

Ricerca di Sistema elettrico



Sistemi agrivoltaici: indirizzi per la sostenibilità ambientale del progetto (LA2.7)

V. D'Ambrosio, E. Tersigni, A. Scognamiglio, E. Cervelli, M. Losasso, S. Pindozi, M. Rigillo,
F. Castaldi, C. Girardi, F. Marandino, S. Mokrane, P. F. Recchi, G. Santomartino



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI NAPOLI FEDERICO II



dipartimento di architettura
università degli studi di napoli federico II
dipartimento di eccellenza 2023-2027

SISTEMI AGRIVOLTAICI: INDIRIZZI PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEL PROGETTO(LA2.7)

V. D'Ambrosio¹, E. Tersigni¹, A. Scognamiglio², E. Cervelli³, M. Losasso¹, S. Pindozi³, M. Rigillo¹, F. Castaldi³, C. Girardi¹, F. Marandino¹, S. Mokrane³, P. F. Recchi³, G. Santomartino¹

¹Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Architettura

²ENEA - TERIN

³Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Agraria

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.1 "Fotovoltaico ad alta efficienza"

Linea di attività: LA2.7

Responsabile del Progetto: Paola Delli Veneri, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II

Mese inizio previsto: 01 luglio 2023

Mese inizio effettivo: 01 luglio 2023

Mese fine previsto: 31 dicembre 2024

Mese fine effettivo: 31 dicembre 2024

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di Collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II dal titolo: "Progettazione sostenibile e tecnologie innovative per sistemi agrivoltaici".

Responsabile scientifico ENEA: Alessandra Scognamiglio

Responsabili scientifici Co-beneficiario: Valeria D'Ambrosio, Enza Tersigni

Con il contributo di: Ilaria Bencivenga, Silvia Cimmino, Emanuela Miele, Alessia Miglietta

Indice

1. Risultati attesi	5
2. Risultati ottenuti	7
3. Prodotti attesi	8
4. Prodotti sviluppati	9
5. Analisi degli scostamenti su attività e risultati	10
6. Sintesi delle attività svolte	11
7. Dettaglio delle attività svolte	12
7.1 Linee guida per la sostenibilità ambientale del progetto di sistemi agrivoltaici	12
La lettura sistemica dell'agrivoltaico: contesti ambientali e caratteristiche tecnologiche	14
Colture potenzialmente idonee ai sistemi agrivoltaici e spazializzazione delle specie	18
Catalogo di sistemi integrati e prodotti industrializzati	22
Alternative tecnico-progettuali per sistemi agrivoltaici	25
Obiettivi, strategie e indirizzi	29
7.2 EASY APV tool - EnvironmentAl SustainabilitY of AgriPhotoVoltaic	32
8. Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte	37
9. Pubblicazioni scientifiche	38
10. Eventi di disseminazione	39

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Schema del percorso metodologico e dei prodotti della LA 2.7.....	13
Figura 2 - Schematizzazione del sistema agrivoltaico come sistema composto da sottosistemi tecnologici	15
Figura 3 - Schematizzazione del sottosistema agro-ambientale	16
Figura 4 - Contesto esemplificativo intersecato o adiacente a insediamenti urbani con legenda delle aree funzionali-spaziali del sistema agrivoltaico.....	17
Figura 5 - Confronto tra la distribuzione delle classi CLC 2.1.1/2.1.2 (non-irrigated arable land/Permanently irrigated land) e i valori di Radiazione Solare (KJ*m-2*g-1)	21
Figura 6 - Scheda relativa al Sistema integrato denominato AgriPV Tech - Tipo 1 Impianto elevato	24
Figura 7 - Scheda relativa al Sistema di produzione energetica denominata Moduli opachi SunPower Performance 7.....	25
Figura 8 - Tipologie di sistemi, caratteristiche tecnico progettuali e di compatibilità con lo spazio coltivato	26
Figura 9 - Schemi sintetici delle principali caratteristiche tecnologiche che definiscono le soluzioni tecnico-progettuali relative alla Soluzione Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3, immagini rielaborate da Linee guida in materia di Impianti Agrivoltaici (MASE, 2022), dati da analisi dei casi studio e offerta industrializzata.....	27
Figura 10 - Scheda relativa alla soluzione tecnico-progettuale di "Sistema agrivoltaico elevato Tipo 1.....	29
Figura 11 - Gli obiettivi di sostenibilità ambientale alla base degli indirizzi per il progetto e della costruzione del Tool di valutazione della sostenibilità ambientale	30
Figura 12 - Schermata di valutazione del livello di sostenibilità ambientale di un progetto APV elaborata con l'EASY APV tool nell'ambito di una sperimentazione progettuale.....	33
Figura 13 - Scheda indicatore 2.1.1 Selezione di colture appropriate	34

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Tipologie di contesti ambientali esemplificati per caratteristiche ecologiche	14
Tabella 2 - Sottosistemi tecnologici ed elementi tecnici del sistema agrivoltaico	15
Tabella 3 - Sottosistemi agro-ambientali ed elementi spaziali del sistema agrivoltaico.	16
Tabella 4 - Risposta delle colture all'ombreggiamento. Le percentuali di ombreggiamento riportate nella tabella derivano da esperimenti condotti sulle diverse colture. Tuttavia, la categorizzazione delle colture in funzione della risposta all'ombreggiamento può variare in base alle condizioni climatiche e pedologiche, motivo per cui sono incluse annotazioni esplicative specifiche per ciascuna coltura	19
Tabella 5 - Superfici interessate dalle colture potenzialmente idonee, in Italia, secondo i dati ISTAT 2023 e CLC 2018	21
Tabella 6 - Censimento ISTAT 2023: Superfici, per regione, dedicate alle colture corrispondenti alle classi del CORINE Land Cover 2.1.1 e 2.1.2	22

Tabella 7 – Elenco dei sistemi integrati per impianti APV presenti nel “Catalogo di sistemi integrati e prodotti per impianti agrivoltaici”	23
Tabella 8 – Elenco dei prodotti industrializzati presenti nel Catalogo “Catalogo di sistemi integrati e prodotti per impianti agrivoltaici”	23
Tabella 9 – Elenco delle alternative tecnico-progettuali presenti nella schedatura	25
Tabella 10 – Obiettivo 2: strategie e indirizzi progettuali per la sostenibilità ambientale dei sistemi agrivoltaici	30
Tabella 11 – Tabella di sintesi di obiettivi, requisiti e indicatori dell’EASY APV Tool.....	32

1. Risultati attesi

Lo **sviluppo di strategie e azioni per interventi progettuali sostenibili di sistemi agrivoltaici** rappresenta il principale obiettivo della linea di ricerca orientata a definire forme innovative dell'ambiente agricolo, al fine di prefigurare un habitat agricolo e zootecnico in cui siano inseriti sistemi e microsistemi tecnologici diffusi, capaci di conservare e/o migliorare il valore ambientale del suolo e culturale/paesaggistico dei contesti, e cioè capace di integrarsi in coerenza con i caratteri del sito.

Gli esiti della ricerca saranno **indirizzi e strumenti di supporto per i diversi attori coinvolti nei processi decisionali, finalizzati alla valutazione dell'efficacia, dell'efficienza e della sostenibilità ambientale degli interventi, attraverso la rispondenza a un quadro prestazionale integrato degli aspetti energetici, produttivi e ambientali**. I risultati di questa ricerca potranno concorrere a integrare le attività previste nelle LA 2.8 e LA3.7 finalizzate rispettivamente a fornire strumenti concettuali e software a supporto della pianificazione dello sviluppo e del monitoraggio dei sistemi agrivoltaici sostenibili. Viceversa, gli output delle LA 2.8 e 3.7 potranno rappresentare input preliminari agli strumenti e metodologie di progettazione di sistemi agrivoltaici sostenibili messi a punto in questa LA.

In particolare, saranno presi in considerazione i requisiti di integrazione ambientale ed ecosistemica per lo sviluppo di sistemi ibridi bio-tech in cui sia sistematizzata la cooperazione fra componente ecologica, agricolo-produttiva e tecnologia fotovoltaica. Il sistema di criteri e requisiti farà riferimento a quanto riportato nelle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici, 2022" e si baserà sui seguenti aspetti di:

- ottimizzazione delle prestazioni in ambito agricolo e di produzione fotovoltaica, considerando le **caratteristiche spaziali e tecnologiche delle tecnologie disponibili sul mercato per la realizzazione di impianti agrivoltaici**, in riferimento alla modalità di conduzione delle attività agricole;
- resilienza al cambiamento climatico in riferimento ad **aspetti di adattamento climatico insiti nei sistemi ibridi bio-tech** e il contributo agli obiettivi di decarbonizzazione;
- fruibilità con riferimento alle accessibilità, alle correlazioni, alle percorrenze collegate a un nuovo assetto della campagna in relazione alla qualità del sito e ai fattori produttivi;
- benessere con riferimento all'incidenza dei sistemi ibridi bio-tech sulle condizioni microclimatiche e sui cicli evapotraspirativi.

I deliverable della Linea LA2.7 saranno:

1) **Linee guida per la sostenibilità ambientale nel progetto di sistemi agrivoltaici**. I principali contenuti delle Linee guida riguardano:

- Catalogo di prodotti industrializzati e sistemi integrati per impianti agrivoltaici.
- Criteri e requisiti relativi agli aspetti della sostenibilità ambientale dei sistemi agrivoltaici.
- Set di indicatori ambientali e tecnologici per la valutazione delle caratteristiche e prestazioni in relazione agli aspetti energetici, di produzione agricola e di qualità ecosistemica.
- Indirizzi metaprogettuali in relazione alle possibili configurazioni spaziali e morfologiche degli impianti agrivoltaici.
- Schedatura delle principali soluzioni tecniche per la realizzazione di sistemi agrivoltaici sostenibili.
- Booklet digitale come strumento interattivo per la consultazione semplice e accessibile delle alternative di prodotto, di progetto e di soluzioni tecniche per la progettazione di sistemi agrivoltaici sostenibili.

2) **Tool di valutazione delle prestazioni ambientali di sistemi agrivoltaici** attraverso cui simulare con uno strumento agile e user friendly le prestazioni offerte da differenti alternative di sistemi agrivoltaici.

