

URBANISTICA, NUOVE TECNOLOGIE ENERGETICHE, MATERIALI INNOVATIVI ED ARTE: ALLA RICERCA DI UNA CITTÀ ABITABILE

*Daniela Meroni, Alessandro Minguzzi, Francesca Tessore,
Gian Luca Chiarello, Alberto Amadori, Cesare Oliva, Ilenia Rossetti*

Università degli Studi di Milano

Dipartimento di Chimica

ilenia.rossetti@unimi.it

Lo scorso settembre 2016 si è tenuto un convegno presso l'associazione culturale SATOR, Milano, dal titolo "Energia e Ambiente nella Città del Futuro". Questa iniziativa è nata come esperimento per avvicinare la pianificazione urbanistica all'ambito tecnologico, rappresentato da ricercatori del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano, variamente impegnati nello studio di processi per la conversione



dell'energia ed il risanamento ambientale. Questi argomenti sono di particolare interesse per una città come Milano, in continua espansione, che ha visto negli ultimi anni la rinascita di interi quartieri grazie a felici esperimenti, in grado di coniugare energie rinnovabili, risparmio energetico, gradevolezza ed armonia nelle forme. Spazi dove, tra l'altro, la cittadinanza ha trovato luoghi da condividere. Quelle che seguono sono alcune note a valle di tale convegno, allo scopo di condividere le principali riflessioni emerse in quei due giorni.

Mario J. Molina (premio Nobel per la Chimica del 1995), a giornalisti e politici che gli chiedevano come proponesse di risolvere i problemi ambientali, affermò: "Mi sono subito accorto che una risposta onesta richiedeva un chiarimento, cioè che la soluzione coinvolge non solo la scienza, ma anche giudizi di valore" [1]. E aggiunse: "Tenendo conto della crescita della popolazione, della minaccia del cambiamento climatico, dell'inquinamento globale dell'aria, del crescente sfruttamento delle limitate risorse naturali, e di altri dati sociali e ambientali, sono convinto che occorra un'azione globale concertata, che richieda importanti cambiamenti nella società." [2]

Questa *azione globale* comporta sicuramente una profonda revisione del modo di progettare le nostre città, per renderle più vivibili: un discorso anche urbanistico ed architettonico da lasciare agli specialisti chiedendo però a loro di realizzare una concreta integrazione tra l'aspetto funzionale e quello di risparmio e razionalizzazione del consumo energetico, utilizzando tutti i nuovi mezzi messi a disposizione dalla moderna tecnologia e dalla ricerca scientifica di questi ultimi decenni. Occorrerebbe quindi costruire una "teoria scientifica della città" come prospettato dal gruppo del fisico Geoffrey West, che afferma: "The inexorable trend toward urbanization worldwide presents an urgent challenge for developing a predictive, quantitative theory of urban organization and sustainable development" [3].

Geoffrey West prevede che se alcune risorse (come consumo energetico, infrastrutture, eccetera) crescono in modo più che lineare in funzione dell'aumento della popolazione, allora quest'ultima comincerà ad aumentare più velocemente tendendo in un primo tempo all'infinito, ma creando poi un collasso della disponibilità delle risorse a propria disposizione, con conseguente estinzione dell'umanità stessa. West verifica che molte di queste risorse "critiche" aumentano, nella nostra società, effettivamente in modo più che lineare con la popolazione, e si propone quindi di studiare le condizioni che possano evitare il collasso dell'umanità per sovrappopolazione. Queste risulterebbero legate alla capacità di una periodica ristrutturazione dell'organizzazione sociale, che valorizzi il continuo progresso scientifico, tecnologico e urbanistico, ma non solo.

Infatti, i punti fondamentali ricavabili dal pensiero di West sono riassumibili in un progetto di crescita umana che comporti:

- 1) una minimizzazione del consumo di energia
- 2) una pianificazione urbanistica ed architettonica che renda minimo lo stress della vita...
- 3) ...e che favorisca però contemporaneamente il più possibile le interazioni tra le persone, mediante tutti i mezzi forniti dalla cultura e dall'arte.

Il primo punto sembra sottolineare che, paradossalmente, i problemi ecologici in gran parte generati in passato da un rapido ma disordinato progresso tecnologico siano risolvibili solo con l'aiuto di un ulteriore sviluppo di questo stesso progresso scientifico-tecnologico. Un esempio è costituito dallo studio sulle fonti energetiche alternative, di cui si è parlato anche in questo convegno. Questo progresso, però, dovrà essere guidato da criteri basati su attenti giudizi di valore, e mai isolato da una idea più completa di crescita: dovrà quindi tener conto non solo del benessere economico ma anche di tutte le dimensioni dell'uomo come persona, come sottolineato dai punti 2 e 3.

Il secondo punto porta alla proposta di una nuova pianificazione urbanistica ed architettonica, come quella delle città territoriali (*vide infra*), che riduca al massimo la fatica degli spostamenti, rispettando anche le esigenze di vivere nel verde e a contatto con la natura.

