distaccata di Agrigento.

mezzate entro il 2050. L'efficienza energetica delle costruzioni è quindi indispensabile, in particolare in quanto le costruzioni sono uno dei maggiori produttori di emissioni di CO<sub>2</sub>. Così gli architetti sono chiamati a ricercare soluzioni innovative per rallentare il cambiamento climatico, combinando le esigenze abitative con l'efficienza energetica.

Analizziamo ora di seguito e nel dettaglio le caratteristiche che alcuni materiali presentano con l'introduzione delle nanotecnologie e che nel prossimo futuro potrebbero caratterizzare le nostre abitazioni, anche se per molti di essi l'impiego è già una realtà consolidata. Iniziamo con il calcestruzzo, uno dei materiali più impiegati al mondo. Ogni anno viene prodotta circa una tonnellata di calcestruzzo per ogni essere umano (circa sei miliardi di tonnellate l'anno), rilasciando nell'atmosfera 1,3 tonnellate di CO<sub>2</sub> per ogni tonnellata di cemento prodotto.

In tutto il mondo, la produzione di cemento genera oltre 1,6 miliardi di tonnellate di carbonio, che rappresentano oltre l'8% delle emissioni totali di anidride carbonica. Anche i rifiuti sono considerevoli, dato che il calcestruzzo rappresenta i due terzi dei rifiuti delle demolizioni, con solo il 5% attualmente riciclati<sup>2</sup>. L'introduzione della nanotecnologia concorrerà a migliorare le prestazioni del calcestruzzo e a ridurre il consumo di energia; l'aggiunta di nanoparticelle, ad esempio, può contribuire a migliorare la sua durabilità del calcestruzzo attraverso il riempimento dei pori<sup>3</sup>, così come l'introduzione di nanotubi di carbonio può migliorarne significativamente la resistenza, avendo essi il potenziale per ostacolare efficacemente la fessurazione nei conglomerati di cemento (Fig. 1). L'aggiunta di piccole quantità di nanotubi di carbonio può migliorare la resistenza alla compressione e alla flessione, rispetto ai cementi non rinforzati, anche se il costo rappresenta un grande ostacolo per il loro impiego. Solo l'apporto di considerevoli risorse da parte delle industrie e dei Governi e le ricerche del mondo accademico potranno ridurre il loro costo, fino a renderli economicamente

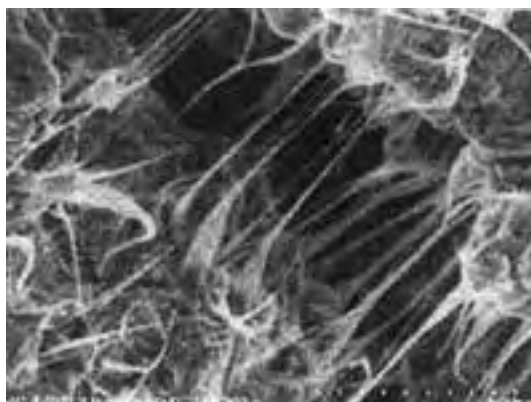


Fig. 1 – Immagine al SEM (Scanning Electron Microscopy) di nanotubi di carbonio che riempiono le fessure del calcestruzzo.

vantaggiosi. In proposito sono da menzionare i ricercatori cinesi che hanno creato dei sensori nel cemento armato, da incorporare nel calcestruzzo per consentire il monitoraggio a vita della struttura.

