

# Quale spazio per l'innovazione sul fotovoltaico nelle coperture

DI M. D'ORAZIO  
UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE (AN)

**L'innovazione sul fotovoltaico in copertura, ed in particolare sui tetti con manto in "cotto", si è concentrata in questi ultimi tempi sulla "integrazione architettonica", dando luogo a differenti prodotti e tecnologie. Nel seguito, viene presentato un quadro delle ricerche oggi condotte su tali temi e dei possibili spazi per l'innovazione sulle coperture in laterizio.**

L'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, in alternativa a quelle fossili, sta crescendo rapidamente sia a livello mondiale che nazionale. Tale diffusione è incentivata, ormai a scala planetaria, per il fatto che l'inquinamento ambientale ed in particolare le emissioni di CO<sub>2</sub>, connesse all'utilizzo di combustibili fossili per la produzione di energia, stanno progressivamente innalzandosi, proporzionalmente ai consumi, e rischiano di determinare nel pianeta mutamenti climatici irreversibili. Per porre un freno alle modificazioni ambientali connesse al surriscaldamento, gli accordi di Kyoto del 1997 (noto come protocollo di Kyoto) e di Copenhagen del 2009 hanno imposto la drastica riduzione delle emissioni inquinanti ed un utilizzo maggiore di energia ottenuta da fonti rinnovabili. L'Italia in particolare, secondo il protocollo di Kyoto, dovrà portare la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili al 17% del consumo finale e ridurre del 13% le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Questo processo ha incentivato fortemente l'attività di ricerca sulle fonti rinnovabili e soprattutto sui dispositivi capaci di convertire in energia elettrica la radiazione solare. Il sole, infatti, invia sulla terra quantità enormi di energia: se solo fosse possibile impiegare minime frazioni di questa risorsa sarebbe possibile soddisfare l'intero fabbisogno energetico del pianeta.

Il fotovoltaico è il sistema di produzione energetica che ha avuto in questi ultimi anni maggiore fortuna. Negli anni '70 era utilizzato solo in applicazioni per la fornitura di energia elettrica in aree remote e senza accesso alla rete. Ma già dagli anni '80 si sono cominciati a produrre con scopo dimostrativo componenti da sovrapporre alle coperture e dagli anni '90 sono commercialmente disponibili prodotti da integrare nell'involucro ed elementi edilizi veri e propri.

Ma il "boom", in Italia, è della seconda metà degli an-

ni 2000 grazie ad apposite leggi incentivanti. L'installazione di sistemi fotovoltaici ha avuto, infatti, negli ultimissimi anni tassi di crescita annuali dell'ordine di decine di punti percentuali e questo, ovviamente, ha favorito, non solo in Italia, lo sviluppo di una intensa attività di ricerca sia sulla tecnologia stessa che sull'adattamento al suo impiego in svariati contesti. In tale campo, l'innovazione è avvenuta a scala planetaria ed in alcuni Paesi (ad esempio, in Giappone) si sono avuti maggiori avanzamenti, ma anche l'Italia ha dato il suo significativo contributo.

In particolare, nel nostro Paese l'innovazione sul fotovoltaico in copertura e sui tetti di laterizio si è concentrata sulla cosiddetta "integrazione architettonica" delle tecnologie all'involucro (manto), dando luogo a prodotti che risultano di particolare interesse. Nel seguito, si proverà a fornire un quadro delle ricerche oggi condotte su tali temi e dei possibili spazi per l'innovazione su coperture con manti in laterizio.

## L'INNOVAZIONE NEI MATERIALI

Un sistema solare fotovoltaico è un "insieme" composto da una serie di componenti (*inverter*, moduli fotovoltaici, quadro, ecc.) che consente di trasformare direttamente l'energia solare in corrente elettrica. Esistono, tuttavia, sul mercato anche sistemi solari ibridi che, unendo moduli fotovoltaici e collettori per il solare termico, convertono la radiazione solare in energia ed in calore per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli ambienti.