Il terzo punto si richiama all'importanza di tutti i mezzi che favoriscono il dialogo tra gli uomini, come quelli creati da ogni forma di arte, vista sia come capacità di creare oggetti non solo tecnologicamente utili ma anche esteticamente apprezzabili, sia come educazione del nostro sguardo a cogliere la bellezza degli oggetti che ci circondano, anche di quelli tecnologici che inevitabilmente occuperanno sempre più spazio nelle nostre città: un dialogo, quindi, tra urbanistica, architettura, tecnologia e arti, che ci dovrebbe insegnare ad amare maggiormente il nostro mondo, non solo quello naturale, ma anche quello costruito con le nostre stesse mani. D'altra parte secondo J.C. Polanyi (Nobel per la Chimica nel 1986): "L'artista e lo scienziato hanno uno scopo comune: dare forma al mondo che li circonda. Entrambi lo perseguono cercandovi un disegno - un disegno che riunisca ciò che prima era scollegato." [4]. E l'architetto deve essere innanzitutto uno scultore perché anche l'architettura, oltre ad essere fortemente connessa all'urbanistica e alle nuove tecnologie energetiche, è soprattutto, secondo Le Corbusier, "un fatto d'arte" [5].



Quanto fin qui esposto costituisce in sintesi l'intervento del prof. Cesare Oliva, presidente dell'Associazione Culturale SATOR (www.associazioneculturalesator.it) presso la quale questo mini-convegno ha avuto luogo.

Interventi più tecnici hanno riguardato un punto chiave per lo sviluppo della città del futuro, quale la ricerca di strategie sostenibili di conversione dell'energia, inserite in una politica europea di incentivi alle tecnologie low carbon ed alle fonti rinnovabili. Infatti, uno dei principali obiettivi della politica ambientale ed energetica Europea è lo sviluppo di tecnologie altamente innovative per la conversione dell'energia a ridotto impatto ambientale. La visione

spazia da soluzioni a breve termine (obiettivi decennali o ventennali) per migliorare la sostenibilità ambientale rispetto ai metodi canonici di conversione dell'energia basati sulla combustione di combustibili primari fossili, alla ricerca di base di nuove tecnologie altamente innovative, in grado di rivoluzionare il panorama energetico mondiale (tipicamente si individuano obiettivi al 2050).

L'inversione di rotta nell'approvvigionamento energetico deve rispondere però ad alcuni requisiti. In primo luogo si basa su drivers ambientali, è necessario cioè individuare soluzioni che siano in grado di migliorare sensibilmente l'impatto ambientale delle attuali tecnologie. Particolare attenzione deve essere rivolta alla quantificazione reale dell'impatto (ad esempio mediante una logica di Life Cycle Assessment, LCA), che se svolta in modo non corretto può portare a risultati fuorvianti. Inoltre, un secondo punto chiave è la disponibilità locale delle risorse, particolarmente sensibile in Italia.

Pertanto la diversificazione e la contestualizzazione dei metodi di conversione dell'energia sono parametri da prendere in considerazione per garantire un reale beneficio a livello locale. Infine, è necessario considerare la sostenibilità economica delle soluzioni proposte. Quest'ultimo aspetto è particolarmente importante e viene di norma posto come prioritario nelle critiche diffuse al "mondo delle rinnovabili", che spesso non sono sostenibili senza meccanismi di incentivi pubblici. Da un lato la non sostenibilità può essere legata alla maturità



delle tecnologie, molto più recenti rispetto alle "rivali" fossili, quindi non ancora ottimizzate in termini di efficienza. Dall'altro lato ci sono problemi di vantaggio di scala e di mercato. La domanda chiave da questo punto di vista è: esiste una scala critica per le rinnovabili (le singole rinnovabili, ovviamente)?

(solare, eolico, geotermico, idroelettrico, biomasse, ecc.), alla maturità tecnologica ed alla taglia ottimale d'impianto. Sono stati illustrati alcuni progetti dimostrativi in tal senso su scala italiana ed europea corredati da un possibile prospetto dei costi e della proiezione degli stessi nel breve futuro [6].

Un primo intervento da parte della prof. Ilenia Rossetti è stato quindi finalizzato a dare una visione panoramica sulle varie tecnologie di conversione dell'energia in fase di sviluppo più o meno avanzato, ordinate per classi in base alla tipologia

Un ulteriore aspetto specifico da considerare è che le fonti energetiche rinnovabili attualmente più diffuse hanno caratteristiche di intermittenza e di disponibilità localizzata (fotovoltaico ed eolico ne sono un esempio eclatante) ed il loro sfruttamento ottimale deve prevedere l'utilizzo di un opportuno vettore energetico per poter accumulare l'energia prodotta ed eventualmente trasferirla. La conversione ed accumulo di energia sono quindi processi chiave nella sequenza di operazioni necessarie per l'ottimale utilizzo delle fonti energetiche. Tra i possibili metodi di accumulo di energia si possono citare quelli meccanici (ad esempio nell'idroelettrico con impianti ad accumulo) e quelli elettrochimici.

L'intervento del dr. Alessandro Minguzzi ha affrontato i principi chimico-fisici alla base dell'elettrochimica con particolare riferimento al "trucco elettrochimico" e cioè alla possibilità di separare nello spazio la decorrenza di due semireazioni (una di ossidazione, l'altra di riduzione) tramite un conduttore di ioni e sfruttare (o imporre) il relativo flusso di elettroni. Per raccogliere o rendere disponibili questi ultimi sono necessari dei "collettori", gli elettrodi, presenti nei due ambienti di reazione. È quindi evidente come l'elettrochimica sia alla base del

funzionamento di dispositivi che permettono la trasformazione di energia elettrica in energia chimica e viceversa.

