

L'evoluzione tecnologica nel fotovoltaico

L'industria manifatturiera al pari degli altri settori è sempre più coinvolta nella produzione energetica rinnovabile per i propri fabbisogni. Uno sguardo sulle tendenze del fotovoltaico protagonista di una evoluzione tecnologica significativa.

Massimo Gozzi

I tetti industriali sono sempre più spesso coperti da pannelli solari fotovoltaici. Ciò è parte della grande crescita del numero di installazioni, che a livello globale ha generato un mercato tale da giustificare la necessità di spingerne sempre più lo sviluppo tecnologico. Rispetto alla prima fase di sviluppo occorso nello scorso decennio, sono attese (ed in parte sono già presenti) soluzioni tecnologiche avanzate, pronte per la loro adozione su larga scala. Per l'immediato futuro, sono diverse le soluzioni tecnologiche che si stanno preparando a supportare una nuova fase di installazioni.

Tra queste, in particolare – e fra le più prossime – si possono citare le celle TOPCon (Tunnelling Oxide Passivated Contact) e le tecnologie PV multigiunzione. Con orizzonte un poco più lungo, ma ormai ben intradate, si trovano poi ulteriori soluzioni, quali ad esempio le celle fotovoltaiche organiche (i cui materiali sono basati su componenti organici del carbonio) e le celle tandem silicio-perovskite, dalle quali ci si aspettano un miglioramento delle prestazioni e costi interessanti.



IL COSTO PER UNITÀ DI ENERGIA PRODOTTA

La diminuzione del costo degli impianti fotovoltaici e conseguentemente, dell'energia da essi prodotta, sta quindi proseguendo, anche se con ritmi più contenuti rispetto all'inizio del decennio scorso, avendo raggiunto già da alcuni anni valori di costo competitivi con le fonti fossili, costi espressi con l'acronimo LCOE (Levelized Cost of Energy, ossia il costo al kWh prodotto) (Figura 1).

Il costo dell'energia prodotta dagli impianti fotovoltaici è, infatti, principalmente condizionato dal costo della tecnologia (a differenza di ciò che accade per le fonti fossili, fortemente influenzate dal costo del combustibile), e ciò valorizza particolarmente, nella economia generale di queste applicazioni, la ricerca dell'abbattimento dei costi di investimento. In particolare parliamo del costo dei moduli fotovoltaici e dei materiali che li compongono. Portando al costante sviluppo dei materiali, dei processi e delle strutture che compongono i moduli fotovoltaici, si ottiene una sempre maggiore efficienza ad un più basso costo.

MONOCRISTALLINI E MULTICRISTALLINI

Le principali novità tecnologiche degli ultimi anni possono essere suddivise per fase di progetto del pannello fotovoltaico (nell'ordine: wafer, celle, moduli) ma anche dell'impianto nel suo insieme, evidenziando in tal modo le alternative attualmente presenti sul mercato e le implicazioni, in termini di costo e prestazioni, delle diverse scelte progettuali.

Cominciamo dal wafer di silicio, che viene ottenuto attraverso processi meccanici da un lingotto di silicio policristallino. A seconda dei processi di produzione applicati, il lingotto può essere di tipo multicristallino (solidificazione direzionale) o monocristallino (noto come processo Czochralski). In questo secondo caso il prodotto risulta avere un reticolo cristallino più ordinato, perciò si registrano minori perdite nel trasporto degli elettroni, con conseguente maggior efficienza fotovoltaica.