2. Risultati ottenuti

Gli esiti dell'attività di ricerca sono stati pienamente rispondenti a quanto previsto nella LA2.7 con la finalità di sviluppare gli aspetti di convergenza, in termini di sostenibilità ambientale e di innovazione tecnologica, nell'elaborazione di strumenti di supporto decisionale per il progetto di sistemi agrivoltaici.

Le **Linee guida per la sostenibilità ambientale nel progetto di sistemi agrivoltaici** sono state elaborate al fine di fornire un quadro sistematizzato delle conoscenze nonché di proporre un set di strumenti di supporto per progettisti, imprenditori agricoli, aziende e decisori per l'impostazione di progetti di sistemi agrivoltaici orientati alla sostenibilità ambientale.

In particolare, le Linee guida consentono di:

- individuare chiaramente i principali obiettivi di sostenibilità ambientale e orientare il progetto dell'agrivoltaico verso la più efficace integrazione tra gli aspetti energetici, produttivi e ambientali;
- diffondere la conoscenza dei sistemi agrivoltaici negli elementi costruttivi, tecnologici, funzionali-spaziali e ambientali per una migliore comprensione della loro potenzialità come sistema integrato;
- veicolare in maniera più efficace e chiara l'informazione tecnica attraverso Cataloghi di prodotti e sistemi industrializzati per l'agrivoltaico;
- incrementare la conoscenza, attraverso schede di alternative tecnico-progettuali, dei fattori tecnico-costruttivi da considerare per una maggiore efficacia in termini di ottimizzazione della produzione energetica e agricola e controllo della qualità ecosistemica;
- fornire indirizzi per l'impostazione e lo sviluppo del progetto nella sua fase istruttoria, di concept e nei successivi livelli di progettazione per orientare le scelte verso i principali Obiettivi di sostenibilità ambientale individuati (01. Integrazione fra produzione agricola ed energetica, 02. Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica, 03. Efficienza della produzione energetica, 04. Resilienza climatica, 05. Salvaguardia e promozione della biodiversità, 06. Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo);
- facilitare la diffusione delle informazioni principali contenute nelle Linee guida attraverso un Booklet digitale in grado di orientare i diversi portatori di interesse nella costruzione di un iter decisionale coerente e consapevole con gli obiettivi di sostenibilità ambientale.

Il **Tool di valutazione delle prestazioni ambientali di sistemi agrivoltaici** "EASY APV Tool – EnvironmentAI Sustainability of AgriPhotoVoltaic" è uno strumento di valutazione finalizzato alla valutazione dell'efficacia, dell'efficienza e della sostenibilità ambientale degli interventi, attraverso la rispondenza a un quadro prestazionale integrato degli aspetti energetici, produttivi e ambientali. Il tool si basa su un sistema di obiettivi definiti in relazione agli strumenti normativi e agli indirizzi di natura non cogente vigenti in Italia, alla letteratura tecnico-scientifica di riferimento e alle linee guida europee in materia di sostenibilità ambientale. Il livello di soddisfazione di ciascun obiettivo è subordinato al rispetto di requisiti e valutato in base a un set di indicatori qualitativi e quantitativi.

3. Prodotti attesi

I prodotti attesi per la LA2.7 sono riconducibili a un **rapporto tecnico** che sintetizza l'approccio metodologico che sottende l'elaborazione delle **"Linee guida per la sostenibilità ambientale del progetto di sistemi agrivoltaici"** e un **booklet digitale** inteso come strumento interattivo per la consultazione semplice e accessibile delle alternative di prodotto, di progetto e di soluzioni tecniche per la progettazione di sistemi agrivoltaici sostenibili.

Un ulteriore prodotto atteso è il **foglio di calcolo** che costituisce il **Tool di valutazione delle prestazioni ambientali di sistemi agrivoltaici**. Il Tool, sviluppato in ambiente Excel, consente di simulare, attraverso uno strumento digitale agile e user friendly, le prestazioni ambientali offerte da differenti sistemi agrivoltaici.

4. Prodotti sviluppati

I prodotti sviluppati per la LA2.7 sono riconducibili a un **rapporto tecnico** che sintetizza l'approccio metodologico che sottende l'elaborazione delle **"Linee guida per la sostenibilità ambientale del progetto di sistemi agrivoltaici"** e un **booklet digitale** inteso come strumento interattivo per la consultazione semplice e accessibile delle alternative di prodotto, di progetto e di soluzioni tecniche per la progettazione di sistemi agrivoltaici sostenibili. Le Linee guida sviluppate contengono indirizzi e strumenti di supporto per i diversi attori coinvolti nei processi decisionali, finalizzati alla valutazione dell'efficacia, dell'efficienza e della sostenibilità ambientale degli interventi, attraverso la rispondenza a un quadro prestazionale integrato degli aspetti energetici, produttivi e ambientali. In particolare, sono presi in considerazione i requisiti di integrazione ambientale ed ecosistemica per lo sviluppo di sistemi ibridi bio-tech in cui sia sistematizzata la cooperazione fra componente ecologica, agricolo-produttiva e tecnologia fotovoltaica.

Un ulteriore prodotto sviluppato è il **foglio di calcolo** che costituisce il **Tool di valutazione delle prestazioni ambientali di sistemi agrivoltaici**. L'**"EASY APV tool - Environmental Sustainability of AgriPhotoVoltaic Tool"** è uno strumento di supporto decisionale per la valutazione della sostenibilità ambientale dei sistemi agrivoltaici, valutando le ricadute del progetto e i benefici da esso apportati in termini di ottimizzazione della produzione energetica e agricola e controllo della qualità ecosistemica. Il Tool, sviluppato in ambiente Excel, consente di simulare, attraverso uno strumento digitale agile e user friendly, le prestazioni ambientali offerte da differenti sistemi agrivoltaici, valutando il livello di rispondenza del progetto a sei obiettivi di sostenibilità ambientale: 01. Integrazione fra produzione agricola ed energetica, 02. Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica, 03. Efficienza della produzione energetica, 04. Resilienza climatica, 05. Salvaguardia e promozione della biodiversità, 06. Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo. Ciascun obiettivo è specificato attraverso un set di requisiti a cui corrispondono uno o più indicatori di tipo qualitativo o quantitativo, per i quali sono fissati dei valori-soglia. Per la definizione degli indicatori si è tenuto conto dei principali strumenti normativi e indirizzi di natura non cogente vigenti in Italia, della letteratura tecnico-scientifica di riferimento e degli indirizzi europei sul tema della sostenibilità ambientale (CICES - *Common International Classification of Ecosystem Services*). Per alcuni indicatori si è fatto riferimento ai punti di controllo contenuti nella Matrice di Certificazione Agrivoltaico Sostenibile® (AS) AIAS-RINA redatta dall'Associazione Italiana Agrivoltaico Sostenibile (AIAS). Il foglio di calcolo EASY APV Tool è disponibile sul portale ENEA.

5. Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si rilevano scostamenti tecnici/economici rispetto al preventivo, né sono state riscontrare criticità nel lavoro.

6. Sintesi delle attività svolte

Le attività svolte hanno definito approcci e metodi finalizzati alla costruzione di strumenti di supporto alla fase di impostazione e verifica dei livelli di sostenibilità ambientale del progetto di sistemi APV che richiedono di essere concepiti e verificati in base a specifici indicatori ambientali e tecnologici.

Gli esiti delle attività sono confluiti in:

- "Linee guida per la sostenibilità ambientale del progetto di sistemi agrivoltaici" contenenti informazioni utili all'impostazione del progetto (scomposizione degli elementi tecnologici, funzionali spaziali e ambientali degli APV, catalogo di prodotti e sistemi, alternative tecnico progettuali) e indirizzi operativi, requisiti e indicatori per il progetto e la verifica rispetto a sei Obiettivi di sostenibilità ambientale.
- "EASY APV tool - EnvironmentAl SustainabilITy of AgriPhotoVoltaic" uno strumento di supporto decisionale finalizzato a valutare i livelli di rispondenza di un progetto agli Obiettivi di sostenibilità ambientale.

7. Dettaglio delle attività svolte

Le attività svolte nella LA2.7 hanno avuto l'obiettivo di definire approcci e metodi finalizzati alla costruzione di strumenti di supporto alla fase di impostazione e di verifica dei livelli di sostenibilità ambientale del progetto di sistemi agrivoltaici. In particolare, la sostenibilità ambientale perseguita nella ricerca riguarda i sistemi agrivoltaici che richiedono di essere concepiti e verificati in base a specifici indicatori ambientali e tecnologici per l'equilibrio degli ecosistemi e degli habitat, per il contenimento della pressione antropica sul paesaggio ambientale, per l'utilizzo di sistemi di risorse rinnovabili e naturali e per la riduzione degli impatti climatici che coinvolgono i fattori produttivi.

I risultati ottenuti sono l'esito di un approccio processuale che ha previsto il confronto continuo con diversi stakeholder, la partecipazione a eventi di disseminazione promossi da associazioni, centri di ricerca e università, nonché l'analisi della documentazione tecnica di settore; ciò ha consentito di delineare le principali tendenze in atto, nonché le caratteristiche di innovazione e sostenibilità dell'attuale offerta progettuale e produttiva.

Gli esiti delle attività sono confluiti in due prodotti: le "Linee guida per la sostenibilità ambientale del progetto di sistemi agrivoltaici" e l'"EASY APV tool - Environmental Sustainability of AgriPhotoVoltaic".

7.1 Linee guida per la sostenibilità ambientale del progetto di sistemi agrivoltaici

Le Linee guida per la sostenibilità ambientale nel progetto di sistemi agrivoltaici sono state elaborate al fine di fornire un quadro sistematizzato delle conoscenze e un set di strumenti di supporto per progettisti, imprenditori agricoli, aziende e decisori finalizzati all'impostazione di progetti di sistemi agrivoltaici orientati alla sostenibilità ambientale. La sostenibilità ambientale si basa su un percorso concettuale e operativo capace di garantire, parallelamente alla produzione di beni e servizi, la tutela dell'ambiente, oggi al centro degli obiettivi di riduzione delle emissioni dei gas climalteranti, della riduzione dell'impronta di carbonio e della previsione di scenari *climate neutral*.