I generatori elettrochimici (batterie) sono già ampiamente utilizzati per l'accumulo di energia sotto forma di energia elettrica in un ampio intervallo di applicazioni. Si va dalle batterie di pochi W, ad esempio nei telefoni cellulari, ad alcune centinaia di W nel caso delle biciclette elettriche, di kW nel caso di gruppi di continuità (*Uninterruptible power supply* - UPS). La potenza esprimibile da una batteria non è l'unico parametro utile a caratterizzarla. Fondamentali sono la capacità (in amperora, Ah), la densità di potenza e di energia (cioè la potenza e l'energia normalizzate per il volume del dispositivo) e la potenza e l'energia specifiche (potenza ed energia per peso di dispositivo). Spesso il confronto tra dispositivi viene mostrato tramite un diagramma di Ragone, come quello riportato in Fig. 1.

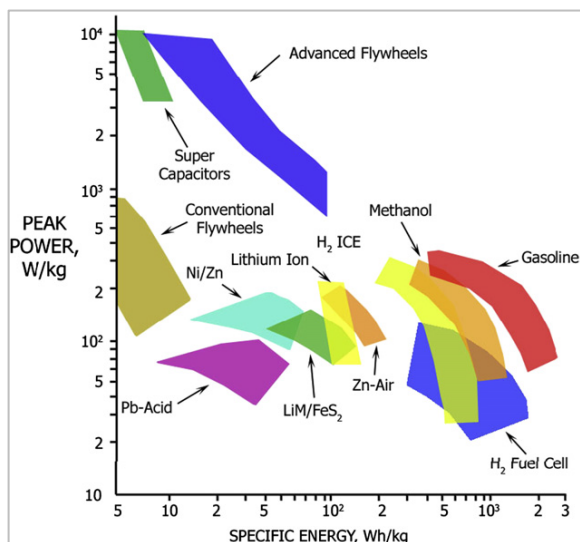


Fig. 1 - Potenza specifica in funzione dell'energia specifica per vari sistemi di stoccaggio dell'energia (da A.F. Ghoniem, *Progress in Energy and Combustion Science* 37 (2011) 15-51, © Elsevier 2011)

È evidente che il tipo di batteria su cui si concentra maggiormente l'interesse negli ultimi anni sia quello a ioni di Li, una tecnologia che prevede ulteriori margini di sviluppo, ad esempio nel sostituire gli elettroliti liquidi (e potenzialmente esplosivi) con quelli polimerici o basati sui liquidi ionici.

Tuttavia, nella prospettiva di un uso più esteso e coerente delle fonti rinnovabili è conveniente l'impiego di un vettore energetico il cui trasporto e accumulo sia efficace. In quest'ottica viene considerata la possibilità di utilizzare l'idrogeno molecolare, H_2 . Ancora una volta l'elettrochimica indica una via per la conversione di energia elettrica in idrogeno e viceversa. Il primo passaggio può avvenire attraverso l'elettrolisi dell'acqua [7], che permette di ottenere direttamente idrogeno di elevatissima purezza, rappresentando ad esempio un metodo di accumulo del surplus di elettricità prodotta da fonti intermittenti. Il secondo sfrutta le pile a combustibile delle quali esistono numerose varianti, da quelle funzionanti a bassa temperatura [8] a quelle, più adatte ad applicazioni stazionarie come nelle *smart grids*, operanti ad alte temperature.

Durante il convegno sono stati presentati anche interessanti risultati inerenti la fotochimica e la fotocatalisi. È importante sottolineare che è possibile unire le potenzialità di queste discipline con quelle più tipicamente elettrochimiche per lo sviluppo dei dispositivi fotoelettrochimici capaci, ad esempio, di utilizzare la luce solare per la conversione diretta dell'acqua in ossigeno e idrogeno (foto-elettrolisi dell'acqua). Ancora una volta, la separazione fisica delle due semireazioni garantisce l'elevata purezza dei due prodotti [7-9].

Sono state inoltre introdotte le potenzialità dell'elettrochimica per il disinquinamento. È possibile, infatti, ossidare o ridurre sostanze inquinanti ad un elettrodo con il grande vantaggio di evitare l'uso di reagenti di ossidazione/riduzione, di lavorare in condizioni di temperatura e di pressione ambiente e di avere un'elevata flessibilità in termini di dimensionamento dei dispositivi [10].

Anche la fotocatalisi sta assumendo un ruolo di rilievo, sia dal punto di vista della produzione di combustibili e vettori energetici, sia nel campo della rimozione di inquinanti (in fase liquida e gassosa). La fotocatalisi basa la sua azione sullo sviluppo di semiconduttori in grado di promuovere specifiche reazioni di ossidoriduzione, nello stesso mezzo o in comparti separati, in seguito all'assorbimento di radiazione luminosa. L'obiettivo applicativo più ambizioso è la promozione del processo mediante radiazione solare, che consentirebbe ad esempio di depurare correnti liquide o gassose, o di produrre idrogeno dall'acqua, sfruttando come energia primaria quella più abbondante ed ubiquitaria sul nostro pianeta. Esempi applicativi di reazioni su cui si sta concentrando l'attenzione negli ultimi anni sono la fotoriduzione di CO_2 , finalizzata alla rigenerazione di combustibili liquidi e gassosi [11, 12] e la produzione fotocatalitica di idrogeno [13].

