

Fotovoltaico e *climate change*: quale futuro per l'Italia?



Riccardo Bonanno



Elena Collino

RSE – Ricerca
sul Sistema Energetico

Il cambiamento climatico influenzerà la produzione fotovoltaica in Italia? Attraverso l'analisi del *capacity factor*, uno studio di RSE guarda in avanti e valuta lo scenario per il nostro Paese fino al 2100, concentrandosi su radiazione solare e temperatura

Le evidenze del cambiamento climatico – con l'aumento degli eventi meteorologici estremi – unite al rischio legato all'approvvigionamento di combustibili fossili stanno

accelerando la transizione globale verso le fonti rinnovabili. Nel 2023 si è registrato il tasso di crescita più rapido degli ultimi vent'anni, con quasi 510 GW di nuova capacità installata a livello



globale, di cui circa tre quarti provenienti dal fotovoltaico.

Il nostro Paese ha contribuito in modo significativo all'installato complessivo: secondo i dati del Gestore dei Servizi Energetici (GSE), l'Italia ha raggiunto nel 2023 una capacità di oltre 28 GW, con una distribuzione concentrata prevalentemente nel Nord (55 per cento), seguito dal Sud e dalle isole (28 per cento) e dal Centro (17 per cento).

Dal punto di vista della transizione energetica, in Europa il pacchetto *Fit for 55* comprende una serie di proposte volte a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050

Per pianificare il nuovo assetto energetico disegnato dalle policy europee è fondamentale considerare l'impatto del cambiamento climatico sulla produzione da fonti rinnovabili

e a ottenere una riduzione del 55 per cento delle emissioni nette di gas serra entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.

Seguendo le linee guida europee, il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) italiano – aggiornato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica nel 2024 – prevede un incremento rapido delle fonti rinnovabili: entro il 2030 la capacità installata dovrà raggiungere i 74 GW, trainata dal fotovoltaico. Crescerà significativamente anche la quota di elettricità prodotta da rinnovabili, arrivando a rappresentare circa il 64 per cento dei consumi elettrici nazionali.

Questa roadmap comporta un cambiamento radicale del sistema energetico, che sarà sempre più dipendente dalle condizioni meteorologiche, in particolare per quanto riguarda la produzione da fonte solare ed eolica. Per pianificare con attenzione il nuovo assetto energetico, risulta quindi fondamentale considerare l'impatto che il cambiamento climatico potrebbe avere sulla produzione da fonti rinnovabili.

Scopo dello studio di RSE è analizzare in che modo la produzione fotovoltaica nella penisola italiana potrebbe essere influenzata dal

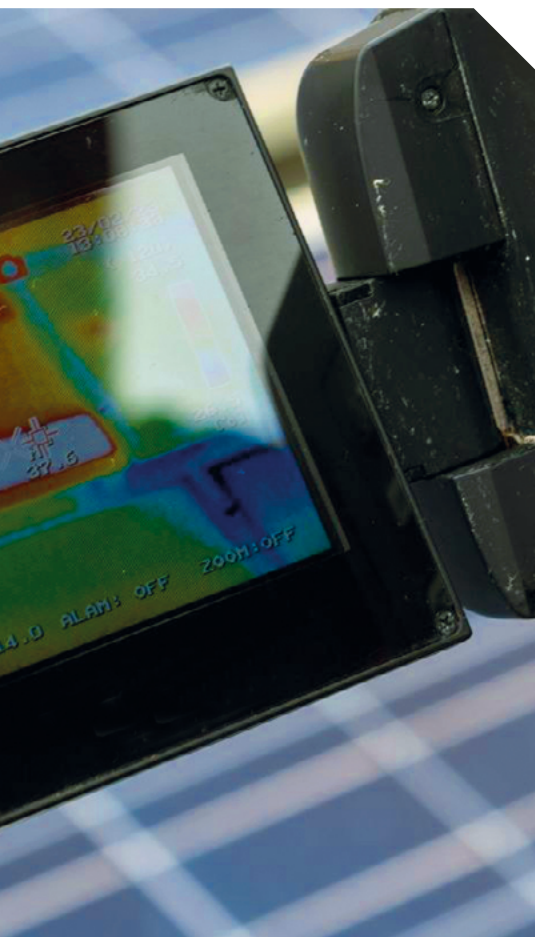
cambiamento climatico nel corso del XXI secolo.

Gli impatti del *climate change* sul fotovoltaico italiano

In Italia, l'analisi degli impatti del cambiamento climatico sulla produzione di energia fotovoltaica è stata finora condotta solo su alcune città, senza offrire una visione complessiva dell'intera penisola, caratterizzata da un territorio molto eterogeneo dal punto di vista orografico.

