

Il contributo di revamping e repowering fotovoltaico alla transizione energetica

Gian Luca Teodori EF Solare Italia

I casi studio di EF Solare Italia

Premessa

Con più di 300 impianti e una capacità installata di oltre 1 gigawatt tra Italia e Spagna, EF Solare Italia è tra i principali operatori fotovoltaici in Europa, partecipato al 70% dai fondi di F2i - Fondi Italiani per le Infrastrutture, il più grande fondo infrastrutturale attivo in Italia, e al 30% da Crédit Agricole Assurances, primo investitore istituzionale francese nelle energie rinnovabili. EF Solare ha l'obiettivo di guidare la crescita del settore solare e il percorso di transizione energetica attraverso l'eccellenza operativa, l'innovazione, lo sviluppo di nuovi impianti e la valorizzazione dei propri asset. Con oltre 10 anni di esperienza, il Gruppo opera attivamente anche nel settore agrivoltaico, grazie ai 32 MW di serre fotovoltaiche e allo svilup-

po di un innovativo modello di agrivoltaico in campo aperto a consumo di terreno nullo. Inoltre, EF Solare è partner del progetto di ricerca europeo *Symbiosyst*, selezionato e finanziato da Horizon Europe, con l'obiettivo di progettare e sviluppare modelli scalabili per accrescere la competitività dell'agrivoltaico in Europa.

Introduzione

Gli obiettivi previsti dalla bozza di PNIEC 2023 e ancor di più le recenti indicazioni della Commissione Europea riportate dalla Direttiva 2023/2413 cosiddetta RED III) continuano ad aumentare le aspettative per la crescita del consumo di energia prodotta da fonti rinnovabili negli usi finali.

Il raggiungimento di questi obiettivi dipende certamente dalla capacità di installare nuovi impianti di grandi dimensioni con l'attenzione al ricorso a una economia circolare e minimizzando l'utilizzo del suolo; d'altronde un contributo certamente utile può arrivare da un efficientamento degli impianti già esistenti per ricondurli a un livello di produttività ottimizzato.

Focalizzando infatti, l'attenzione ai soli impianti fotovoltaici, circa 25GW al 2022 in Italia (figura 1), la crescita rilevante dell'installazione (circa 15GW) è avvenuta tra il 2009 e il 2013 grazie ad appositi meccanismi statali di supporto, i cosiddetti Conti Energia. Nel migliore dei casi, quindi, il parco impianti italiano sconta oltre dieci anni di esercizio.

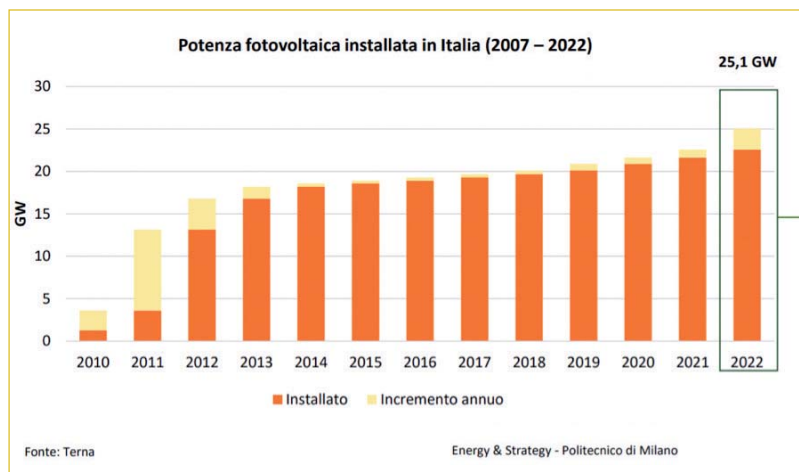


Figura 1 Potenza fotovoltaica installata in Italia (2007-2022) da Renewable Energy Report 2023 dell'Energy & Strategy Group - Politecnico di Milano

Nello stesso periodo, a livello globale la crescita del fotovoltaico è stata predominante (**figura 2**) e questa tendenza ha favorito lo sviluppo tecnologico e industriale ad esso associato, principalmente moduli e inverter.

