

# WOMEN GOING GREENER

2023-1-EL01-KA210-ADU-000164781



Reducing the environmental footprint  
of Female Entrepreneurship

## Module 6

### Harvesting Solar Power



The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission can not be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

---

This document was developed by Energetska zadruga Elektropionir Beograd in the framework of the Project “WomEn Going Greener – Reducing the environmental footprint of Female Entrepreneurship”.

This document reflects the views only of the authors, and the European Union cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

---

## Sommario

PANNELLI FOTOVOLTAICI: COME FUNZIONANO .....	4
Energia solare e Terra .....	4
Come funzionano i pannelli solari.....	4
Tipi di pannelli solari .....	4
Materiali per celle solari .....	5
Ricerca su pannelli più efficienti .....	5
Produzione di energia elettrica da pannelli solari: dalla corrente continua alla corrente alternata .....	6
Flusso di potenza: dalla batteria all'inverter .....	6
Perché la corrente alternata? .....	6
Vantaggi della produzione di energia solare: produttore o prosumer? .....	6
INTEGRARE L'ENERGIA SOLARE NELL'AGRICOLTURA.....	8
Introduzione .....	8
Agrivoltaico: co-locazione tra solare e agricoltura .....	9
Vantaggi dell'agrivoltaico per agricoltori e imprenditori .....	11
CASI DI STUDIO DI AZIENDE AGRICOLE A ENERGIA SOLARE DI SUCCESSO .....	12
Agrivoltaico in Serbia .....	12
Solar Harvest: la prima centrale agrosolare della Serbia .....	13
Centrale solare Delta e Brankov solare .....	15
L'agrivoltaico in Europa .....	15
Italia .....	16
Grecia .....	19
Germania .....	20
Agrivoltaico negli Stati Uniti.....	23
Bibliografia .....	25

# PANNELLI FOTOVOLTAICI: COME FUNZIONANO

## Energia solare e Terra

Il Sole è una fonte continua di energia. Le reazioni di fusione che si verificano costantemente nel Sole generano grandi quantità di energia, che viene trasmessa alla Terra sotto forma di radiazione elettromagnetica, principalmente come luce visibile, infrarossa e ultravioletta. Circa 1.366 watt per metro quadrato di questa energia raggiungono l'atmosfera esterna della Terra (nota come costante solare). Dopo aver attraversato l'atmosfera, circa 1.000 watt per metro quadrato raggiungono la superficie terrestre in condizioni ottimali. La radiazione che raggiunge la superficie terrestre è chiamata **radiazione solare globale** e rappresenta la somma della radiazione diretta (che crea ombre), della radiazione diffusa (indebolita dal passaggio attraverso le nuvole) e della radiazione riflessa (rimbalzata sulla superficie terrestre).

## Come funzionano i pannelli solari

I pannelli solari sono costituiti da celle fotovoltaiche (PV), che sono tipicamente realizzate con materiali semiconduttori come il silicio. Queste celle convertono la luce solare in elettricità attraverso l'effetto fotovoltaico. Il processo funziona come segue:

1. **Assorbimento dei fotoni:** quando la luce solare (fotoni) colpisce il pannello solare, l'energia viene assorbita dalle celle fotovoltaiche.
2. **Eccitazione degli elettroni:** l'energia dei fotoni eccita gli elettroni nel materiale semiconduttore, causandone la separazione dai loro atomi.
3. **Creazione di un campo elettrico:** la struttura della cella fotovoltaica contiene campi elettrici incorporati a causa degli strati di materiali semiconduttori (solitamente silicio di tipo n e di tipo p). Questo campo elettrico costringe gli elettroni liberi a muoversi in una direzione specifica.
4. **Generazione di corrente:** il movimento di questi elettroni crea una corrente elettrica.

## Tipi di pannelli solari

Esistono diversi tipi di pannelli solari, ognuno con le proprie caratteristiche:

1. **Pannelli solari monocristallini** (più comunemente usati):
  - **Materiale:** Realizzato da un'unica struttura cristallina continua di silicio.
  - **Efficienza:** tipicamente 15-20%.

- **Caratteristiche:** Sono più efficienti e poco ingombranti rispetto ai pannelli policristallini, ma sono più costosi a causa del processo di produzione più complesso.
  - **Aspetto:** Colore scuro uniforme.
2. **Pannelli solari policristallini** (quasi eliminati dal mercato):
- **Materiale:** Realizzato con più cristalli di silicio fusi insieme.
  - **Efficienza:** tipicamente 10-15%.
  - **Caratteristiche:** Sono meno efficienti dei pannelli monocristallini, ma sono più convenienti e più facili da produrre.
  - **Aspetto:** bluastro con una consistenza frammentata.
3. **Pannelli solari bifacciali:**
- **Materiale:** Può essere realizzato con celle monocristalline o policristalline.
  - **Efficienza:** in genere 15-20%, ma possono produrre fino al 30% in più di elettricità catturando la luce da entrambi i lati.
  - **Caratteristiche:** Questi pannelli sono progettati per assorbire la luce solare sia dal lato anteriore che da quello posteriore, rendendoli più efficienti in ambienti in cui la luce si riflette su superfici come neve, acqua, sabbia o materiali artificiali con coefficienti di riflessione più elevati.

## Materiali per celle solari

- **Silicio:** il materiale più comune utilizzato per le celle solari. Sia i pannelli monocristallini che quelli policristallini sono realizzati in silicio.
- **Film sottili:** includono tellururo di cadmio (CdTe) e seleniuro di rame indio gallio (CIGS). Questi materiali sono utilizzati nei pannelli solari a film sottile, che sono più leggeri e flessibili ma generalmente meno efficienti dei pannelli a base di silicio.

## Ricerca su pannelli più efficienti

Ricercatori e aziende di tutto il mondo stanno lavorando per aumentare l'efficienza dei pannelli solari. Alcuni degli sviluppi più significativi includono:

- **Celle solari in perovskite:** questo è un nuovo tipo di cella solare che promette una maggiore efficienza e costi di produzione inferiori. Aziende come Oxford PV stanno guidando lo sviluppo di celle solari a base di perovskite, con alcuni prototipi che raggiungono un'efficienza superiore al 28%. Queste celle potrebbero essere disponibili in commercio nei prossimi anni.
- **Pannelli solari multi-giunzione:** queste celle impilano più strati di materiali diversi per catturare uno spettro più ampio di luce solare, raggiungendo efficienze superiori al 40%. Sono attualmente utilizzati in applicazioni spaziali, ma potrebbero diventare disponibili per l'uso terrestre man mano che i costi di produzione diminuiscono.

## Produzione di energia elettrica da pannelli solari: dalla corrente continua alla corrente alternata

I pannelli solari producono **corrente continua (CC)**, che non può essere utilizzata direttamente nelle famiglie. La maggior parte degli elettrodomestici e dei sistemi di alimentazione utilizza **la corrente alternata (CA)**, quindi la conversione è necessaria.

### Flusso di potenza: dalla batteria all'inverter

- **Corrente continua dai pannelli:** quando i pannelli solari generano elettricità, si tratta di corrente continua (CC). Questa corrente può essere diretta alle batterie per l'accumulo o inviata direttamente a un inverter.
- **Batterie:** se il sistema utilizza batterie, queste immagazzinano la corrente continua, che può essere utilizzata in seguito quando non c'è luce solare, ad esempio di notte. Dalle batterie, la corrente passa nuovamente attraverso un inverter prima di essere utilizzata in casa.
- **Inverter:** questo è un componente chiave di qualsiasi sistema solare. L'inverter converte la corrente continua proveniente dai pannelli o dalle batterie in corrente alternata, che può essere utilizzata nelle abitazioni o reimmessa nella rete elettrica.