In aggiunta, negli ultimi anni si è assistito a un'espansione per gli impianti fotovoltaici anche verso territori alpini e aree montane. L'installazione ad alta quota può infatti contribuire alla gestione dei picchi di domanda in periodi critici come l'inverno, quando la radiazione solare è minima. In alta quota i pannelli fotovoltaici possono beneficiare di valori di irradianza più elevati, della radiazione riflessa dal manto nevoso e di angoli di inclinazione più favorevoli, con un conseguente incremento della produzione elettrica.

Rispetto ad altri studi, l'approccio innovativo di questo lavoro di RSE risiede anche nell'attenzione dedicata alla regione alpina, con un'analisi



Gli scenari climatici utilizzati

I Percorsi Rappresentativi di Concentrazione (Representative Concentration Pathways, RCP) sono scenari climatici espressi in termini di concentrazioni di gas serra. Il numero associato a ciascun RCP indica l'entità dei cambiamenti climatici antropogenici entro il 2100 rispetto al periodo preindustriale.

Ciascun RCP mostra una diversa quantità di calore addizionale immagazzinato nel sistema Terra quale risultato delle emissioni di gas serra.

RCP 8.5 (scenario business-as-usual o nessuna mitigazione):

crescita delle emissioni ai ritmi attuali;

RCP 4.5 (scenario di stabilizzazione o di mitigazione parziale):

diminuzione delle emissioni al di sotto dei livelli attuali entro il 2070;

RCP 2.6 (scenario di mitigazione): riduzione delle emissioni molto elevata.

approfondita delle variabili legate alla temperatura e alla copertura nevosa.

L'impatto del cambiamento climatico è quantificato analizzando dapprima le variabili principali da cui dipende – la radiazione solare superficiale e la temperatura a 2 metri – per poi esaminare gli effetti sulla produzione fotovoltaica attraverso il *capacity factor*. Le tendenze di queste variabili sono analizzate lungo l'arco del secolo.

Lo studio indaga anche le variazioni nel ciclo annuale della produzione fotovoltaica in relazione ai diversi scenari climatici RCP (Representative Concentration Pathways, Percorsi Rappresentativi di Concentrazione), espressi in termini di concentrazioni di gas serra, nonché la sensibilità del *capacity factor* rispetto alla radiazione solare superficiale e alla temperatura a 2 metri, al fine di valutare il contributo relativo

di ciascuna variabile.

Per l'analisi è stato considerato un insieme di modelli climatici regionali (Regional Climate Models, RCM) appartenenti a diversi scenari RCP, così da coprire l'intero spettro delle fonti di incertezza nelle proiezioni climatiche.

Lo studio RSE utilizza un *ensemble* di simulazioni di modelli climatici regionali provenienti da Euro-CORDEX, la cui risoluzione relativamente elevata (griglia di 12,5 km) consente una rappresentazione più realistica delle catene montuose.

Il periodo storico di riferimento scelto per questo studio è l'intervallo di 20 anni: 2000-2020. La ragione di questa scelta risiede nei trend della radiazione solare registrati negli ultimi decenni del XX secolo. Dal 1950, infatti, la radiazione solare ha subito variazioni significative legate alle emissioni antropiche di gas serra.

Dalla metà degli anni '80 del XX secolo le politiche di riduzione delle emissioni hanno portato a un progressivo *brightening* dell'atmosfera, fino ai primi anni 2000. Per questo motivo, gli anni più rappresentativi da utilizzare come periodo climatologico di riferimento per l'analisi sono proprio gli ultimi venti, dal 2000 al 2020.

Considerazioni simili sono state formulate anche in uno studio tedesco del 2014 (*Rethinking solar resource assessments in the context of global dimming and brightening*), basato su dati provenienti da diverse stazioni di misura sulla Germania. Secondo i ricercatori tedeschi, i dati sull'andamento della radiazione solare negli ultimi decenni del secolo scorso possono essere considerati il miglior predittore per i successivi vent'anni. Il periodo di riferimento deve essere sufficientemente lungo da filtrare l'influenza di singoli anni caratterizzati da forti anomalie, ma anche abbastanza breve da ridurre al minimo l'impatto delle tendenze passate.

Il calcolo del *capacity factor*

Il calo di efficienza dei sistemi fotovoltaici dovuto alla temperatura è un fenomeno ampiamente documentato. Numerosi studi ne hanno evidenziato i meccanismi: temperature elevate comportano una riduzione della tensione a circuito aperto e dell'efficienza



Se il cambiamento climatico in Italia è destinato a influenzare in misura marginale la produzione fotovoltaica, la regione alpina rappresenta un'eccezione.

Qui si prevede una marcata diminuzione della radiazione solare entro il 2100: ciò comporterebbe un forte calo della produzione FV, con punte di circa l'8-10 per cento

complessiva, con una variazione stimata pari a -0,52 per cento per °C.