Nelle Linee guida per la progettazione dei sistemi agrivoltaici il percorso metodologico adottato prende in considerazione gli aspetti funzionali-spaziali, tipologici e ambientali relativi ai luoghi e ai contesti, mentre da un punto di vista dell'approccio assume un ruolo rilevante la componente esigenziale e prestazionale, gestita attraverso logiche sistemiche, nonché la definizione di requisiti e prestazioni per l'impostazione di progetti valutabili rispetto al perseguimento di obiettivi di sostenibilità ambientale. A partire da una lettura sistemica dell'agrivoltaico nelle sue componenti tecnologiche e agro-ambientali, le Linee guida individuano possibili configurazioni funzionali-spaziali dei sistemi agrivoltaici (APV) rispetto a contesti ambientali di inserimento, evidenziandone le possibili ricadute in termini di sostenibilità ambientale. Dallo studio della produzione industrializzata dei sistemi agrivoltaici e dall'analisi di interventi progettati/realizzati in ambito nazionale e internazionale le Linee guida definiscono un Catalogo di sistemi integrati e prodotti industrializzati per impianti APV e una Schedatura di alternative tecnico-progettuali per il supporto alla progettazione di sistemi agrivoltaici. Un ulteriore strumento proposto riguarda l'individuazione delle colture potenzialmente adatte ai sistemi agrivoltaici valutate rispetto alla loro adattabilità all'ombreggiamento, e l'identificazione delle aree geografiche in cui l'integrazione dell'APV potrebbe essere implementata con maggiore efficacia nelle diverse regioni italiane.

Linee guida

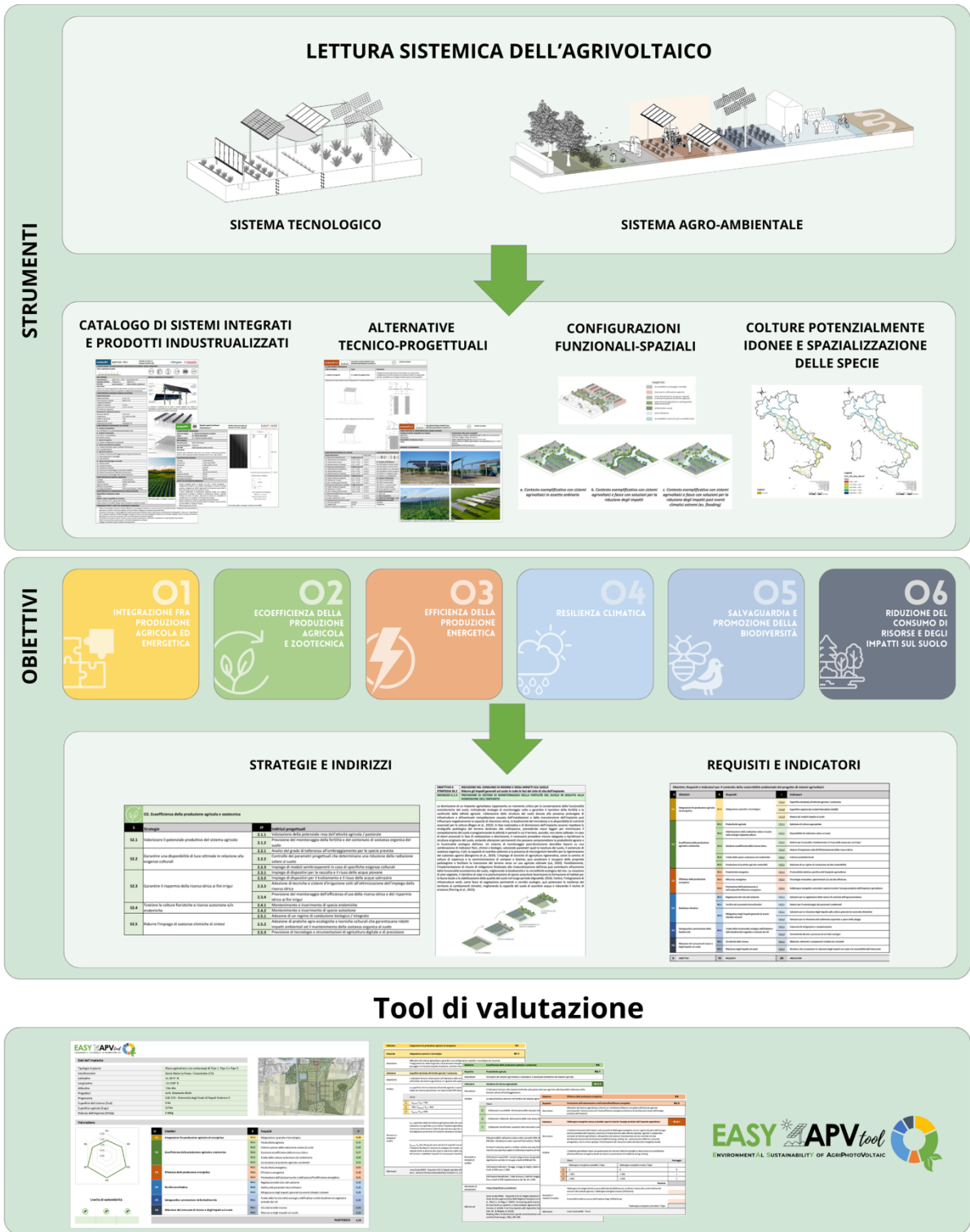


Figura 1 - Schema del percorso metodologico e dei prodotti della LA 2.7

Completano le Linee guida l'esplicitazione di strategie e indirizzi per l'impostazione e lo sviluppo del progetto nelle sue differenti fasi, istruttoria, concept e nei successivi livelli di approfondimento declinati rispetto a sei obiettivi, individuati come prioritari per la sostenibilità ambientale dell'agrivoltaico, che riguardano l'Integrazione fra produzione agricola ed energetica (01), l'Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica (02), l'Efficienza della

produzione energetica (03), la Resilienza climatica (04), la Salvaguardia e promozione della biodiversità (05), e la Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo (06).

I sei Obiettivi di sostenibilità ambientale sono stati infine esplicitati, secondo un approccio esigenziale-prestazionale, in un sistema di requisiti e indicatori confluito nell'EASY APV Tool che consente di valutare il livello di rispondenza di un progetto di agrivoltaico alla sostenibilità ambientale.

Per la consultazione delle Linee guida è stato elaborato un Booklet digitale che si configura come uno strumento interattivo finalizzato alla navigazione semplice e accessibile delle alternative di prodotti, di sistemi e di soluzioni tecniche.

La lettura sistemica dell'agrivoltaico: contesti ambientali e caratteristiche tecnologiche

Al fine di definire le possibili configurazioni funzionali-spaziali dei sistemi agrivoltaici rispetto ai principali contesti di inserimento, è stata elaborata sia una tipizzazione dei **contesti ambientali** (Tabella 1) maggiormente diffusi sul territorio nazionale, sia una lettura sistemica dei subsistemi – quello tecnologico e quello agro-ambientale – che costituiscono un sistema agrivoltaico. L'aggregazione dei sistemi agrivoltaici può assumere configurazioni differenti in relazione al tipo di contesto in cui vengono inseriti, influenzando la loro efficacia ecologica, produttiva e l'impatto sul paesaggio. La compatibilità con le dinamiche territoriali dipende dall'interazione con le aree verdi naturali, gli elementi geomorfologici e gli insediamenti urbani, determinando diverse opportunità di integrazione e riqualificazione ambientale.

Tabella 1 - Tipologie di contesti ambientali esemplificati per caratteristiche ecologiche

	<p><i>a. Contesto ambientale aperto</i></p> <p>Ambito caratterizzato da un'ampia matrice territoriale con bassa frammentazione e assenza di elementi strutturati che possano costituire barriere ecologiche significative. Comprende superfici agricole estensive, praterie e altri ambienti a elevata permeabilità ecologica, favorendo la circolazione di specie vegetali e faunistiche.</p>
	<p><i>b. Contesto ambientale intersecato o adiacente ad aree verdi naturali</i></p> <p>Ambito in cui il sistema territoriale si connette con estese aree di vegetazione naturale, come boschi, foreste o ecosistemi spontanei. Queste aree possono fungere da nodi ecologici, garantendo continuità alla rete ecologica, supportando la biodiversità e fornendo servizi ecosistemici essenziali.</p>
	<p><i>c. Contesto ambientale intersecato o adiacente a elementi naturali strutturanti</i></p> <p>Ambito caratterizzato dalla prossimità a elementi naturali di grande rilevanza ecologica e geomorfologica, come fiumi, laghi, catene montuose o zone umide. Questi elementi funzionano come corridoi ecologici, regolando il microclima e favorendo la mobilità delle specie.</p>
	<p><i>d. Contesto ambientale intersecato o adiacente a insediamenti urbani</i></p> <p>Ambito in cui l'interazione con insediamenti urbani di varia densità genera fenomeni di frammentazione ambientale. L'urbanizzazione e le infrastrutture modificano la connettività ecologica, determinando diversi livelli di permeabilità territoriale e opportunità di riqualificazione ambientale.</p>

La lettura sistemica dei sistemi agrivoltaici attua invece una scomposizione sia del **sistema tecnologico** (Figura 1) - che attiene gli aspetti tecnico-costruttivi e i sistemi di produzione energetica (Tabella 2) - sia del **sistema agro-ambientale** (Figura 2) - riferito gli aspetti funzionali-spaziali e ambientali (Tabella 3) e che si configura come l'insieme strutturato di unità o subsistemi ambientali ed elementi spaziali.