### Perché la corrente alternata?

**La corrente alternata (CA)** è lo standard nei sistemi di alimentazione per diversi vantaggi rispetto alla corrente continua (CC):

- **Trasmissione più efficiente su lunghe distanze:** la corrente alternata può essere trasmessa su lunghe distanze con minori perdite di energia utilizzando trasformatori in grado di aumentare e abbassare la tensione.
- **Distribuzione più semplice:** i sistemi CA sono progettati per collegare facilmente i consumatori alla rete, rendendoli lo standard per la distribuzione dell'energia.
- **Sicurezza e standardizzazione:** l'uso della corrente alternata è standardizzato nelle reti elettriche e nelle abitazioni di tutto il mondo, garantendo la compatibilità dei dispositivi e la sicurezza del sistema.

### Vantaggi della produzione di energia solare: produttore o prosumer?

**Prosumer (Produttore + Consumatore):** quando una centrale solare è collegata direttamente a un'abitazione e alla rete elettrica, il proprietario dell'impianto diventa un

prosumer. Ciò significa che non solo producono energia, ma ne utilizzano anche una parte per il proprio fabbisogno. L'energia in eccesso può essere immessa nella rete, per cui il prosumer può ricevere una compensazione finanziaria o un credito per il consumo futuro di energia.

#### Vantaggi:

- Bollette elettriche più basse, poiché il prosumer utilizza l'energia generata da sé.
- Possibilità di guadagnare o ridurre i costi vendendo l'energia in eccesso alla rete.
- Maggiore indipendenza energetica e stabilità.
- Decentramento dei sistemi produttivi e miglioramento della rete di distribuzione.

#### Difetto:

- **Costi iniziali elevati:** l'installazione di apparecchiature solari, inclusi pannelli, batterie e inverter, richiede un investimento iniziale significativo. Sebbene i costi vengano recuperati nel tempo attraverso il risparmio sulle bollette dell'elettricità, le spese iniziali possono essere un ostacolo per molti proprietari.
- **Manutenzione e sostituzione:** mentre i pannelli solari (25+ anni) hanno una lunga durata, le batterie e gli inverter (10-15 anni) richiedono una manutenzione regolare e un'eventuale sostituzione.
- **Dipendenza dalla luce solare:** i sistemi prosumer si basano sulla quantità di luce solare, quindi la produzione di energia può variare a seconda della posizione, della stagione e delle condizioni meteorologiche. Una produzione insufficiente può richiedere energia aggiuntiva dalla rete.
- **Complicazioni normative:** in alcuni paesi esistono normative complesse in materia di connessione alla rete, vendite di energia in eccesso e compensazione. Questo può portare a sfide burocratiche per i prosumer.

**Centrale elettrica di produzione pura:** i sistemi solari installati esclusivamente per la produzione di energia per la rete si concentrano sulla generazione della massima quantità di elettricità, che viene venduta alle società di distribuzione.

#### Vantaggi:

- Concentrati sulla massimizzazione della produzione senza la necessità di gestire i consumi.
- Generazione di ricavi esclusivamente dalla vendita di energia.
- Decentramento della capacità produttiva.

#### Svantaggi:

- **Elevati costi di installazione e manutenzione:** la costruzione di grandi centrali solari richiede un investimento significativo in terreni, attrezzature e infrastrutture per la connessione alla rete. La manutenzione e la gestione regolari possono aumentare i costi operativi.
- **Impatto sul territorio e sull'ambiente:** le grandi centrali solari richiedono vaste aree di terreno, il che può portare a conflitti con la necessità di terreni agricoli o la conservazione degli habitat naturali.

## INTEGRARE L'ENERGIA SOLARE NELL'AGRICOLTURA

### Introduzione

L'agricoltura sostenibile e la produzione di cibo sano stanno diventando un imperativo e uno degli obiettivi fondamentali della crescente popolazione globale. Secondo le più recenti stime delle Nazioni Unite elaborate da Worldometer, l'attuale popolazione mondiale è di 8,2 miliardi. Ma non è tutto: in base alle proiezioni delle Nazioni Unite, la popolazione mondiale dovrebbe aumentare dagli attuali 8 miliardi a 9,7 miliardi nel 2050 e potrebbe raggiungere un picco di quasi 10,4 miliardi a metà degli anni 2080. Data la crisi ecologica che stiamo certamente affrontando oggi, insieme all'inquinamento e al degrado del suolo, la produzione alimentare sostenibile per una popolazione in crescita diventerà una sfida importante. Inoltre, la terra è una risorsa fondamentale per le attività umane sotto crescente pressione.

L'ONU stima che il 20% della superficie terrestre totale sia stato degradato solo tra il 2000 e il 2015. Inoltre, è importante notare che la terra è necessaria per un gran numero di attività umane, quindi l'uso del suolo diventa un terreno impegnativo per il confronto di varie parti interessate (diverse attività economiche, urbanizzazione, ecc.). Poiché una delle principali priorità a livello globale è l'abbandono dei combustibili fossili e la riduzione delle emissioni di carbonio, la produzione di energia da fonti rinnovabili e la transizione verde stanno diventando attività aggiuntive che mettono sotto pressione l'uso del suolo. Sorgono conflitti tra l'agricoltura e l'espansione delle FER che richiedono grandi aree come impianti fotovoltaici o colture energetiche. Sorge quindi una **domanda fondamentale: la produzione alimentare e la produzione di energia da fonti rinnovabili possono essere armonizzate sullo stesso territorio?**

Il potenziale offerto dall'energia solare è enorme: è una fonte di energia gratuita inesauribile. In teoria, l'energia solare possiede il potenziale per soddisfare adeguatamente il fabbisogno energetico di tutto il mondo se le tecnologie per la sua raccolta e fornitura fossero prontamente disponibili. Tuttavia, ci sono molte ragioni per cui questo potenziale non è stato utilizzato in misura sufficiente. Nonostante il

promettente potenziale della tecnologia solare fotovoltaica per ridurre la dipendenza globale dai combustibili fossili, lo sviluppo del fotovoltaico su larga scala sta affrontando sfide complesse, tra cui il conflitto sull'uso del suolo e la resistenza sociale, che in precedenza è stata più comunemente associata ai parchi eolici su larga scala. La crescita dello sviluppo fotovoltaico su larga scala può creare controversie sull'uso del suolo, soprattutto nei casi di competizione tra terreni per l'agricoltura e produzione di energia. La resistenza sociale è del tutto giustificata alla luce di tutto ciò: i bisogni umani stanno aumentando a causa della crescita della popolazione, e la terra non inquinata e non degradata sta diminuendo. Pertanto, per superare gli ostacoli e sfruttare al meglio entrambi, è stato necessario esplorare nuovi approcci come l'"Agrivoltaico" (co-locazione tra solare e agricoltura).

## Agrivoltaico: co-locazione tra solare e agricoltura

L'agrivoltaico, il co-sviluppo di terreni sia per l'agricoltura che per il fotovoltaico, è un approccio innovativo e sempre più popolare allo sviluppo solare. La maggior parte dei grandi impianti solari fotovoltaici (PV) montati a terra sono installati su terreni utilizzati solo per la produzione di energia solare. Tali installazioni possono minacciare la comunità locale, gli agricoltori e la produzione alimentare locale. Questo è stato spesso causa di problemi sociali e disaccordi: in tutta Europa (soprattutto nell'Europa meridionale) e in altre parti del mondo (ad esempio USA, India) durante l'ultimo decennio, ci sono stati diversi casi in cui le comunità locali hanno protestato contro i progetti di enormi centrali solari a terra. Affinché la transizione energetica abbia successo, deve essere accettata socialmente, il che è fondamentale per realizzare una transizione giusta. Se la transizione implica l'esclusione della comunità locale e la limitazione della produzione alimentare locale e della sovranità alimentare, allora non possiamo parlare di giustizia o sostenibilità.