La produzione fotocatalitica di idrogeno è un argomento di ricerca che ha suscitato notevole interesse negli ultimi decenni per la sua potenziale applicazione nel campo della conversione e immagazzinamento dell'energia solare e viene descritta nell'intervento del dr. Gian Luca Chiarello. Il processo inizia con l'assorbimento di un fotone la cui energia è pari o maggiore al band gap del semiconduttore che funge da fotocatalizzatore (Fig. 2). L'assorbimento provoca una transizione di un elettrone dalla banda di valenza alla banda di conduzione con la conseguente formazione di una coppia buca-elettrone.

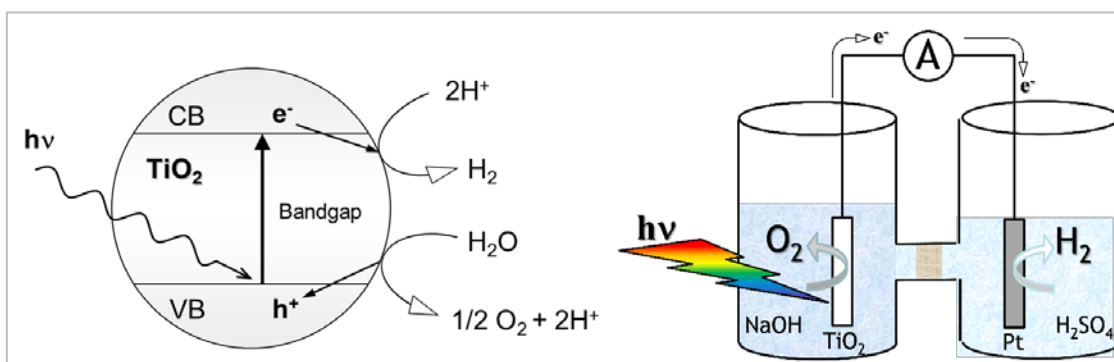


Fig. 2 - Schema del meccanismo di funzionamento di una cella fotoelettrocatalitica per la scissione separata dell'acqua in idrogeno e ossigeno

Se i livelli energetici delle bande di conduzione e di valenza sono collocate su una scala elettrochimica relativa a valori rispettivamente maggiori (potenziali più negativi) e minori (potenziali più positivi) dei potenziali di riduzione standard delle coppie H^+/H_2 e $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$, allora gli elettroni eccitati sono in grado di ridurre i protoni a idrogeno molecolare mentre le buche di ossidare l'acqua a ossigeno. Come accennato prima, questo processo può essere ottenuto utilizzando le celle fotoelettrocatalitiche (PEC) [14]. La sfida principale per lo sviluppo futuro di questi dispositivi è la preparazione di fotoanodi attivi, stabili ed economici. Durante l'intervento di Chiarello sono state presentate due tecniche per la sintesi di fotoanodi sotto forma di film sottili: il magnetron sputtering [15] e l'anodizzazione elettrochimica [16]. Queste tecniche sono interessanti perché già disponibili a livello industriale per la deposizione su larga scala (es. roll-to-roll magnetron sputtering).

Oltre al processo di scissione diretta dell'acqua, l'idrogeno può essere prodotto in presenza di composti organici sia in fase liquida (processo di photo-reforming) sia in fase vapore (photo steam reforming) [17]. Questi processi avvengono in condizioni anaerobiche e portano alla formazione di una miscela di H_2 , CO_2 e una serie di eventuali sottoprodotti di intermedi di ossidazione del composto organico [18]. Sebbene queste reazioni siano accompagnate da una minore variazione di energia libera di Gibbs (ovvero la quantità di energia fotonica

globalmente convertita ed immagazzinata per mole di idrogeno prodotto è minore rispetto a quella della scissione dell'acqua), questi processi sono comunque di grande interesse perché:

- i) i composti organici reagiscono più efficientemente con le buche di quanto non faccia l'acqua permettendo di ottenere maggiori efficienze quantiche;
- ii) offrono la possibilità di depurare acque o correnti gassose con la contemporanea produzione di idrogeno.

In questo campo si stanno sviluppando notevoli competenze nel settore della scienza dei materiali, per lo sviluppo di fotocatalizzatori sempre più attivi nel campo della radiazione solare. Molto deve essere ancora fatto, tuttavia, per lo sviluppo delle relative tecnologie. Indubbiamente però i processi fotocatalitici per l'immagazzinamento dell'energia solare sono uno dei campi in maggiore sviluppo e dalle maggiori ricadute applicative potenziali.