Criticità e innovazione tecnologica nei moduli fotovoltaici

Con riferimento ai moduli fotovoltaici, è interessante approfondire l'effetto derivante dalla radiazione ionizzante proveniente dal sole (le onde elettromagnetiche ad alta energia e frequenza come i raggi β e γ) sui moduli, alla base del principio di invecchiamento per le caratteristiche intrinseche del reticolo cristallino del wafer di silicio. La radiazione interferisce con il reticolo spostando (a seguito delle interazioni onda/particella) gli atomi dalla loro configurazione originale e quindi, diminuendo il potere di conduzione della giunzione semiconduttrice.

Questo fenomeno, detto *Light Induced Degradation* - LID, fissa il luogo geografico di in-

stallazione, dopo un primo macroscopico effetto, rimane pressoché costante durante l'intera vita del modulo, presentando valori di degrado più grandi per moduli a silicio amorfo o poli-cristallino (**figura 3**). Per conseguenza del LID, si riduce nel tempo la capacità di generazione elettrica dei moduli e nel migliore dei casi un impianto di 10 anni ha ridotto del 6-8% la sua potenza di picco.

In altre parole, i circa 18 GW di capacità installata al 2013 hanno oggi al più una capacità produttiva di circa 16 GW.

Oltre l'effetto degrado, i moduli fotovoltaici hanno negli anni presentato dei fenomeni di deterioramento inattesi in grado di determinarne anche la completa rottura. Tali fenomeni sono causati da molti fattori, come difetti di assemblaggio e produzione, effetti indotti da errata progettazione, installazione o, in ultima analisi, da cattiva manutenzione.

La letteratura ne evidenzia molteplici, con esi-

Figura 2
Potenza fotovoltaica installata nel mondo (2000-2022) - Global Market Outlook For Solar Power 2023 - 2027 del SolarPower Europe

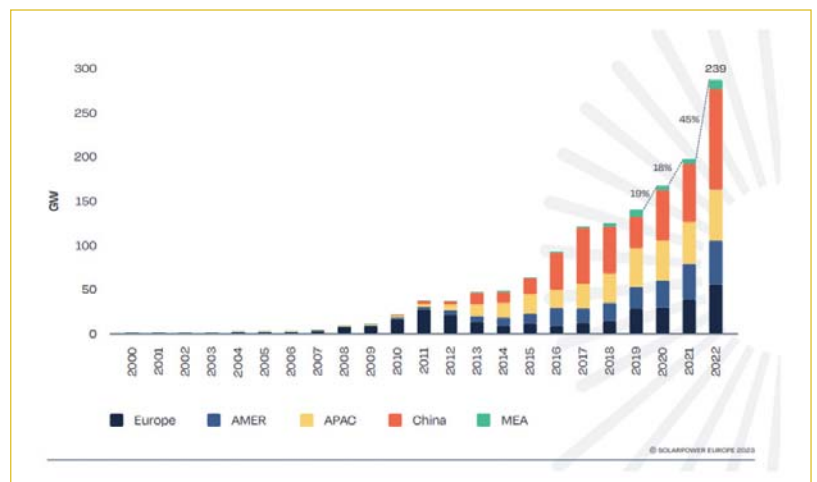
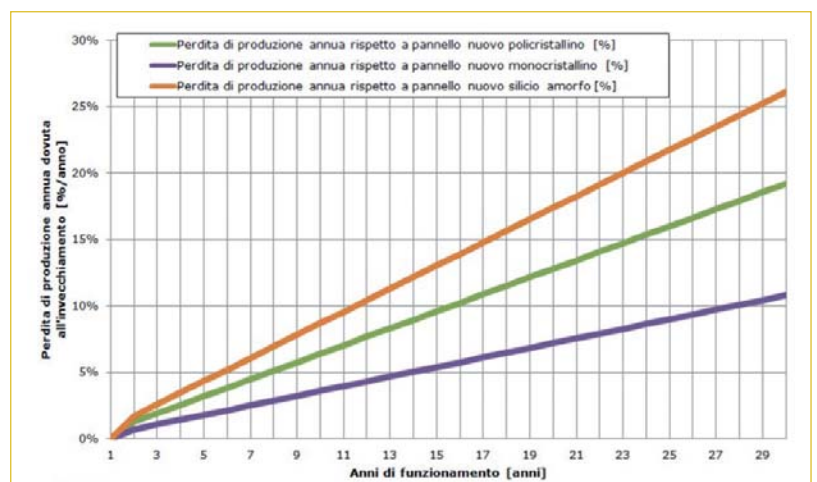


Figura 3
Perdita di produzione annuale per tipologia di pannello fotovoltaico



ti più o meno rilevanti e di immediato impatto e, nel tempo, l'industria dei costruttori dei moduli se ne è fatta carico, introducendo processi sempre più accurati e soluzioni tecniche innovative per minimizzarli.