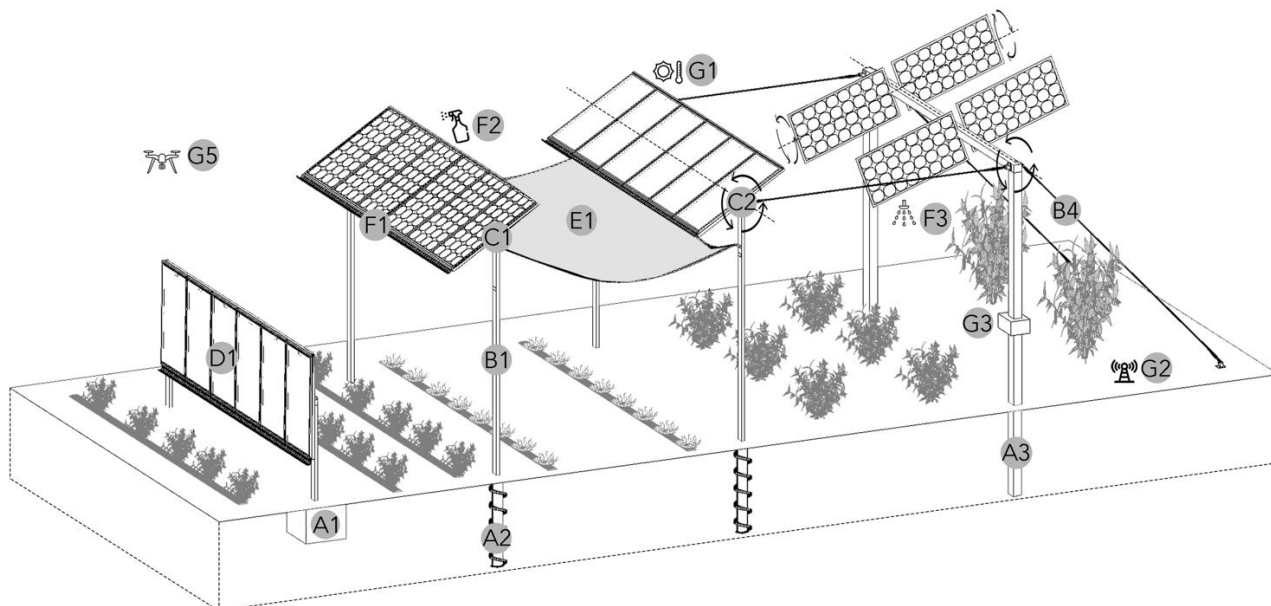


Figura 2 - Schematizzazione del sistema agrivoltaico come sistema composto da subsistemi tecnologici

Tabella 2 - Subsistemi tecnologici ed elementi tecnici del sistema agrivoltaico

Subsistemi tecnologici	ELEMENTI TECNICI	Subsistemi tecnologici	ELEMENTI TECNICI
A. Sistemi di fondazione	A1 Fondazioni su pali	E. Sistemi di protezione	E1 Reti e teli
	A1.1 Pali battuti in acciaio zincato		E1.1 Reti per la riduzione dell'irraggiamento
	A1.2 Pali battuti in acciaio corten		E1.2 Reti per la selezione dello spettro luminoso
	A1.3 Pali battuti in c.a.p.		E1.3 Reti antigrandine / anti pioggia
	A2 Fondazioni a vite	F. Sistemi di gestione	E1.4 Reti antivento
	A2.1 Fondazioni a vite in acciaio zincato		F1 Sistemi d'irrigazione di precisione
	A3 Fondazioni su plinti		F2 Dispositivi per la raccolta e riuso delle acque per l'irrigazione
	A3.1 Plinti in c.a. gettati in opera		F2.1 Dispositivi per la raccolta e il riuso delle acque piovane
	A3.2 Plinti in c.a. prefabbricati		F2.2 Dispositivi per il trattamento e il riuso delle acque salmastre
B. Sistemi di elevazione	B1 Pali	G. Sistemi di monitoraggio e controllo	F3 Dispositivi per la pulizia dei moduli fotovoltaici
	B1.1 Pali in acciaio zincato		G1 Stazioni meteo
	B1.2 Pali in acciaio corten		G1.1 Pluviometro
	B1.3 Pali in c.a. precompresso		G1.2 Temperatura dell'aria
	B2 Pilastri tralicciati		G1.3 Umidità dell'aria
	B2.1 Pilastri tralicciati in acciaio		G1.4 Radiazione solare
	B3 Travi		G1.5 Velocità e direzione del vento
	B3.1 Travi in acciaio zincato		G1.6 ETO (evapotraspirazione) giornaliera
	B3.2 Travi reticolari in acciaio		G1.7 VPD (deficit di pressione di vapore)
	B4 Cavi di tensionamento strutturale		G2 Controlli di campo
	B4.1 Trefoli in acciaio		G2.1 Dendrometro
	B4.2 Stralli in acciaio		G2.2 Sensore di umidità del suolo
C. Sistemi di supporto	C1 Sistemi di supporto fisso		G2.3 Sensore temperatura del suolo
	C1.1 Sistemi di supporto fisso verticale		G2.4 Sensore PAR (Radiazione Fotosinteticamente Attiva)
	C1.2 Sistemi di supporto fisso inclinato		G3 Centralina di controllo
	C2 Sistemi a inseguimento		G4 Sensori per il monitoraggio dei parametri energetici
C2.1 Sistemi a inseguimento monoassiale	G4.1 Misuratori di potenza		
C2.2 Sistemi a inseguimento biassiale	G4.2 Sensori di tensione e corrente		
D. Sistemi di produzione energetica	D1 Moduli fotovoltaici	G4.3 Contatori di energia	
	D1.1 Moduli fotovoltaici opachi	G5 Sistemi di controllo per l'agricoltura di precisione	
	D1.2 Moduli fotovoltaici semitrasparenti	G5.1 Sistemi IoT per l'ottimizzazione dell'orientamento dei moduli	
	D1.3 Moduli fotovoltaici traslucidi	G5.2 Drone agricolo	
	D2 Cavidotti	G6 Sensori per il monitoraggio della tensione delle funi	
	D2.1 Cavidotti sopraelevati		
	D2.2 Cavidotti interrati		
	D3 Gruppo di conversione		
	D3.1 Inverter		
	D3.2 Converter		
	D4 Quadri		
	D4.1 Quadro di campo		
	D4.2 Quadro di interfaccia		
	D5 Batterie di accumulo		
D6 Cabine elettriche			

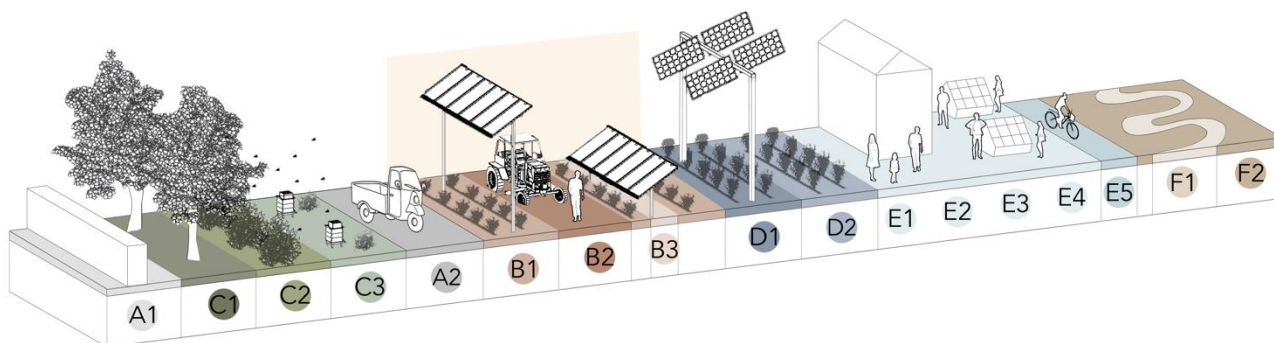


Figura 3 - Schematizzazione del subsistema agro-ambientale

Tabella 3 - Subsistemi agro-ambientali ed elementi spaziali del sistema agrivoltaico.

Subsistemi agro-ambientali	Elementi spaziali	
A. Accessibilità e connessioni	A1	Recinzione perimetrale
	A2	Accessibilità e passaggio carrabile
B. Volume agrivoltaico o spazio poro	B1	Aree per la coltivazione agricola
	B2	Accessibilità e passaggio per mezzi agricoli e persone
	B3	Area di ingombro dell'impianto (Spv)
C. Fasce di mitigazione	C1	Schermature visuali
	C2	Aree di rinaturalizzazione e salvaguardia della biodiversità
	C3	Aree di inserimento di specie vegetali e animali funzionali all'attività agricola
D. Aree di sperimentazione	D1	Aree di sperimentazione tecnologica
	D2	Terreno di controllo
E. Aree attrezzate per la comunità	E1	Aree attrezzate a scopo didattico
	E2	Aree per la trasformazione o consumo in loco
	E3	Aree attrezzate a scopo ricreativo
	E4	Aree per la vendita diretta
	E5	Accessibilità e percorsi per la mobilità lenta
F. Tare agricole	F1	Superfici occupate da elementi naturali e/o artificiali
	F2	Aree di buffer

Tale scomposizione ha consentito di esplicitare gli aspetti di sostenibilità ambientale che ciascun subsistema tecnologico o agro-ambientale può favorire, se opportunamente progettato, anche nell'integrazione con tipi di contesti differenti. A titolo di esempio si riporta di seguito l'approfondimento relativo al subsistema E. *Aree attrezzate per la comunità.*

E. Aree attrezzate per la comunità

E1. Aree attrezzate a scopo didattico: aree dedicate all'accoglienza, all'informazione e al coinvolgimento della comunità nelle pratiche che si svolgono nell'area di impianto.

E2. Aree per la trasformazione e/o consumo in loco: aree o edifici dedicati alla trasformazione o al consumo dei prodotti agricoli in prossimità dell'area di impianto.

E3. Aree attrezzate a scopo ricreativo: aree attrezzate per offrire servizi alla comunità, aumentare la fruibilità del luogo d'impianto.

E4. Aree per la vendita diretta: aree o edifici dedicati alla vendita dei prodotti in prossimità dell'area di impianto.

E5. Accessibilità e percorsi per la viabilità lenta: aree e percorsi per la valorizzazione del sistema paesistico-territoriale grazie alla previsione di specifiche opere di compensazione come il supporto del turismo lento attraverso l'integrazione di tracciati per il cicloturismo.