Questi nanosensori possono raccogliere dati relativi alle prestazioni del materiale, dalla temperatura all'umidità; sono anche in grado di monitorare le condizioni esterne, quali l'attività sismica, i carichi dell'edificio e, in strada, il volume di traffico e la viabilità. Questi sono esempi di *smart aggregati*, ovvero aggregati intelligenti, in cui i dispositivi micro-elettromeccanici sono gettati direttamente nel calcestruzzo. È in corso, inoltre, la sperimentazione di calcestruzzi auto-riparanti: quando il calcestruzzo auto-riparante si fessura, si rompe una microcapsula inserita nel materiale che rilascia una sostanza (*agente*) nella zona danneggiata che contatta un catalizzatore, attivando una polimerizzazione in grado di chiudere la fessura. Nei test eseguiti, i compositi auto-riparanti recuperano più del 75% della loro forza originale. Essi potrebbero aumentare la vita dei componenti strutturali di ben due o tre volte rispetto all'aspettativa attuale. La nanotecnologia, inoltre, può contribuire a migliorare la resistenza alla corrosione nell'acciaio, anche se ciò non ha ancora inciso sul mercato in maniera determinante; tuttavia, diverse forme di acciaio che utilizzano processi alla nanoscala sono oggi disponibili. Uno di questi prodotti è il *MMFX acciaio* che risulterebbe cinque volte più resistente alla corrosione e fino a tre volte più forte dell'acciaio convenzionale. I prodotti di acciaio *MMFX* sono impiegati soprattutto in Nord America in strutture quali ponti, autostrade, parcheggi, edifici residenziali e commerciali.

Infine, tra i materiali strutturali, non dobbiamo dimenticare la grande opportunità rappresentata dalle nanotecnologie per il legno. Come sostiene Jerrold E. Winandy, dell'U.S. Department of Agriculture's Engineered Composites Science Project, «*la nanotecnologia si tradurrà in un'unica prossima generazione di bio-prodotti che avranno iper-prestazioni e superiore manutenzione. Questi prodotti avranno migliori proprietà ora visti solo con i materiali compositi a base di carbonio. Questi nuovi bioprodotto con iper-performance saranno in grado di avere una vita più lunga in ambienti con gravi problemi di umidità. I miglioramenti apportati a quelli già esistenti includeranno lo sviluppo di compositi legno-plastica che hanno rafforzato la forza e il loro servizio a causa di fibre nano-rinforzate e nano-manipolate. La Nanotecnologia rappresenta una grande opportunità per il legno e i materiali a base di legno per migliorare le loro prestazioni e funzionalità, lo sviluppo di nuove generazioni di prodotti, e aprire nuovi segmenti di mercato nei prossimi decenni*».

Uno dei problemi fondamentali legati al consumo di energia negli edifici è rappresentato dal riscaldamento invernale e dal raffrescamento estivo. La perdita e il guadagno di calore sono strettamente connessi con la presenza di superfici vetrate e con la capacità isolante dell'involucro esterno. Per quanto riguarda le superfici vetrate, la nanotecnologia sta riducendo la perdita e il guadagno di calore attraverso vetri con rivestimenti di film-sottili *termocromatici*, *fotocromatici* ed *elettrocromatici*. Le *tecnologie termocromatiche* sono in grado di variare il proprio assorbimento luminoso in funzione della loro temperatura superficiale esterna,



Fig. 2 – Il Vacuum Insulation Panels.



Fig. 3 – L'istallazione del Vacuum Insulation Panels.

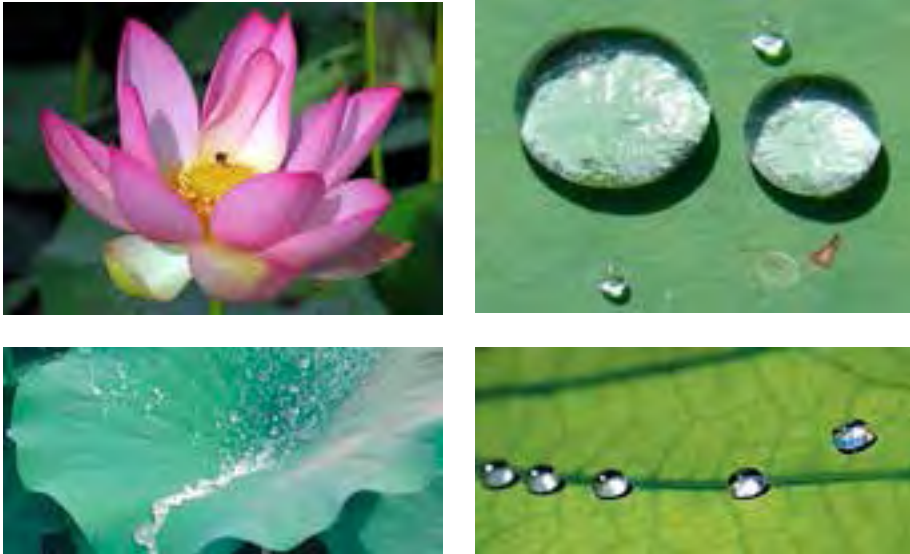
diventando opache al di sopra di una certa temperatura critica, per poi tornare trasparente quando la temperatura si abbassa. Le *tecnologie fotocromatiche* invece modificano autonomamente la loro trasmissione luminosa in funzione della quantità di luce incidente sulla loro superficie. Infine, i *rivestimenti elettrocromatici* variano gradualmente la propria trasmissione in funzione di un segnale elettrico; per far tornare trasparente il vetro è necessario un nuovo impulso elettrico di segnale opposto. Tutte queste applicazioni sono destinate a ridurre il consumo di energia per il riscaldamento e per il raffreddamento degli edifici e potrebbero contribuire a farne diminuire il consumo energetico.

