







## EVOLUZIONE DEI MATERIALI INTELLIGENTI

Santina Di Salvo\*

**ABSTRACT** - The design activity governs the choice of materials and technical capacity within the two dimensions of action: the previous knowledge and the tension towards the future. This has allowed us to identify the succession of "technological-textural" paradigms that have come and gone, characterizing the design with the appearance of new materials and production processes. The advent of composite materials has challenged all the materials transforming their features.

Tutti i materiali si evolvono con lo sviluppo delle tecnologie. I materiali intelligenti o *smart materials*, sono la massima espressione del paradigma dei materiali progettati, in quanto modello della capacità tecnico-scientifica di intervenire nella materia a livello molecolare<sup>1</sup>. Generati dalle micro e nanotecnologie, questi materiali mettono in atto le potenzialità dell'intelligenza artificiale. Essi sono capaci di sentire e reagire agli stimoli esterni modificando le loro proprietà; rilevare e comunicare i parametri ambientali e del corpo umano; rispondere e interagire in modo predeterminato con gli essere umani e l'ambiente, elaborando dei veri e propri comportamenti fisici. Per diversi aspetti presentano delle analogie con i sistemi biologici e gli organismi naturali. Durante lo scorso decennio, i materiali intelligenti hanno ricevuto un'attenzione crescente da parte degli scienziati grazie alle loro potenzialità tecnologiche. La ricerca scientifica ha permesso lo sviluppo di nuovi materiali, a partire dalla messa a punto di specifiche funzionalità: materiali in grado di modificare la loro struttura, la forma, il colore o la temperatura per mezzo di un *input* esterno, come ad esempio un campo di forze, stimoli ambientali o la semplice presenza umana; materiali capaci di emettere luce, muoversi e comunicare interattivamente, permettendo straordinarie *performance* (Fig. 1).<sup>2</sup>

La sensibilità, l'interattività e la capacità comunicativa caratterizzano gli *oggetti che pensano*, superfici comunicanti e microambienti interattivi, configurando un mondo più attento ai nostri bisogni e desideri. Materiali, dispositivi e sistemi intelligenti rappresentano, infatti, un universo che va ben oltre le nostre aspettative sulla materia, che può essere in grado di autogenerarsi e autoripararsi assumendo un comportamento sempre più simile a quello degli esseri viventi. La possibilità di modificare e creare nuovi materiali, progettando le specifiche funzioni che devono svolgere, costituisce una notevole opportunità per l'ambiente costruito. Tecnicamente il potenziale è enorme, ma implica una radicale trasformazione del processo progettuale e, con esso, una nuova filosofia di progetto. L'oggetto della progettazione si sposta dall'artefatto alla *performance*. Viene data priorità ad un'ottica

progettuale in cui vengono individuate le questioni relative al *come* e al *perché* delle prestazioni dei sistemi che integrano gli *smart materials*. Gli esempi forniscono un'ampia visione delle soluzioni *smartness* nei diversi settori applicativi e, in alcuni casi è possibile notare che una stessa prestazione viene ottenuta attraverso l'applicazione di materiali e tecnologie diverse. La corrispondenza fra materiale, forma e funzione, nel suo significato consolidato, perde oggi la sua importanza mentre emerge una nuova idea di forma come essenza, un concetto che coincide con il comportamento e il significato stesso del materiale.

Oltre i pregi dei nuovi materiali, vengono valutati anche i rischi che essi implicano per capire come meglio difendersi dall'abuso deliberato delle tecnologie. Impadronendosi dei nuovi strumenti e con la capacità di andare *avanti e indietro*, tra il micro e il macro, tra il vecchio e il nuovo, tecnologi e designers saranno in grado di usufruire dei materiali *smart* per realizzare il senso di benessere e comfort, espressione dei nostri bisogni e desideri. I materiali vengono classificati per tipologie funzionali e definiti per quello che sono *capaci di fare*. Tale informazione, infatti, stimola l'ideazione di configurazioni relazionali interattive e sensibili che, attraverso il progetto della prestazione, si trasformano in oggetti e servizi, sistemi e strutture, ambienti e superfici, secondo nuove modalità comportamentali.

**Sostenibilità e nanotecnologie** - Le nanotecnologie sviluppano metodi di manipolazione dei materiali e dei sistemi a livello atomico e molecolare<sup>3</sup>. Negli anni Novanta l'interesse crescente per le nanotecnologie nasce grazie alla possibilità di controllare la materia a livello strutturale, per cui ciascuna molecola può essere posizionata in modo ordinato. Nei materiali *smart* la funzione è implicita nelle caratteristiche stesse della struttura atomica o molecolare, secondo il principio per cui a ogni stimolo indotto (*input*) segue una risposta attiva e reversibile, che genera comportamenti variabili e prestazioni mutevoli (*output*) che si adattano al contesto ambientale. I compositi realizzati con nanoparticelle, come nanotubi di carbonio, nanoanelli, nanocristalli, nanofili di silicio migliorano notevolmente le proprietà macroscopiche dei mate-



Fig. 1 - Rivestimenti in materiali compositi su base cementizia.





Fig. 2 - Veduta del Museo Guggenheim di Bilbao, architetto Frank O. Gehry.

riali tradizionali. La caratteristica principale dei materiali intelligenti consiste, quindi, nella capacità di percepire gli stimoli esterni e di reagire adattandosi ai cambiamenti delle condizioni ambientali in modo reversibile<sup>4</sup>. Gli oggetti, le superfici, gli ambienti si relazionano con i sensi e con il corpo umano, migliorando le prestazioni e l'esperienza soggettiva nella relazione d'uso e nel rapporto d'interazione uomo-macchina. Il progetto diventa interattivo, sensibile, comunicativo, cosciente, adattivo, responsabile, in una parola *smartness*. Il nuovo *concept* ha, in sostanza, come obiettivo quello di migliorare la qualità della vita degli utenti nelle attività quotidiane e difendere l'ambiente per uno sviluppo sostenibile.