Le aree attrezzate all'interno di un impianto agrivoltaico svolgono un ruolo cruciale nella promozione della sostenibilità ambientale e sociale, valorizzando il territorio e favorendo il coinvolgimento attivo delle comunità. La loro progettazione deve mirare all'integrazione ecologica dell'impianto, ma anche alla creazione di spazi destinati a scopi didattici, ricreativi e produttivi. In particolare, la realizzazione di spazi informativi e didattici consente di sensibilizzare le comunità locali sulle pratiche agricole sostenibili e sugli effetti positivi dei sistemi agrivoltaici. Tali aree, dotate di materiali educativi e spazi per laboratori e workshop, incentivano il coinvolgimento della cittadinanza e delle scuole, contribuendo a una maggiore consapevolezza sulla transizione ecologica. Un ulteriore aspetto fondamentale riguarda la progettazione di aree dedicate alla trasformazione e al consumo diretto dei prodotti agricoli. Questi spazi, se progettati correttamente, non solo riducono l'impatto ambientale legato ai trasporti, ma stimolano anche un modello economico circolare, rafforzando l'autosufficienza energetica e alimentare delle comunità. In contesti in adiacenza con zone urbanizzate (Figura 3), le aree attrezzate all'interno dei sistemi agrivoltaici possono fungere da veri e propri filtri ecologici e sociali, creando una connessione tra le aree rurali e quelle urbane.

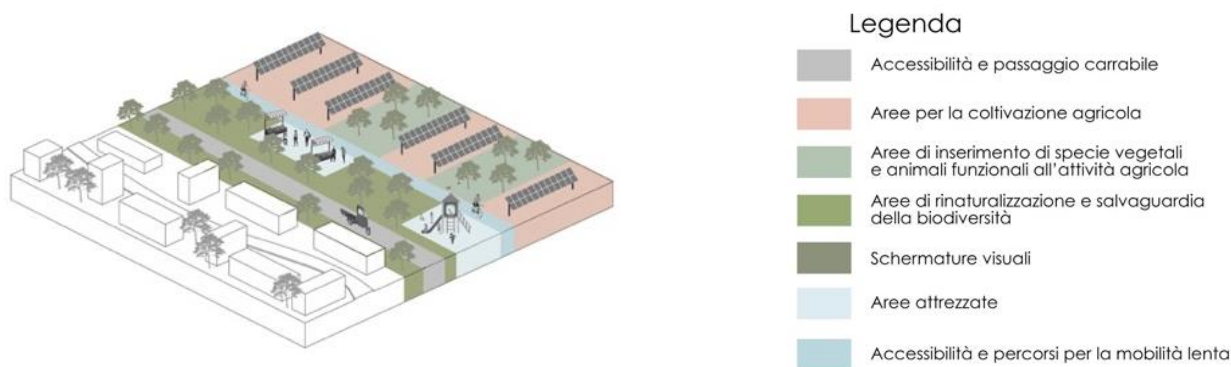


Figura 4 - Contesto esemplificativo intersecato o adiacente a insediamenti urbani con legenda delle aree funzionali-spaziali del sistema agrivoltaico

Questi spazi non solo offrono opportunità educative, ma contribuiscono anche a rafforzare il legame tangibile tra produzione agricola e uso sostenibile delle risorse. Un esempio significativo è l'integrazione di percorsi per la mobilità lenta, come quelli ciclabili, che agiscono da filtro ecologico tra l'ambiente urbano e quello agricolo. Questi percorsi migliorano l'accessibilità al sito, riducono l'impatto del traffico e promuovono una mobilità più sostenibile. Inoltre, contribuiscono a integrare il sistema agrivoltaico nel paesaggio, migliorando l'esperienza dei cittadini e offrendo un'alternativa a bassa impronta ecologica per spostarsi e godere delle risorse naturali. Accanto a questi spazi, le aree verdi a servizio della comunità rivestono un ruolo fondamentale nel rafforzare la coesione sociale e migliorare la qualità della vita nelle aree periurbane. L'integrazione di orti urbani e foreste urbane consente di offrire alla popolazione locale opportunità di coltivare i propri alimenti, favorendo il benessere e l'autosufficienza alimentare. Parallelamente, l'adozione di modelli smart nella gestione dei pannelli fotovoltaici, come sistemi di monitoraggio e controllo tramite tecnologie digitali, offre nuove opportunità per ottimizzare l'uso delle risorse. Attraverso modelli di comunità energetiche, si favorisce un approccio collaborativo alla produzione e gestione dell'energia, riducendo i costi energetici e aumentando l'efficienza complessiva del sistema. In questo modo, il sistema agrivoltaico non è solo un generatore di energia, ma diventa un elemento di mediazione tra la città e la campagna, favorendo una transizione fluida verso un modello di

sviluppo sostenibile che integra la produzione agricola, la generazione di energia rinnovabile e la fruizione del paesaggio.

Per la trattazione completa degli aspetti di sostenibilità legati al sistema agro-ambientale si rimanda alle Linee guida.

Colture potenzialmente idonee ai sistemi agrivoltaici e spazializzazione delle specie

I sistemi APV rappresentano una soluzione promettente per coniugare la produzione di energia rinnovabile con l'attività agricola, soprattutto in contesti pedoclimatici in cui l'eccesso di luce, le alte temperature o la scarsità idrica costituiscono fattori limitanti per la produttività. In tali ambienti, la presenza di moduli fotovoltaici può contribuire a mitigare gli stress abiotici grazie alla parziale riduzione della radiazione solare incidente, con potenziali effetti positivi sul microclima colturale. In questo contesto, assume particolare rilevanza la *Shade Avoidance Syndrome* (SAS), un complesso di risposte morfo-fisiologiche che consente alle piante di adattarsi a condizioni di ombreggiamento moderato. La capacità di attivare meccanismi SAS può quindi rappresentare un vantaggio competitivo per le specie coltivate sotto impianti agrivoltaici, favorendone la resilienza e mantenendo, o in alcuni casi persino migliorando, le rese agricole in condizioni di radiazione ridotta.

Da una disamina della letteratura scientifica emerge una considerevole variabilità nei risultati sperimentali circa l'impatto dei sistemi agrivoltaici sulle rese delle produzioni agricole. In particolare, le condizioni ambientali legate all'areale geografico di riferimento, la morfologia del territorio, il substrato pedologico e le riserve idriche sono fattori determinanti nel definire il livello potenziale delle rese agricole.

Ulteriore fattore determinante per le rese è rappresentato dalle pratiche agricole quali l'impiego di fertilizzanti e agrofarmaci, l'irrigazione, la protezione delle colture ed altre soluzioni tecnologiche, che nei casi più estremi determinano la possibilità stessa di praticare agricoltura. I potenziali fattori limitanti della produzione agricola nei sistemi APV riguardano essenzialmente due aspetti: da un lato la contrazione delle superfici agricole dovuta all'ingombro fisico delle strutture di supporto ai pannelli, dall'altro all'entità dell'ombreggiamento. L'impatto del primo aspetto può essere mitigato accoppiando i sistemi fotovoltaici a coltivazioni che di base necessitano di strutture di sostegno e protezione, oppure adottando sistemi che massimizzano la captazione della luce aumentando l'efficienza della produzione elettrica (agrivoltaico avanzato). Per quanto riguarda il secondo aspetto invece risulta essenziale definire l'entità dell'ombreggiamento, in modo tale da ottenere il minor impatto sulla coltura che viene praticata nello spazio poro. Una meta-analisi proposta da Laub et al. (2022) introduce il parametro *Relative Shade Rate* (RSR), che consente di standardizzare l'intensità dell'ombreggiamento rispetto alla radiazione globale rilevata in condizioni di piena luce. Questo approccio facilita confronti più accurati tra studi diversi e permette valutazioni più precise sull'effetto dell'ombreggiamento sulle rese colturali.

Alla luce di tali osservazioni, si propone un modello previsionale delle rese colturali in relazione a crescenti livelli di RSR. È possibile suddividere le colture in tre tipologie:

- le **favorite** sono quelle che, entro una determinata soglia di RSR, mostrano incrementi di resa.
- le **tolleranti** sono invece quelle le cui rese non mostrano variazioni significative, o comunque meno che proporzionali rispetto all'incremento di RSR.
- le **intolleranti** sono quelle che mostrano contrazioni di resa più che proporzionali rispetto all'incremento di RSR.

Al fine di fornire un'indicazione di massima, si propone un raggruppamento per **tipologia delle colture** esaminate in relazione al loro livello di tolleranza dell'ombreggiamento. Secondo questo schema:

- frutti di bosco, fruttiferi maggiori ed ortaggi da frutto sarebbero favoriti dall'ombreggiamento, con potenziali incrementi di resa fino a livelli di RSR rispettivamente del 30, 25 e 20%;
- foraggi, ortaggi da foglia, tuberi e radici sarebbero tolleranti all'ombreggiamento, con decrementi di resa meno che proporzionali per livelli di RSR entro il 20%;
- cereali e leguminose da granella mostrano una marcata intolleranza all'ombreggiamento, con significative perdite di resa già a livelli di RSR del 1%.

Tabella 4 - Risposta delle colture all'ombreggiamento. Le percentuali di ombreggiamento riportate nella tabella derivano da esperimenti condotti sulle diverse colture. Tuttavia, la categorizzazione delle colture in funzione della risposta all'ombreggiamento può variare in base alle condizioni climatiche e pedologiche, motivo per cui sono incluse annotazioni esplicative specifiche per ciascuna coltura