Ma grazie ai sistemi agrivoltaici (APV), è possibile co-localizzare il solare e l'agricoltura sullo stesso terreno, il che potrebbe fornire vantaggi a entrambi i settori concorrenti. La co-locazione è definita come la produzione agricola, come la produzione di colture o bestiame o gli habitat degli impollinatori, sotto i pannelli solari o adiacenti ai pannelli solari. Dopo essere stati installati, i pannelli solari lasciano circa il 90% della superficie libera, su cui è possibile coltivare il cibo.

Il concetto di un approccio dual-use sia per l'energia solare fotovoltaica che per la produzione agricola è stato teoricamente concepito da Goetzberger e Zastrow presso l'Istituto Fraunhofer in Germania nel 1981. Hanno proposto di elevare la struttura (di circa 2 m) e la distanza tra le file (circa 3 volte l'altezza dei moduli) per ottenere una radiazione uniforme sul terreno e allo stesso tempo consentire il movimento delle attrezzature agricole meccanizzate. Nel 2004, l'ingegnere giapponese Akira Nagashima ha sviluppato il primo sistema agrivoltaico utilizzando una struttura simile a una pergola da giardino. Il primo progetto pilota sperimentale, tuttavia, è stato installato in Francia,

vicino alla città meridionale di Montpellier, nella primavera del 2010. Questa azienda sperimentale ha portato all'esplorazione delle potenzialità dei sistemi agrivoltaici in pieno campo, dando origine a numerose pubblicazioni scientifiche, dall'effetto della distribuzione delle piogge all'impatto sulle condizioni microclimatiche fino alla crescita, alla morfologia e alla resa in colture come lattuga, cetriolo e grano duro.

Numerosi studi empirici hanno indagato la fattibilità tecnica dei sistemi agrivoltaici, esaminando il fotovoltaico con la coltivazione delle piante, l'acquaponica e la produzione zootecnica. È stato dimostrato come un uso pratico dal punto di vista tecnico ed economico dei terreni agricoli, in grado di superare la separazione dominante tra produzione di cibo ed energia e di aumentare la produttività della terra del 35-73%. L'ombra parziale dei pannelli solari riduce la quantità di luce solare diretta che raggiunge le colture, modificando il microclima (più fresco di giorno, più caldo di notte) e aumentando i livelli di umidità del suolo. I ricercatori dell'Università dell'Arizona, guidati dal professor Greg Barron-Gafford nel 2019, hanno scoperto che il fotovoltaico riduce la quantità di energia in ingresso sotto i pannelli producendo temperature dell'aria diurne più fresche, con una media di 1,2°C in meno nel sistema agrivoltaico rispetto all'impostazione tradizionale. Inoltre, hanno rilevato che l'umidità del suolo può essere fino al 15% più alta sotto i pannelli fotovoltaici. Ci sono sia vantaggi che compromessi nel co-localizzare le colture agricole con gli impianti solari. Nei climi aridi, ad esempio, potrebbero esserci rese più elevate con minori esigenze di irrigazione; In ambienti estremamente umidi, la spaziatura dei pannelli e altri fattori svolgono un ruolo importante nella gestione della distribuzione dell'acqua in loco e delle eventuali rese.

Diverse tipologie di colture possono essere prese in considerazione per la coltivazione in impianti agrivoltaici, ma la priorità è data alle produzioni orticole in quanto la coltivazione a vicolo è più compatibile con i vincoli geometrici derivanti dalla struttura portante. Anche le ridotte dimensioni dei motori meccanici utilizzati nella produzione di ortaggi hanno motivato questa scelta. Tra le principali produzioni orticole dell'Europa meridionale e degli Stati Uniti, la lattuga era particolarmente adatta a questi sistemi pionieristici. Oggi, nelle aziende agrivoltaiche di tutto il mondo, nelle aziende agrivoltaiche di tutto il mondo vengono coltivati i più diversi tipi di frutta, verdura, erbe aromatiche e piante medicinali e aromatiche.

Il bestiame in cerca di cibo può gestire la vegetazione sotto i pannelli solari, che può essere presa in considerazione nelle prime fasi della pianificazione e dell'installazione solare seminando in modo appropriato e sollevando moduli, cavi e scatole elettriche. Il bestiame può ridurre i costi di manutenzione della potatura sotto i pannelli e ridurre la necessità di utilizzare erbicidi. Uno studio condotto da Towner et al. (2022) mostra che l'implementazione del pascolo gestito delle pecore ha aumentato significativamente lo stoccaggio totale di carbonio (10-80%) e i nutrienti disponibili, e l'entità del cambiamento è correlata alla frequenza di pascolo. Gli animali beneficiano anche

dell'ombra fornita dai pannelli solari. Le pecore sono gli animali più comuni al pascolo solare.

Anche l'agrivoltaico può contribuire alla protezione degli impollinatori. L'importanza degli impollinatori si riflette nel fatto che gli impollinatori, sia selvatici che domestici come le api mellifere, sono responsabili in tutto o in parte della produzione di circa il 75% delle principali colture alimentari del mondo (secondo l'iniziativa dell'UE per gli impollinatori). Molte popolazioni di impollinatori sono minacciate dal cambiamento di uso del suolo, dall'urbanizzazione intensiva, dalle pratiche agricole intensive che includono l'uso di grandi quantità di agenti chimici (pesticidi, erbicidi, insetticidi...), dall'inquinamento ambientale, dalle specie invasive, dai cambiamenti climatici, ecc. Quindi, in che modo l'agrosolare può aiutare a proteggere gli impollinatori? Sotto i pannelli solari, gli habitat degli impollinatori possono essere piantati, e questa è diventata una pratica di grande successo, soprattutto negli Stati Uniti. L'habitat degli impollinatori sotto i pannelli solari può avvantaggiare le aziende agricole aumentando la resa agricola locale e può anche ospitare operazioni di apicoltura. L'apicoltura solare è la pratica di posizionare alveari di api mellifere su o vicino a siti solari (fattorie solari amiche degli impollinatori = un'altra buona pratica di co-locazione).

## Vantaggi dell'agrivoltaico per agricoltori e imprenditori

Quali vantaggi possono avere gli agricoltori e gli imprenditori dalle centrali agrosolari? Tali strutture offrono sia agli agricoltori che agli imprenditori molteplici vantaggi:

- **Protezione delle colture da condizioni meteorologiche avverse:** i pannelli solari fungono da protezione contro forti venti, grandine, forti piogge, intensa insolazione e alte temperature (soprattutto nei periodi di forti ondate di calore). Ciò ha un effetto positivo sulla riduzione delle perdite, aumenta la resa della produzione agricola e aumenta la produttività e l'attività complessive.
- **Creare reddito aggiuntivo dalla produzione di elettricità:** gli agricoltori e gli imprenditori possono non solo produrre energia per il proprio fabbisogno, ma possono anche vendere l'elettricità prodotta in eccesso. Il vantaggio è che si tratta di una fonte di reddito relativamente stabile e prevedibile, che riduce il rischio finanziario dell'azienda. Se ci affidiamo esclusivamente al guadagno dai prodotti agricoli, dipendiamo in larga misura, ad esempio, dal fatto che l'anno sarà secco o che ci saranno abbastanza piogge, ma quando diversifichiamo la nostra attività e combiniamo la produzione di cibo ed energia, creiamo un ambiente più favorevole e affidabile.