Un'altra categoria di materiali, che ha ricevuto un grande impulso dall'avvento delle nanotecnologie, è rappresentato dai rivestimenti. I rivestimenti isolanti rappresentano un ambito di notevole importanza per l'applicazione delle nanotecnologie, il cui apporto promette la creazione di materiali in grado di avere un'azione isolante maggiore rispetto agli isolanti convenzionali, ma con uno spessore minore. Queste prestazioni caratterizzano i *Vacuum Insulation Panels (VIP)*, che sono in grado di garantire la stessa trasmittanza termica degli isolanti tradizionali con uno spessore dieci volte inferiore: essi sono costituiti da un nucleo di materiale a bassa conducibilità termica, in grado di essere sottoposto a una elevata pressione, mentre l'involucro è realizzato con plastiche o metalli estremamente flessibili e resistenti (Figg. 2, 3). Le ricerche hanno evidenziato la necessità che il materiale del nucleo centrale, oltre ad una grande resistenza alla compressione e una bassa conducibilità termica, deve essere caratterizzato da una elevata porosità, per facilitare l'aspirazione dell'aria; importante è, quindi, la dimensione dei pori, che deve essere inferiore ai 100 nanometri per evitare fenomeni di conducibilità termica gassosa.

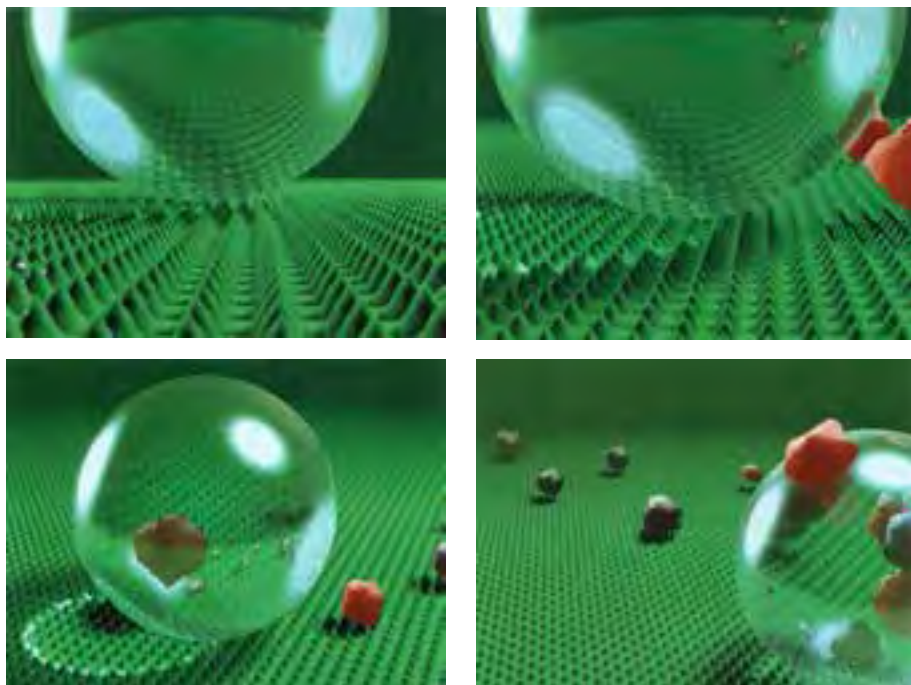


È da rilevare che gli edifici sono responsabili di un quarto delle emissioni di carbonio della Unione Europea, circa il 70% delle quali proviene dalle esigenze di riscaldamento. Risparmiando sul riscaldamento degli spazi attraverso un migliore isolamento, l'Unione Europea potrebbe ridurre le emissioni di anidride carbonica di 100 milioni di tonnellate di metri cubi all'anno, facendo in modo che la sola Europa possa centrare l'obiettivo di ridurre le emissioni di carbonio del 25%. La nanotecnologia promette di rendere più efficienti gli isolanti, meno dipendenti dalle risorse non rinnovabili e meno tossici. I produttori stimano che i materiali isolanti derivati dalla nanotecnologia saranno circa il 30% più efficienti di quelli con materiali convenzionali. Una delle più importanti caratteristiche dei nano-rivestimenti isolanti è la loro applicabilità a superfici esistenti per migliorarne l'isolamento; essi possono essere applicati direttamente alle superfici degli edifici esistenti, mentre l'aggiunta post-costruzione dei materiali isolanti convenzionali come fibre di cellulosa, fibra di vetro, polistirene è estremamente invasiva. La loro applicazione a strutture esistenti potrebbe portare a un enorme risparmio di energia ed essi non sembrano rappresentare una preoccupazione per l'ambiente e per la salute come le fibre di vetro e il polistirene.