*Materiali avanzati per l'architettura, per rivestimenti su misura* - Abbiamo detto che gli smart material sono materiali avanzati nella misura in cui possiedono proprietà intrinseche - meccaniche, termiche e chimiche - e standard prestazionali - termici, acustici e strutturali - decisamente superiori rispetto ai materiali tradizionali. Spesso sono composti su misura, ideati e prodotti a seconda delle diverse specificità, che possono essere di natura climatica o strutturale.<sup>5</sup>

Non è raro vedere un sistema di rivestimento destinato a rispondere a determinati requisiti e una serie di materiali avanzati adoperati *ad hoc*. Per quanto riguarda i materiali, l'innovazione tecnologica ha trovato occasioni di sviluppo sia grazie alla ricerca scientifica, sia grazie alla

contaminazione fra campi d'applicazione diversi di materiali già conosciuti.

Esemplificativo è l'impiego in campo architettonico, come elemento di rivestimento, del titanio, un campo d'applicazione nuovo per questo materiale, solitamente impiegato, per il suo elevato costo, solo in settori in cui non è possibile scendere a patti con l'economia, in particolare nel settore navale, in quello automobilistico e in quello aerospaziale. Infatti, il titanio viene utilizzato soprattutto per le bielle e per altre parti dei motori che ne sfruttano le caratteristiche fisiche, meccaniche e di resistenza alla corrosione. nel settore della bioingegneria, esso viene sfruttato per la leggerezza, la resistenza e la biocompatibilità per la realizzazione di protesi mediche.

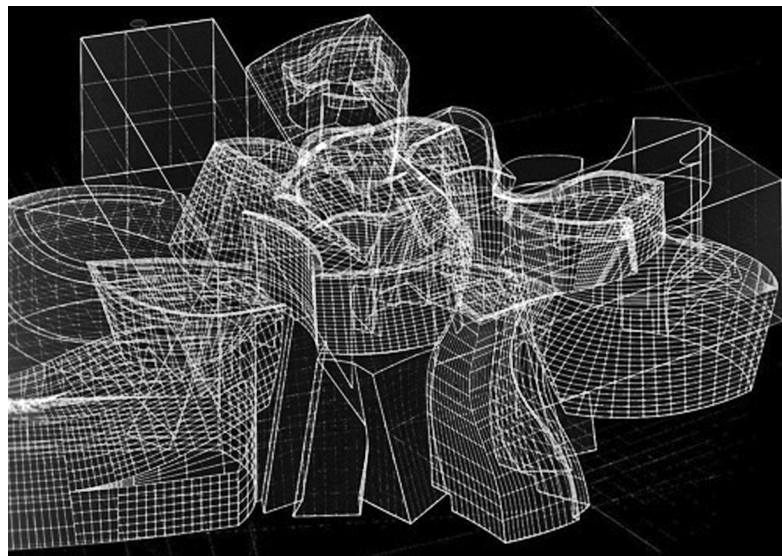


Fig. 3, 4 - Uno sguardo sullo studio di Gehry a Santa Monica chiarisce quanto sia importante il ruolo dei modelli nel processo di progettazione. Le forme trovate nel modello vengono successivamente trasferite in programmi CAD, come CATIA 3D in uso all'industria aeronautica e qui rielaborati in progetti finiti per la costruzione.





Fig. 5 - Palazzo della Tokyo Electric Power a Fukushima.

Inoltre, esso viene largamente impiegato per la produzione di parti di proiettili, missili e fusoliere di aerei a reazione. Per tali usi il metallo deve essere ridotto in lamiere, fili o barre, e devono essere eliminati accuratamente i gas disciolti che lo rendono fragile e poco duttile. Il titanio è impiegato anche nell'industria chimica, per la sua resistenza alla corrosione. In metallurgia esso viene addizionato agli acciai comuni come disossidante, agli acciai inossidabili, alle ghise, alle leghe refrattarie, alle leghe del rame e dell'alluminio.

L'occasione d'innovazione si è presentata in occasione del progetto per il Museo Guggenheim di Bilbao (Fig. 2), in cui Frank Gehry ha impiegato per l'involucro esterno il titanio in un modo fortemente innovativo, sia per avere utilizzato un materiale fino allora mai utilizzato per rivestire le architetture, sia per essere ricorso a una tecnologia di software IBM, il programma CATIA 3D, fino ad allora applicato esclusivamente in campo aerospaziale (Figg. 3, 4). Pertanto, l'involucro esterno, la "pelle" dell'edificio, è diventato uno dei primi elementi rivelatori di questo materiale<sup>6</sup>. L'aspetto attraente del titanio, la possibilità di ottenerlo in finiture e tonalità diverse, la sua leggerezza, le

sue caratteristiche meccaniche e, soprattutto, la sua resistenza agli agenti atmosferici, che lo rendono praticamente eterno persino negli ambienti più aggressivi anche quando è impiegato in spessori molto sottili, hanno proiettato il suo impiego in ambito architettonico.