Queste due tecnologie hanno condiviso il mercato per molti anni, essendo caratterizzate rispettivamente da minori costi ed efficienze le prime a fronte

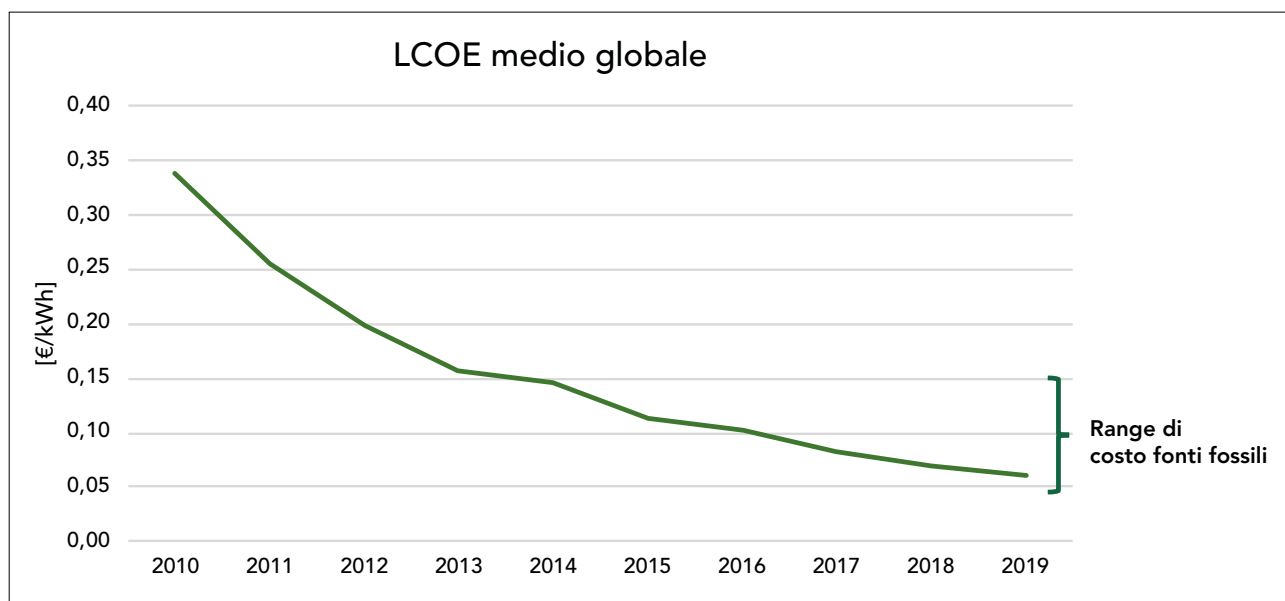


Figura 1 - La diminuzione del costo degli impianti fotovoltaici e conseguentemente, dell'energia da essi prodotta, ha già raggiunto da alcuni anni valori di costo competitivi con le fonti fossili. (Fonte: Energy Strategy Group – Politecnico Milano).

di migliori prestazioni, ma costi più elevati, le seconde. Oggi è però parere diffuso che la tecnologia con silicio monocristallino si avvii ad occupare una sempre maggiore porzione di mercato, a discapito dei wafer di silicio multicristallino, in quanto i maggiori valori di efficienza raggiunti dai wafer a silicio monocristallino hanno portato ad una riduzione dei costi complessivi correlati con questa tecnologia.

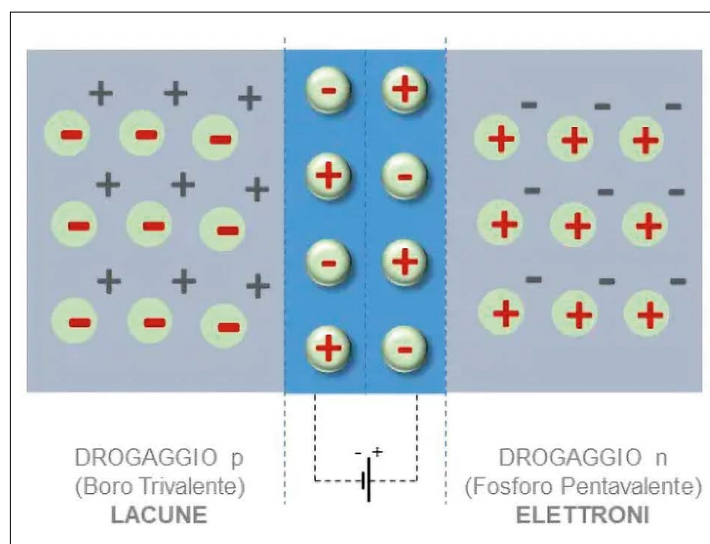


Figura 2 - La diminuzione del costo degli impianti fotovoltaici e conseguentemente, dell'energia da essi prodotta, ha già raggiunto da alcuni anni valori di costo competitivi con le fonti fossili. (Fonte: Energy Strategy Group – Politecnico Milano).