Attraverso la nanoscienza e la biologia molecolare stiamo imparando di più sui sistemi naturali, sugli organismi e sul comportamento dei materiali; la nanotecnologia e la biotecnologia ci danno gli strumenti non solo per intervenire in tali sistemi, ma per crearne di nuovi. Studiando, ad esempio, la composizione molecolare della foglia di loto, gli scienziati sono riusciti a creare una nuova generazione di materiali idrorepellenti. Il cosiddetto *effetto loto* è la capacità, osservata appunto nei fiori di loto, di un materiale di mantenersi pulito autonomamente. Sulle foglie del loto l'acqua non viene trattenuta (infatti queste foglie



Figg. 4, 7 – Le gocce d'acqua sulla foglia di loto.



*Figg. 8, 11 – Schema del principio su cui si basa l'effetto loto: l'area di contatto reale tra la goccia d'acqua e la superficie d'appoggio è circa il 3% di quella apparente, per cui il peso della goccia la fa scivolare via (da S. Leydecker, 2008).*

sono sempre asciutte), ma scivola via in tante goccioline che si formano per via dell'alta tensione superficiale presente sulla foglia, portando con sé la fanghiglia e i piccoli insetti che in essa si trovano (Figg. 4-7). Questo è possibile perché le foglie di loto sono rivestite da cristalli di cera idrofobica con dimensioni nanometriche. In questa scala, le superfici ruvide risultano più idrofobiche di quelle lisce, perché l'area di contatto reale tra la goccia d'acqua e la superficie d'appoggio è circa il 3% di quella apparente, per cui il peso della goccia la fa scivolare via (Figg. 8-11).

La ruvidità della foglia è utilissima anche per l'effetto autopulente, perché le gocce rotolano, mentre su una superficie liscia le gocce slitterebbero, rendendo meno efficace l'asporto dello sporco. Gli studiosi stanno applicando le proprietà idrorepellenti della foglia di loto in una vasta gamma di prodotti e materiali, dalle finestre autopulenti alla cera per le automobili. La natura offre infinite lezioni che potrebbero essere applicate in futuri prodotti, processi e materiali. Esaminando, per esempio, la struttura alla nanoscala dei piedi del geco, gli scienziati hanno creato materiali con proprietà adesive straordinarie. Tutte queste lezioni offerte dalla natura ci aiuteranno a creare sistemi, materiali e dispositivi più efficienti rispetto a quelli disponibili oggi.