Le prime applicazioni del titanio in questo settore risalgono agli anni Settanta. Sono giapponesi le più importanti realizzazioni fino alla metà degli anni Novanta: tra queste ricordiamo le coperture del palazzo della *Tokyo Electric Power*, realizzate per fermare la fuoriuscita di radiazioni provenienti dai reattori della centrale nucleare di Fukushima danneggiati dopo il disastro del 2011; e le coperture del *Fukuoka Dome*, lo stadio di baseball più grande del Giappone (1994). Oggi il titanio viene utilizzato per rivestimenti esterni e interni, per la copertura di edifici di prestigio, per opere d'arte come sculture e monumenti, per particolari decorativi di edifici o di arredo urbano. In genere si ricorre al titanio nella sua colorazione argentea naturale la quale, peraltro, presenta aspetti diversi al variare del tipo di laminazione, di sabbiatura, di decapaggio o di passivazione subiti. In particolare, la lavorazione del materiale è critica perché, a seconda di come viene effettuata,

può portare a ottenere superfici opache o, al contrario, a finiture capaci di dare riflessi colorati con tonalità che cambiano al variare dell'illuminazione. Così vi sono tonalità gialle al mattino o grigie se non c'è il sole, bianche verso mezzogiorno, rosa al tramonto, blu di notte o con lampi cangianti e multicolori se illuminate con luce artificiale. Questo cambiamento è ben visibile nel capolavoro di Gehry a Bilbao, che è stato definito da Tom Buckart come *una sorta di grande banda metallica che forma un credibile paesaggio che, per la moltitudine dei piani inclinati ed arrotondati, trasporta la luce rendendola in ogni punto di colore differente, fino a formare un monocromatismo di grande effetto che va dall'oro al blu e dal rosa al bianco*.<sup>7</sup>

*La facciata interattiva Windsweap* - Oggi non basta un rivestimento per fare sembrare più elegante un edificio; vi è la necessità che questa pelle renda realmente innovativa e giustificata la sua applicazione. Un altro esempio estremamente affascinante di questa nuova concezione di pelle/facciata, è dato dalla facciata denominata "Windswept", ovvero una facciata interattiva concepita per muoversi a

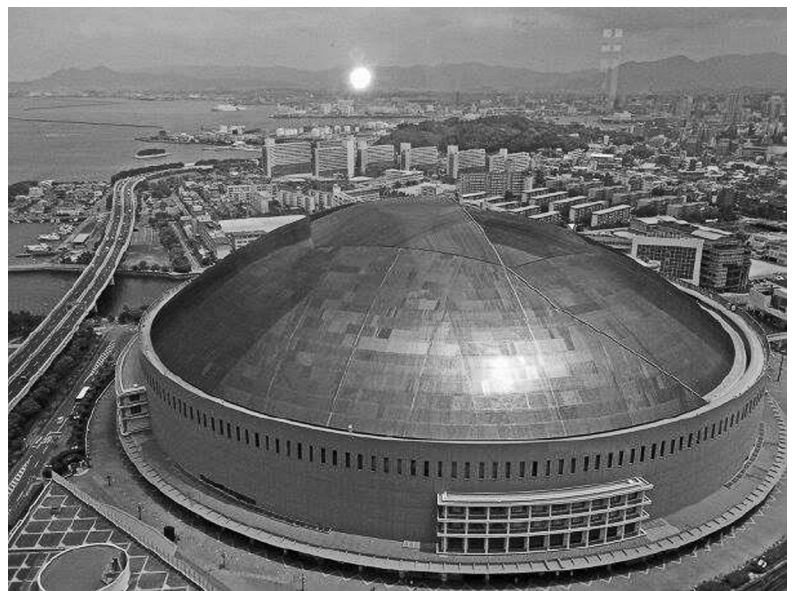


Fig. 6 - Fukuoka Dome, lo stadio di baseball più grande del Giappone.



Fig. 7 - Randall Museum di San Francisco.

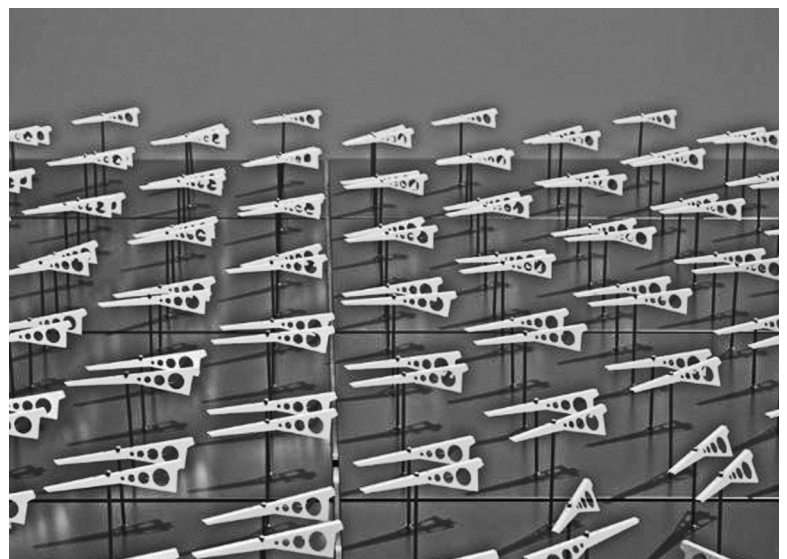


Fig. 8 - Freccette in alluminio anodizzato montate sulla parete esterna del Randall Museum.



Fig. 9, 10 - Superfici in materiali compositi a base di polimeri sintetici, rinforzati con fibre di vetro, che cambiano colore al variare di temperatura e di condizioni meccaniche.

seconda delle correnti d'aria, rivelando l'esatta direzione del vento e mettendo anche in scena le potenzialità artistiche della ventilazione naturale.

Progettata dal designer statunitense Charles Sowers, l'installazione di tale facciata è attualmente stata integrata sul fronte esterno del Randall Museum di San Francisco (Fig. 7) e costituisce un esperimento cinetico che mette in relazione arte e scienza. Non solo, infatti, l'impianto unisce un elemento di design originale, ma riesce a mostrare qualcosa che di solito non è visibile ad occhio nudo: l'interazione fra aria ed edificio. Per questo progetto Sowers ha impiegato oltre un anno, durante il quale si è occupato di montare sulla parete esterna del Museo 612 frecce in alluminio anodizzato (Fig. 8). Ciascuna di esse è stata installata su una speciale staffa posteriore, così da consentire alle frecce di spostarsi al primo soffio di vento. Tale meccanismo è in grado di rendere la stessa facciata un'opera d'arte dall'aspetto sempre differente. Non a caso, il progetto è

stato commissionato a Sowers dalla San Francisco Arts Commission, con il preciso intento di creare un'installazione interattiva.<sup>8</sup>