Le osservazioni sul campo confermano che la temperatura ha un impatto significativo sulle prestazioni dei pannelli, con variazioni dipendenti dal tipo di tecnologia impiegata e dalle condizioni ambientali specifiche. I pannelli monocristallini, ad esempio, mostrano una riduzione di prestazioni meno marcata rispetto ai policristallini: in condizioni di forte calore, l'efficienza dei monocristallini può scendere al 37 per cento, mentre i policristallini registrano cali più consistenti.

I progressi tecnologici, in particolare nelle strategie di raffreddamento, offrono soluzioni di mitigazione potenziali. Sistemi

di raffreddamento ad aria, acqua o evaporativi possono migliorare sensibilmente le prestazioni, mantenendo temperature operative ottimali. Naturalmente, la fattibilità economica e l'impatto ambientale dell'implementazione di tali tecnologie devono essere valutati con attenzione.

Il vento svolge invece un duplice ruolo: se da un lato può raffreddare i pannelli fotovoltaici, aumentando l'efficienza in presenza di alte temperature, dall'altro, se intenso può generare problemi strutturali e danni potenziali. Tuttavia, in termini di correlazione con la produzione solare, questa variabile mostra valori significativamente inferiori

rispetto alle altre.

Anche l'umidità relativa influisce negativamente sulle prestazioni: livelli elevati di umidità sono associati a una riduzione della produzione di energia. Inoltre, l'aumento dell'umidità favorisce l'adesione della polvere, con conseguente maggiore deposito e minore efficienza.

Gli effetti di temperatura e umidità diventano più pronunciati con l'età dei pannelli, rendendo necessario un attento monitoraggio e una manutenzione costante.

Considerato lo scopo di questo studio – che si concentra sulla valutazione dell'impatto del cambiamento climatico sulla

Le osservazioni sul campo confermano che la temperatura ha un impatto significativo sulle prestazioni dei pannelli, con variazioni dipendenti dal tipo di tecnologia impiegata

produzione fotovoltaica in tutto il territorio italiano – oltre alla radiazione solare è stata presa in esame solo la temperatura, in quanto variabile più influente sul rendimento. Gli effetti delle altre variabili possono infatti risultare molto locali e specifici per singole installazioni, e la loro incertezza nelle proiezioni climatiche può essere di entità superiore al contributo quantitativo che apportano al calcolo della produzione solare.

Per tutte le variabili analizzate è stata applicata una media mobile di 11 anni, al fine di filtrare la variabilità climatica interannuale. Per la variabile legata alla produzione energetica

è stato analizzato il trend cumulativo.

Sono state calcolate le differenze percentuali annuali rispetto al periodo di riferimento 2000-2020 e il trend medio – stimato in %/anno – è stato cumulato sull'intero periodo analizzato 2021-2100 ($\Delta\%$) o, in alcuni casi, su base decennale (%/decennio).

L'analisi è stata condotta anche a livello mensile, partendo dalla media spaziale del *capacity factor* sul dominio italiano e valutando il trend cumulativo per ciascun mese dell'anno nel periodo 2021-2100, al fine di comprendere come la produzione fotovoltaica venga redistribuita nel corso dell'anno

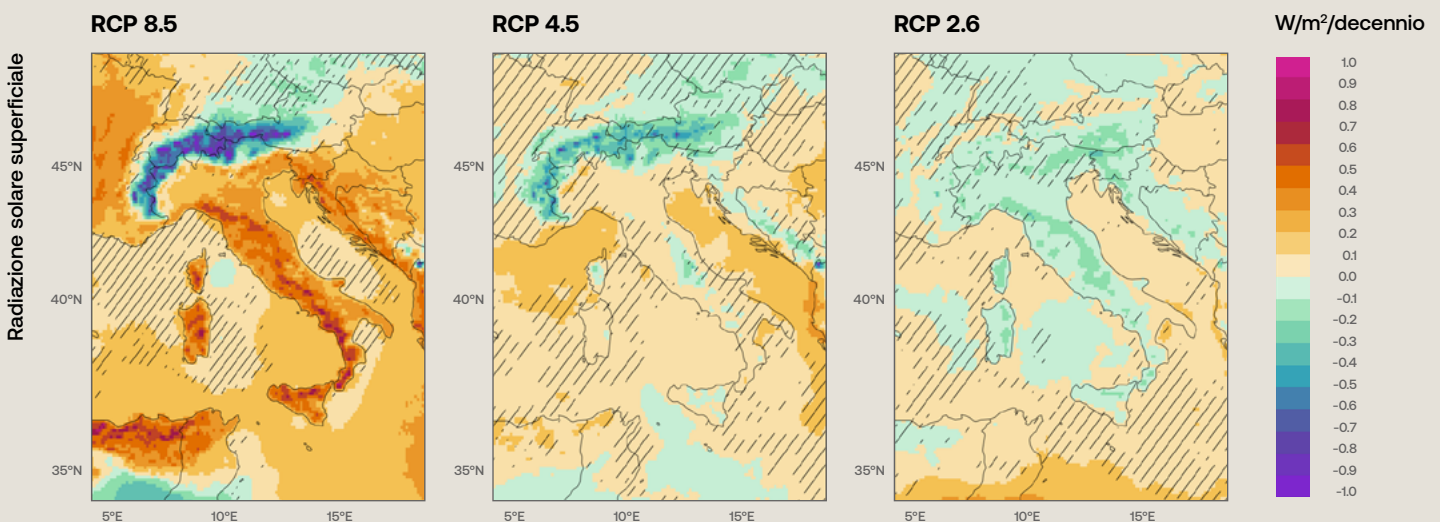
a causa del cambiamento climatico in tre diversi scenari RCP (vedi box, *ndr*).