L'inquinamento ambientale rappresenta una delle principali sfide che le nostre città devono affrontare per salvaguardare la qualità della vita dei loro abitanti. Il complesso ed attualissimo tema della riduzione dell'inquinamento in ambito urbano è stato al centro dell'intervento "Energia Solare per il disinquinamento dell'aria e dell'acqua" della dr.ssa Daniela Meroni. È stato innanzitutto delineato il quadro della situazione ambientale attuale nelle grandi città del Nord Italia. Come ormai i giornali riportano da tempo, le grandi città della Pianura Padana sono piagate da un annoso problema di inquinamento atmosferico, particolarmente acuto durante i mesi invernali, dovuto ad una serie di concause geografiche ed antropiche. Sebbene meno seguita dai mezzi d'informazione, la situazione delle acque superficiali e di falda presenta anch'essa notevoli criticità, causata da una miscela di inquinanti "tradizionali" (come pesticidi, metalli, nitrati) ed emergenti (quali i *pharmaceuticals and personal care products, PPCPs*). Tra le varie tecniche di disinquinamento l'attenzione è stata concentrata sui metodi fotocatalitici, che consentono la rimozione di inquinanti dell'aria e dell'acqua in presenza di luce. Questa tecnica di disinquinamento si basa su fotocatalizzatori, in grado di attivare, in seguito all'irraggiamento con luce, la degradazione di una vastissima gamma di inquinanti a dare composti innocui. Si tratta di un processo che si presta in modo particolare all'applicazione in campo urbano. Infatti, il processo può essere applicato per la degradazione di inquinanti sia dell'aria che dell'acqua, non comporta la produzione di scarti e non richiede l'utilizzo di altri reagenti se non la luce, in linea di principio fornita dal sole. Inoltre, i materiali attivi (i fotocatalizzatori) possono essere integrati in materiali da costruzione, quali vetri e cementi. Da questo punto di vista l'Italia è all'avanguardia, grazie ad aziende che hanno sviluppato negli anni interessanti prodotti a base di fotocatalizzatori. Un esempio particolarmente suggestivo che mostra la sintesi possibile di ricerca scientifica ad altissimo livello, progettazione urbana ed arte è l'edificio del Padiglione Italia di EXPO 2015 (Fig. 3), realizzato con cemento fotocatalitico (i.active BIODYNAMIC di Italcementi).



EXPO 2015 (Fig. 3), realizzato con cemento fotocatalitico (i.active BIODYNAMIC di Italcementi).

Fig. 3 - Padiglione Italia a EXPO 2015
Copyright: Italcementi

La tecnologia fotocatalitica applicata al campo ambientale, nonostante i numerosi prototipi e i primi prodotti commerciali, fatica a trovare larga applicazione a causa di una serie di problematiche, legate all'efficienza, durata e salubrità dei fotocatalizzatori. Infatti, i

fotocatalizzatori più durevoli ed attivi (quali il biossido di titanio) richiedono, per attivare il processo fotodegradativo, l'irraggiamento con luce UV, che costituisce solo una piccola parte (ca. 5%) della luce solare. Inoltre, l'utilizzo di polveri nanometriche, sebbene consenta di ottimizzare le efficienze fotocatalitiche, non si presta all'uso reale per problematiche tecniche e possibili rischi ambientali. La sfida è quindi la creazione di materiali che combinino un'alta area superficiale, un'elevata efficienza sotto irraggiamento solare e annullino il rilascio di nanoparticelle nell'ambiente [19, 20].

Come soluzione a breve termine per l'utilizzo dell'energia solare sono già commercialmente disponibili varie tecnologie di tipo fotovoltaico, di cui ha parlato la dott. Francesca Tessore. I sistemi fotovoltaici più efficienti (con efficienza di conversione luce solare→elettricità che superano ormai il 40%) sono sistemi multigiunzione di semiconduttori inorganici a base di GaAs, caratterizzati, tuttavia, da costi di produzione troppo elevati per poter essere immessi sul mercato e che, quindi, trovano applicazioni solo in campi *high-tech* come quello dell'industria e della ricerca aerospaziale. In massima parte, invece, la produzione di energia fotovoltaica è legata a pannelli che utilizzano come semiconduttore wafer di silicio (sia policristallino che amorfo) con efficienze intorno al 20%. In questo caso, il costo elevato legato alla necessità di usare silicio ad elevata purezza è compensato da una tecnologia di produzione oramai matura e consolidata. I maggiori svantaggi dei pannelli solari tradizionali sono legati al fatto che producono corrente elettrica in maniera efficiente solo se la radiazione solare arriva con una giusta angolazione e che perdono di efficienza con le alte temperature. Inoltre, la loro integrazione in strutture architettoniche non sempre risulta essere esteticamente accettabile. Tra le alternative più promettenti sviluppate nel corso degli ultimi anni le celle solari di tipo DSSCs (*Dye-Sensitized Solar Cells*) [21] hanno attratto l'interesse della comunità scientifica per alcune loro caratteristiche peculiari. Infatti, diversamente dai pannelli fotovoltaici tradizionali e dagli altri tipi di celle solari di seconda e terza generazione, queste celle utilizzano un semiconduttore ad alto band-gap e relativamente poco costoso come TiO_2 e possono essere trasparenti e variamente colorate, favorendone potenzialmente l'integrazione architettonica come vetri fotovoltaici (Fig. 4) nel campo emergente della cosiddetta *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV) [22]. Inoltre, la loro flessibilità e leggerezza, unite alla capacità di catturare la luce solare da entrambi i lati e da ogni angolazione, li rendono adatti alla realizzazione di sistemi fotovoltaici "indossabili" (*Wearable Photovoltaics*).