- **Solar Land Lease:** locazione di spazi sopra le colture a terzi che possono investire in impianti solari. Questo è destinato principalmente a quegli agricoltori che non vogliono investire direttamente in impianti fotovoltaici. Possono affittare i loro terreni a società coinvolte nello sviluppo di impianti fotovoltaici. In questo modo, l'agricoltore può guadagnare un reddito aggiuntivo, senza investire in apparecchiature solari. L'agricoltore continua a fare ciò che sa fare meglio, ovvero la produzione alimentare, mentre l'azienda o l'investitore si assume la responsabilità della parte energetica dell'azienda. In questo modo, il rischio potenziale legato al mercato dell'energia viene assunto dall'azienda.
- **Benefici di marketing e contributo alla sostenibilità:** attraverso tali collaborazioni e progetti, agricoltori e imprenditori migliorano l'immagine del settore agricolo ed energetico, posizionano meglio i loro prodotti sul mercato, producono energia sostenibile e verde e contribuiscono alla decarbonizzazione.
- **Riduzione dei costi di manodopera e dell'energia consumata:** gli agricoltori che decidono di utilizzare l'energia elettrica prodotta per le proprie esigenze, possono ridurre il consumo di energia elettrica e quindi ridurre i costi aziendali. Oggi sul mercato esiste un'ampia gamma di dispositivi e macchine diverse che si basano sull'energia solare e vengono utilizzati nel settore agricolo, come motozappe solari, mungitrici solari, sistemi di recinzione solare, trattori solari, irroratrici solari, insetti solari e trappole per parassiti...

L'agrivoltaico offre numerosi vantaggi e potenzialità, ma vanno menzionate alcune limitazioni: alcuni professionisti dell'industria solare vedono i progetti agrivoltaici come complessi e richiedono uno sforzo extra per essere realizzati, inclusi ulteriori livelli di complessità nella progettazione del sistema e un maggiore coordinamento con le parti interessate. È quindi chiaro che tali progetti richiedono più tempo, pianificazione e investimenti finanziari.

## CASI DI STUDIO DI AZIENDE AGRICOLE A ENERGIA SOLARE DI SUCCESSO

Nel capitolo seguente, verranno presentati diversi progetti agrivoltaici provenienti da Serbia, Europa e Stati Uniti, sia commerciali che progetti di cooperazione pilota.

### Agrivoltaico in Serbia

Agrisolar è un concetto relativamente nuovo in Serbia, ma ha un grande potenziale. La Serbia è tradizionalmente un paese agricolo, con un'alta percentuale di terreni agricoli rispetto alla superficie totale, e con una produzione agricola tradizionalmente rappresentata. Circa il 48,7% del territorio della Repubblica di Serbia è coperto prevalentemente da terreni agricoli. L'agricoltura intensiva (seminativi, orti, vigneti,

frutteti, ecc.) rappresenta il 37,1% del totale delle superfici agricole, mentre la vegetazione erbosa, costituita prevalentemente da prati e pascoli, è pari all'11,6%. Inoltre, il potenziale della radiazione solare in Serbia è di circa il 30% superiore a quello dell'Europa centrale. Secondo il Dipartimento per la pianificazione strategica nel settore energetico (Ministero delle Miniere e dell'Energia della Serbia) il potenziale totale sfruttabile dell'energia solare è valutato fino a circa 0,64 Mtep/anno, e il valore medio annuo dell'energia di radiazione è compreso tra 1200 kWh/m<sup>2</sup>/anno nel nord-ovest e 1550 kWh/m<sup>2</sup>/anno nel sud-est. mentre nella parte centrale è di circa 1400 kWh/m<sup>2</sup>/anno. Inoltre, il numero di ore di radiazione solare nel territorio della Serbia è compreso tra 1500 e 2200 ore all'anno e ci sono in media circa 270 giorni di sole.

Oltre all'esistenza di potenziali naturali (produzione agricola, terreni agricoli e potenziale significativo dell'energia solare), la Serbia ha anche preso una decisione strategica (a seguito della determinazione strategica dell'UE) per allineare lo sviluppo energetico con gli Stati membri dell'UE, il che significa la decarbonizzazione del settore energetico fino al 2050 (emissioni nette zero entro il 2050). All'inizio del 2021, la Repubblica di Serbia ha introdotto riforme del quadro giuridico nazionale in materia di energia e cambiamenti climatici, come punto di partenza per il processo di transizione energetica verso uno sviluppo climaticamente neutro. In questo modo è stata raggiunta un'armonizzazione più completa con le norme del "Terzo pacchetto energia" della legislazione energetica dell'UE e con alcune disposizioni del pacchetto "Energia pulita per tutti gli europei". La Repubblica di Serbia ha adottato un nuovo pacchetto legislativo costituito da modifiche di alcune leggi già esistenti (legge sull'energia, legge sulle miniere e sulla ricerca geologica) e nuove leggi come la legge sull'efficienza energetica e l'uso razionale dell'energia, la legge sull'uso delle fonti energetiche rinnovabili e la legge sui cambiamenti climatici. Alla fine del 2023, il governo della Repubblica di Serbia ha adottato il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima, che prevede di aumentare la quota di fonti energetiche rinnovabili nella produzione di elettricità al 45% nel 2030.

Tutto ciò crea opportunità per uno sviluppo molto più intenso dei progetti agrivoltaici in Serbia, la cui espansione possiamo aspettarci nei prossimi anni.

### Solar Harvest: la prima centrale agrosolare della Serbia

Nel febbraio 2024, l'azienda agricola biologica "Organela" è diventata la sede della prima centrale agrosolare della Serbia. Situata in una zona rurale della Serbia occidentale e circondata da paesaggi naturali, Organela produce frutta e verdura biologica, e d'ora in poi genererà anche elettricità verde sullo stesso terreno in cui coltiva il suo cibo biologico. Sotto i pannelli solari, l'azienda agricola Organela coltiverà ribes e rucola. L'impianto solare è dotato di 48 pannelli fotovoltaici, con una potenza complessiva di 17,5 kW. Posizionare i pannelli solari sopra i terreni agricoli porta un doppio vantaggio: sotto i pannelli solari che genereranno elettricità, ci sono piante che hanno bisogno di ombra per crescere senza ostacoli. I pannelli solari forniranno loro l'ombra di cui hanno

bisogno, proteggendoli allo stesso tempo dalla grandine. Inoltre, l'evaporazione dalle piante raffrederà i pannelli solari, aumentandone l'efficienza e garantendo il massimo utilizzo della loro capacità. Durante le calde giornate estive, quando la temperatura dell'aria supera i 30 gradi Celsius, l'efficienza dei pannelli solari diminuisce, quindi beneficiano quando vengono raffreddati con l'evaporazione delle piante che crescono sotto. Si stima che questo agrisolar ridurrà le emissioni di CO<sub>2</sub> di 28 tonnellate all'anno e che il rendimento energetico annuo sarà di 25,9 MWh.

Il Solar Harvest è il progetto della cooperativa energetica Elektropionir (in collaborazione con Organella Farm), ed è implementato nell'ambito dell'iniziativa Innovative and Just Green Transition, volta a garantire la sicurezza energetica e ridurre la povertà energetica, che è implementata da UNDP Serbia in collaborazione con il Ministero della Protezione Ambientale e il Ministero delle Miniere e dell'Energia.