Analisi degli scenari

L'analisi del trend della radiazione solare superficiale nel corso del secolo (**Figura 1**) non mostra variazioni rilevanti, a eccezione di un debole segnale significativo di diminuzione sulla terraferma nello scenario RCP 2.6. Negli altri scenari si osserva invece un aumento, più marcato nello scenario RCP 8.5, soprattutto lungo la dorsale appenninica dell'Italia centrale e meridionale. L'eccezione è rappresentata dalla regione alpina, che registra una diminuzione della radiazione solare superficiale, più evidente

Figura 1

Media annuale del trend della radiazione solare superficiale per decennio (W/m^2) dell'ensemble dei modelli climatici regionali nei diversi scenari, 2021-2100



Nota. Le barre diagonali indicano le aree in cui il segnale non risulta statisticamente significativo

nello scenario RCP 8.5 fino alla fine del secolo, con un tasso di circa 1 W/m² per decennio.

La variabile *tas* (temperatura a 2 metri, **Figura 2**) mostra invece un trend crescente significativo, in particolare negli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5, con valori che quasi raggiungono 1 °C per decennio sulle Alpi. La significativa diminuzione della radiazione solare superficiale sulle Alpi è stata approfondita analizzando i trend di altre variabili fornite dagli RCM e correlate alla radiazione solare. Sono stati esaminati la copertura nuvolosa e la radiazione solare riflessa dalla superficie (*rsus*).

Il marcato aumento delle temperature nello scenario RCP 8.5, soprattutto sulle Alpi, suggerisce che entro la fine

del secolo si possano registrare diminuzioni significative della copertura nevosa alpina, in particolare in inverno e primavera.

Queste variazioni potrebbero influenzare indirettamente la radiazione solare globale. Per valutare le variazioni superficiali della radiazione solare globale in aree montuose è necessario calcolare separatamente le componenti diretta, diffusa e riflessa dal terreno, e successivamente sommarle.

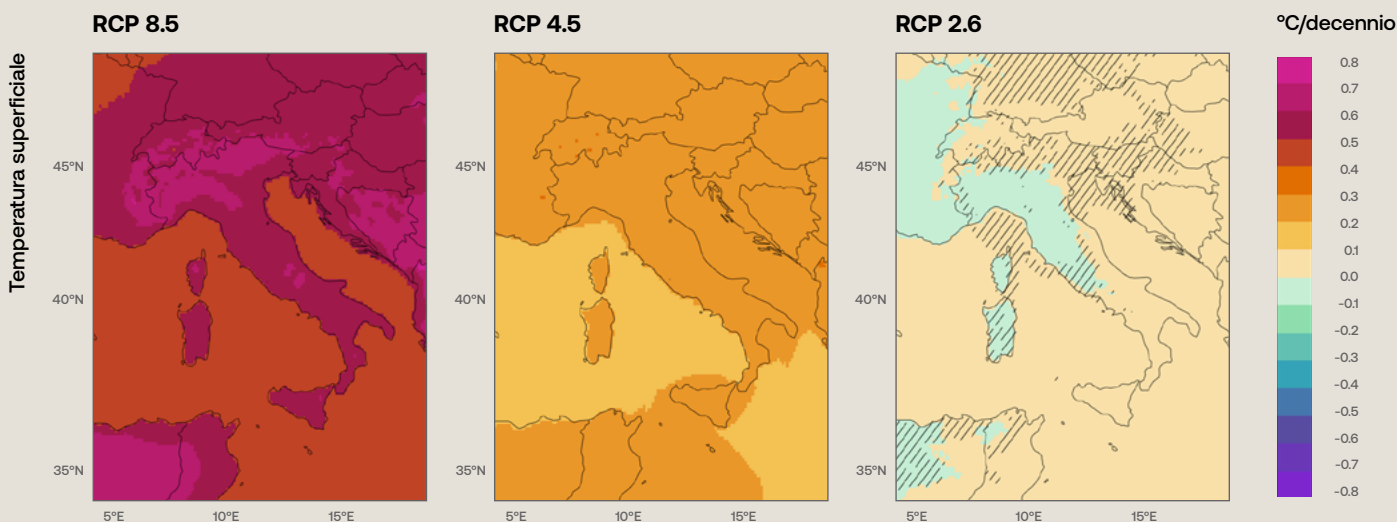
La radiazione diretta è quella che raggiunge il suolo in linea retta dal disco solare; la radiazione diffusa proviene da diverse sorgenti, dipendendo in parte dalla posizione del sole e dalla composizione