Naturalmente, è il modulo fotovoltaico l'elemento principale, in quanto è ciò che permette la trasfor-



Fig.1 - Celle con silicio monocristallino.

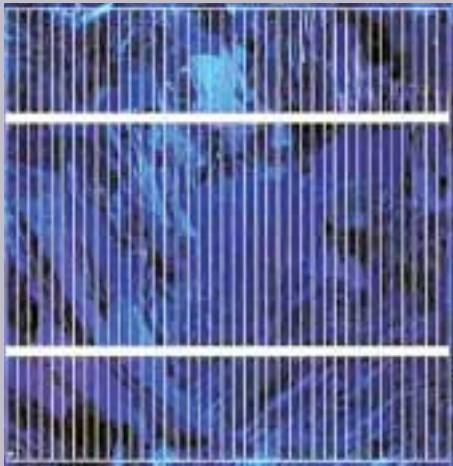


Fig. 2 - Celle con silicio policristallino.



Fig. 3 - Sistema a base di diselenurio di indio rame gallio.



Fig. 4 - Guaina impermeabilizzante preaccoppiata con elementi fotovoltaici.

mazione di energia solare in corrente elettrica, e su di esso si è appuntata l'attenzione in termini di innovazione. Un modulo fotovoltaico è costituito, in particolare, da un insieme di celle solari collegate tra loro in modo da fornire una potenza elettrica mediamente compresa tra i 50 e i 100 W. La singola cella, di dimensioni prossime ai 10 x 10 cm, costituisce il dispositivo elementare oggi alla base di ogni sistema fotovoltaico.

All'inizio, i moduli fotovoltaici erano nella totalità realizzati con silicio monocristallino. Le celle venivano (e vengono ancora oggi) ottenute tagliando una barra monocristallina realizzando dei *wafer* di forma esagonale, circolare o quadrata (fig. 1).

Con lo scopo di aumentare il più possibile l'efficienza dei moduli fotovoltaici, sono state condotte ricerche che hanno permesso alla tecnologia di evolversi; oggi è infatti possibile garantire efficienze dell'ordine del 15-16% realizzando produzioni energetiche interessanti con superfici relativamente limitate. Tuttavia, questo processo risultava (e risulta ancora) particolarmente oneroso, mentre in molti casi l'occupazione di spazio non era un problema rilevante, per cui parte della ricerca si è indirizzata verso tecnologie utili a ridurre il costo finale dell'impianto.

L'innovazione più importante è stata la possibilità di realizzare celle con silicio policristallino. Anche questa tecnologia si è evoluta e presenta una certa maturità: le celle vengono colate in blocchi e poi tagliate a dischetti. Questo ha permesso di ottenere pannelli di captazione ad un costo più contenuto, però con minore efficienza. Attualmente questi apparati hanno un rendimento orientativamente del 10-13% (fig. 2).

Entrambi i sistemi risultano oggi largamente impiegati in ogni parte del mondo, anche se sussistono ancora alcune problematiche, la più importante delle quali è la necessità di migliorarne ulteriormente l'efficienza, ma presentano anche il difetto di essere ancora scarsamente adattabili a situazioni specifiche.

In sostanza, è semplice con queste tecnologie realizzare pannelli da sovrapporre ai componenti edilizi, ad esempio una copertura, ma è praticamente impossibile spingersi verso l'adattamento a superfici complesse (curvilinee, ecc.).

Questa problematica ha dato un impulso fortissimo alla ricerca di sistemi alternativi e, in particolare, a quelli per produrre energia grazie a leghe da depositare in forma di film sottili su superfici di diverso materiale.

