

La tecnologia fotovoltaica

di Laura Lancellotti

La tecnologia fotovoltaica consente la conversione dell'energia solare in energia elettrica. Pur trattandosi di una tecnologia piuttosto recente – i primi sistemi fotovoltaici terrestri risalgono agli inizi degli anni Ottanta – ha avuto un rapidissimo sviluppo, grazie in particolare all'alto gradimento di pubblico rispetto alle altre rinnovabili, all'alta affidabilità e ai ridotti costi di esercizio degli impianti per una vita operativa di oltre 25 anni. Gli ultimi anni hanno visto un'espansione esponenziale del fotovoltaico con una crescita della produzione di celle solari grazie soprattutto ai forti incrementi registrati in paesi quali Cina, Taiwan e India.

Un tipico sistema fotovoltaico viene realizzato assemblando diversi componenti elettrici, elettronici e meccanici che captano l'energia solare, la convertono in energia elettrica ed, infine, la rendono disponibile all'utenza. L'elemento fondamentale di un sistema fotovoltaico è un dispositivo denominato *cella solare*. Tale dispositivo, utilizza le proprietà di particolari materiali chiamati *semiconduttori* rendendo possibile la trasformazione della luce solare in una corrente elettrica. Tra i semiconduttori, quello più ampiamente utilizzato per la realizzazione di celle solari è il silicio. Infatti, l'attuale produzione fotovoltaica si basa per l'87% circa sulla cosiddetta *prima generazione* di dispositivi, a base di silicio mono e multi-cristallino e nastri di silicio (*Si ribbon*).

Una cella solare convenzionale in silicio cristallino (c-Si) viene generalmente realizzata a partire da una sottile fetta di materiale denominata *wafer* su cui viene realizzata una sequenza di passi tecnologici finalizzati all'ottenimento del dispositivo finito.

La leadership del silicio è dovuta a una serie di vantaggi, quali l'abbondanza e compatibilità ambientale della materia prima, le buone proprietà elettroniche del materiale, la stabilità nel tempo dei dispositivi e, soprattutto, la forte sinergia con le tecnologie della microelettronica che ha fortemente influenzato lo sviluppo della tecnologia di fabbricazione di dispositivi in silicio. La restante fetta di mercato è ripartita tra le varie tecnologie a film sottile, la cosiddetta *seconda generazione* del fotovoltaico, che utilizza come materiali semiconduttori Tellururo di Cadmio (CdTe), Diseleniuro di Rame e Indio (Cu(In)Se₂) (tecnologia CIS) e Silicio amorfo e microcristallino (e leghe di tali materiali).

Qualunque sia il materiale impiegato, il meccanismo con cui la luce solare viene trasformata in energia elettrica è essenzialmente lo stesso ed è denominato *effetto fotovoltaico*.

La singola cella solare non è sufficiente a fornire livelli di potenza idonei all'alimentazione dell'utenza comune. È per questo indispensabile connettere elettricamente più celle tra loro a formare un *modulo fotovoltaico*, costituito dall'insieme di tali celle e della struttura di supporto. Le celle elettricamente interconnesse nel modulo vengono incapsulate tra due strati di materiale, in genere plastica e vetro temperato, in modo da formare una robusta struttura a *sandwich*. Per rendere la struttura compatta, si utilizza una resina trasparente siliconata che amalgama le celle e le protegge dagli agenti atmosferici e dagli eccessivi sbalzi termici che potrebbero comprometterne il funzionamento.

Gli impianti fotovoltaici producono, in genere, energia elettrica in corrente continua. È necessario, quindi, disporre di un *inverter* per trasformare tale energia in corrente alternata per gli utilizzi più comuni.

Gli impianti collegati alla rete elettrica (*grid-connected*) richiedono anche un dispositivo che abbia la funzione di sconnettere l'impianto fotovoltaico per garantire la sicurezza di operatori che intervengono sulla rete e misurare l'energia in ingresso ed in uscita.

Nel caso delle tecnologie a film sottile relative alla seconda generazione, il modulo fotovoltaico, anche di grandi dimensioni (fino a oltre 5m²), è ottenuto direttamente al termine di un processo in linea e non tramite assemblaggio di celle, come accade invece nel caso del silicio mono e multi-cristallino.

Accanto alle tecnologie del silicio cristallino e dei film sottili, comincia a farsi strada sul mercato il fotovoltaico a concentrazione, che utilizza celle ad altissima efficienza (molto sofisticate e molto più costose per unità di area rispetto a quelle tradizionali) ma di piccole dimensioni (dell'ordine di 1 cm² o inferiori), con concentratori ottici di grande superficie sempre puntati verso il Sole per intercettare ortogonalmente la componente diretta della radiazione solare. La filosofia alla base di questo approccio è quella di compensare gli alti costi di sistema (ottica, inseguimento, raffreddamento delle celle) con l'alta efficienza delle celle. I parametri fondamentali per confrontare la convenienza economica delle tecnologie fotovoltaiche sono l'efficienza di conversione e il costo. Questo è espresso tipicamente in rapporto alla potenza nominale del modulo, ossia in termini di \$/Wp o €/Wp, dove Wp sta per Watt di picco (unità di misura utilizzata per indicare la potenza prodotta da un modulo fotovoltaico in condizioni standard di funzionamento). I rendimenti dei moduli piani in commercio vanno grosso modo dal 6 a 19%, con una garanzia di durata di 25-30 anni.

Negli ultimi anni si è avuta una forte spinta verso lo sviluppo di un fotovoltaico innovativo (*terza generazione*) basato su tecnologie emergenti (celle organiche, celle dye, ecc.) e su concetti innovativi, avendo come obiettivo quello di ottenere dispositivi a basso costo o ad alta efficienza. Molte sono le applicazioni possibili del fotovoltaico in edilizia, dall'impiego in facciata, in copertura o in elementi di schermatura solare.