dell'atmosfera; la radiazione riflessa dal terreno si genera quando la radiazione diretta o diffusa viene dispersa verso un punto target dalle pendici circostanti. Il contributo della radiazione riflessa dal terreno alla radiazione globale superficiale può essere significativo, con valori medi pari al 17 per cento e massimi fino al 66 per cento in presenza di superfici parzialmente innevate.

La complessa orografia delle regioni alpine può amplificare la radiazione riflessa dal suolo. La copertura nevosa aumenta l'intensità della radiazione riflessa, incrementando l'albedo superficiale. Una riduzione della copertura nevosa potrebbe quindi determinare una diminuzione di questa

Figura 2

Media annuale del trend della temperatura superficiale per decennio (°C) dell'ensemble dei modelli climatici regionali nei diversi scenari, 2021-2100



Nota. Le barre diagonali indicano le aree in cui il segnale non risulta statisticamente significativo

componente e, di conseguenza, della radiazione solare globale.

Nella **Figura 3** è mostrata l'analisi del trend del *capacity factor* per il periodo 2021-2100. Le variazioni più rilevanti si osservano nello scenario RCP 8.5. È attesa una sostanziale diminuzione della produzione fotovoltaica nella regione alpina, con cali locali superiori all'8 per cento cumulato sull'intero arco temporale considerato. Questo comportamento è collegato alla marcata diminuzione della radiazione solare superficiale.

Una riduzione della produzione fotovoltaica è prevista sulla maggior parte del territorio italiano, generalmente entro il 2 per cento, con aree limitate negli Appennini e nelle principali isole dove

si osserva un lieve aumento di circa 1-2 per cento, sebbene non sempre statisticamente significativo. Il calo generale della produzione solare può essere attribuito al marcato incremento delle temperature atteso per questo scenario, che potrebbe comportare una significativa riduzione dell'efficienza dei pannelli.

Lo scenario RCP 4.5 mostra anch'esso un calo generale del *capacity factor*, più pronunciato nelle regioni alpine, con valori localmente superiori al 3-4 per cento, e meno significativo altrove, con valori intorno all'1 per cento o leggermente superiori, ma statisticamente rilevanti solo nelle parti centrale e meridionale della penisola italiana e nelle

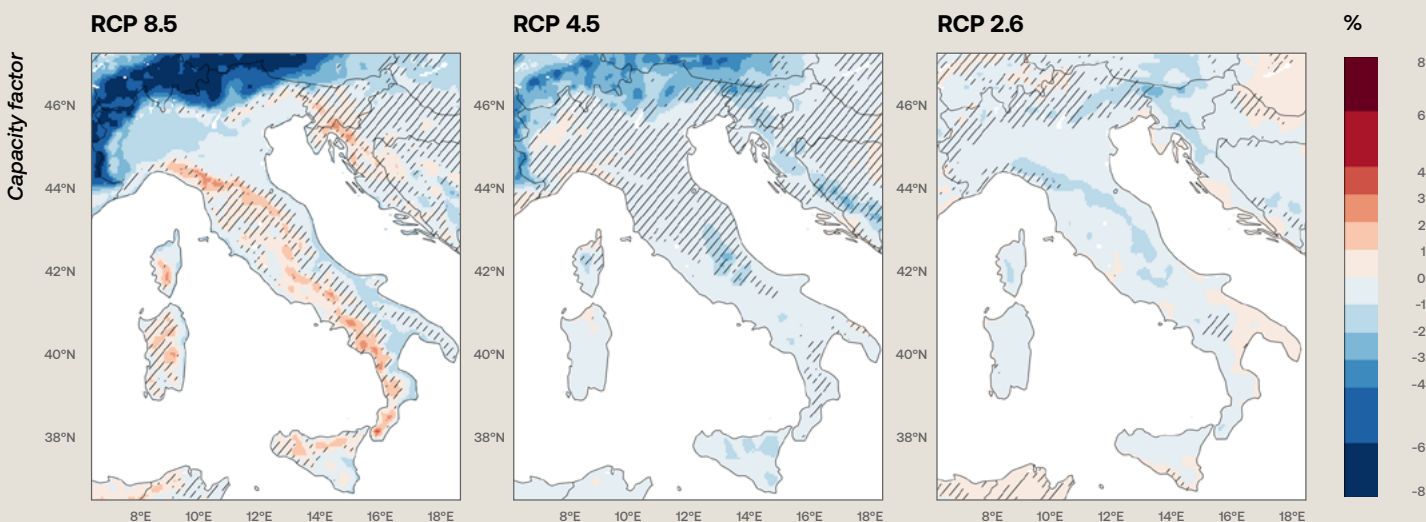
isole maggiori. In questo caso, l'aumento della radiazione solare superficiale (meno marcato rispetto allo scenario RCP 8.5) potrebbe essere compensato dall'incremento delle temperature, con conseguente diminuzione generale della produzione fotovoltaica.