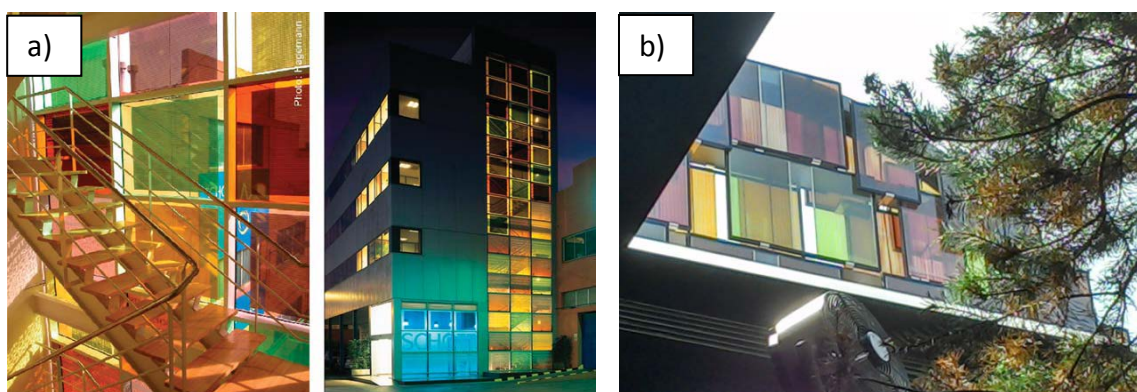


Fig. 4 - Esempi di integrazione architettonica di DSSC: a) Palazzo Schott Iberica a Barcellona (Spagna); b) Padiglione Austria @ EXPO2015 Milano

Anche per quanto riguarda i costi, le DSSCs appaiono più promettenti rispetto ai tradizionali pannelli di silicio, con un costo di produzione stimato minore di 0,5 \$ Wp [21].

Un aspetto non ancora indagato a fondo, e che è attualmente oggetto di studio per la sua criticità prima di una reale immissione sul mercato delle DSSCs, è la loro stabilità nel tempo.

I componenti più importanti di una DSSC sono il colorante, il film mesoporoso di TiO_2 ed il mediatore redox (Fig. 5). Il colorante, legato chimicamente alla superficie del semiconduttore, assorbe un fotone, producendo uno stato eccitato che trasferisce un elettrone alla banda di conduzione di TiO_2 . Il cromoforo, così ossidato, viene di nuovo ridotto dalla donazione di un elettrone da parte del sistema redox elettrolitico. L'elettrone iniettato attraversa il semiconduttore, arrivando al controelettrodo (costituito da un vetro su cui è stato depositato del platino). Qui il circuito si chiude con la riduzione dell'elettrolita ossidato.

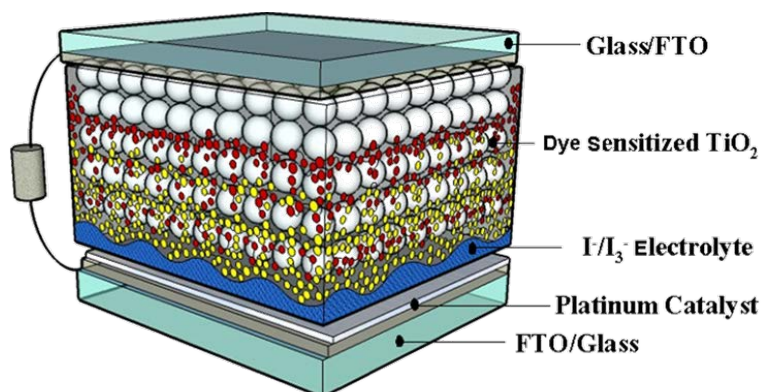


Fig. 5 - Schema di una Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

I coloranti utilizzati inizialmente e che hanno portato anche a livelli di efficienza oltre l'11% si basano su complessi di rutenio [23]. Tuttavia l'alto costo di questo metallo e la difficile purificazione dei suoi complessi rende difficile il loro impiego su larga scala. Per questo molta ricerca è stata fatta per trovare nuovi coloranti non critici, cioè privi di metalli nobili, facilmente reperibili e abbondanti oltre che non tossici e a basso costo.

Tra questi, i complessi di zinco di molecole biologicamente interessanti come le porfirine (fanno parte, per esempio, del gruppo eme del sangue e della clorofilla) hanno fatto registrare efficienze record certificate di oltre il 13% [24], rendendoli candidati ideali come coloranti in virtù anche dei loro elevati coefficienti di assorbimento e della loro colorazione verde, ottimale per un'applicazione BIPV.

Sono quindi molte le opzioni disponibili per integrare tecnologie innovative di conversione dell'energia e di miglioramento della qualità dell'aria e delle acque, in un contesto urbano in pieno rinnovamento.