È possibile, infatti, sostituire completamente componenti edili tradizionali con componenti fotovoltaici appositamente progettati.

Oltre l'aspetto estetico, che deve essere tenuto nella opportuna considerazione in fase di progettazione, vanno quindi valutate anche tutte le funzioni aggiunte del componente fotovoltaico rispetto alle sue prestazioni di generatore di corrente elettrica. È necessario soddisfare prestazioni quali l'isolamento termico e dall'umidità, la tenuta all'acqua, al vento ed alla neve, la protezione dal rumore, la resistenza al fuoco. Inoltre, nelle schermature solari, il componente fotovoltaico deve possedere determinate caratteristiche di trasparenza/opacità alla radiazione luminosa per assicurare una corretta illuminazione naturale.

Anche se ai fini della massimizzazione del rendimento energetico, questo tipo di utilizzo della tecnologia fotovoltaica possiede un limite intrinseco, in quanto l'esposizione dei moduli è definita dalla geometria fissa degli edifici e non può essere ottimizzata determinando una perdita di energia complessiva a parità di potenza di un componente rispetto alle applicazioni tradizionali, tale perdita è, però, compensata dalla maggiore funzionalità e dalle caratteristiche del design dei moduli.

Nel corso del processo produttivo dei pannelli solari vengono utilizzate sostanze tossiche o esplosive che richiedono la presenza di sistemi di sicurezza e attrezzature adeguate per tutelare la salute dei lavoratori. L'esposizione dei lavoratori si può verificare durante la fabbricazione e il maneggiamento di questi materiali per cui sono necessarie informazioni sull'uso di questi e stime del numero di lavoratori e sulle concentrazioni alle quali possono essere esposti per ogni utilizzo, produzione e lavorazione.

I rischi del processo produttivo di un pannello fotovoltaico sono legati sia alla lavorazione necessaria ad ottenere il semiconduttore di partenza, sia all'esecuzione di passi tecnologici indispensabili per la realizzazione di una cella solare finita. Per quanto riguarda il fotovoltaico di prima generazione, la produzione di *wafers* in silicio cristallino implica la lavorazione di sostanze chimiche come il triclorosilano, il fosforo ossicloridrico e l'acido cloridrico. Nel processo di fabbricazione delle celle solari sono di interesse critico: la litografia – una tecnologia finalizzata ad ottenere determinate geometrie di dispositivo e che prevede un ampio utilizzo di prodotti chimici quali fotoresist, diluenti, soluzioni di sviluppo e risciacquo – e l'utilizzo di sistemi di processo come centrifughe, sistemi di deposizione in fase vapore, forni per processi di diffusione, dispositivi di

pulitura. Nella fotolitografia, per esempio, un bisogno primario è quello di informazioni sulle proprietà e disponibilità di nuove sostanze chimiche. Tali informazioni riguardano la tossicità chimica, i dati di valutazione del rischio, la capacità di monitorare le esposizioni potenziali. Nella produzione dei pannelli basati sulle tecnologie appartenenti alla seconda generazione troviamo invece che vengono maneggiate sostanze chimiche quali il silano, la fosfina, il diborano per quanto riguarda la tecnologia del silicio amorfo e microcristallino, il seleniuro di idrogeno nel caso in cui si utilizzi la tecnologia CIS e, per i pannelli basati sul CdTe, il Cadmio. L'esposizione alla sostanza chimica da parte dei lavoratori, addetti alle operazioni e alla manutenzione, deve essere ridotta per motivi di sicurezza e salute, le emissioni devono essere controllate per minimizzarne l'impatto ambientale.

L'introduzione di nuovi composti nella fabbricazione di dispositivi a semiconduttore, in particolare nel settore fotovoltaico, richiede ovviamente delle indagini per valutare la potenziale tossicità, la persistenza nell'ambiente e bio-concentrazione. L'uso di nuove sostanze potrebbe crescere, ed i limiti di esposizione esistenti potrebbero non essere adeguati a proteggere i lavoratori esposti ad eventuali rischi sulla salute.

Il nuovo materiale viene sottoposto ad un'analisi che ne considera i componenti chimici e proprietà come la tossicità, l'infiammabilità, la reattività, ne vengono identificati i prodotti di reazione ed eventuali incompatibilità fra materiali. Per condurre una *analisi di rischio* devono essere valutati anche il macchinario ed il processo nel quale il materiale verrà utilizzato verificandone la compatibilità, ed il monitoraggio di gas tossici o pericolosi.

In caso di guasti l'impatto sull'ambiente può essere forte ma pur sempre locale. L'inquinamento prodotto in caso di malfunzionamento della produzione incide soprattutto sul sito in cui è localizzata la produzione.

In conclusione, nella fase di produzione dei pannelli solari il rischio per i lavoratori e l'impatto ambientale sono assimilabili a quelli di qualsiasi industria o stabilimento chimico.

Fatta esclusione per l'impatto paesaggistico che può essere determinante nel caso delle città d'arte o in caso di occupazione del suolo agricolo, durante l'utilizzo di un pannello solare non si riscontrano rischi particolari o effetti sulla salute degli utenti dovuti alla loro presenza. La tutela del paesaggio viene comunque garantita dall'*integrazione architettonica* dei pannelli negli edifici di nuova costruzione e con la diffusione dei pannelli flessibili. Dal punto di vista dell'occupazione del suolo una soluzione pratica arriva dall'uso polifunzionale dei pannelli in aree marginali non utilizzate (es. terrazze, tetti dei capannoni o delle pensiline ecc.).

Laura Lancellotti
Ricerca Enea