Foto: Installazione di agrisolar nell'azienda agricola Organella, Fonte: Elektropionir



Foto: Pannelli solari e piantine di ribes presso la fattoria Organela, Fonte: Elektropionir

## Centrale solare Delta e Brankov solare

Nella parte settentrionale della Serbia (AP della Vojvodina) sono in corso due nuovi progetti agricoli (la documentazione di pianificazione è attualmente in fase di preparazione): "Solar Power Plant Delta" e "Brankov solar". La centrale solare Delta si trova nel comune catastale di Banatska Topola, su un terreno agricolo. Sono previsti tre campi agricoli su 157 ettari. Il progetto comprende una sottostazione (110/35 kV), un collegamento a un elettrodotto a 110 kV e cavi elettrici e ottici (180 ettari in totale). Secondo la bozza di piano, la centrale avrà un punto di connessione da 88 MW alla rete di trasmissione. Il terreno sottostante i pannelli solari sarà utilizzato per scopi agricoli, come il pascolo per il piccolo bestiame o la coltivazione di colture che non richiedono un'ampia luce solare. La sede del secondo progetto, Brankov solar, è nelle unità catastali di Mokrin e Kikinda. I pannelli solari e le attrezzature associate occuperebbero 15 ettari.

## L'agrivoltaico in Europa

Attualmente, ci sono più di 200 progetti agricoli in tutta Europa che superano una capacità combinata di 2,8 GW, compresi i progetti pilota e commerciali. Questi progetti si trovano principalmente in Svizzera, Francia, Paesi Bassi, Lituania, Germania, Spagna, Italia, Belgio, Austria e Regno Unito. Oltre agli obiettivi energetici comuni e al desiderio di decarbonizzazione, gli Stati membri dell'UE hanno preso la decisione chiara di istituire la Politica Agricola Comune (PAC), che ha anche aperto uno spazio significativo per la promozione e l'attuazione di progetti agrivoltaici. Finora, 14 paesi dell'UE hanno

incorporato l'energia solare fotovoltaica nei rispettivi piani strategici della politica agricola comune (PAC). Questi paesi sono Austria, Belgio, Bulgaria, Cipro, Repubblica Ceca, Francia, Germania, Irlanda, Italia, Lussemburgo, Malta, Paesi Bassi, Spagna e Slovenia.

## Italia

Il numero di impianti agrivoltaici in Italia è cresciuto nel corso degli anni, al punto da essere oggi considerato uno dei metodi chiave per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione. Inoltre, è importante evidenziare due documenti: il "Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030" che prevede un aumento della quota di energia prodotta da fotovoltaico di 35 GW e del 55% di energia elettrica da FER entro il 2030 e il "Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza" che punta a ridurre i costi energetici nel settore agricolo e prevede l'installazione di almeno 1,04 GW di impianti agrivoltaici entro giugno 2026, promuovere sistemi ibridi agricoltura-fotovoltaico. In realtà significa che possiamo aspettarci una vera espansione dei sistemi agrosolari in questo paese nei prossimi anni.

Il primo impianto agrivoltaico da 1MW in Italia è stato costruito nel 2011 (e uno dei primi in Europa) in Puglia (regione conosciuta anche con il nome italiano Puglia, situata nella parte peninsulare meridionale del paese). Negli ultimi anni, questo imprenditore italiano e orgoglioso proprietario del primo parco agrosolare in questo paese ha lavorato allo sviluppo di un nuovo progetto da 8 MW, in cui implementerà una combinazione di produzione di energia verde e vino, ovvero la coltivazione dell'uva.

Nel periodo precedente, decine di progetti agrivoltaici sono stati installati o approvati per l'installazione in Italia. Nel 2023 è stata approvata la costruzione di 13 parchi agrivoltaici con una capacità combinata di 593,7 MW, che combineranno energia e produzione agricola. Dodici di questi progetti saranno localizzati in Puglia, mentre uno sarà installato nella limitrofa Basilicata. Si prevede che questi progetti contribuiranno al raggiungimento degli obiettivi nazionali in materia di energie rinnovabili.

Per quanto riguarda il progetto agrisolar in Basilicata, nel comune di Genzano di Lucania (provincia di Potenza), è attualmente in costruzione una centrale da 10 MW. Si prevede che questo impianto sarà in grado di generare 6162 MWh di energia pulita all'anno quando sarà pienamente operativo. Questo progetto prevede l'utilizzo di strutture con un'altezza di 1,5 metri che consentiranno la coltivazione di diversi tipi di colture, l'apicoltura e il pascolo delle pecore.

Nel periodo successivo è prevista l'entrata in produzione di un altro nuovo impianto agrivoltaico: lo Stabilimento di Ramacca, situato a Ramacca, in provincia di Catania. L'impianto, denominato "Solare Ramacca fiume - Gornalunga", sorgerà su un terreno agricolo di circa 68 ettari e avrà una potenza nominale installata di 34.527 MWp. Sarà dotato di un sistema di accumulo integrato con una potenza di ingresso di 11,4 MW su impianti di inseguimento solare. Si prevede che l'impianto produrrà una quantità netta

di 72.500 MWh/anno di elettricità da fonti rinnovabili. Oltre alla produzione di energia pulita, l'impianto avrà un impatto significativo sulla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, con una stima di oltre 29.000 tonnellate all'anno.

Tra gli impianti già operativi, c'è quello della Renantis di Scicli, in provincia di Ragusa, di 9,7 MW di nuova capacità solare. Si stima che l'impianto produrrà circa 20 GWh di energia rinnovabile all'anno, equivalenti al fabbisogno di oltre 5000 famiglie. Nel sito, la coltivazione di colture autoctone e la produzione di energia sono combinate. Le colture sono state selezionate in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università di Catania e comprendono alberi da frutto, erbe officinali e un prato polifita per il pascolo delle pecore, oltre all'allevamento di api e alla produzione di miele e altri prodotti dell'alveare. L'attività agricola sarà gestita da una cooperativa locale, che porterà notevoli benefici all'intera area, oltre a creare nuove opportunità occupazionali a livello territoriale. Questa iniziativa non solo promuove la sostenibilità ambientale e l'efficienza delle risorse, ma contribuisce anche allo sviluppo economico e sociale della comunità locale.

Da segnalare anche l'iniziativa "Agrivoltaics Open Labs" situata a Salaparuta (Sicilia). Si tratta di una sorta di laboratorio di innovazione a cielo aperto in cui viene testata l'integrazione tra la produzione di energia solare, l'agricoltura e la protezione della biodiversità. Dato che la coltivazione della vite e la produzione del vino fanno parte della cultura, della storia e della tradizione in Sicilia, l'azienda proprietaria del vigneto ha deciso di unire la produzione di vino e di energia e di investire nell'impianto fotovoltaico. In questo modo, oltre al vino, l'azienda produce anche energia, riducendo i costi e favorendo al contempo la sostenibilità (il cosiddetto Vino Agrivoltaico).



Foto: Agrivoltaics Open Labs a Salaparuta (Sicilia), Fonte: Enelgreenpower.com



## Grecia

La Grecia ha uno dei più alti potenziali di energia rinnovabile in Europa, con il 50% in più di irraggiamento solare per metro quadrato rispetto alla Germania (che rappresenta uno dei paesi leader nel campo dello sviluppo agrosolare). Le regioni meridionali della Grecia ricevono più di 2000 kWh/m<sup>2</sup> di irradiazione globale all'anno, generando fino a 1500 kWh/kW di elettricità solare. Anche altre parti dello stato hanno un potenziale solare significativo. Nell'ultimo decennio, la quota di FER nel consumo totale di energia è quasi raddoppiata, principalmente a causa della produzione di energia eolica e solare. Allo stesso tempo, la Grecia sta eliminando gradualmente il carbone e ha ridotto le sue emissioni di gas serra del 43% dal 2005. La posizione geografica favorevole e le caratteristiche climatiche rendono questo paese molto favorevole per lo sviluppo e gli investimenti nelle tecnologie agrivoltaiche. Pertanto, possiamo aspettarci la loro espansione in futuro.