Lo scenario RCP 2.6 prevede invece una lieve diminuzione generalizzata della radiazione solare superficiale (entro l'1 per cento) su tutto il territorio italiano, con valori più elevati, pari a circa 1-2 per cento, solo nella regione appenninica. A differenza dei due scenari precedenti, la regione alpina mostra un segnale molto modesto e statisticamente non significativo.

L'unica eccezione riguarda

Figura 3

Variazioni del *capacity factor* (%) con la significatività del segnale climatico, 2021-2100



Nota. Le barre diagonali indicano le aree in cui il segnale non risulta statisticamente significativo

Una riduzione della produzione fotovoltaica è prevista sulla maggior parte del territorio italiano, generalmente entro il 2 per cento

la parte sudorientale dell'Italia, dove è atteso un lieve aumento della produzione solare, sebbene di entità molto ridotta (entro l'1 per cento). Considerando i trend per questo scenario, la diminuzione del *capacity factor* è attribuita al calo della radiazione solare superficiale sulla maggior parte del territorio italiano, ad eccezione della parte sudorientale dove è previsto un lieve aumento. Rispetto agli altri due scenari RCP, i piccoli trend di temperatura non sembrano influenzare negativamente l'efficienza della produzione fotovoltaica.

È stata anche condotta anche un'analisi mensile, considerando la media spaziale del *capacity factor* sull'intero dominio italiano, per evidenziare se e in quale misura ci si possa attendere variazioni nel ciclo annuale della produzione fotovoltaica a seguito del cambiamento climatico. I risultati sono riportati nella **Figura 4**, dove il trend cumulativo nei diversi mesi della media *ensemble* del *capacity factor* è rappresentato insieme alla dispersione dei diversi modelli dell'*ensemble*.

Le variazioni più pronunciate si osservano nello scenario RCP 8.5, che mostra un lieve aumento della produzione fotovoltaica nei mesi estivi e una significativa diminuzione in autunno e inverno, con valori superiori al 5 per cento, sebbene associati a un elevato livello di incertezza dovuto all'ampia dispersione dei modelli rispetto alla media.

Questo ciclo annuale del trend riflette quello della radiazione solare superficiale: diminuzione in inverno e incremento significativo in estate. Il modesto aumento della produzione nei mesi estivi, nonostante l'incremento consistente della radiazione solare, suggerisce un effetto negativo delle alte temperature sull'efficienza dei pannelli e quindi sulla produzione solare.

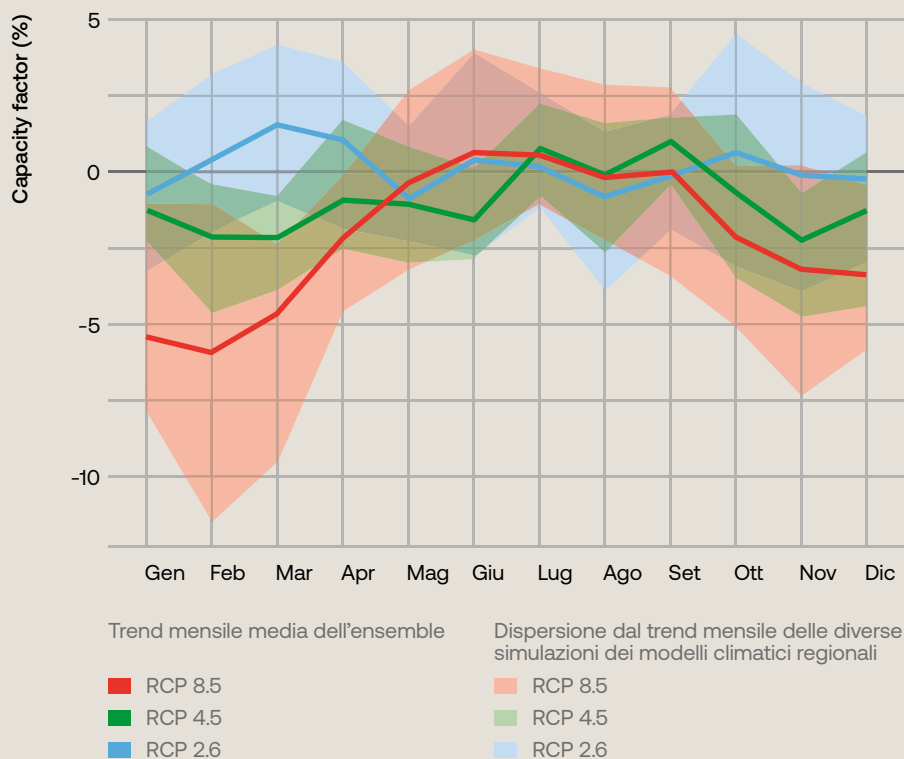
Lo scenario RCP 4.5 mantiene sostanzialmente le stesse