DROGGAGGIO E DIMENSIONE

Sempre restando alla tecnologia dei wafer, ulteriore tendenza si manifesta nel tipo di drogaggio applicato. La tecnica del drogaggio permette di aumentare la conducibilità elettrica delle celle, attraverso l'aggiunta di atomi di fosforo (drogaggio di tipo n) o di boro (drogaggio di tipo p) sui wafer (Figura 2). Ad oggi le migliori prestazioni dei processi di produzione delle celle basate su n-type wafer sono dimostrate, e ciò permette di prevedere una sempre maggiore presenza di questa tecnologia sul mercato (27% del mercato globale al 2025) (Figura 3). Questo trend non è ad oggi ancora visibile a causa della necessità di aggiornare le linee di produzione delle celle, sostituendo l'applicazione del drogaggio "p" con quello "n"; ne consegue una ancora ridotta produzione di pannelli con drogaggio "n" e un conseguente prezzo più elevato degli stessi. Questo ritardo ha, peraltro, aperto la strada ad un ulteriore tipo di drogaggio – il "p" ovvero quello con gallio – che permette di ottenere migliori prestazioni rispetto al drogaggio, sempre p, effettuato con il boro.

Un altro aspetto oggetto di fervente sviluppo è quello legato alla dimensione dei wafer. L'area del wafer, infatti, per molti anni è stata considerata uno standard (pari a 156 x 156 mm), ma è destinato ad essere rimosso dal mercato a favore dei wafer di dimensione maggiore.