Tra i fenomeni più diffusi si evidenzia il PID (Potential Induced Degradation) che consiste nella migrazione delle cariche elettriche dal wafer di silicio verso la cornice e verso terra con conseguente perdita di capacità produttiva del modulo stesso. Questo effetto deleterio è generato sia da errori di progettazione dell'impianto che da difetti nell'isolamento vetro-wafer.

Altri fenomeni di degenerazione sono indotti per lo più da errori di assemblaggio in fase di produzione o difetti dei materiali e conducono genericamente a una perdita di isolamento nel modulo a causa di infiltrazione di umidità, che penetrando all'interno del modulo stesso, determinano perdite intermittenti di capacità produttiva ed a lungo andare conducono alla definitiva rottura del modulo.

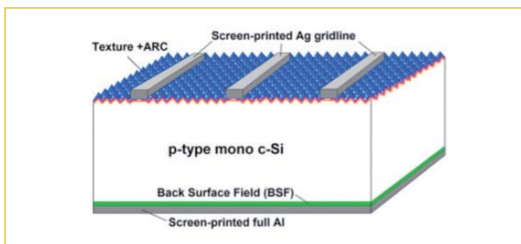


Figura 4
Schema grafico del BSF - Back Surface Field

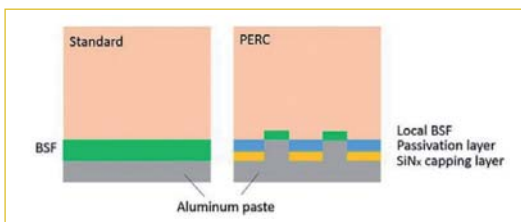
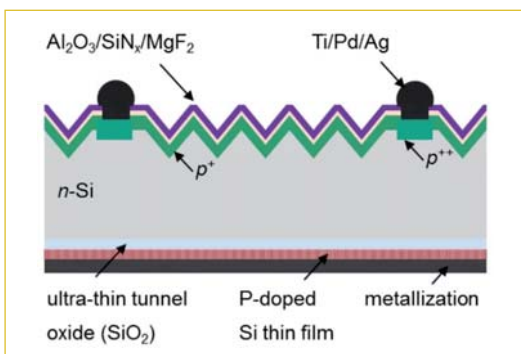


Figura 5
Schema grafico delle celle PERC - Passivated Emitter Rear Contact



Come detto però, la diffusione su scala industriale degli impianti fotovoltaici, ha consentito una importante riduzione dei costi di produzione e un progressivo miglioramento della qualità del processo tecnologico sottostante alla costruzione dei moduli.

La principale evoluzione è relativa all'ottimizzazione del metodo Czochralski per l'accrescimento dei lingotti di silicio utili alla creazione del wafer, consentendo la diffusione del silicio monocristallino a scapito del policristallino e del silicio amorfo. Questa soluzione, riducendo le impurezze ed i difetti del reticolo cristallino del wafer, consente di minimizzare gli effetti di degrado della capacità di generazione (LID e PID).

Sul piano dell'efficienza dei moduli, molto è stato fatto grazie a soluzioni di drogaggio del silicio sempre più efficaci e puntuali. La prima evoluzione su scala industriale è stata determinata dall'introduzione del BSF - Back Surface Field (figura 4) ovvero uno strato di alluminio serigrafato altamente drogato sulla parte posteriore della cella fotovoltaica. Questa scelta ha consentito di raggiungere efficienze teoriche attorno al 17%, grazie all'estensione dello spettro luminoso utile alla generazione elettrica ed alla riduzione degli effetti della temperatura che molto penalizza la capacità dei wafer di generare corrente.