In questo contesto si è inserito l'intervento più visionario, "La città come elemento architettonico tecnologico", dell'architetto Alberto Amadori (www.albertoamadori.com), volto a ripensare la struttura urbana in chiave sostenibile. L'idea di partenza è la ORGTECNOLOGY: la progettazione di una città come un unico grande organismo, capace di gestire le proprie stesse successive espansioni, e che offra alta qualità di vita mediante un ricorso alle più moderne tecnologie (in particolare di trasporto e per il reperimento di fonti energetiche), unite però ad un sapiente uso dell'arte e ad un'accurata ricerca di armonia nelle proporzioni degli edifici. Ne risulterebbe una Città Territoriale costituita da Poli Urbani distribuiti su un ordito modulare approssimativamente esagonale in grado di crescere sul territorio rispettandone peculiarità ambientali e storiche. Tale ordito creerebbe una ritmica armonia nella successione degli spazi verde/costruito e garantirebbe una multidirezionalità sia architettonico-plastica sia viario-logistica. Ogni Polo Urbano sarebbe strutturato in modo da permettere l'aggregazione o disaggregazione dei propri elementi, a seconda delle necessità, garantendo al centro abitato

stesso un'espansione organizzata e controllabile. In caso di dismissione di certe attività e dei relativi aggregati, questi ultimi potrebbero essere "smontati" o per fornire materiali da valorizzare in altre attività, nel rispetto dell'ambiente naturale e storico, o per essere "trasferiti" e "rimontati" (se costituiti da moduli prefabbricati) in altre aree che lo richiedano, in modo che la città stessa si modifichi a seconda delle esigenze. Verranno costituiti centri aggregati che supportino i carichi urbanistici, integrando le necessità di servizio degli insediamenti storici limitrofi e quelli dei contorni naturali e rurali, favorendo così anche un'interazione sociale che non sia alienante. Le tecnologie applicate diverranno pertanto un supporto a vantaggio della convivenza uomo - natura, in un rapporto di sinergia tra naturale ed edificato.

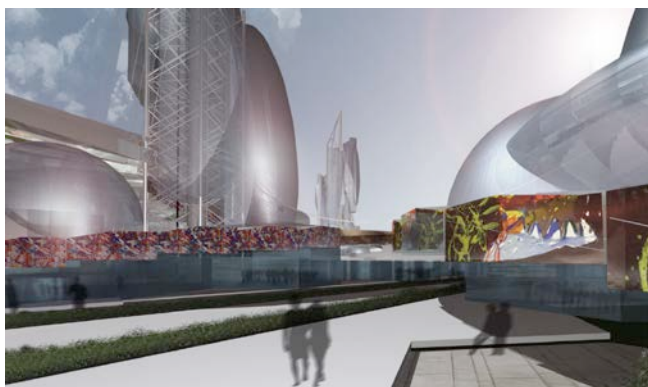


Fig. 6

(sprawl). Spesso, attualmente, la città non è che un agglomerato urbano in espansione, che occupa il territorio per soddisfare le proprie necessità, invadendolo. Questo non dovrà più avvenire: il territorio non dovrà più rappresentare una realtà secondaria che subisce interventi aggressivi per la crescita dei centri abitati ma, al contrario, dovrà diventare anch'esso oggetto di interesse primario e quindi parte integrante del sistema complessivo.

Definita la griglia e ipotizzato il sistema di sviluppo armonico sul territorio tra costruito e naturale, risulta necessario pensare al sistema infrastrutturale, non solo viario ma anche distributivo - energetico basato sullo sfruttamento delle energie alternative, in modo che ogni singola componente urbana funzioni da produttore e distributore di energia.

Le porte della città, gli edifici in elevazione e anche le aree libere attrezzate vedranno anche la collaborazione fattiva tra le componenti culturali artistiche diverse, come in questa rappresentazione di un ingresso alla città con opere di Claudio Granaroli, Sarit Lichtenstein e Evelina Schatz (Fig. 6).

Nella dimensione architettonica verrà applicata, quando possibile, la "proporzione aurea" già presente in natura, creando così continuità armonica tra edificato e ambiente naturale che lo circonda.

Per poter comprendere il nuovo modello di Città Territoriale è necessario ripensarlo come un sistema urbano completo ed articolato e non consentire che il suo sviluppo avvenga in modo incontrollato e disorganico



Nei monumenti spesso si cercherà di individuare la risonanza tra le forme della natura e quella degli oggetti tecnologici che ci circondano: così come in questo cavallo dello scultore Andrea Oliva (www.andreaoliva.org), interamente realizzato valorizzando pezzi d'acciaio di vecchie macchine (Fig. 7).

Fig. 7

La nuova Città Territoriale, utopica nel senso più positivo e creativo del termine, diventerà allora una sinfonia di forme e colori con accenti ora acuti ora sospesi, con le sue verticalità come canne d'organo o gigli artificiali in elevazione, le vibrazioni delle sue ossa e i silenzi della sua energia sommessi, come nell'immagine riportata in Fig. 6 immagine in cui lo "skyline" traccia picchi sonori: acuti, gravi, bassi, e segna intervalli, depressioni. Tutto sembra seguire un disegno armonico. Il ritmo è l'applicazione della regola aurea, intrecciata alla battitura modulare, così come capita in natura.

Altre immagini di Città Territoriali sono reperibili nel sito www.albertoamadori.com.

Insomma, come Leonardo da Vinci a fine 1400 progettò la città ideale [25] coniugando le migliori e più visionarie tecnologie del tempo, che oggi potremmo chiamare BAT (Best Available Technologies) con una progettazione degli spazi, ordinata, funzionale, igienica ed efficiente, così oggi si può fondere la tecnologia energetica e di risanamento ambientale più avanzata e nuovi spazi urbani, che siano in grado di garantire una città non solo funzionale, ma anche vivibile e gradevole.