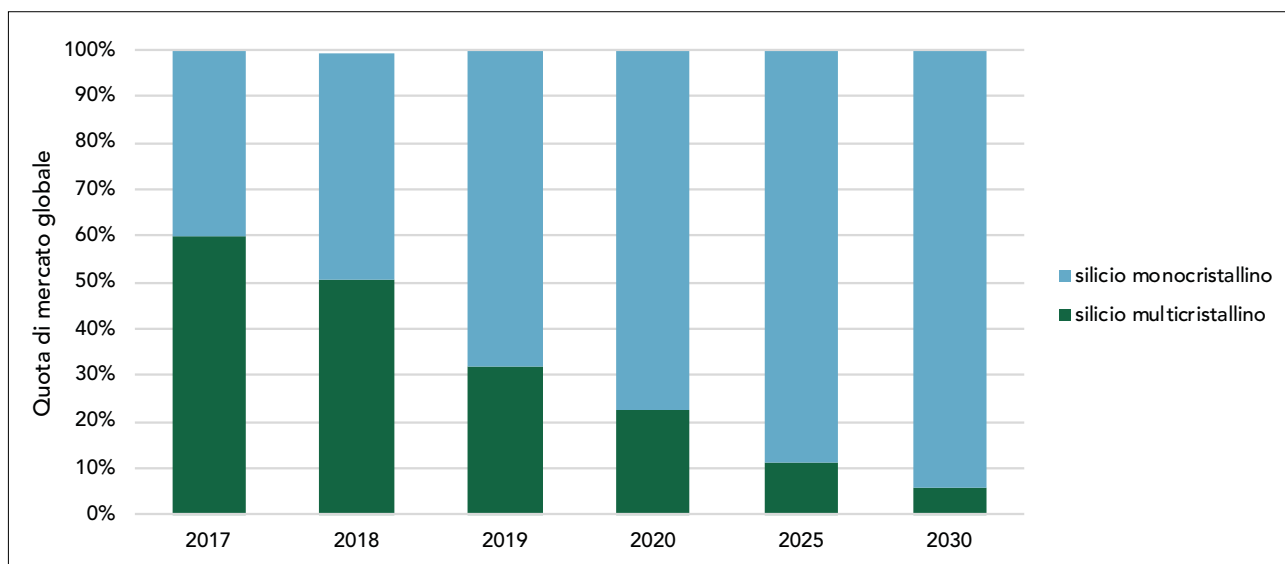


Figura 3 - La diminuzione del costo degli impianti fotovoltaici e conseguentemente, dell'energia. Ad oggi le migliori prestazioni dei processi di produzione delle celle basate su "n-type wafer" sono dimostrate, e ciò permette di prevedere una sempre maggiore presenza di questa tecnologia sul mercato. (Fonte: Energy Strategy Group - Politecnico Milano).

Il motivo è semplice: aumentare l'area del wafer significa aumentare la potenza producibile dallo stesso, e di conseguenza la potenza del modulo fotovoltaico finito. Questo sviluppo avviene senza un significativo aumento di costo unitario di produzione del modulo e porta ad una riduzione delle perdite di energia per unità di potenza (Watt) installata.

Passando alle celle, la tecnologia convenzionale utilizzata per la costruzione della loro struttura, era stata, fino al 2018, l'Al-BSF (Aluminium Back Surface Field), tecnologia utilizzata per tutte le celle a silicio multicristallino ma applicata anche a celle in silicio monocristallino. Questa tecnologia permette di rag-

giungere valori di efficienza della cella all'incirca del 20%. Ma attualmente questa tecnologia viene rapidamente sostituita dalla tecnologia PERC (Passivated Emitter and Rear Contact, ovvero viene passivata la superficie posteriore della cella) che ha raggiunto una efficienza del 22,7% e si prevede abbia ancora qualche margine di miglioramento.

Quest'ultimo tipo di celle presenta anche diversi valori, sia in efficienza che in prestazione, anche per quanto riguarda il coefficiente di temperatura ed il tasso di decadimento, così come riportati nel grafico di figura 4, con conseguente miglioramento nella producibilità nel corso della vita del pannello fotovoltaico.

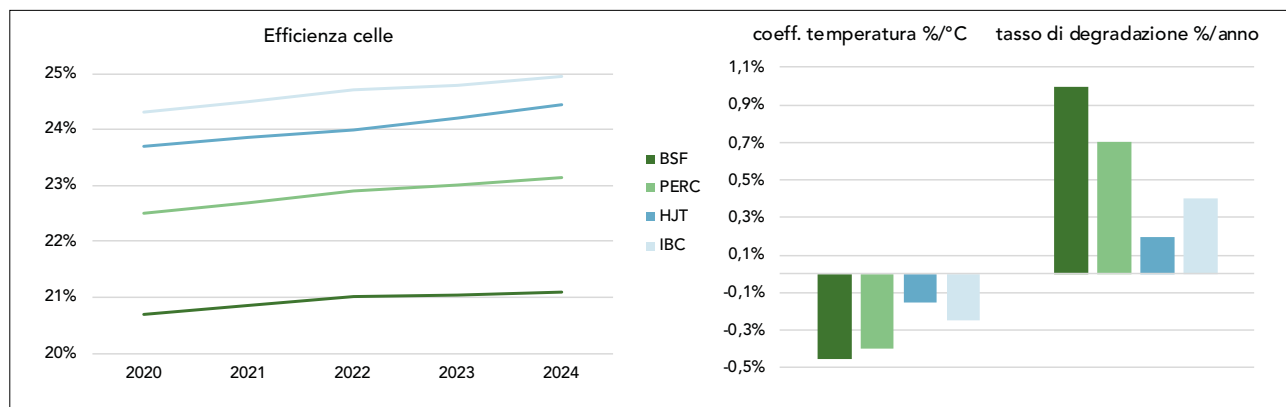


Figura 4 - Grafico che riporta, per i tipi di cella, diversi valori di efficienza e prestazione, in termini di coefficiente di temperatura e tasso di decadimento, con conseguente impatto sulla producibilità dei pannelli fotovoltaici. (Fonte: Energy Strategy Group - Politecnico Milano).