L'introduzione delle celle PERC, ovvero con il contatto posteriore passivato (Passivated Emitter Rear Contact) (figura 5) ha permesso un ulteriore recupero in efficienza (dal 17% al 20%) grazie alla radiazione riflessa sul retro della cella, ma anche un'ulteriore riduzione dell'effetto negativo della temperatura sulla capacità di produzione della cella. Questa tecnica ha caratterizzato gli ultimi anni di produzione dei moduli.

Nell'ultimo periodo, a partire dagli anni '20, i produttori di moduli si sono concentrati nello sviluppare un drogaggio di tipo n sul retro della cella (i precedenti sono di tipo p) che garantisce un'importante riduzione del LID e una ulteriore diminuzione dell'effetto della temperatura sulla generazione elettrica. Questo processo è detto TOPCon - Tunnel Oxide Passivated Contact (figura 6) e garantisce una efficienza teorica maggiore del 22%.

Figura 6
Schema grafico del processo TOPCon - Tunnel Oxide Passivated Contact

Tutte queste evoluzioni hanno consentito un miglioramento di quasi il 30% dell'efficienza dei moduli negli ultimi dieci anni e, contestualmente, una significativa riduzione degli effetti di degrado causati dalle radiazioni ionizzanti e del calore.

Un utile contributo alla capacità produttiva dei moduli deriva anche dall'introduzione della bifaccialità, ovvero la possibilità del retro modulo di catturare la luce riflessa sul terreno circostante i moduli. Questo contributo può garantire un incremento di produzione a pari densità di potenza di quasi il 10% rispetto ai moduli con retro opaco. Inoltre, non trascurabile ai fini dell'uso del suolo, l'aumento della densità di potenza per superficie di modulo, che per gli attuali moduli monocristallini è quasi doppia rispetto ai moduli a silicio amorfo e quasi del 50% maggiore rispetto ai moduli a wafer policristallini.

Nei prossimi anni il cambiamento più significativo riguarderà l'introduzione dei moduli HJT che sostituiranno i PERC e garantiranno un salto significativo di efficienza.

L'importanza del revamping e repowering

Al fine di raggiungere gli sfidanti obiettivi di decarbonizzazione al 2030 sarà fondamentale non solo installare nuovi impianti fotovoltaici, ma anche contrastare il precoce decadimento prestazionale di quelli in esercizio. Già nel suo Renewable Energy Report 2019, il Politecnico di Milano stimava che se venisse effettuata un'attività di repowering sugli impianti fotovoltaici utility scale incentivati tramite Conto Energia si riuscirebbe a coprire in termini di potenza circa il 10% degli obiettivi attuali previsti dal PNIEC al 2030 con un risparmio di superficie di oltre 120 km².

Abbiamo visto le importanti innovazioni tecnologiche raggiunte sul principale componente di una centrale fotovoltaica: il modulo. L'aggiornamento tecnologico di questa singola componente ha potenzialità notevoli, che se rapportate alla potenza complessivamente installata possono rendere bene la dimensione delle ricadute positive dei programmi di revamping e repowering sul sistema Paese. Considerando un impianto di dieci anni con moduli policristallini, la sola sostituzione con un modulo monocristallino TOPCon bifacciale (attività di revamping moduli) garantisce mediamente il recupero di almeno

6,5% di potenza per degrado e 30% di efficienza. Così come l'aumento della densità permette di aumentare almeno del 20% la potenza installata a pari superficie utilizzata grazie ad una attività di repowering.

Va inoltre notato che, oltre ai moduli, è migliorata in maniera significativa sia l'efficienza degli inverter che l'efficacia dei sistemi di inseguimento. Entrambi questi componenti contribuiscono a rendere l'impianto fotovoltaico molto più produttivo e soggetto a minori rotture rispetto a quanto accadeva negli impianti industriali di prima generazione. Un intervento di revamping moduli e inverter, abbinato alla sostituzione delle strutture esistenti con altre nuove e più performanti ad inseguimento solare, come quello condotto da EF Solare Italia sull'impianto fotovoltaico di Deliceto e descritto nel prosieguo nell'articolo, può comportare un miglioramento del PR di circa il 10%.