caratteristiche, ma con una diminuzione meno marcata in inverno e una riduzione parziale in primavera (circa 2 per cento), mentre negli altri mesi dell'anno la produzione rimane stabile.

Nello scenario RCP 2.6 si registra invece un lieve aumento della produzione, pari a circa il 2 per cento, nel periodo primaverile, mentre per il resto dell'anno la produzione risulta sostanzialmente stabile.

Figura 4

Trend cumulativo mensile del *capacity factor* mediato spazialmente sull'intero dominio italiano per i diversi scenari, 2021-2100



Risultati

Lo studio RSE ha quantificato l'impatto del cambiamento climatico sulla produzione di energia solare nella penisola italiana fino al 2100, analizzando dapprima i trend delle variabili principali da cui dipende (radiazione solare superficiale – *rsds* e temperatura superficiale – *tas*) e successivamente la produzione fotovoltaica attraverso il *capacity factor*.

L'analisi dei trend della *rsds* mostra stabilità o una lieve diminuzione sulle aree continentali nello scenario RCP 2.6, mentre sono previsti aumenti significativi negli altri scenari, soprattutto lungo la dorsale appenninica. Al contrario, la regione alpina evidenzia una marcata diminuzione, particolarmente nello scenario RCP 8.5.

La temperatura è attesa in aumento, soprattutto negli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5, con incrementi fino a 1 °C per decennio nelle Alpi nello scenario RCP 8.5. Le diminuzioni di *rsds* nella regione alpina risultano spazialmente e temporalmente correlate al trend decrescente della radiazione solare riflessa dalla superficie (*upwelling*), legata all'albedo, indicando potenzialmente una riduzione progressiva della copertura nevosa alpina entro la fine del secolo, in particolare nello scenario RCP 8.5.

Il trend della media *ensemble* del *capacity factor* prevede una significativa diminuzione della produzione fotovoltaica nello

scenario RCP 8.5, soprattutto nelle Alpi, con un calo complessivo superiore all'8 per cento sull'intero periodo, attribuito alla marcata diminuzione della *rsds* proiettata per questa regione. Nonostante l'aumento generale previsto della radiazione solare globale sull'Italia, è attesa una riduzione del *capacity factor* sulla maggior parte del territorio, generalmente intorno al 2 per cento, presumibilmente a causa dell'aumento delle temperature che potrebbe ridurre l'efficienza dei pannelli solari.

Infatti, valutando gli effetti dei trend indotti dalla temperatura e dalla radiazione solare sulla produzione fotovoltaica, si nota che nello scenario RCP 8.5 la temperatura ha un effetto predominante sulla radiazione nella maggior parte del dominio, con l'eccezione delle regioni appenniniche, dove sono previsti lievi aumenti di producibilità pari a circa 1-2 per cento.

Lo scenario RCP 4.5 mostra una diminuzione meno marcata, con valori fino al 4 per cento nelle Alpi e circa 1 per cento altrove, mentre lo scenario RCP 2.6 prevede una riduzione generalmente modesta, entro l'1 per cento, ad eccezione della dorsale appenninica.

Nel complesso, mentre negli scenari più pessimistici (RCP 4.5 e RCP 8.5) l'aumento delle temperature gioca un ruolo predominante, impattando negativamente sull'efficienza fotovoltaica, nello scenario RCP

2.6 è la radiazione solare a risultare più determinante, con le regioni sudorientali che mostrano un lieve aumento della produzione fotovoltaica, attribuito a un incremento della radiazione solare.

L'analisi del ciclo stagionale ha evidenziato alcune variazioni principalmente legate ai cambiamenti della *rsds* nel corso dell'anno. Le variazioni più significative si osservano nello scenario RCP 8.5, che mostra una riduzione della produzione durante l'inverno (5 per cento), seguita da un lieve aumento in estate. L'incremento della produzione nel periodo estivo risulta probabilmente attenuato



dall'aumento delle temperature, che hanno un effetto negativo sull'efficienza dei pannelli. Lo scenario RCP 4.5 mantiene sostanzialmente le stesse caratteristiche, ma con una diminuzione meno marcata in inverno e una produzione stabile negli altri mesi dell'anno. Lo scenario RCP 2.6, invece, mostra un lieve aumento in primavera (2 per cento) e una produzione generalmente stabile nel resto dell'anno.