Per quanto riguarda i progetti agrivoltaici in Grecia, un'iniziativa interessante merita di essere menzionata: a Ioannina (Grecia nord-occidentale, regione dell'Epiro) è già in fase di pianificazione il primo progetto agrifotovoltaico di comunità urbana e una replica seguirà a Skopje, Macedonia del Nord (due stazioni agrifotovoltaiche da 10-15 kW). Si tratta di un orto urbano che sarà abbinato alla produzione di energia verde da pannelli fotovoltaici. Il progetto pilota sarà coordinato dalla comunità energetica locale CommonEn e la progettazione seguirà procedure partecipative con il coinvolgimento dei cittadini e degli stakeholder locali. CommonEn è stata fondata nel 2021 ed è stata fondata da Electra Energy (membro di un REScoop.eu).

Il secondo progetto che verrà presentato qui è un progetto della startup greca Brite Solar che sta costruendo una linea di produzione a Patrasso di pannelli solari trasparenti per la produzione agrivoltaica. L'impianto di Patrasso avrà una capacità annua di 150 MW in termini di picco. Brite Solar mira a portarlo a 300 MW in futuro. Finora questa azienda ha realizzato con successo diversi progetti agrivoltaici in campo aperto in tutta Europa, come ad esempio:

- Coltivazione di mirtilli in pieno campo a Broekhuizen: uno dei primissimi progetti agrivoltaici nei Paesi Bassi, avviato da un coltivatore di mirtilli commerciale.
- Coltivazione di fragole in pieno campo a Senden (Baviera, Germania): avviata da un coltivatore tedesco di una varietà di frutta (mele, pere, fragole, bacche varie).
- Mela pera in pieno campo e coltivazione a Papendrecht (Paesi Bassi occidentali).
- Coltivazione di pere in pieno campo a Randwijk (Paesi Bassi): situata in un'azienda agricola di ricerca gestita dalla Wageningen University & Research, questa installazione dimostrativa fa parte del progetto "Sunbiose" che ha ricevuto il sostegno del governo olandese per facilitare la più ampia diffusione dell'agrivoltaico nel settore agricolo olandese.

## Germania

L'uso di fonti di energia rinnovabile in Germania ha una lunga tradizione. Dal 2000, la legge sulle energie rinnovabili (Erneuerbare Energien Gesetz – EEG) stabilisce il quadro giuridico per la transizione energetica in questo paese. La Germania si è posta l'obiettivo di diventare neutrale dal punto di vista delle emissioni di gas serra entro il 2045. Inoltre, entro il 2030 almeno l'80% dell'elettricità consumata in Germania sarà generata da energie rinnovabili. Negli ultimi anni i progetti APV hanno guadagnato popolarità in questo paese, ma sono ancora in una fase molto precoce di sviluppo per essere chiamati "pratica quotidiana". Nella novità 2021 dell'EEG, l'agrivoltaico è entrato a far parte delle regole dell'innovazione nell'ambito dei cosiddetti impianti solari speciali (insieme al fotovoltaico galleggiante e al fotovoltaico per parcheggi). Da allora, il loro numero è cresciuto e ci sono sempre più agricoltori e imprenditori interessati e pronti a investire. Secondo uno studio pubblicato di recente da Wagner et al. (2024) *"Fattori che influenzano la disponibilità a utilizzare l'agrivoltaico: uno studio quantitativo tra gli agricoltori tedeschi"*, il 72,4% degli agricoltori tedeschi è disposto a utilizzare l'agrivoltaico. Nel 2024 ci saranno un paio di dozzine di aziende agricole agrivoltaiche in Germania, soprattutto nella parte meridionale (Baviera e Baden-Württemberg), dove il numero di strutture è più alto rispetto al resto del Paese.

Uno degli esempi interessanti è il primo progetto pilota di agrivoltaico su un meleto in Germania, situato a Gelsdorf in Renania-Palatinato (Germania occidentale). Il suo obiettivo principale è aumentare la resilienza climatica nella frutticoltura e allo stesso tempo raccogliere elettricità verde. Questo progetto è iniziato nel 2021 presso l'azienda frutticola biologica Nachtwey con una capacità installata di 300 kWp. L'energia solare prodotta viene, tra l'altro, utilizzata per il trattore elettrico in loco e per azionare la pompa elettrica del sistema di irrigazione, che sostituisce un generatore diesel. Il prossimo esempio è l'impianto pilota APV presso la comunità agricola biodinamica "Heggelbach" gestita da sei famiglie, situata nel comune di Herdwangen-Schönach, Baden-Württemberg (Germania sud-occidentale). Questo progetto è iniziato nel 2016 con una capacità installata di 194 kWp. La comunità agricola coltiva circa 180 ettari. La base agricola comprende prati di trifoglio (27 ha), cereali (30 ha), ortaggi (25 ha), patate da consumo (12 ha) e pascoli per la mandria di mucche. La soluzione innovativa ha aumentato l'efficienza dell'uso del suolo nell'area di prova di oltre il 60%.

Uno dei progetti in corso la cui attuazione è in corso è la costruzione di un impianto APV da parte di OEKOGENO. OEKOGENO è una cooperativa con sede a Friburgo con 16.000 membri, che ha lanciato una campagna di crowd-investimento per costruire il "parco solare Oekogeno Agri" vicino alla città di Ottweiler (Saarland, Germania sud-

occidentale). Un impianto agrivoltaico da 3,7 MWp con moduli bifacciali coprirà un'area di 11 ettari. Lo spazio aperto, che rimane come corridoi larghi 12 metri tra i moduli, sarà utilizzato due volte: come pascolo per i bovini di razza Angus, che il proprietario dei terreni commercializza come carne biologica, e come area di coltivazione del fieno.



Foto: Il primo progetto pilota di agrivoltaico su un meleto in Germania (azienda frutticola biologica Nachtwey, Gelsdorf), Fonte: Baywa-re.de

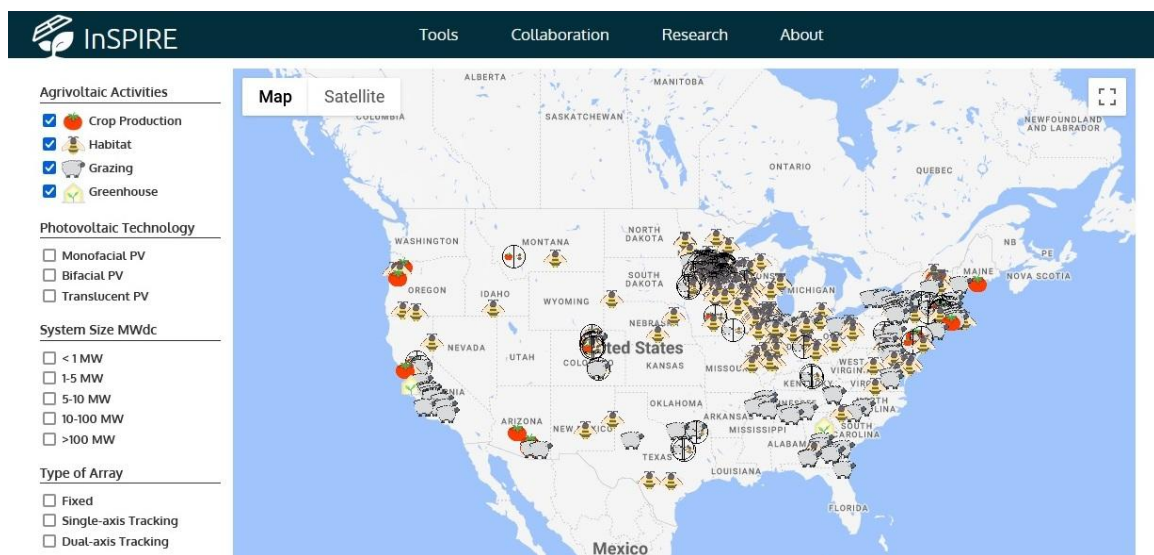


Foto: Stabilimento APV presso la comunità agricola biodinamica "Heggelbach", Fonte: Baywa-re.de