I cementi fotocatalitici sono un'altra categoria di nano-materiali molto diffusa. La fotocatalisi è un fenomeno naturale, con molte affinità con la sintesi clorofilliana, per cui una sostanza, chiamata fotocatalizzatore, attraverso l'azione della luce

naturale o artificiale, attiva un forte processo ossidativo che porta alla trasformazione di sostanze organiche e inorganiche nocive in composti assolutamente innocui. La fotocatalisi è quindi un acceleratore dei processi di ossidazione esistenti in natura, che favorisce una più rapida decomposizione degli inquinanti, evitandone l'accumulo; le superfici auto-pulenti sono diventate una realtà grazie ai rivestimenti fotocatalitici contenenti nano-particelle di biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ).

L'effetto principale di tali rivestimenti è la notevole riduzione del grado di aderenza della sporcizia alle superfici (Fig. 12). È importante notare che il termine *auto-pulizia* in questo contesto è fuorviante e non significa, come comunemente si pensa, che una superficie non debba essere più pulita, ma che l'intervallo tra i cicli di pulizia venga esteso in maniera significativa: un dato particolarmente rilevante nella gestione degli edifici. Questo induce a un minore uso di detersivi, con un conseguente minore inquinamento ambientale, e comporta una minore usura dei materiali e un risparmio nei costi del personale; in linea generale, quindi, le superfici fotocatalitiche auto-pulenti hanno bisogno di una minore manutenzione.

Un ulteriore vantaggio è che si ha una migliore trasmissione della luce attraverso i vetri, in quanto la luce del giorno non è oscurata dallo sporco; di conseguenza, possono essere ridotti i costi energetici per l'illuminazione. I cementi fotocatalitici hanno anche un effetto purificante per l'aria; tale caratteristica ha conferito a questi cementi l'appellativo di *mangia-smog*, riscuotendo una grande attenzione pubblica. Infatti, applicati alle pavimentazioni, alle superfici stradali, alle facciate potrebbero dare un grande contributo per la lotta all'inquinamento atmosferico. I sistemi di facciate auto-pulenti si trovano in diversi edifici come la *Chiesa del Giubileo* di Richard Meier a Roma (Fig. 13), il *Marunouchi Building* di Hoopkins Architects a Tokio (Fig. 14), il *Bond Street Apartment Building* di Herzog & de Meuron a New York (Fig. 15)<sup>11</sup>.

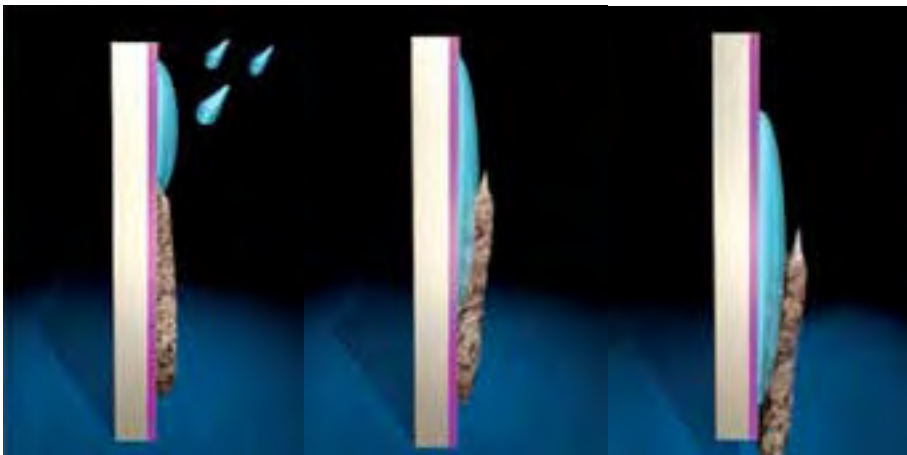


Fig. 12 – La rimozione dello sporco sulle superfici autopulenti per effetto della pioggia.



*Fig. 13 – I sistemi di facciate auto-pulenti: la Chiesa del Giubileo di Richard Meier a Roma*





Fig. 14 – I sistemi di facciate auto-pulenti: il Marunouchi Building di Hoopkins Architects a Tokio



Fig. 15 – I sistemi di facciate auto-pulenti: il Bond Street Apartment Building di Herzog & de Meuron a New York.