Crops	Shading tolerance	Shading %	Yield decrease/Increase	Experiment place	Notes	Source
Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Benefiting	/	Reduction in fruit number, however larger fruit and higher water content	Apulia region, southern Italy	/	Scarano et al.,2024; Hudelson et al.,2021
Navel Orange (<i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck)	Benefiting	25%	Increased yield at 25% of shading by nets compared to unshaded control for two consecutive experimental years	Nubaria region, Egypt	Shading nets improved tree nutrient uptake and photosynthesis, leading to more and heavier fruits, especially when used from March 1 to the end of June	Abd El-Naby et al.,2019
Black berry (<i>Rubus ulmifolius</i> Schott.)	Benefiting	40%	Increased yield, extended ripening period	Basilicata region, Italy	Covered with nets	Rotundo et al, 1998
Apple (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	Benefiting	20 and up to 50%	Increased yield under shading with nets in the presence of sufficient irrigation or moderate water stress, however no difference was noticed in the presence of high-water stress	Bologna, Italy	Covered with nets	Lopez et al., 2018
Lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Tolerant	Up to 20%*	Increased by expanding total leaf area but reduction in total number of leaves	South France (Montpellier)	/	H. Marrou et al., 2013 *Laub et al., 2022
Grapes (<i>Vitis vinifera</i> L.)	tolerant	40%	At 40% shade, grape yield decreased compared to unshaded controls, resulting in fewer clusters and berries.	Northern Italy	It was assigned as benefiting in*Laub et al., 2022	G. Ferrara et al., 2023 ; Abeysinghe et al., 2016
Kiwi (<i>Actinidia deliciosa</i>)	Tolerant	19%	Slight effect on yield and growth at 19% shading and decreased significantly after that (30%-40%)	Southwest China	/	Jiang et al., 2022
Strawberry (<i>Fragaria ananassa</i> Duch.)	Susceptible	N.S	Higher number of shaded plants produced fruits with albinism, plus a decrease in yield and smaller fruits	Shimla, India	Shaded by Jjoba trees compared to open field strawberries	Sharma et al., 2006
Pepper (<i>Capsicum annum</i> L.)	Tolerant	>15%	yielded more at 15% of shade but could have a harvestable biomass at 45%, but continued to decrease beyond that	Davis, California	/	Hudelson et al.,2021
Winter Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Tolerant	up to 15%	optimal yield was at 8% of shade and 0% shade however continues to increase up to 15% but decreases beyond that	China (humid, semi-tropical climate)	Shaded treatments had higher LAI than the control	Li et al.,2010
Pear (<i>Pyrus communis</i> L.)	Tolerant	24%	yield decrease 14% less than the control	Belgium	/	Reher et al.,2024
Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	Benefiting/Tolerant	up to 26%	At 26% shading, yield increased; however, growth significantly decreased	Germany	/	Schulz et al., 2019

			when plants were shaded at 50%.			
Broccoli (<i>Brassica oleracea</i> var. botrytis)	Tolerant	15%	Broccoli plants had the optimal yield at 85% of PAR but reduced significantly the yield with increasing shade	Davis, California (USA) 5 mild temperate climate	Harvestable Crop biomass accumulation assessed	Hudelson et al., 2021
Maize (<i>Zea mays</i> L.)	Susceptible	12%	Reduced dry matter yield, reduction in height and LAI (Leaf area index)	Southwest Germany	Shading maize at a level of 50% reduced the dry matter biomass yields up to nearly 50%.	Schulz et al., 2018
Soybean (<i>Glycine max</i> (L.) Merr.)	Susceptible*/Tolerant	9%	Decrease in yield and number of pods however higher LAI and height	Italy	Various studies reported a 20% reduction in yield at 25% shade*; however, this study found only an 8% loss at 27% shade, classifying the plants as tolerant	Potenza et al., 2022 *Laub et al., 2022 Ko, J. et al., 2021
Spinach (<i>Spinacia oleracea</i> L.)	Susceptible	>15%	Sensitive to decreased PAR (Photosynthetic active radiation)	Davis, California (USA)	/	Hudelson et al., 2021
Aromatic herbs (origano, Thyme and Greek Mountain tea)	Tolerant	44% of shading	The crops' growth was not significantly impacted by the presence of the PV plant, except for oregano, which showed higher weight under PV	Greece	In hot, dry climates, the potential reduction in photosynthesis from PV module shading may be compensated by reduced climatic stress, thus not harming crop growth	Fagnano et al., 2024
Olive trees (<i>Olea europaea</i> L.)	Tolerant but susceptible in long term shading	30%	The shading effect varies by growth stage. Olive trees experience reduced fruit growth and oil accumulation when shaded during critical phases, such as fruit set and early oil accumulation, leading to a significant decrease in oil yield	^a Argentina / ^b Mediterranean region	Vertical PV module orientation can boost olive yield despite shading. Although prolonged shading might reduce or stop fruiting, it may offer benefits like reduced water stress and improved microclimate, which may be favorable in specific conditions	^a Cherbiy-Hoffmann et al, 2015/ ^b Fern'andez-Solas et al., 2023

Al di là della variabilità tra i diversi studi, un ombreggiamento massimo del 25% è comunemente accettato in letteratura come soglia di tollerabilità in termini di riduzione della resa per la maggior parte degli ortaggi e dei fruttiferi (Touil et al. 2021; Magarelli et al. 2024).

Le specie individuate come potenzialmente idonee nella fase preliminare di selezione sono state successivamente analizzate con riferimento alla loro distribuzione spaziale sull'intero territorio italiano. Tale analisi risulta utile a identificare le aree geografiche in cui l'adozione dell'agrivoltaico potrebbe risultare più efficace, in funzione della presenza di colture compatibili e della disponibilità di risorsa solare.

In primo luogo, è stata effettuata una classificazione delle colture selezionate in macrocategorie, adottando la nomenclatura proposta dal CORINE Land Cover (CLC), la cui edizione più recente è relativa all'anno 2018. In seguito, è stato effettuato un confronto tra le superfici agricole censite da ISTAT (Serie annuale 2023) e le classi di uso del suolo identificate dal database CORINE, con l'obiettivo di stimare l'incidenza delle diverse colture all'interno delle relative macrocategorie su base regionale. Questo confronto ha consentito di associare ai dati censuari una rappresentazione spaziale più dettagliata. Sulla base di tali dati, sono state prodotte mappe tematiche rappresentative delle superfici agricole potenzialmente interessate, successivamente confrontate con le mappe della radiazione solare per valutare la fattibilità dell'implementazione di sistemi agrivoltaici nelle diverse aree del territorio italiano.

Tabella 5 - Superfici interessate dalle colture potenzialmente idonee, in Italia, secondo i dati ISTAT 2023 e CLC 2018

Data Sources		AREAS (ha)		
CORIN Land cover (CLC) classes	ISTAT Categories	ISTAT 2023		CLC 2018 (total)
		(per categories)	(total)	
CLC 2.1.1/2.1.2 - non-irrigated arable land/Permanently irrigated land	Fresh vegetables (incl. melons and strawberries)	364.149	4.049.808	8.040.808*
	Cereals, Legumes, roots, bulbs and tubers	3.208.568		
	Industrial crops	477.091		
CLC 2.2.2 - Fruit tree and berry plantations	Fruit plantations	599.993	599.993	377.549
CLC 2.2.1 - Vineyards	Grapes	738.454	738.454	622.735
CLC 2.2.3- Olive groves	Olives	1.119.065	1.119.065	1.189.867

* I valori di superficie ottenuti dalle due diverse banche dati differiscono considerevolmente in quanto le classi di copertura del suolo del CORINE Land Cover (classe 2.1.1. e 2.1.2.), nel III livello di analisi, risultano cumulative per un numero complessivamente superiore rispetto a quelle di interesse per le applicazioni APV

Per queste analisi è stato utilizzato il dataset geospaziale della FAO, che ha consentito di stimare la disponibilità di radiazione solare nelle diverse aree del territorio nazionale. Il raffronto tra distribuzione colturale e risorsa solare ha consentito di individuare i contesti territoriali di maggior interesse per le applicazioni APV.

A titolo di esempio si riportano a seguire i confronti fra alcune colture corrispondenti alle classi del CORINE Land Cover CLC 2.1.1/2.1.2 *Non-irrigated arable land/Permanently irrigated land* e i valori di Radiazione Solare.

Classi CLC 2.1.1/2.1.2 (non-irrigated arable land/Permanently irrigated land)

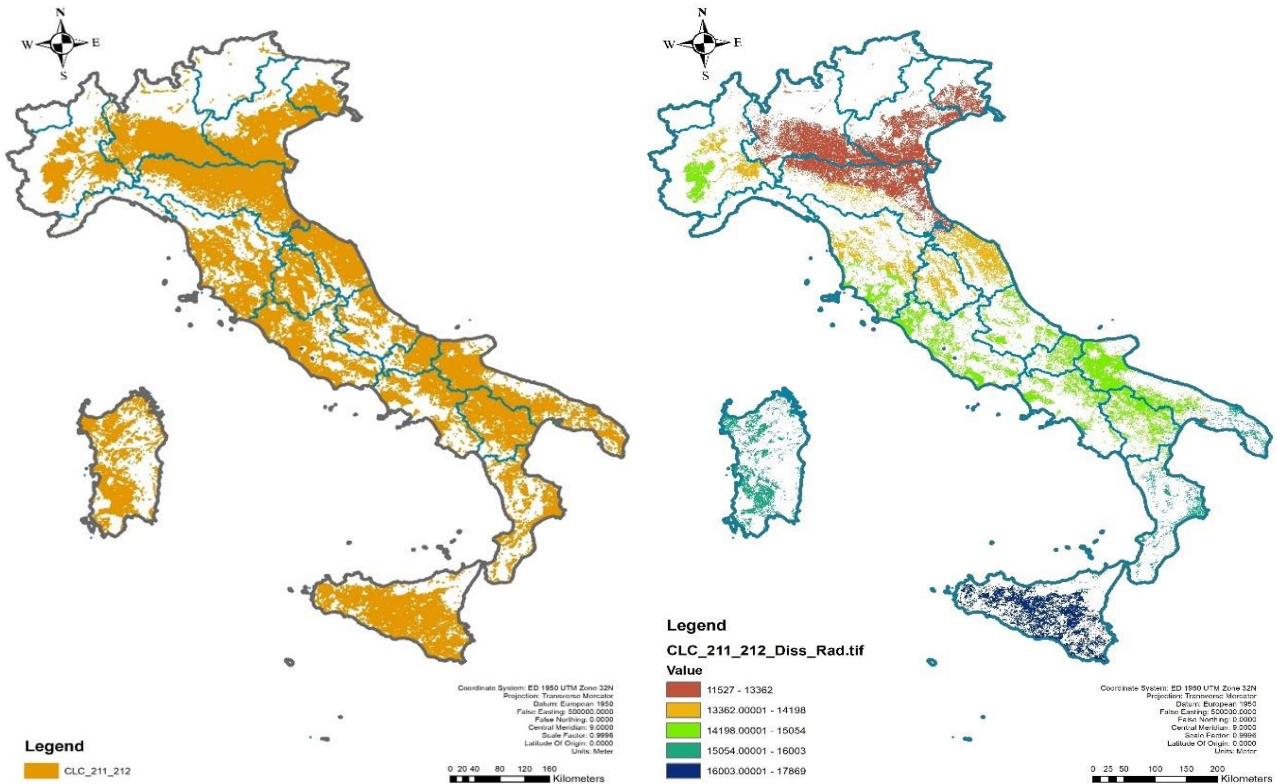


Figura 5 - Confronto tra la distribuzione delle classi CLC 2.1.1/2.1.2 (non-irrigated arable land/Permanently irrigated land) e i valori di Radiazione Solare (KJ*m⁻²*g⁻¹)