Oltre al silicio amorfo, in cui gli atomi silicei vengono depositi chimicamente in forma strutturalmente disorganizzata sulla superficie di sostegno, sono oggi disponibili in commercio *film* sottili basati su tellururo di cadmio (CdTe) e solfuro di cadmio (CdS) microcristallino. Questi presentano costi di produzione molto bassi in quanto la tecnologia impiegata non richiede il raggiungimento delle elevatissime temperature necessarie per la fusione e la purificazione del silicio, oltre ad essere applicati ad un supporto per *spray-coating*. Tra gli svantaggi legati alla produzione di questo genere di celle fotovoltaiche, vi è la tossicità del cadmio ed il basso rendimento del dispositivo. Altre tipologie di materiali disponibili (per film sottili) sono l'arseniuro di gallio (GaAs), una lega binaria con proprietà semiconduttive in grado di assicurare rendimenti elevatissimi (viene impiegata soprattutto per applicazioni militari o scientifiche avanzate come missioni automatizzate di esplorazione planetaria o fotorivelatori particolarmente sensibili), il diseleniuro di indio rame (CIS), con opacità variabile dal 100% al 70%, ottenuta mediante fori ricavati direttamente nel *film*, ed il diseleniuro di indio rame gallio (CIGS; fig. 3).

L'introduzione dei film sottili ha permesso di garantire enorme flessibilità ai componenti fotovoltaici: infatti, esistono già sul mercato soluzioni da applicare in accoppiamento a membrane di impermeabilizzazione e semitrasparenti (figg. 4 e 5).



Fig. 5 - Sistema fotovoltaico su supporto trasparente.

## L'INNOVAZIONE SU COPERTURE CON MANTO IN LATERIZIO

Un tema di particolare rilievo per l'innovazione del fotovoltaico su coperture con manto in laterizio è stata la necessità di ottenere una efficace integrazione architettonica. L'esigenza di evitare che i moduli fotovoltaici apparissero come elementi estranei all'organismo edilizio ha stimolato l'inventiva di numerose aziende verso soluzioni di totale integrazione.

I produttori, in particolare, hanno scelto due strade operative. La prima ha privilegiato l'inserimento di elementi piani all'interno di manti di copertura (la ricerca si è appuntata sulle modalità di connessione tra i pannelli ed il manto nel quale questi venivano inseriti); l'altra ha favorito la totale integrazione dei moduli fotovoltaici prevedendo la modifica degli elementi del manto e l'inserimento in ciascuno di essi di moduli singoli o binati.

La prima strada è stata seguita sviluppando particolari tegole o dispositivi di aggancio (frequentemente in materiale plastico) con il compito di garantire la connessione con il manto e impedendo i problemi di tenuta all'acqua. I vantaggi di questo criterio

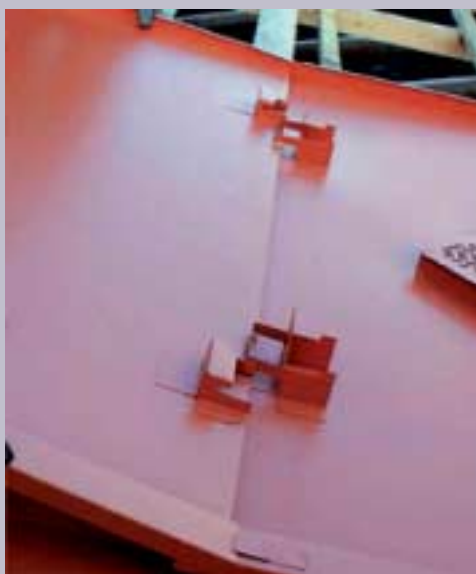


Fig. 6 - Soluzioni integrate a pannello.

di operare risiedono nel fatto che risulta possibile utilizzare un pannello "tradizionale" composto da più celle e, pertanto, con collegamenti elettrici sul manto limitati e con meno difficoltà in caso di manutenzione o sostituzione del pannello stesso. Gli svantaggi risiedono nel minor livello di integrazione per via del fatto che il pannello, anche se inserito a filo del manto, risulta comunque chiaramente visibile (fig. 6).