Inoltre, non dobbiamo dimenticare l'apporto dei rivestimenti anti-macchia, così come di quelli resistenti ai graffi, anti-appannamento, anti-ghiaccio, antimicrobici e anti-corrosione. Gli altri grandi riduttori di emissione di anidride carbonica saranno probabilmente la tecnologia solare con film-sottili organici, i *LED* (*Light Emitting Diode*) e gli *OLED* (*Organic Light Emitting Diode*). Le celle solari di film-sottili possono essere prodotti su rotoli di plastica, portando importanti riduzioni di prezzo rispetto alla tradizionale tecnologia in lastre di vetro. Inoltre, le celle solari flessibili di plastica sono molto più adattabili alle facciate degli edifici rispetto alle lastre rigide di vetro e integrano meglio il fotovoltaico negli edifici, rendendolo più accessibile e adattabile. Il risparmio di energia da diodi emettitori di luce (*LED*) e da diodi organici emettitori di luce (*OLED*) sarà sostanziale, data la loro efficienza nettamente superiore rispetto all'illuminazione convenzionale. I *LED* sono uno speciale tipo di diodi, formati da un sottile strato di materiale semiconduttore e sono sempre più utilizzati in ambito illuminotecnico, in sostituzione di alcune sorgenti di luce tradizionali; il loro utilizzo nell'illuminazione domestica, in sostituzione di lampade ad incandescenza, alogene o fluorescenti compatte, è oggi possibile con notevoli risultati raggiunti, grazie allo sviluppo di tecniche innovative.

Gli *OLED* permettono di realizzare display a colori con la capacità di emettere luce propria. A differenza dei display a cristalli liquidi, i display *OLED* non richiedono componenti aggiuntivi per essere illuminati (i display a cristalli liquidi vengono illuminati da una fonte di luce esterna), ma producono luce propria; questo permette di realizzare display molto più sottili, addirittura pieghevoli e arrotolabili, che richiedono minori quantità di energia per funzionare<sup>12</sup>. La tecnologia *OLED* possiede grandi vantaggi, come bassa tensione di alimentazione, ottimo contrasto, brillantezza dei colori; tuttavia presenta ancora dei limiti: primo tra tutti il costo ancora elevato del processo produttivo; in secondo luogo gli schermi *OLED* hanno una durata molto inferiore agli schermi a cristalli liquidi e agli schermi al plasma, dato che il materiale organico, di cui sono composti, tende a perdere la capacità di emettere luce dopo poche migliaia di ore di esercizio.

Nonostante le enormi potenzialità che le nanotecnologie possiedono, esistono diversi motivi che potrebbero rallentare l'adozione su larga scala. Innanzitutto, l'elevato costo dei nano-prodotti rispetto a quelli convenzionali. Tuttavia, la nanotecnologia rappresenta una impresa relativamente giovane e i prezzi sono determinati a scendere proprio come fanno tutte le nuove tecnologie nel corso del tempo. In secondo luogo, un mercato fortemente conservatore come quello edilizio, tende a muoversi con cautela nell'adozione di nuove tecnologie, anche se gli addetti ai lavori fanno molto poco sulla nanotecnologia e sulle sue potenziali implicazioni nel settore edilizio.

Le conoscenze e le competenze sono attualmente troppo frammentate per consentire una notevole diffusione nel settore edilizio. Inoltre, da parte della domanda, ci sarà una certa riluttanza circa l'introduzione di materiali nanotecnologici fino a quando non si produrrà una convincente documentazione circa le

funzionalità e gli effetti a lungo termine. Infine, una grande preoccupazione è rappresentata dall'incertezza che circonda l'accettazione pubblica delle nanotecnologie. Finora, il pubblico ha reagito positivamente alla nanotecnologia; ma un suo grande rifiuto potrebbe risultare possibile, se si collegasse la nanotecnologia con i pericoli per la salute umana o per l'ambiente. Invero, si pone la questione se le modifiche nel comportamento fisico delle particelle, al di sotto di una dimensione di 100 nm, sono sempre positive.