Tabella 6 - Censimento ISTAT 2023: Superfici, per regione, dedicate alle colture corrispondenti alle classi del CORINE Land Cover 2.1.1 e 2.1.2

Territorio	ISTAT* (ha)	Tomato (Solanum lycopersicum L.)** (%)	Lettuce (Lactuca sativa L.)** (%)	Strawberry (Fragaria ananassa Duch.)** (%)	Pepper (Capsicum annum L.)** (%)	Broccoli (Brassica oleracea var. botrytis)** (%)	Spinach (Spinacia oleracea L.)** (%)	Wheat (Triticum aestivum L.)** (%)	Potato (Solanum tuberosum L.)** (%)	Maize (Zea mays L.)** (%)	Soybean (Glycine max (L.) Merr.)** (%)	Aromatic herbs (oregan, Thyme and Greek Mountain tea)** (%)
Piemonte	388075	0.73%	0.05%	0.03%	0.04%	0.01%	0.05%	22.75%	0.21%	29.90%	4.01%	0.00%
Valle d'Aosta / Vallée d'Aoste	118	0.55%	0.03%		0.19%	0.00%	0.02%	4.24%	67.80%	5.08%	0.00%	0.00%
Liguria	2279	0.35%	4.43%	0.15%	0.39%	0.44%	0.22%	5.84%	33.30%	3.42%	0.00%	0.01%
Lombardia	417745	1.98%	0.41%	0.02%	0.02%	0.00%	0.13%	16.86%	0.09%	27.85%	13.44%	0.00%
Trentino Alto Adige / Südtirol	1862	0.32%	0.97%	11.65%	0.00%	5.80%	0.16%	5.26%	33.30%	18.69%	0.00%	0.00%
Veneto	471329	0.46%	0.24%	0.07%	0.05%	0.00%	0.05%	25.12%	0.64%	25.68%	27.70%	0.08%
Friuli-Venezia Giulia	148229	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	10.33%	0.16%	23.79%	48.97%	0.00%
Emilia-Romagna	477219	5.50%	0.25%	0.07%	0.01%	0.03%	0.17%	30.86%	0.78%	10.95%	7.28%	0.00%
Toscana	189575	1.29%	0.07%	0.04%	0.05%	0.06%	0.26%	18.31%	0.44%	3.58%	0.35%	0.01%
Umbria	115824	0.17%	0.03%	0.00%	0.07%	0.14%	0.07%	25.99%	0.29%	4.14%	0.07%	0.00%
Marche	180449	0.01%	0.12%	0.01%	0.01%	0.02%	0.08%	8.94%	0.12%	1.40%	0.06%	0.00%
Lazio	112741	3.32%	2.78%	0.46%	0.60%	0.74%	0.68%	10.87%	1.91%	11.72%	0.12%	0.00%
Abruzzo	123180	1.13%	0.65%	0.07%	0.39%	1.80%	0.43%	18.39%	3.71%	6.15%	0.05%	0.00%
Molise	60665	1.55%	0.05%	0.06%	0.08%	0.12%	0.15%	4.62%	0.14%	2.06%	0.00%	0.00%
Campania	147755	3.20%	2.28%	0.75%	0.64%	1.65%	0.35%	10.85%	3.77%	8.49%	0.00%	1.48%
Puglia	506344	3.09%	0.60%	0.02%	0.45%	0.76%	0.19%	1.38%	0.18%	0.16%	0.00%	0.00%
Basilicata	171192	1.23%	0.34%	0.23%	0.30%	0.67%	0.00%	4.06%	0.06%	0.48%	0.00%	0.00%
Calabria	88883	3.20%	1.13%	0.34%	1.48%	1.05%	0.05%	10.38%	5.30%	4.64%	0.05%	0.00%
Sicilia	372885	2.01%	0.56%	0.17%	0.60%	0.59%	0.06%	0.03%	0.62%	0.05%	0.00%	0.00%
Sardegna	73459	0.82%	0.80%	0.07%	0.18%	0.23%	0.03%	0.46%	0.73%	3.33%	0.00%	0.00%

* Nella colonna sono riportati gli ettari complessivi, da banca dati ISTAT, dedicati alle colture specifiche appartenenti alle macrocategorie CLC 2.1.1 e 2.1.2.

** Nelle colonne sono riportati i valori percentuali riferiti alla superficie specifica di ogni coltura, per regione, rapportata alla superficie complessiva delle macrocategorie dell'ISTAT, corrispondenti a quelle del CORINE Land Cover.

Per l'approfondimento relativo ad altre colture (*Vineyards, Fruit tree and berry plantations, Olive groves*) si rimanda alle Linee guida.

Catalogo di sistemi integrati e prodotti industrializzati

Il "Catalogo di sistemi integrati e prodotti industrializzati per impianti agrivoltaici" è costituito da due tipologie di schede: una prima tipologia riferibile ai Sistemi integrati per la progettazione del cosiddetto *Volume agrivoltaico o Spazio poro* (come definito nella scomposizione del subsistema agro-ambientale) e inteso come il volume agrivoltaico destinato all'attività agricola (Toledo & Scognamiglio, 2021) e da caratteristiche tecniche relative all'impianto destinato alla produzione di energia elettrica; una seconda tipologia di

scheda è relativa ai singoli componenti del sistema tecnologico dei principali prodotti industrializzati dedicati al settore agrivoltaico.

Le schede sono articolate in sezioni informative uniformi per consentire una lettura comparata tra le caratteristiche funzionali-spaziali e tecnologiche, di compatibilità dello spazio coltivato con le tecnologie per la produzione energetica, le prestazioni e gli aspetti di sostenibilità ambientale di sistemi e prodotti. Punto di partenza nella redazione delle schedature sono le classificazioni dei Tipi di impianto individuate nelle Linee Guida del MASE (MASE, 2022). I dati di input necessari alla redazione delle schede sono stati elaborati a partire dalla documentazione tecnica di aziende del settore.

Tabella 7 - Elenco dei sistemi integrati per impianti APV presenti nel "Catalogo di sistemi integrati e prodotti per impianti agrivoltaici"

Scheda	Sistema integrato - denominazione commerciale	Azienda	Categoria
S1	AgriPV Tech - Tipo 1	i-Pergola & Valente	Elevato - monoassiale
S2	AgriTrack® One / Two	Optimum Tracker	Elevato - monoassiale Interfilare - monoassiale
S3	AgriTrack® Trees	Optimum Tracker	Elevato monoassiale
S4	Convert-1P / 2P TRJ Tracker - AGRI-PV STANDARD	Valmont Solar	Interfilare - monoassiale
S5	Convert Tracker v2.1 - v4.0 TRJ - AGRI-PV ADVANCED	Valmont Solar	Elevato - monoassiale
S6	Tracker monoassiale Sunspyre	Colliery & Sunspyre	Elevato - monoassiale
S7	Agrovoltaico® Tracker 1.0	REM Tec	Elevato - biassiale
S8	Agrovoltaico® Tracker 2.1-2.2	REM Tec	Elevato - biassiale
S9	Agrovoltaico® Tracker 2.3	REM Tec	Elevato - biassiale
S10	SkyGre Mono / Duo	SentNet	Verticale

Tabella 8 - Elenco dei prodotti industrializzati presenti nel Catalogo "Catalogo di sistemi integrati e prodotti per impianti agrivoltaici"

Schede	Prodotti	Aziende	Elementi tecnici
P1	Sunpower Performance 7	Sunpower	D1.1 Moduli opachi
P2	SOLID BIFACIAL B.108	Solitek	D1.1 Moduli opachi
P3	SOLID Agro B.72	Solitek	D1.2 Moduli semitrasparenti
P4	Himalaya HS-B96 AgriPV	Feedgy, Huasun	D1.2 Moduli semitrasparenti
P5	Inverter TerraMax™ SE330K con ottimizzatore di potenza H1300	SolarEdge	D3.1 Inverter; D3.3 Ottimizzatori
P6	PolyFilm-Net-190	Retilplast	E1.3 Reti antigrandine
P7	Iridium®	Agrintech	E1.2 Reti per la selezione dello spettro luminoso; E1.3 Reti antigrandine
P8	Rain Water Recovery ©	Kenergia	F2.1 Dispositivi per la raccolta e il riuso delle acque piovane
P9	Sistema di desalinizzazione Genius RO	Genius Watter	F2.2 Dispositivi per il trattamento e il riuso delle acque salmastre
P10	Sensori per il monitoraggio - Agri-GivaMisura	Giva Misura	G. Sistemi di monitoraggio e controllo