Questi aspetti tecnologici favoriscono le ipotesi di rinnovo di impianti con dieci anni ed oltre di vita utile grazie anche al supporto del quadro normativo-regolatorio. Allo stato attuale, infatti, grazie al DL Semplificazioni del 2021 (n. 77/2021), è possibile agire la sostituzione parziale o totale di un impianto esistente, attraverso un iter semplificato, dando anche la possibilità di incrementare la potenza a pari superficie irraggiata rispetto all'impianto già autorizzato.

Più recentemente, il Regolamento UE 2022/2577, ha previsto che i progetti di rifacimento, potenziamento o integrale ricostruzione di impianti fotovoltaici già esistenti, a determinate condizioni, possano essere esentati dalla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale. Lo stesso Regolamento UE, inoltre, stabilisce che l'iter autorizzativo per il repowering dei progetti non debba superare i sei mesi, e velocità in modo consistente le tempistiche per la connessione alla rete per gli aumenti di potenza più contenuti. Tali aspetti sono stati in parte recepiti tramite il DL PNRR n. 13/2023. Tale regime favorevole è stato da poco prorogato fino al 30 giugno 2025.

Ciononostante, permangono problemi legati alla disponibilità delle connessioni, che a oggi in molti casi continuano a frenare gli interventi di repowering. Nel prossimo futuro sarà fondamentale sciogliere anche questo nodo per sbloccare tutto il potenziale di questi strumenti.

Il contributo di EF Solare Italia

EF Solare Italia crede fortemente nel contributo che le attività di revamping e repowering possono dare al raggiungimento degli obiettivi di transizione energetica nazionale. Per questo, sta attuando un estensivo piano di attività volte a ricondurre a nuovo oltre 450 MW del proprio asset, con interventi che spaziano dalla sostituzione dei soli moduli e/o dei soli inverter fino alla trasformazione totale di impianti con la sostituzione di strutture ad inseguimento (tracker) in luogo di quelle fisse. Inoltre, grazie alla maggiore densità di potenza per metro quadro dei nuovi moduli, l'aspirazione è quella di installare a parità di superficie, potenza incrementale per oltre 130 MW, al netto della disponibilità di potenza nei punti di consegna da parte del DSO e del TSO.

Ad oggi il piano di Revamping & Repowering ha visto migliorare oltre 200 MW e installare quasi 30 MW di nuova potenza. Presentiamo ora due casi studio.

Il revamping e repowering di Priolo

Il primo caso di studio è l'intervento di revamping e repowering effettuato da EF Solare sull'impianto fotovoltaico di Priolo (Sicilia, **figura 7**).

L'impianto, costruito nel 2010, presentava una potenza installata di 13,5MW, con 179.300 moduli a film sottile (silicio amorfo) di capacità no-

minale 75 W e densità 104 W/m², inverter centralizzato 630 kW, connessione alla rete HV.

L'intervento ha comportato la sostituzione dei moduli, dei pannelli paralleli e dei cavi solari, mentre gli inverter sono stati rigenerati e le strutture di sostegno, così come le cabine e i cavi-dotti principali, sono stati conservati.

A parità di potenza complessiva, i nuovi moduli sono 27.760, con una potenza nominale di 490 W e una densità di 206 W/m².

Grazie a questo intervento, le strutture originarie hanno liberato spazio per installare altri 14,5 MW di nuova potenza, con 24.449 moduli bifacciali da 590 W, e una densità di 218 W/m².

Il nuovo impianto ha una potenza totale di 28 MWp, con la stessa superficie occupata. Nel suo ultimo anno di funzionamento, il vecchio impianto aveva prodotto 18,6 GWh. Il nuovo impianto post revamping ha prodotto 22 GWh nel primo anno (con la stessa radiazione e la stessa potenza). Prevediamo che la sezione di repowering produrrà altri 24,7G Wh all'anno. L'investimento aumenterà quindi la produzione di energia a circa 28 GWh/anno.

Il revamping di Deliceto

Il secondo caso di studio è l'impianto fotovoltaico di Deliceto (Puglia, **figura 8**) del 2011: 12,3 MW, 53.500 moduli monocristallini da 230 W, densità 148 W/m², inverter centralizzato (500 kW), connessione alla rete HV.