Per ciò che concerne la seconda modalità, con dispositivi che prevedono la modifica degli elementi del manto, si segnalano, in Italia, due tipi di esperienze. Una riguarda la realizzazione di tegole appositamente sagomate per tenere, sulla parte curva, un piccolo pannello fotovoltaico costituito da un numero limitato di celle di piccole dimensioni. L'altra si basa sulla produzione di tegole che, sulla parte piana, particolarmente ampia, ospitano un piccolo pannello costituito da più celle solari (fig. 7).

Entrambe le soluzioni presentano il vantaggio di po-

ter realizzare un tetto con fotovoltaico "diffuso", costituito da tanti pannelli di piccolissime dimensioni, tra loro collegati sotto il manto: l'immagine che si ottiene in copertura è quella di un tetto dove spariscono del tutto, o quasi, i pannelli fotovoltaici. Altro vantaggio possibile (in quanto ancora non misurato) è rappresentato dal fatto che i pannelli, essendo stati posti su tegole con al di sotto uno strato di ventilazione e con giunti aperti, lavorano a temperature inferiori e, quindi, con maggiore efficienza e migliore resa.

Il difetto principale di questo tipo di soluzioni sta invece nell'elevato numero di contatti che è necessario realizzare a causa della piccola dimensione dei pannelli, con possibili problemi di tipo manutentivo.

#### LE ESPERIENZE ESTERE

All'estero, la ricerca industriale si è indirizzata su direzioni simili a quelle nazionali, anche se in alcuni aspetti risulta più avanzata. Simile all'esperienza italiana, merita segnalare quella consistente nello sviluppo di pannelli fotovoltaici integrati nelle coperture con manto in laterizio per mezzo di connettori plastici (fig. 8). In particolare, risulta interessante il prodotto sviluppato da un'azienda statunitense che ricostruisce il profilo curvilineo di tegole portoghesi sovrapponendo a queste un pannello fotovoltaico realizzato con moduli monocristallini ed un laminato avente superiormente del vetro e l'incapsulamento EVA/TPT (Etilvinilacetato/Tedlar-Poliestere-Tedlar), materiali che hanno lo scopo di accogliere le celle e proteggerle. I vantaggi principali di questo modo di operare consistono nel fatto che viene mantenuta inferiormente la forma delle tegole, assicurando così:

- l'eliminazione di rischi di non tenuta all'acqua nel manto nei punti di connessione;
- il mantenimento delle dimensioni utili a ridurre il numero di collegamenti elettrici sottomanto (ca. 40 x 100 cm).

Più avanzata è l'esperienza di una azienda, sempre statunitense, che, per prima, ha sviluppato un prodotto che sfrutta la tecnologia di deposizione a film sottile per realizzare una lastra con profilo curvilineo da sovrapporre al manto di tegole, con una efficienza dell'ordine dell'8-10% (fig. 9).

Come noto, questa tecnologia a film sottile è caratterizzata da una minore efficienza rispetto ai pannelli in silicio mono o policristallino e la forma curvilinea presenta zone che in alcune ore del giorno non hanno l'orientamento ottimale rispetto all'inclinazione del sole; ma ha anche il vantaggio non indifferente di "sparire" completamente nel manto a posa ultimata. Peraltro, alcune soluzioni di deposizione a film sottile hanno colorazioni che tendono al marrone e pertanto hanno maggiore facilità a "nascondersi" nel manto.