Sowers, nel corso della propria carriera, ha sempre cercato di produrre strumenti capaci di rendere visibili fenomeni ed esperienze normalmente impercettibili all'occhio umano. La facciata Windswept è un'opera che persegue tali obiettivi, provando a mostrare allo spettatore il vento che attraversa una superficie specifica. Alla fine della fase di sperimentazione, Sowers è stato in grado di determinare il design ideale dell'installazione, ed ha applicato le frecce alla facciata in cemento degli anni Quaranta del Randall Museum, in modo che ogni freccia in alluminio fosse libera di interagire con il vento per mostrarne la direzione. L'insieme delle frecce restituisce quindi una fotografia complessiva delle correnti che attraversano il Randall Museum, mostrando flussi e intrecci altrimenti impercettibili all'occhio umano.

*Classificazione dei materiali intelligenti* - I materiali intelligenti sono classificati in base al tipo di stimolo (*input*) o al tipo di reazione reversibile conseguente (*output*). I materiali sono sensibili agli stimoli esterni indotti dai campi di forza elettrici, magnetici, meccanici e termici. I materiali *smart*, inoltre, reagiscono ai minimi cambiamenti dei parametri ambientali quali la temperatura, il pH°, l'umidità, la luminosità, il rumore e la presenza di sostanze nocive. Generalmente essi vengono distinti in base al tipo di risposta che forniscono e che spesso coincide con la funzione che svolgono.

La reazione genera un comportamento di adattamento allo stimolo che causa la trasformazione delle proprietà intrinseche del materiale, quali la viscosità, la costante dielettrica, la resistenza elettrica, ecc. In base al tipo di reazione agli stimoli esterni, i materiali intelligenti si possono classificare in sette gruppi funzionali: materiali che cambiano colore (Figg. 9, 10, 11, 12), forma, tempera-



Figg. 11, 12 - Superfici a base di materiali resinosi termosensibili.





Figg. 13, 14 - Illuminazione a led nella Porta Ticinese a Milano.

tura, convertono la luce, emettono luce, trasportano luce e si muovono.

*Il nuovo vetro per la finestra intelligente* - Presso il Lawrence Berkeley National Laboratory di Berkeley, in California, un team di ricercatori, guidato da Delia Milliron, ha messo a punto una nuova tecnologia che permette di ottenere una particolare tipologia di vetro in grado operare dinamicamente il controllo del flusso di calore e di luce che le attraversa, modulandolo in base alle diverse condizioni meteorologiche, attraverso la trasparenza. Il nuovo vetro di questo tipo di finestra intelligente sfrutta l'interazione di due materiali altamente conduttivi: i nanocristalli di ossido di indio e stagno, e una matrice vetrosa di ossido di niobio; l'interazione tra i due conduttori permette un controllo selettivo della luce visibile e del calore, così da ottenere un'illuminazione naturale all'interno senza aumento di calore, tipico dei mesi più caldi. Rispetto alle attuali tecnologie, in cui il

controllo della radiazione comporta anche un oscuramento della superficie vetrata, recando alcuni inconvenienti sulla qualità dell'illuminazione degli ambienti, la conformazione a tre strati della finestra intelligente consente all'utente un controllo personalizzato e ottimale del calore, della luce e della trasparenza. In un'ottica di risparmio energetico questo nuovo approccio permetterebbe un notevole risparmio di risorse e un'ottimale gestione dei costi, soprattutto per il raffreddamento e l'illuminazione degli edifici residenziali e in particolare di quelli commerciali, dove l'utilizzo di ampie vetrate è largamente diffuso<sup>10</sup> (Figg. 15, 16). Dal punto di vista dello studio dei materiali ciò che è più importante è che si è riusciti a dimostrare come sia possibile combinare tra loro materiali molto diversi per creare nuove proprietà che non è possibile ottenere con materiali monofase. L'interazione dei due materiali consente infatti di bloccare circa il 50% del calore e il 70% della luce visibile rispetto all'utiliz-

zo dei singoli materiali. Dal 2013 i ricercatori stanno lavorando con una start-up con sede a Oakland, in California, per abbassare i costi di produzione, ancora troppo elevati. Una possibilità potrebbe essere quella di utilizzare i cristalli a base di zinco in sostituzione del costoso ossido di indio e stagno, sperimentazione che sta dando dei buoni risultati in laboratorio.

Una semplice finestra può svolgere anche funzioni di approvvigionamento energetico, come un pannello solare. Lo dimostra lo studio *Large-area luminescent solar concentrators*, realizzato da un team di ricerca dell'Università Milano-Bicocca in collaborazione con il Los Alamos National Laboratory (U.S.A.). Il team ha messo a punto dei concentratori solari: si tratta di semplici lastre di plexiglass *drogate* con speciali nanoparticelle fluorescenti che catturano e concentrano la luce solare, trasformando le vetrate degli edifici in generatori di energia pulita, senza però rinunciare alla trasparenza del materiale<sup>11</sup>.



Figg. 15, 16 - La finestra intelligente.