Dal punto di vista della progettazione e gestione dei sistemi fotovoltaici, una possibile strategia per superare la diminuzione attesa della produzione durante

i periodi invernali negli scenari RCP 4.5 e soprattutto RCP 8.5 consiste nello sviluppo e nell'installazione di tecnologie innovative volte ad aumentare l'efficienza produttiva.

L'impiego di pannelli solari bifacciali, capaci di catturare la luce solare su entrambi i lati, potrebbe essere una soluzione relativamente economica. Rispetto ai pannelli monofacciali tradizionali, in condizioni di installazione ottimizzate questi possono incrementare la produzione fino al 35 per cento. L'efficienza del lato posteriore dipende principalmente dal tipo di superficie sottostante: superfici chiare o riflettenti

ne migliorano le prestazioni.

Un'altra soluzione di mitigazione potrebbe essere l'uso di pannelli solari *tracking*, montati su sistemi motorizzati che li orientano seguendo il movimento del sole durante la giornata. In questo modo si ottimizza l'angolo dei raggi solari e si aumenta la quantità di energia prodotta. Il rendimento energetico può crescere dal 15 al 35 per cento per i sistemi a singolo asse e dal 25 al 50 per cento per quelli a doppio asse, rispetto ai sistemi fissi. Tuttavia, tali tipologie risultano più costose e richiedono maggiore manutenzione a causa delle componenti motorizzate.

Come strategia aggiuntiva, l'integrazione della produzione fotovoltaica con altre fonti (ad esempio eolica e idroelettrica) e con sistemi di accumulo potrebbe mitigare i potenziali effetti negativi del cambiamento climatico.

I risultati di questo studio RSE – comparabili con quelli riscontrati su scala globale – mostrano che l'energia solare risulta la meno colpita dal cambiamento climatico rispetto ad altre rinnovabili – come eolico, idroelettrico, biomasse e geotermia – che subiscono impatti più significativi.


Analizzando possibili deviazioni dagli scenari RCP considerati, un'evoluzione più estrema rispetto allo scenario RCP 8.5 potrebbe accentuare gli effetti indotti dalla temperatura sulla produzione





di energia da fonte rinnovabile o sulle politiche energetiche regionali, poiché molti impianti sono concentrati nelle pianure e nel CentroSud, dove la variazione del *capacity factor* è contenuta. Non si prevedono cambiamenti significativi nella localizzazione degli impianti, anche a causa della complessa orografia del territorio.

Nelle Alpi, invece, questi risultati devono essere considerati con attenzione. La diminuzione prevista dovrebbe essere tenuta in conto in vista di una possibile futura espansione delle installazioni fotovoltaiche, soprattutto in ambito alpino (ad esempio, sui bacini idroelettrici).

Le ricerche future potrebbero concentrarsi sul perfezionamento delle proiezioni climatiche mediante modelli aggiornati, per aumentare la robustezza dei risultati e migliorare ulteriormente le proiezioni. 

Le attività condotte da RSE, che hanno portato alle evidenze presenti in questo articolo, sono state finanziate dal Fondo di Ricerca per il Sistema Elettrico Italiano nell'ambito del Piano Triennale della Ricerca 2022-2024 (D.M. MITE n. 337 del 15.09.2022), in ottemperanza al Decreto del 16 aprile 2018

fotovoltaica del nostro Paese, portando a una diminuzione ancora più marcata della produzione.

Considerazioni conclusive

Il cambiamento climatico è destinato a influenzare la produzione di energia fotovoltaica nella penisola italiana nei diversi scenari RCP, seppur in misura marginale e con variazioni moderate sulla maggior parte del territorio. Le temperature potrebbero giocare un ruolo predominante negli scenari più pessimistici (RCP 4.5 e RCP 8.5), incidendo negativamente sull'efficienza del fotovoltaico e attenuando l'aumento della produzione associato all'incremento previsto della radiazione solare.

La regione alpina rappresenta un'eccezione: qui si prevede una marcata diminuzione della radiazione solare globale, probabilmente legata alla riduzione della copertura nevosa entro la fine del secolo. Ciò comporterebbe un forte calo della produzione fotovoltaica, con punte di circa l'8-10 per cento entro il 2100.

I trend attesi del *capacity factor* associati al cambiamento climatico hanno un impatto limitato sugli obiettivi nazionali



Regional Environmental Change
Assessing the impact of climate change on solar energy production in Italy