Quando materiali familiari improvvisamente diventano invisibili, o fotocataliticamente attivi, non è forse anche possibile che sostanze sotto forma di nanoparticelle potrebbero sviluppare nuove proprietà dannose, ad esempio, e diventare tossici o non sicuri per l'ambiente? I potenziali utenti di questa nuova tecnologia ovviamente vogliono sapere quali problemi potrebbero essere associati ad essa. Ad esempio, l'effetto fotocatalitico delle nanoparticelle di una particolare sostanza può risultare molto utile; infatti, può far diminuire l'uso di solventi inquinanti, consente di risparmiare costi ed energia, può contribuire alla pulizia dell'aria e delle acque reflue. Tuttavia, nel posto sbagliato, ad esempio, nel corpo umano, lo stesso effetto fotocatalitico potrebbe determinare conseguenze disastrose, per il fatto che le nanoparticelle possono passare attraverso l'organismo più facilmente rispetto alle particelle più grandi.

Anche se le paure irrazionali sono fuori luogo, è importante capire in quali condizioni le nanoparticelle possono entrare nell'organismo umano e mettere a punto adeguati mezzi di protezione. In più di 200 anni l'industria chimica ha imparato a convivere con sostanze pericolose; molte materie prime o prodotti secondari impiegati nella fabbricazione di materie plastiche sono tutt'altro che innocui, ma l'industria ha imparato a gestire la loro sicurezza, e i prodotti finali che i commercianti o gli utenti eventualmente tengono nelle loro mani sono liberi da tali pericoli. Occorre ribadire che la nanotecnologia è ancora un settore molto giovane e per questo motivo la nostra conoscenza dei potenziali pericoli è ancora incompleta; tuttavia, fino a quando tutti i dubbi non saranno stati chiariti, l'aspettativa generale in materia è che le misure precauzionali sono consigliabili. Inoltre, è positivo che il dibattito sui pericoli delle nanotecnologie sia cominciato nella fase iniziale del suo sviluppo; come si è visto con l'energia nucleare e soprattutto con l'ingegneria genetica, il dibattito pubblico sugli aspetti negativi delle nuove tecnologie, dopo che esse sono diventate molto diffuse, è risultato controproducente.

Nel caso delle nanotecnologie, una intelligente considerazione dei rischi potenziali si svolge prima della produzione. Tutti i gruppi d'interesse sono coinvolti fin dall'inizio: i ricercatori, i produttori, gli economisti, i politici e le organizzazioni non governative stanno collaborando nel tentativo di stabilire un consenso comune, integrato con input provenienti da un pubblico quanto più vasto possibile. Questo processo è in corso a livello nazionale ed europeo. In molti Stati un generoso finanziamento pubblico è stato reso disponibile per i progetti di ricerca che esaminano i possibili rischi delle nanotecnologie e che prevedono che i risultati siano messi a disposizione del pubblico. Le imprese che scelgono di utilizzare

le nanotecnologie per i nuovi prodotti o per migliorare i prodotti esistenti senza dubbio sono di fronte a sfide derivanti dal dibattito in corso sui rischi delle nanotecnologie. Nella maggior parte dei casi sarà anche necessario investire tempo e risorse finanziarie in fase di sviluppo; si può, tuttavia, considerare che il valore aggiunto futuro supererà tale investimento. Quelli che attuano con successo le nanotecnologie oggi dimostrano non solo il loro spirito imprenditoriale, ma godono anche di un vantaggio competitivo per lungo tempo a venire; il miglioramento tanto della qualità quanto della funzionalità dei materiali, insieme all'uso di quantità minime di materiale, sarà sicuramente altamente competitivo.

#### NOTE

<sup>1</sup> Un *nanometro* equivale a un miliardesimo di metro ( $1\text{nm} = 10^{-9}$ ).

<sup>2</sup> Business Plan ISO/TC 71, "Concrete, reinforced concrete and pre-stressed concrete," 2005.

<sup>3</sup> Cfr. K. SOBOLEV, M. FERRADA-GUTIÉRREZ, *How Nanotechnology Can Change the Concrete World: Part 2*, in "American Ceramic Society Bulletin", 11 (2005), pp. 16-19.

<sup>4</sup> DU, RONG-GUI, *In Situ Measurement of Cl- Concentrations and pH at the Reinforcing Steel/Concrete Interface by Combination Sensors*, in "Anal. Chem.", (2006), pp. 3179-3185.

<sup>5</sup> Tra i ricercatori impegnati nello studio dei cementi auto-riparanti ricordiamo Scott White della University of Illinois at Urbana-Champaign.