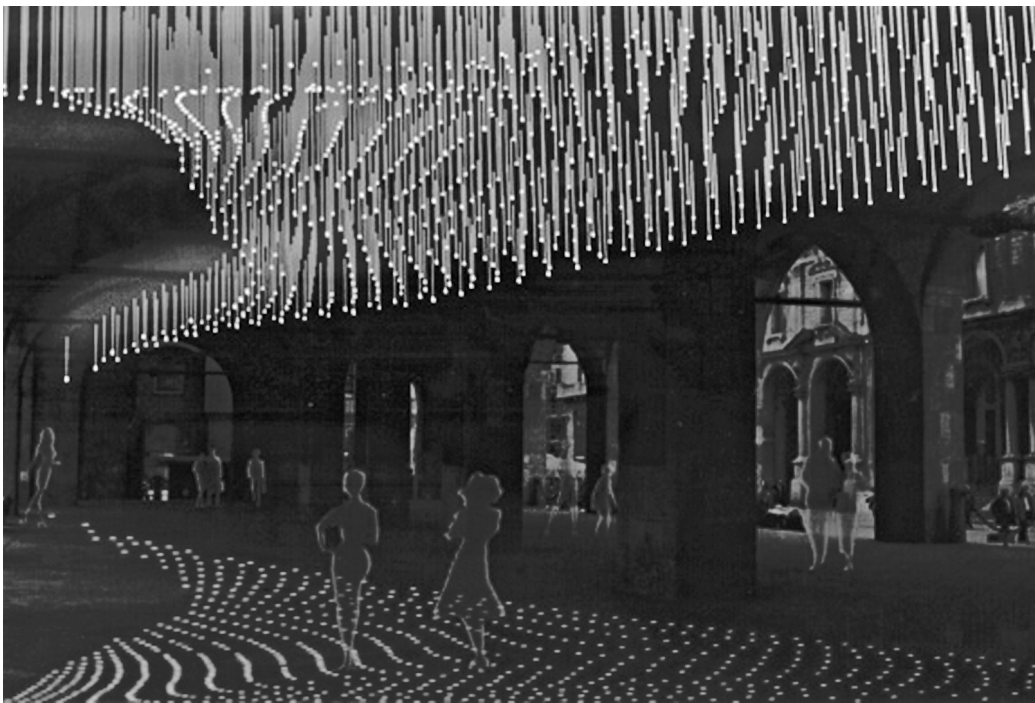


Fig. 17 - Studio dell'illuminazione decorativa di Piazza Mercanti a Milano.



Fig. 18 - Lampade a energia solare.



Fig. 19, 20 - Copertura con tegole a coppi alimentati da energia solare.



*Nuove soluzioni tecnologiche per illuminare i monumenti* - Anche l'illuminazione delle facciate e degli edifici monumentali richiede una particolare attenzione per uniformare criteri funzionali ed estetici, nel massimo rispetto delle loro caratteristiche formali ed ambientali. Le soluzioni tecnologiche per l'illuminazione delle facciate e dei monumenti sono varie: l'illuminotecnica consente, infatti, soluzioni efficaci per illuminare facciate monumentali, realizzate tramite proiettori che creano un'illuminazione radente della struttura muraria in modo da ridurre l'inquinamento luminoso. È possibile impiegare prodotti incassati a terra o a parete, dal piccolo faretto alla sorgente led, al proiettore di diversi watt, alle lampade fluorescenti. È auspicabile, inoltre, impiegare apparecchi d'illuminazione che assicurino un buon contenimento del flusso luminoso diretto al di fuori della zona da illuminare, ad esempio usando proiettori dotati di lampada di piccole dimensioni. Nell'illuminazione degli esterni è molto

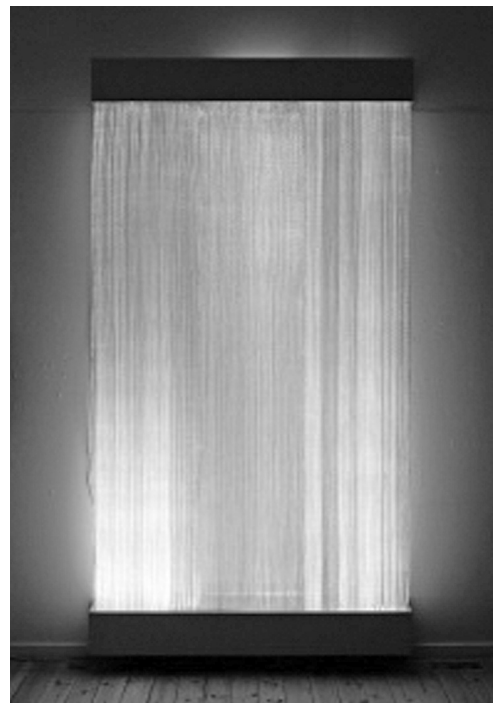
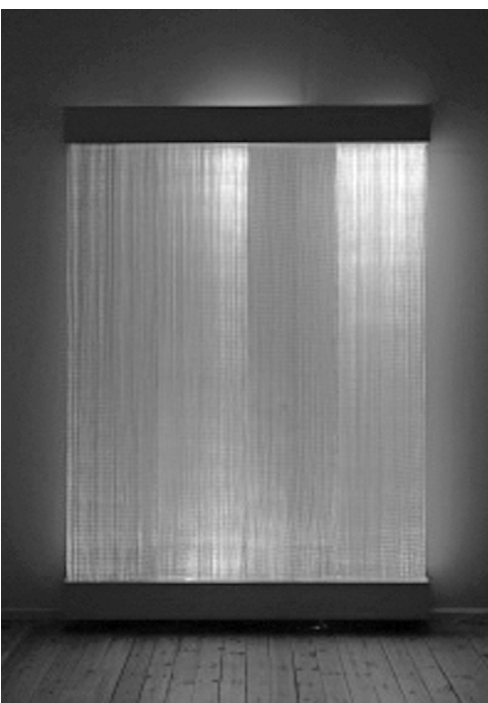
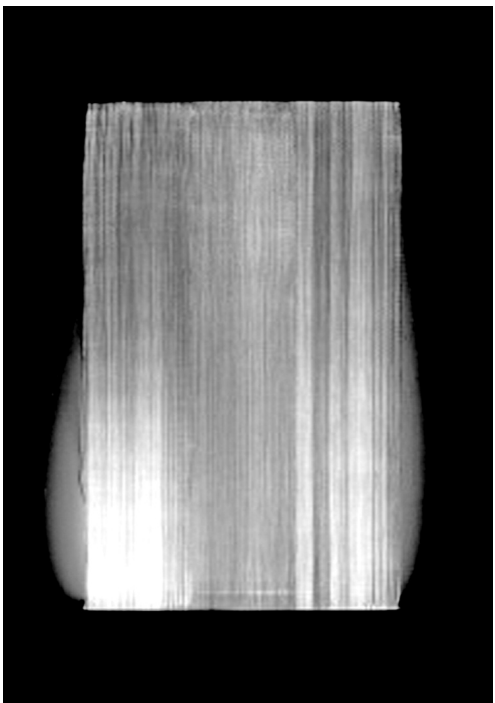
diffuso l'uso di piccoli faretti e tra questi la tendenza è quella di utilizzare sorgenti puntiformi come i led (Fig. 13, 14) o lampade allo xenon<sup>12</sup>, entrambi caratterizzati da una lunga durata nel tempo. In particolare le soluzioni basate sui led offrono livelli di rendimento sempre più elevati e un'estrema precisione nell'indirizzamento del flusso, poiché consentono la possibilità di variazione dell'intensità luminosa ed effetti cromatici, fondamentali per un'illuminazione dinamica sia in interni che in esterni.