Passando alla tecnologia dei moduli fotovoltaici, di nuovo vi è l'uso delle mezze celle: utilizzare, ad esempio, 120 mezze celle al posto di 60 celle (tagliando cioè a metà la cella solare all'inizio del processo di produzione dei moduli) comporta una sensibile riduzione delle perdite di resistenza all'interno del modulo e perciò un aumento della potenza erogabile dallo stesso.

Il processo attraverso il quale le celle vengono divise è ancora oggetto di ricerca al fine di ottimizzarlo e ridurre al minimo gli effetti collaterali di questa pratica, ma già oggi i moduli costituiti da mezza cella occupano una parte significativa del mercato.

I MODULI BIFACCIALI

Importante tendenza del mercato è la diffusione nella produzione dei moduli bifacciali. I moduli, grazie all'apposizione di copertura trasparente sul retro delle celle, permettono di sfruttare, per la produzione di energia elettrica, anche parte della radiazione riflessa dal suolo. Ciò comporta un aumento della potenza prodotta che può variare dal 5% al 30%, a seconda delle tecnologie utilizzate e delle condizioni ambientali, senza interventi tecnici o costi aggiuntivi significativi, e soprattutto senza incrementare le dimensioni dell'impianto (Figura 5).

Il massimo incremento delle prestazioni viene ottenuto con moduli bifacciali applicati ad impianti forniti di inseguitori di luce (tracker). Fattori che concorrono all'incremento della produzione di energia da parte dei moduli bifacciali sono la distanza del pannello dal suolo, l'inclinazione e l'orientamento del pannello, ma soprattutto il cosiddetto albedo (il potere riflettente,

già accennato, della superficie sottostante i pannelli). Sebbene la maggior parte dei moduli impiegati oggi siano ancora monofacciali, con una "market share" nel 2022 pari a circa 70%, la quota dei moduli bifacciali è prevista in crescita fino ad arrivare a circa il 60% nei prossimi anni, invertendo sostanzialmente le posizioni sul mercato già a partire dal 2032.

TRACKING: L'INSEGUIMENTO

L'applicazione di un sistema di inseguimento, sopra citato, nell'installazione di nuovi impianti fotovoltaici è ormai considerato uno standard per gli impianti di grande scala, poiché l'incremento in prestazioni che esso comporta controbilancia la necessità di un maggiore investimento iniziale (imputabile ai meccanismi di movimentazione e relativi controlli), con un complessivo vantaggio in termini ritorno dell'investimento. Si sta inoltre dimostrando particolarmente vantaggioso il già accennato accoppiamento dei sistemi di tracking con i moduli bifacciali, applicazione che comporta un vantaggio maggiore della somma dei benefici generati, individualmente, dalle due tecnologie. La valutazione specifica sulla scelta di utilizzo di un sistema di tracking è comunque legata all'orografia locale, poiché in alcuni casi la morfologia del terreno non permette la realizzazione delle strutture di sostegno degli impianti a terra. Nel caso di rifacimenti di impianti esistenti (revamping), invece, ad oggi la convenienza dell'aggiunta del tracker viene valutata caso per caso, a seconda dello stato delle strutture già presenti.

PROSPETTIVE

L'industria è esposta ai costi energetici in misura sostanzialmente allineata alla media dei settori industriali. La produzione italiana è comunque, come noto, una produzione spesso di qualità, tale da non consentire economie sul fronte dell'impiego dell'energia nei processi produttivi. Ciò quindi comporta una particolare attenzione ai consumi energetici ed alla possibilità di autoprodurre energia (in futuro quasi esclusivamente rinnovabile) al fine di contenerne i costi. Ridurre quindi la voce costo di investimento per sistemi fotovoltaici sarà conseguentemente una sfida importante per questo settore industriale.



Figura 5 - Grafico di decadimento del rendimento di un modulo bifacciale di tipo TOPCon (nella porzione più chiara la fascia garantita. (Fonte: Sonnex energie).