## Agrivoltaico negli Stati Uniti

Negli Stati Uniti, si prevede che lo sviluppo del solare crescerà in modo sostanziale. Entro il 2030, l'installazione solare potrebbe raggiungere i 330 GW di capacità installata (per soddisfare il 14% del fabbisogno nazionale), con 209 GW previsti per il solare a terra, che richiederebbe circa 8000 km<sup>2</sup> di terreno, compresi i terreni agricoli.

I progetti agrivoltaici negli Stati Uniti hanno iniziato a svilupparsi intorno al 2011, ma la loro significativa espansione è iniziata dopo il 2016. Ad agosto 2024, il National Renewable Energy Laboratory ha identificato 571 progetti agrivoltaici negli Stati Uniti (con 10 GW), di cui la produzione agricola comprende 35 progetti (79 MW, 360 acri) e il pascolo solare comprende 205 progetti (7555 MW, 49 229 acri). Le pecore sono gli animali più comuni al pascolo solare, ma ci sono anche diverse fattorie in cui sono rappresentate mucche, cavalli, lama e alpaca. Quando si parla di coltivazione di alimenti sotto pannelli solari negli Stati Uniti, nelle aziende agricole agrivoltaiche si coltivano più spesso: ortaggi (cavoli, broccoli, cavoli, bietole, peperoni, prezzemolo, pomodori, lattuga, spinaci, zucca, basilico, melanzane, sedano, porri, piselli, cetrioli, fagiolini, zucchine, scalogni, cavolfiori, carote, fagiolini, igname, ravanelli, ecc.); frutta (fragola, mirtilli, melone, anguria, uva), oltre a erbe officinali e aromatiche. Il numero di parchi agrosolari cresce di anno in anno, a causa del crescente interesse degli agricoltori americani, e tutto questo è fortemente sostenuto dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti che ha sviluppato la "Farmer's Guide to Going Solar" come forma di sostegno per tutti i nuovi agricoltori che vogliono aderire a questa iniziativa. I progetti agrivoltaici più numerosi negli Stati Uniti sono sicuramente "habitat per impollinatori" (418 siti con 4293 MW, che coprono 23.784 acri). Gli stati di tutto il paese stanno stabilendo standard che stabiliscono standard equi, flessibili e basati sulla scienza per ciò che costituisce "benefico per gli impollinatori" nel paesaggio gestito di un parco solare. Molti stati hanno adottato le proprie "Scorecard solari amiche degli impollinatori".



Mappa: Impianti agrivoltaici situati negli Stati Uniti, Fonte: OpenEI.org

## Bibliografia

- Linee guida sulle migliori pratiche di Agrisolal, versione 2.0. (2023). Energia solare Europa.
- Ašonja, A., Vuković, V. (2018). Le potenzialità dell'energia solare nella Repubblica di Serbia: situazione attuale, possibilità e ostacoli. *Lettere di ingegneria applicata*, 3, 90-97. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2018.3.3.2>
- Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G. P., & Macknick, J. E. (2019). L'agrivoltaico offre vantaggi reciproci in tutto il nesso cibo-energia-acqua nelle zone aride. *Sostenibilità della natura*, 2(9), 848–855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- Coşgun, A., Sacid Endiz, M., Demir, H., & Özcan, M. (2024). Sistemi agrivoltaici per l'integrazione dell'energia sostenibile e dell'agricoltura in Turchia. *Heliyon*, 10(11), e32300–e32300. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32300>
- Davis, R., Macknick, J. (2022). ASTRO: Facilitare i progressi nella ricerca, nell'implementazione e nella diffusione dell'energia solare a basso impatto. Laboratorio Nazionale del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti (NREL), Ufficio per l'Efficienza Energetica e le Energie Rinnovabili.
- Deteix, L., Salou, T., Drogué, S., & Loiseau, E. (2023). L'importanza del suolo nei metodi di valutazione della criticità delle risorse: un primo passo verso la caratterizzazione del rischio di approvvigionamento. *Scienza dell'ambiente totale*, 880, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163248>
- Progetto del nuovo piano territoriale della Repubblica di Serbia, 2010-2035. Belgrado: Ministero delle Costruzioni, dei Trasporti e delle Infrastrutture, Repubblica di Serbia.
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., Ferard, Y. (2011). Combinare pannelli solari fotovoltaici e colture alimentari per ottimizzare l'uso del suolo: verso nuovi schemi agrivoltaici. *Energia rinnovabile*, 36, 10, 2725–2732, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>.
- Strategia di sviluppo del settore energetico della Repubblica di Serbia per il periodo entro il 2025 con proiezioni entro il 2030 (2016). Belgrado, Repubblica di Serbia: Ministero delle Miniere e dell'Energia, Dipartimento per la pianificazione strategica nel settore energetico.
- Goetzberger, A., Zastrow, A. (1981). Sulla coesistenza tra conversione dell'energia solare e coltivazione delle piante. *Int. J. Sol. Energia*, 1, 55–69. <https://doi.org/10.1080/01425918208909875>
- Gvozdenac, D., Nakomčić-Smaragdakis, B., Gvozdenac Urošević, B. (2011). Tehnologije obnovljivih izvora energije. Fakultet tehničkih nauka.
- Hartmann, H.M., Gripoo, M., Heath, G. et al. (2016). Comprendere gli impatti emergenti e i requisiti relativi allo sviluppo solare su scala industriale (Rapporto tecnico). Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti, Ufficio di Informazione Scientifica e Tecnica.
- Piano nazionale integrato per l'energia e il clima della Repubblica di Serbia per il periodo fino al 2030 con proiezioni fino al 2050. Belgrado, Serbia: Ministero delle Miniere e dell'Energia.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.H. (2018). Energia solare: potenziale e prospettive future. *Recensioni sull'energia rinnovabile e sostenibile*, 82(1364-0321), 894–900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>

- Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., Wery, J. (2013). Microclima negli impianti agrivoltaici: il tasso di crescita delle colture è influenzato dall'ombreggiamento parziale dei pannelli solari? *Agric. Per. Meteorol.*, 177, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.04.012>
- Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., Dupraz, C. (2013). Produttività ed efficienza d'uso irraggiante delle lattughe coltivate all'ombra parziale dei pannelli fotovoltaici. *Giornale europeo di agronomia*, 44, 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.003>
- Naushad, M., Sagar, A. (2023). L'energia solare in agricoltura. *Just Agriculture: e-newsletter multidisciplinare*, 23, 12, e-ISSN: 2582-8223.
- Pascaris, A. S., Schelly, C., Burnham, L., & Pearce, J. M. (2021). Integrare l'energia solare con l'agricoltura: prospettive dell'industria sul mercato, sulla comunità e sulle dimensioni socio-politiche dell'agrivoltaico. *Ricerca energetica e scienze sociali*, 75, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102023>
- Pringle, A., Handler, R., Pearce, J. (2017). Acquavoltaico: Sinergie per il doppio uso dell'acqua per la produzione di energia solare fotovoltaica e l'acquacoltura. *Recensioni sull'energia rinnovabile e sostenibile*, 80, 572-584. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.191>
- Pompa, C., Trommdorff, M., Beckman, V., Bretzel, T. (2024). Agrivoltaico in Germania: status quo e sviluppi futuri. *Conferenza mondiale AgriVoltaics 2023, Quadro giuridico e politiche pubbliche*, <https://doi.org/10.52825/agripv.v2i.1005>
- Saxena, N.N., Kumar, P. (2021). Una revisione sull'applicazione dell'energia solare nel settore agricolo. *Rivista internazionale di ricerca innovativa in ingegneria e gestione (IJREAM)*, 8, 6. <https://doi.org/10.55524/ijirem.2021.8.6.23>
- Sekiyama, T. Akira Nagashima Sistema di generazione di energia solare. Brevetto n. 2005-277038, 6 ottobre 2005.
- Sovacool, B. (2009). Esplorare e contestualizzare l'opposizione pubblica all'elettricità rinnovabile negli Stati Uniti. *Sostenibilità*, 1, 3, 702–721. <https://doi.org/10.3390/su1030702>
- Tariq, G. H., Ashraf, M., & Hasnain, Stati Uniti (2021). Tecnologia solare in agricoltura. *IntechOpen*. <https://www.intechopen.com/chapters/77058>
- Toledo, C., Scognamiglio, A. (2021). Progettazione e valutazione di sistemi agrivoltaici: una revisione critica e un modello descrittivo verso una visione del paesaggio sostenibile (modelli agrivoltaici tridimensionali). *Sostenibilità*, 13(12), 6871. <https://doi.org/10.3390/su13126871>
- Towner, E., Karas, T., Janski, J., Macknick, J. & Ravi, S. (2022). Il pascolo gestito delle pecore può migliorare la qualità del suolo e il sequestro del carbonio nei siti solari fotovoltaici [Presentazione della conferenza]. *AGU Fall Meeting 2021*, New Orleans, LA, Stati Uniti. <https://doi.org/10.1002/essoar.10510141.1>
- Wagner, J., Buhner, C., Golz, S., Trommsdorff, M., Jurkenbeck, K. (2024). Fattori che influenzano la volontà di utilizzare l'agrivoltaico: uno studio quantitativo tra gli agricoltori tedeschi. *Energia applicata*, 361, 122934, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122934>
- Wüstenhagen, R., Wolsink, M., Bürer, M. (2007). Accettazione sociale dell'innovazione delle energie rinnovabili: un'introduzione al concetto, *Politica energetica*, 35, 5, 2683–2691. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.001>

#### Siti web:

- Associazione Italiana Agrivoltaico Sostenibile, disponibile all'indirizzo <https://www.associazioneitalianagrivoltaicosostenibile.com/>

- Balkan Green Energy News, Brite Solar completerà l'impianto di pannelli agrisolari in Grecia entro la fine del 2024, disponibile a <https://balkangreenenergynews.com/brite-solar-to-complete-agrisolar-panel-plant-in-greece-by-end-2024/>
- Balkan Green Energy News, Solar Harvest: la prima centrale agrosolare della Serbia, disponibile a <https://balkangreenenergynews.com/solar-harvest-serbias-first-agrisolar-power-plant/>
- BayWa-re, agrivoltaico in Germania, disponibile presso <https://www.baywa-re.de/en/solar/system-applications/agri-pv#our-expertise>
- Brite Solar, Agrivoltaico in Campo Aperto, disponibile presso <https://www.britesolar.com/argipv>
- CommonEn Comunità Energetica dell'Epiro, disponibile all'indirizzo <https://www.commonen.gr/en/#erga>
- DW, La democrazia energetica decolla in Grecia, disponibile su <https://www.dw.com/en/greece-renewable-energy-gets-a-democratic-retrofit-in-democracys-birthplace/a-68238698>
- Electra Energy.coop, giardino solare comunitario, disponibile presso <https://electraenergy.coop/en/communitysolargarden-en/>
- Energypress Portale greco di notizie sull'energia: Comunità Agrivoltaico: una nuova applicazione della giustizia sociale e climatica, disponibile all'indirizzo <https://energypress.eu/community-agrivoltaics-a-new-application-of-social-and-climate-justice/>
- Enel Green Power, l'agrivoltaico - un prezioso alleato nella transizione energetica (autore Stefano Amaducci, PhD), disponibile presso <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/contributors/agrivoltaics-ally-energy-transition>
- Enel Green Power, In Sicilia l'energia rinnovabile si fa come il buon vino, disponibile presso <https://www.enelgreenpower.com/it/media/news/2024/03/agrivoltaico-salaparuta>
- Elektropionir, Elektrana solarna berba, disponibile presso <https://elektropionir.rs/elektrana-solarna-berba/>
- Commissione europea, Politica agricola comune, disponibile all'indirizzo [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy\\_en](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy_en)
- Farmer's Guide to Going Solar, Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti, disponibile all'indirizzo <https://www.energy.gov/eere/solar/farmers-guide-going-solar>
- Fresh Energy, il Centro per gli impollinatori nell'energia, disponibile presso <https://fresh-energy.org/beeslovesolar>
- Infobuildenergia, Agrivoltaico e sostenibilità: in Puglia si fa la storia e si crea comunità, disponibile all'indirizzo <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/fotovoltaico-agricoltura-agrivoltaico-progetti/>
- Infobuildenergia, Impianti agrivoltaici, come sfruttare l'energia solare per migliorare l'agricoltura, disponibile all'indirizzo <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/impianti-agrivoltaici-energia-solare-agricoltura-esempi/>
- MERCOM Approfondimenti sull'energia pulita, disponibili all'indirizzo <https://www.mercomindia.com/italy-greenlights-agrivoltaic-projects>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, disponibile all'indirizzo <https://va.mite.gov.it/it-IT/Oggetti/Info/9788>

- NREL Transform Energy, Ricerche e analisi di mercato solari, Agrivoltaico, disponibile all'indirizzo <https://www.nrel.gov/solar/market-research-analysis/agrivoltaics.html>
- OEKOGENO, disponibile all'<https://oekogeno.de/>
- Open EI: informazioni, dati e risorse sull'energia aperta, disponibili all'indirizzo [https://openei.org/wiki/InSPIRE/Agrivoltaics\\_Map](https://openei.org/wiki/InSPIRE/Agrivoltaics_Map)
- Oxford PV, la cella solare in perovskite raggiunge un'efficienza del 28%, OPE Journal, disponibile all'<https://ope-journal.com/news/oxford-pv-perovskite-solar-cell-achieves-28-efficiency>
- PV Magazine, disponibile presso <https://www.pv-magazine.com/>
- REScoop.eu, aprile Storia di successo: Combinare bollette energetiche negative e futures energetici positivi in Grecia, disponibile su <https://www.rescoop.eu/news-and-events/stories/april-success-story-combining-negative-energy-bills-and-positive-energy-futures-in-greece>
- Solar Power Europe: Agrisolar Europe, disponibile al <https://agrisolareurope.org/insights/>
- Nazioni Unite: La nostra popolazione in crescita: disponibile su <https://www.un.org/en/global-issues/population>
- Worldmeter: Orologio della popolazione mondiale, disponibile all'<https://www.worldometers.info/world-population/>