Gli impianti d'illuminazione dei monumenti sono costituiti solitamente da apparecchi illuminanti con sorgenti ad alto rendimento, con particolare riguardo alla risoluzione dei problemi connessi con l'inquinamento luminoso. Per evitare che la luce fuoriesca dalla facciata da illuminare è possibile installare schermi o utilizzare proiettori a riflettore asimmetrico. È bene scegliere prodotti che valorizzino, attraverso la luce che emettono, lo spazio architettonico nel

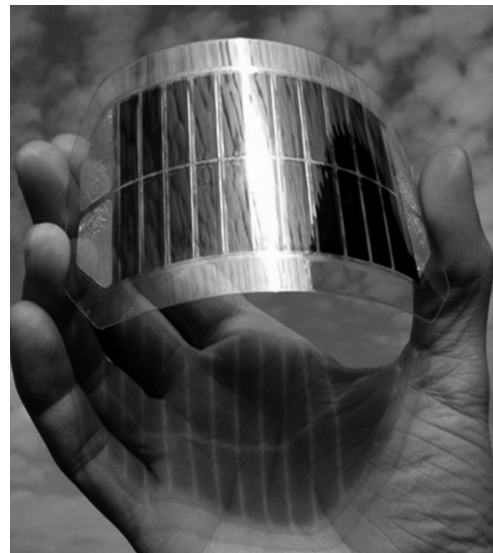
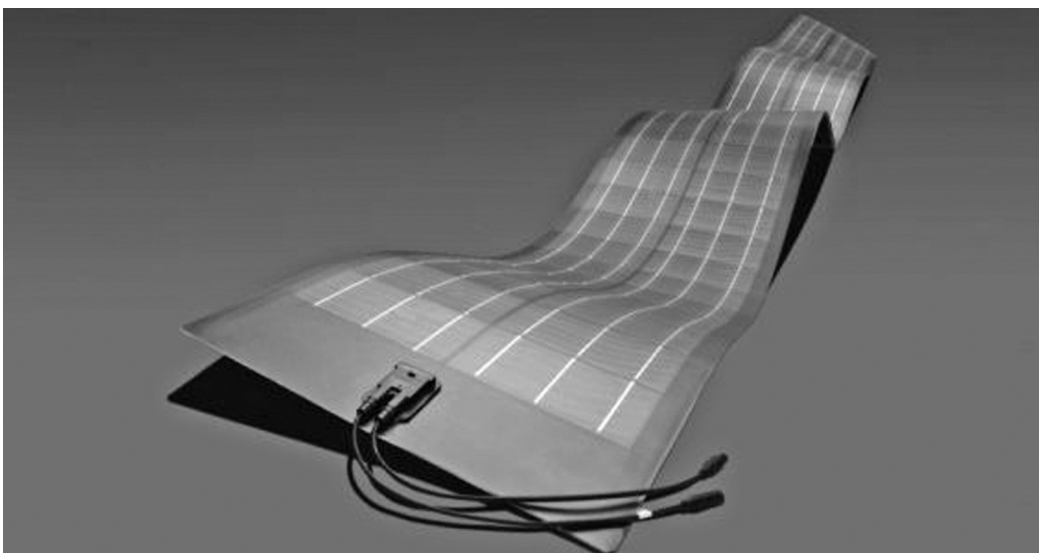
quale vengono installati. Per questa ragione viene spesso prediletta una luce calda piuttosto che lampade fluorescenti. Per contribuire a ridurre l'inquinamento ambientale e favorire il risparmio energetico, stanno iniziando ad essere utilizzati anche apparecchi funzionanti con moduli fotovoltaici in grado di inserirsi armonicamente in edifici d'epoca, monumenti ed edifici d'interesse storico (Fig. 17). La tecnologia fotovoltaica offre evidenti vantaggi economici e ambientali, per contro fino ad oggi gli ostacoli alla sua diffusione sono stati l'estetica e l'impatto visivo dei moduli, uniti ai costi elevati di vendita e d'installazione ed è probabile che in futuro la maggiore cura nel design ed una più ampia gamma di prodotti fotovoltaici consentiranno di espandere maggiormente l'intero settore del fotovoltaico rendendolo competitivo (Fig. 18-27).

*Conclusioni* - L'esperienza dimostra che l'in-





Figg. 21, 22, 23 - Tessuti intelligenti che includono la fibra ottica nella loro composizione di base e che si illuminano a seconda della luminosità dell'ambiente.



Figg. 24, 25 - Film fotovoltaici.

novazione tecnologica si verifica quando un processo di cambiamento raggiunge una massa critica tale da superare l'inerzia del *sistema classico*, e che solo insistendo su processi e innovativi è possibile attuare piani decisamente più ambiziosi rispetto alle pratiche correnti. Pertanto sono necessari il dialogo ed il confronto con competenze anche lontane che possono essere di grande ispirazione ma che richiedono al contempo consapevolezza delle proprie conoscenze specifiche e degli obiettivi che ci si propone di perseguire.