Figura 7
Impianto di Priolo



Figura 8
Impianto di Deliceto di EF Solare Italia

L'intervento ha interessato l'intero impianto, e ha comportato la sostituzione dei moduli, delle strutture di montaggio con sistemi di inseguimento e dei nuovi inverter distribuiti da 185 kW, e di tutti i cavi.

A parità di potenza complessiva, i nuovi moduli sono 23.016, con una potenza nominale di 540 W, densità 209 W/m². L'impianto dispone di 64 nuovi inverter.

L'impianto efficientato ha la stessa potenza con la stessa superficie occupata. Nel suo ultimo anno di funzionamento, il vecchio impianto ha prodotto 16,4 GWh. Il nuovo impianto (revamping) ha prodotto 22,5 GWh nel primo anno (a parità di irraggiamento e potenza installata). L'investimento determinerà quindi un aumento dell'energia prodotta pari a circa 6 GWh/anno.

Conclusioni

Gli obiettivi di decarbonizzazione sempre più sfidanti, individuati dalla normativa a livello nazionale ed europeo, richiedono non solo l'installazione di nuova capacità di generazione rinnovabile, ma anche l'ammodernamento tecnologico ed il potenziamento degli impianti esistenti, per capitalizzare la potenza già installata e far fronte al decadimento delle prestazioni (almeno il 6-8% del potenziale di picco di un modulo in 10 anni).

Secondo il Renewable Energy Report 2019 dell'Energy & Strategy Group del Politecnico di Milano, se venisse effettuata un'attività di repowering sugli impianti fotovoltaici utility scale incentivati tramite Conto Energia si riuscirebbe a coprire in termini di potenza circa il 10% degli obiettivi attuali previsti dal PNIEC al 2030 con un risparmio di superficie di oltre 120 km². Appare dunque evidente l'importanza strategica delle attività di revamping e di repowering, nonché il contributo complessivo fornito al sistema energetico nazionale.

L'importante crescita che ha caratterizzato il settore fotovoltaico mondiale nell'ultimo decennio e lo sviluppo tecnologico ed industriale ad essa associato, in particolare della filiera di moduli e inverter, ha reso possibile oggi rispondere a queste sfide. Per quanto riguarda i moduli, le principali innovazioni riguardano l'ottimizzazione dei metodi di accrescimento dei lingotti di silicio utili alla creazione dei wafer e delle soluzioni per il drogaggio del silicio, l'introduzione delle celle PERC e del processo TOPCON, nonché dei moduli bifacciali. Tutte queste evoluzioni hanno consentito un miglioramento di quasi il 30% dell'efficienza dei moduli negli ultimi dieci anni e, contestualmente, una significativa riduzione degli effetti di degrado causati dalle radiazioni ionizzanti e dal calore.

EF Solare Italia crede fortemente nel contributo che le attività di revamping e repowering possono dare al raggiungimento degli obiettivi di transizione energetica nazionale, nonché alla valorizzazione dei propri asset. Per questo, sta attuando un estensivo piano di attività volte a ricondurre a nuovo oltre 450MW del proprio asset, con interventi che spaziano dalla sostituzione dei soli moduli e/o dei soli inverter fino alla trasformazione totale di impianti con la sostituzione di strutture ad inseguimento in luogo di quelle fisse. Inoltre, grazie alla maggiore densità di potenza per metro quadro dei nuovi moduli, l'aspirazione è quella di installare a parità di superficie, potenza incrementale per oltre 130 MW. Nell'articolo vengono descritti due casi di successo del piano di interventi di EF Solare Italia: l'intervento di revamping e repowering di Priolo ed il revamping di Deliceto.

La semplificazione normativa avviata negli scorsi anni e che si protrarrà anche nel 2024 ha portato con sé uno snellimento delle procedure autorizzative per questo tipo di interventi, e rappresenta senz'altro un fattore abilitante nella messa a terra del piano industriale del Gruppo. Tuttavia, restano ancora dei nodi da sciogliere per sbloccare tutto il potenziale di questo strumento, a partire dalla disponibilità di potenza nei punti di consegna da parte del DSO e del TSO.