<sup>6</sup> MMFX Technologies Corporation, "Proprietary Patented Nanotechnology," 2005.

<sup>7</sup> Cfr. J. E. WINANDY, *Achieving Resource Sustainability and Enhancing Economic Development through Biomass Utilization*, in "International Workshop on Prefabricated Housing From Bamboo Based Panels", November 24-25, 2005, Beijing.

<sup>8</sup> Le ricerche sono portate avanti soprattutto dal Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) di Würzburg (prof. Ulrich Heinemann) e dal Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) nelle sue sedi di Holzkirchen e Stoccarda (prof. Klaus Sedlbauer), in collaborazione con ditte chimiche e produttrici di isolanti e infissi.

<sup>9</sup> Tali dati sono riportati dall'*European Insulation Manufacturers Association* in un rapporto dal titolo "Climate Change," 2006.

<sup>10</sup> Cfr. D. FRIEDMAN, *Indoor Air Quality Investigations: Fiberglass in Indoor Air, HVAC ducts, and Building Insulation*, 2007.

<sup>11</sup> Uno dei primi cementi fotocatalitici è il legante fotoattivo a base di TX Active, prodotto dalla *Italcementi* e impiegato per la prima volta nel 1996 a Roma per la realizzazione della *Chiesa Dives in Misericordia* di Richard Meier, caratterizzata dalle tre imponenti vele bianche. Il principio fotocatalitico del TX Active viene impiegato nella produzione dei più vari prodotti cementizi – dalle pitture alle malte ai manufatti prefabbricati – con i quali vengono realizzate pavimentazioni, intonaci e ogni tipo di struttura o rivestimento orizzontale e verticale. Inoltre, sono ora disponibili le finestre auto-pulenti, prodotte dalla maggior parte dei principali produttori di infissi come la *Pilkington* e la *Saint-Gobain*.

<sup>12</sup> In questo caso il materiale organico è ad esempio un polimero conduttivo elettroluminescente simile alla plastica (in questo caso si può parlare più correttamente di *POLED: Polymer Organic LED*) oppure materiali organici non polimerici di peso molecolare relativamente basso. Un elemento viene definito organico in quanto contenente una struttura costituita prevalentemente da carbonio; da qui il nome di *led organico*. Normalmente, gli strati organici sono in grado di emettere solo luce bianca, ma con opportuni drogaggi (di composti elettrofosforescenti) è possibile renderli in grado di emettere luce rossa (drogante fluorescente a base di perilene dicarbossammide), verde (cumarina) o blu: essendo questi i colori primari, è possibile combinarli per produrre tutti i colori

dello spettro visibile, in modo analogo a quanto accade in qualunque display a colori: ogni punto di una immagine è costituito da tre microdisplay affiancati, che producono luce rossa, verde e blu; visto da lontano, ogni elemento composto da tre microdisplay appare all'occhio umano come un singolo punto, il cui colore cambia secondo l'intensità della luce di vari colori emessa dai singoli microdisplay.

#### BIBLIOGRAFIA

- ADDINGTON D. M., SCHODEK D. L., *Smart Materials and New Technologies*, Routledge, USA-UK, 2005.
- ASHBY M. F., FERREIRA P. J., SCHODEK D. L., *Nanomaterials, nanotechnologies and design*, Elsevier, Boston 2009.
- ELVIN G., *Nanotechnology for Green building*, Green technology forum, 2007.
- JOHANSEN J. M., *Nanoarchitecture. A new species of architecture*, Princeton Architectural Press, New York 2002.
- LEYDECKER S., *Nanomaterials in Architecture, Interior Architecture and Design*, Birkhäuser, Berlino 2008.
- POOLE C. P., OWENS F. J., *Introduction to Nanotechnology*, Wiley, New York 2003.
- SPOSITO A., cur., *Nanotech for Architecture. Innovative technologies, techniques and nanostructured materials*, Atti del I Convegno Internazionale, Palermo, 26-28 Marzo 2009, Luciano Editore, Napoli 2009.
- SPOSITO A., cur., *Nanotecnologie & nanomateriali per l'architettura*, Luciano Editore, Napoli 2009.