Attraverso i risultati ottenuti dai recenti progetti sperimentali, e anche realizzati, sono avvenuti sostanziali cambiamenti nel modo di vedere e vivere l'ambiente costruito: l'utente si trasforma da spettatore in protagonista. I progetti qui considerati mostrano l'interesse e le idee che fervono sulla ricerca riguardo alle tecnologie innovative e sistemi affidabili, volti a garantire la valorizzazione e la fruizione del paesaggio costruito e uno smart use

dello spazio costruibile. In tale momento storico così caratterizzato dall'uso di alta tecnologia, proprio la continua ricerca tecnologica può rappresentare lo spunto per un'ulteriore rinnovata riflessione sui concetti di innovazione e sostenibilità. Ci riferiamo a tecnologie che possono essere sperimentate con successo al fine di salvaguardare l'ambiente costruito, ponendo le basi per una *intelligenza della costruzione*, ragionando coscientemente sui problemi simultaneamente formali e costruttivi, sulle tematiche funzionali e sulle implicazioni tecniche e impiantistiche, favorendo una riflessione sulle molteplici dimensioni che sottendono l'uso consapevole dei nuovi materiali.

#### NOTE

1) La prima definizione di *smart materials* si deve a Craig Rogers che, nel 1990, li definisce "Materials possessing adaptive capabilities to external stimuli".

2) Commentando la *Great Exhibition* di Londra, l'ar-

chitetto e teorico tedesco G. Semper scriveva che «la scienza arricchisce continuamente se stessa e la vita con la scoperta di nuove sostanze utili e di sostanze naturali dagli effetti meravigliosi, con l'introduzione di nuovi metodi nel campo della tecnica e con l'invenzione di nuovi strumenti e macchine. Quest'espressione è invero illogica - non c'è sovrabbondanza di mezzi, ma un'incapacità di impadronirsene - ma si giustifica nella misura in cui riesce a esprimere l'assurdità della nostra situazione».

3) La strada allo sviluppo delle nanotecnologie si è aperta negli anni Ottanta anche grazie alla messa a punto del microscopio a scansione a effetto tunnel, strumento in grado non solo di visualizzare i singoli atomi di un cristallo ma anche di muoverli.

4) Tutte le entità *smart* sono caratterizzate dal principio comune per cui ogni input genera un output quindi ad ogni stimolo, ambientale o indotto, segue una risposta con una reazione reversibile e un comportamento adattivo.

5) Il design sostenibile basa la progettazione di nuovi prodotti, frutto del miglior compromesso fra parametri ambientali e tecnico-economici, sulla valutazione degli impatti ambientali e sulla scelta dei materiali, delle forme e delle strutture. Questo iniziale criterio quantitativo, con cui spesso viene affrontata la questione ecologica, non è ormai più sufficiente e si deve ampliare e

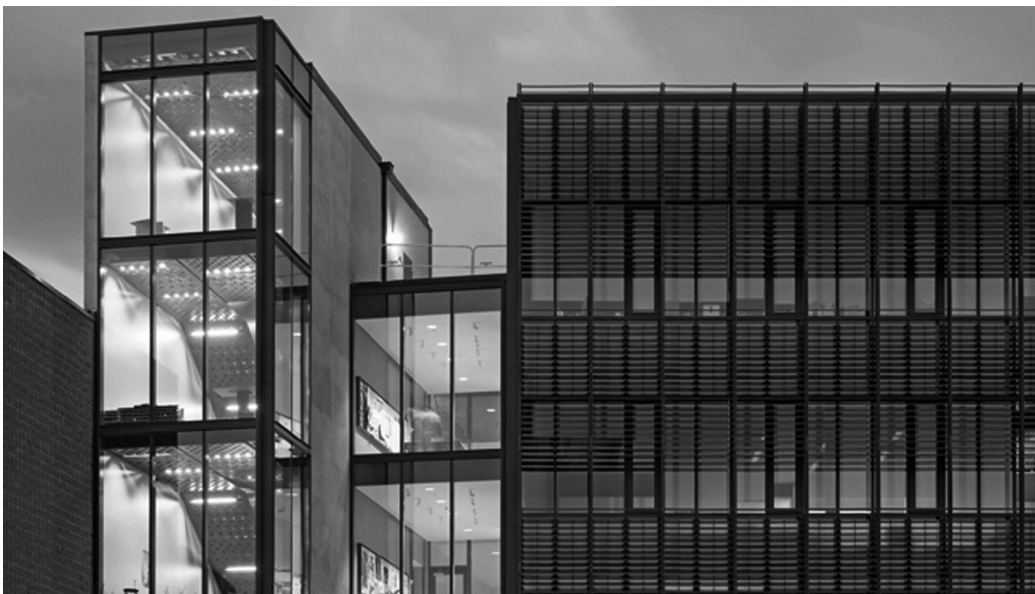


Fig. 26 - Edificio con infissi fotovoltaici.



Fig. 27 - Film fotovoltaici applicati su vetro.

connettere con valutazioni di tipo qualitativo: il senso di crescita economica e di benessere, lo sviluppo sostenibile. Si deve cioè prendere coscienza del fatto che non sono necessarie soltanto soluzioni tecniche mirate e parziali, ma anche scenari complessivi e futuribili in grado di ripensare la cultura del progetto e quella della produzione.

6) In architettura, il titanio viene impiegato per elementi di rivestimento e per le coperture. In questo settore è utilizzato il titanio commercialmente puro (titanio CP), oppure sono utilizzate le sue leghe.