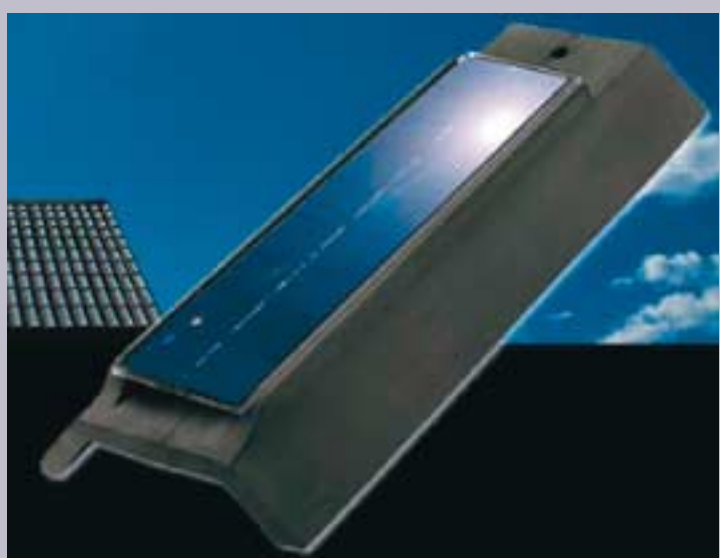


Fig. 7 - Alcuni esempi di tegole per sistemi fotovoltaici "diffusi".



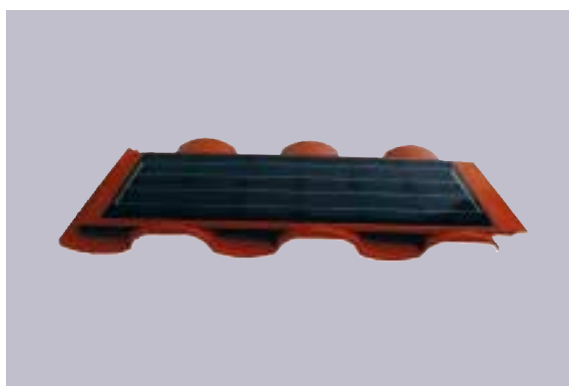
Fig. 8 - Sistema fotovoltaico ad integrazione con elementi plastici.

### CONCLUSIONI

Le esperienze qui sinteticamente delineate evidenziano come sussistano anche in Italia tecnologie innovative per il fotovoltaico in copertura. In particolare, la ricerca si è concentrata fortemente sull'integrazione architettonica, con lo sviluppo di prodotti che sovrappongono alle singole tegole pannelli fotovoltaici di piccole dimensioni in modo da azzerare completamente la separazione "visiva" tra manto e pannello. Esperienze condotte all'estero evidenziano, tuttavia, come questo obiettivo possa essere raggiunto anche con strategie alternative, sfruttando i vantaggi che offre oggi la tecnologia del film sottile. La possibilità di conformare elementi di captazione di qualsiasi forma e dimensione, nonché la tecnica ormai consolidata di far depositare i film sottili su materiali facilmente sovrapponibili (per giunzione meccanica o di altro tipo) alle tegole, apre infatti la strada ad enormi possibilità operative per l'uso del laterizio in accoppiamento con elementi fotovoltaici, non solo in copertura ma anche in facciata.

### BIBLIOGRAFIA

[1] A. Joshi, I. Dincer, Reddy B., *Performance analysis of photovoltaic systems: A review*, Renewable and Sustainable Energy reviews, in press, 2009.



- [2] D. Infield, L. Mei, U. Eicker, *Thermal performance estimation for ventilated PV facades*, Solar Energy 76, 2004.
- [3] Y. Wang, W. Tian, J. Ren, Z L. Hu, Q. Wang, *Influence of building's integrated photovoltaics on heating and cooling loads*, Applied Energy 83, 2006.
- [4] J.A. Palyvos, *A survey of wind convection coefficient correlations for building envelope energy systems' modeling*, Applied Thermal Engineering 28, 2008.
- [5] *Measured Versus Predicted Photovoltaic Performance* [w.d.], NIST research report.
- [6] E. Skoplaki, A.G. Boudouvis, J.A. Palyvos, *A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting*, Solar Energy Materials & Solar Cells 92, 2008.
- [7] E. Skoplaki, J.A. Palyvos, *Operating temperature of photovoltaic module: A survey of pertinent correlations*, Renewable Energy 34, 2009.
- [8] AA.VV, Progetto OFEN 60154, *Centrale di prova per componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica*, rapporto finale, 2000.
- [9] F. Groppi, C. Zuccaro, *Impianti solari fotovoltaici a Norme CEI*, Delfino Ed., 2008.



Fig. 9 - Sistema fotovoltaico a profilo curvilineo integrato.