Note sugli autori

- D. Meroni, vincitrice del Premio ENI Debutto in Ricerca 2015, si occupa di sviluppo di materiali per applicazioni innovative, tra cui la fotocatalisi (<http://users.unimi.it/interfasi>).
- A. Minguzzi, Ricercatore a tempo determinato e co-fondatore insieme ad Alberto Vertova e a Sandra Rondinini del Laboratory of Applied Electrochemistry (<http://www.ape.unimi.it/>)
- F. Tessore, è Ricercatore Confermato di Chimica Generale e Inorganica, si occupa dello sviluppo di nuove molecole per celle solari di terza generazione e per applicazioni nel campo dell'ottica non lineare.
- G.L. Chiarello, è Ricercatore di Chimica Fisica. I suoi interessi di ricerca sono nel campo della catalisi eterogenea, inclusa la fotocatalisi, e lo sviluppo di tecniche spettroscopiche *in-operando*.
- A. Amadori, formato alla scuola di Marino Marini e laureato in architettura al Politecnico di Milano, è libero professionista e si occupa di ipotesi di città futuribili ed ecocompatibili.
- C. Oliva, docente di Chimica-Fisica all'Università di Milano fino all'A.A.2014/2015, è presidente di SATOR e Socio Corrispondente dell'Accademia Nazionale di Scienze Lettere ed Arti di Modena.
- I. Rossetti è Professore Associato di Impianti Chimici, si occupa dello sviluppo di tecnologie innovative prevalentemente nel campo delle energie rinnovabili (<http://sites.unimi.it/Rossetti>)

BIBLIOGRAFIA

¹*I soon realized that an honest response required a clarification, namely that the answer involves not only science, but also value judgment.* M.J. Molina "Scienza, ambiente e mezzi di informazione", 10 Nobel per il Futuro, 5^a edizione, Milano, 7-8 dicembre 1997.

²Taking into account population growth, the threat of climate change, global air pollution, the increasing exploitation of limited natural resources, and other social and environmental issues, I am convinced that concerted global action is needed, requiring important changes in society, *ibidem*.

³L.M.A. Bettencourt *et al.*, *PNAS*, 2007, **104**, 7301.

⁴J.C. Polanyi, "Scienza e arte: due metodi di interpretazione del reale", in "10 Nobel per il Futuro", 2^a edizione, Milano, 7-8 dicembre 1994.

⁵Le Corbusier. *Vers une Architecture - Verso una Architettura*, Longanesi & C. Editore, Milano, IV edizione 1992, p. 9.

⁶Rapporto Energia e Ambiente Scenari e Strategie. Verso un'Italia *low carbon*: sistema energetico, occupazione e investimenti, ENEA, 2013.

⁷A. Minguzzi *et al.*, *Chemical Science*, 2014, **5**, 3591.

⁸C. Locatelli *et al.*, *Journal of Applied Electrochemistry*, 2013, **43**, 171.

⁹T. Baranet *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interf.*, 2016, **8**, 21250.

¹⁰S. Rondinini, A. Minguzzi, A. Vertova, "Reductive dechlorination of organic pollutants for wastewater treatment" in the Encyclopedia of Applied Electrochemistry, Robert F. Savinell, Ken-ichiro Ota, Gerhard Kreysa (Eds.), Springer, 2014.

¹¹F. Galli *et al.*, *Appl. Catal. B: Environmental*, 2017, **200**, 386.

¹²I. Rossetti *et al.*, *Catal. Sci & Technol.*, 2015, **5**, 4481.

¹³I. Rossetti, *ISRN Chemical Engineering*, 2012, Article ID 964936, doi: 10.5402/2012/964936.

¹⁴M. Grätzel, *Nature*, 2001, **414**, 338; E. Selli *et al.*, *Chem. Commun.*, 2007, 5022.

¹⁵G. Chiarello *et al.*, *Materials*, 2016, **9**, 279.

¹⁶G.L. Chiarello *et al.*, *ACS Catal.*, 2016, **6**, 1345.

¹⁷G.L. Chiarello, L. Forni, E. Selli, *Catal. Today.*, 2009, **144**, 69.

¹⁸G.L. Chiarello, D. Ferri, E. Selli, *J. Catal.*, 2011, **280**, 168.

¹⁹S. Ardizzone *et al.*, *Chem. Commun.*, 2011, **47**, 2640; V. Pifferi *et al.*, *Appl. Catal. B: Environ.*, 2015, **178**, 233; G. Cappelletti *et al.*, *Chem. Commun.*, 2015, **51**, 10459; C. Marchiori *et al.*, *J. Physical Chemistry C*, **2014**, 118, 24152; L. Rimoldi *et al.*, *J. Physical Chemistry C*, **2015**, 119, 24104.

²⁰M. Maiuri, D. Meroni, *Chem. Mater.*, 2016, **28**, 409.

²¹A. Hagfeldt *et al.*, *Chem. Rev.*, 2010, **110**, 6595.

²²M. Pagliaro, G. Palmisano, R. Ciriminna, *Flexible Solar Cells*, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.

²³M.K. Nazeeruddin *et al.*, *Inorg. Chem.*, 1999, **38**, 6298.

²⁴A. Yella *et al.*, *Science*, 2011, **334**, 629; S. Mathew *et al.*, *Nat. Chem.*, 2014, **6**, 242.

²⁵<http://www.museoscienza.org/leonardo/speciale/approfondimenti/articoli/citta.htm>