7) Le caratteristiche uniche del titanio sono descritte nell'ultimo numero di marzo del Journal of the Minerals, Metals and Materials Society (JOM): un laminato metallico nuovo di zecca, prodotto dai laboratori dell'Università della California. L'autore della scoperta è Kenneth S. Vecchio, docente di ingegneria meccanica, da anni impegnato nella ricerca di nuovi materiali e oggi padre del Metallic-Intermetallic Laminates (MIL).

8) La creazione di Windswept è durata all'incirca un anno e mezzo, passando per diversi esperimenti di scala minore rispetto al risultato finale visibile sulla facciata del Museo. In principio, Sowers ha creato un prototipo di pannello composto da sole sei frecce, testandone l'andamento per circa un anno all'esterno del Museo. Contemporaneamente, Sowers ha anche montato un altro prototipo composto da poche frecce all'esterno di una finestra di un appartamento di Baker Beach nel quartiere Presidio di San Francisco, normalmente battuto da un vento forte e mutevole.

9) Il pH è una scala di misura dell'acidità o della basicità di una soluzione acquosa. Il termine pH fu introdotto nel 1909 dal chimico danese Søren Sørensen.

10) La finestra intelligente promette una riduzione dei costi energetici per riscaldamento e raffreddamento fino al 20%. Il vetro elettrocromico è in grado, d'inverno, di immagazzinare la luce e il calore solare, mentre durante l'estate si scurisce ostacolando l'irradiazione diretta e contribuendo a ridurre il surriscaldamento degli spazi interni.

11) Victor Klimov, che dirige il Center for Advanced Solar Photophysics a Los Alamos, spiega che «Gli LSC fungono da antenna di raccolta della luce che concentrano la radiazione solare raccolta da una grande area su una cella solare molto più piccola e questo aumenta la loro potenza». Secondo Klimov, «La realizzazione chiave è la dimostrazione dei *large-area luminescent solar concentrators* che utilizzano una nuova generazione di punti quantici appositamente progettati». I punti quantici sono frammenti ultra-piccoli di materia semiconduttrice che possono essere sintetizzati con precisione quasi atomica, utilizzando i moderni metodi di chimica colloidale. Il loro colore di emissione può essere regolato semplicemente variandone le dimensioni. La sintonizzabilità del colore si combina con le elevate efficienze di emissione che si avvicinano al 100%. Queste proprietà sono di recente diventati la base di una nuova tecnologia, la

“quantum dot displays” impiegata, per esempio, nella nuova generazione di Kindle Fire e-reader.

12) Lo *Xenon* o *xeno* (dal greco antico ξένος) è l'elemento chimico di numero atomico 54, con il simbolo Xe. È un gas nobile incolore, inodore e molto pesante; si trova in tracce nell'atmosfera terrestre ed è stato il primo gas nobile di cui si siano mai sintetizzati dei composti. *Xenos* può essere tradotto sia straniero (nel senso di una persona da un altro Stato greco) e un viaggiatore straniero o introdotte in una relazione di amicizia di lunga distanza. *Xenos* può anche essere utilizzato semplicemente per affermare che qualcuno non è un membro della vostra comunità, che è semplicemente straniero e senza alcuna implicazione di reciprocità o rapporto. Le lampade allo *xenon*, sono particolari lampade che emettono luce bianca, con composizione spettrale molto simile a quella della luce diurna, accompagnata da intense radiazioni ultraviolette e infrarosse; tali lampade hanno un'intensità molto elevata e un tempo di innesco brevissimo.

#### BIBLIOGRAFIA

- ADDINGTON D. M., SCHODEK D. L., *Smart Materials and New Technologies: For the Architecture and Design Professions*, Routledge 2005.
- CARDILLO M., FERRARA M., *Materiali intelligenti, sensibili, interattivi*, Lupetti, Milano 2008.
- CURRIE, M. J., MAPEL, J. K., HEIDEL, T. D., GOFFRI, S. & BALDO, M. A. High-efficiency organic solar concentrators for photovoltaics. *Science* 321, 226–228, 2008.
- DEBIJE, M. G. & VERBUNT, P. P. C. Solar concentrators: thirty years of luminescent solar concentrator research: solar energy for the built environment. *Adv. Energy Mater.* 2, 12–35 (2012).
- DONALD L. J., *Engineering analysis of smart material systems*. Hoboken, John Wiley & Sons, N. J. 2007.
- GANDHI M. V., THOMPSON B. S., *Smart materials and structures*, Chapman & Hall, London 1992.
- GUTOWSKI T.G., *Advanced Composites Manufacturing*, John Wiley, New York 1997.
- MAZUMDAR, S. K., *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*, CRC PRESS 2002.
- SEMONIN, O. E. ET AL. Peak external photocurrent quantum efficiency exceeding 100% via MEG in a quantum dot solar cell, *Science*, 334, 1530-1533, 2011.
- SUN, B., FINDIKOGLU, A. T., SYKORA, M., WERDER, D. J. & KLIMOV, V. I. Hybrid photovoltaics based on semiconductor nanocrystals and amorphous silicon, *Nano Lett.* 9, 1235–1241, 2009.
- SRINIVASAN, A. V., MCFARLAND, D. MICHAEL. *Smart structures: analysis and design*. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge 2001.
- TONELLI C., *Innovazione tecnologica in architettura e qualità dello spazio: Note per un accordo*, Gangemi, Roma 2003.
- www.greenreport.it/news/economia-ecologica/tutto-ledificio-diventa-fotovoltaico-nanoparticelle-punti-quantici.

\* SANTINA DI SALVO, architetto e Dottore di Ricerca in Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi, è Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento di Architettura della Università di Palermo. I suoi interessi sono rivolti soprattutto alle questioni legate alla valorizzazione dei beni culturali, attraverso l'uso di tecnologie innovative. Ha maturato esperienze di studio e lavoro all'estero ed ha al suo attivo numerose pubblicazioni scientifiche, di livello nazionale e internazionale su libri, riviste specializzate, come il Cultural Journal of Heritage, saggi e contributi in Atti di Convegno.