SCHEDA S1 AgriPV Tech - TIPO 1 Prodotti correlati: P1 Soluzioni tecniche: ST2		i-Pergola® VALENTE	
CLASSIFICAZIONE: TIPOLOGIA IMPIANTO AGRIVOLTAICO ED ELEMENTI TECNICI CONNOTANTI			
TIPO 1) IMPIANTO ELEVATO			
DATI GENERALI		GRAFICI E IMMAGINI DI RIFERIMENTO	
Denominazione AgriPV Tech - TIPO 1 - PowerShield Tech®		<p>La struttura è costituita da un tubo in acciaio regolato con sistemi di contrappeso, movimentato da motori elettrici e connesso ad una centralina meteo che monitora le condizioni ambientali.</p>	
Aziende produttrici i-Pergola S.r.l. Valente S.r.l.			
Sito Web www.i-pergola.it https://valente.i-pergola.it/			
Descrizione Sistema per impianti agrivoltaici di tipo elevato, composto da moduli opachi bifacciali montati su struttura di supporto a inseguimento monoassiale.			
CARATTERISTICHE FUNZIONALI-SPAZIALI DEL SISTEMA			
Range dimensionali			
Distanza interfiliare	m 3,0 - 5,0		
Passo struttura / campata	tipico m 3,0		
Lunghezza inseguitori	-		
Larghezza inseguitori	m 1,10		
Altezza dei moduli dal suolo	m 2,6 - 4,5 orizz.		
N° moduli per inseguitore	-		
Orientamento ottimale del sistema			
Direzione delle file	nord / sud		
Inseguimento	est / ovest (di rollio)		
Angolo di azimut (α)	± 90°		
Angolo di tilt (β)	± 80°		
Disposizione dei moduli	Landscape (1L)		
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE DEL SISTEMA			
A. Strutture di fondazione			
A1.3 Pali battuti in c.a. precompresso (profondità m 0,6)			
B. Strutture di elevazione			
B1.3 Pali in c.a. precompresso			
B4.2 Stralli in acciaio			
C. Sistemi di supporto			
C2.1 Sistemi a inseguimento monoassiale			
D. Sistemi di produzione energetica			
D1.1 Moduli fotovoltaici opachi: SunPower Performance			
D2.2 Cavidotti interrati			
E. Sistemi di protezione			
E1.1 Reti per la riduzione dell'irraggiamento / temperatura del suolo			
E1.3 Reti antigrandine / antipioggia			
E1.4 Reti antiventto			
G. Sistemi di monitoraggio e controllo			
G1. Stazioni meteo			
G2. Controlli di campo			
G3. Centraline di controllo			
G4. Sensori per il monitoraggio dei parametri energetici			
G5. Sistemi di controllo per l'agricoltura di precisione			
G6. Sensori per il monitoraggio della tensione delle funi			
CARATTERISTICHE DEI MODULI CONSIGLIATI			
Tipologia	moduli bifacciali		
Trasparenza	moduli opachi (0%)		
Potenza nominale	550 Wp		
Efficienza di conversione	21 %		
Tecnologia fotovoltaica	Silicio monocristallino, TOPCon		
CARATTERISTICHE DI COMPATIBILITÀ DELLO SPAZIO COLTIVATO			
Disponibilità di radiazione al suolo			
Media			
Attività e specie compatibili con il sistema			
Colture arbustive: Kiwi, Luppolo, Vite vinifera			
Colture arboree: Pero, Melo, Ciliegio (sesto d'impianto e raccolta manuale)			
PRESTAZIONI OFFERTE E ASPETTI DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE			
<ul style="list-style-type: none"> - Utilizzo di tecnologie innovative e ad alta efficienza: la tecnologia IoT attraverso una serie di sensori permette durante i trattamenti con atomizzatori di posizionare i pannelli in direzione opposta, al fine di limitare il deposito di sostanze sui pannelli stessi. - Presenza di sensori per il monitoraggio del mantenimento della fertilità del suolo e delle colture con telecamere multispettrali + SW con AI. PowerShield Tech è dotata di software IEPFMS (Intelligent Energy & Precision Farming Management System) che permette di gestire tutte le funzioni del sistema agrivoltaico sia in loco che da remoto, al fine di massimizzare la produzione agricola. - Al verificarsi di situazioni critiche il sistema ruota i pannelli in posizione di "protezione" evitando che il vento impatti sulla struttura. - Sistemi di accumulo per autoconsumo e comunità energetiche su richiesta. - Impiego di materiali riciclati, riciclabili ed ecosostenibili. 			

Figura 6 - Scheda relativa al Sistema integrato denominato AgriPV Tech - Tipo 1 Impianto elevato



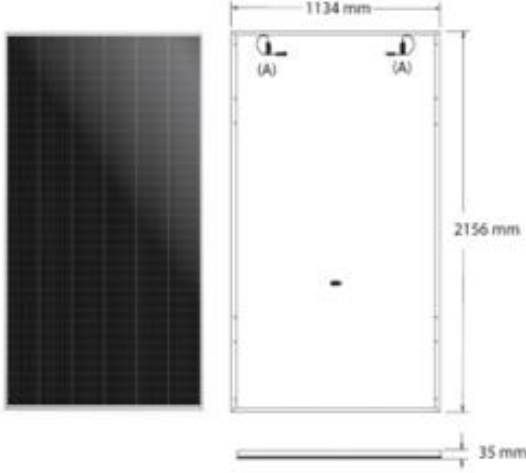

SCHEDA P1	 Moduli opachi SunPower Performance 7	Schede sistemi correlate: S1 Soluzioni tecniche: ST1-ST6	
CLASSIFICAZIONE TECNOLOGICA			
Unità tecnologica	D. Sistemi di produzione energetica		
Classe	D1. Moduli fotovoltaici		
Elementi tecnici	D1.1 Moduli fotovoltaici opachi		
DATI GENERALI			
Denominazione	SPR-P7-555-COM-5		
Azienda produttrice	SunPower		
Sito Web	www.sunpower.maxeon.com/it/		
Descrizione			
Modulo opaco bifacciale vetro-vetro con cornice in alluminio anodizzato, lastre in vetro temprato ad alta trasmissione da 2.0 mm, celle TOPCon.			
CARATTERISTICHE TECNICHE			
Tipologia	moduli bifacciali		
Trasparenza	moduli opachi (0%)		
Dimensioni	2.156 x 1.134 x 35 mm		
Cornice	presente		
Peso	30,3 kg		
N° celle	132 mezza celle (6x22)		
Potenza nominale	555 W _p		
Efficienza di conversione	22,7 %		
Tecnologia fotovoltaica	TOPCon di tipo N		
ASPETTI DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE			
<ul style="list-style-type: none"> - Elevata durabilità grazie al design con celle a bordi sovrapposti. I collegamenti flessibili e non metallici mantengono un flusso di energia costante, mitigando gli effetti degli sbalzi di temperatura giornalieri e delle intemperie come vento, grandine e neve. - Il basso coefficiente di temperatura (potenza) facilita una migliore generazione di energia in ambienti a temperature elevate. I pannelli l'utilizzo dei diodi di bypass, riducendo al minimo la probabilità di riscaldamento non mitigato e di formazione di hotspot. - Elevata resistenza all'impatto da grandine (diametro 40 mm). - Elevata resistenza ai carichi da vento (400 Pa, 245 kg/m² fronte e retro) e da neve (5400 Pa, 550 kg/m² fronte). - Efficienza garantita: 30 anni. 			
			
		PROFILO DELLA CORNICE 	
		(A) Lunghezza del Cablaggio: 1500 mm +/-15 mm (B) Lato Lungo: 30 mm Lato Corto: 16 mm	
Fonte dati, grafici e immagini: SunPower (nov.2024)			

Figura 7 - Scheda relativa al Sistema di produzione energetica denominata Moduli opachi SunPower Performance 7

Alternative tecnico-progettuali per sistemi agrivoltaici

Tra gli strumenti di supporto per la progettazione di sistemi agrivoltaici sostenibili le schede di alternative tecnico-progettuali definiscono alcune configurazioni spaziali di "Volume agrivoltaico o Spazio poro" di sistemi agrivoltaici, con l'obiettivo di individuare gli aspetti tecnologici, funzionali-spaziali e ambientali utili a massimizzare l'efficacia e l'efficienza sia agricola che energetica attraverso la definizione delle condizioni di compatibilità rispetto alla tipologia di attività (agricola o zootecnica), di disponibilità di radiazione al suolo e di compatibilità di specie animali e vegetali. Le alternative sono state categorizzate a partire dalle indicazioni contenute nelle Linee guida in materia di Impianti Agrivoltaici pubblicate dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica nel 2022, con riferimento alle tre principali tipologie di sistemi: impianti agrivoltaici elevati (Tipo 1), interfilari (Tipo 2) e verticali (Tipo 3) (MASE, 2022). La schedatura è stata effettuata mettendo a sistema le informazioni relative a configurazioni progettuali desunte da casi studio, dall'analisi di prodotti e sistemi industrializzati e dal confronto con progettisti ed esperti del settore.

Tabella 9 - Elenco delle alternative tecnico-progettuali presenti nella schedatura

Schede	Tipologia di sistema	Sistema di supporto
ST1	Elevato (Tipo 1)	Fisso
ST1.2	Elevato (Tipo 1)	Monoassiale
ST1.3	Elevato (Tipo 1)	Biassiale
ST2	Interfilare (Tipo 2)	Fisso / Monoassiale
ST3	Verticale (Tipo 3)	Fisso

Per ogni tipologia di sistema sono indicati l'intervallo di altezza libera di movimentazione rispetto al suolo, le opzioni disponibili per i sistemi di supporto, la tipologia di moduli installabili, la configurazione dei moduli stessi, il grado di trasparenza dei moduli utilizzabili, l'orientamento ottimale rispetto ai punti cardinali e la compatibilità prevalente in relazione agli usi agricoli o zootecnici.

		ELEVATO FISSO	ELEVATO INSEGUIMENTO MONOASSIALE	ELEVATO INSEGUIMENTO BIASIALE	INTERFILARE FISSO	INTERFILARE INSEGUIMENTO MONOASSIALE	VERTICALE FISSO
Altezza libera di installazione		1,3m<H1<3,0m	1,3m<H1<5,0m	2,1m<H1<2,7m	0,3m<H1<1,3m	0,3m<H1<1,3m	0,5m<H1<1,3m
SISTEMI DI SUPPORTO	Fisso	✓			✓		✓
	Inseguimento monoassiale		✓			✓	
	Inseguimento biasiale			✓			
TIPOLOGIA DI MODULI	Monofacciali	✓	✓		✓	✓	
	Bifacciali		✓	✓			✓
CONFIGURAZIONE	Landscape						
	1L		✓				✓
	2L		✓				✓
	2L+				✓		
Portrait	1P	✓	✓		✓	✓	✓
	2P	✓			✓	✓	
OPACITÀ	Opachi	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Semitrasparenti	✓	✓	✓			✓
ORIENTAMENTO	Est/Ovest	✓			✓	✓	✓
	Nord/Sud		✓				
	Omnidirezionale			✓			
ATTIVITÀ COMPATIBILI	Agricoltura	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Allevamento	✓	✓		✓	✓	✓

Figura 8 - Tipologie di sistemi, caratteristiche tecnico progettuali e di compatibilità con lo spazio coltivato

A titolo esemplificativo si riporta di seguito lo schema sintetico relativo alla tipologia di Sistema elevato (Tipo 1).

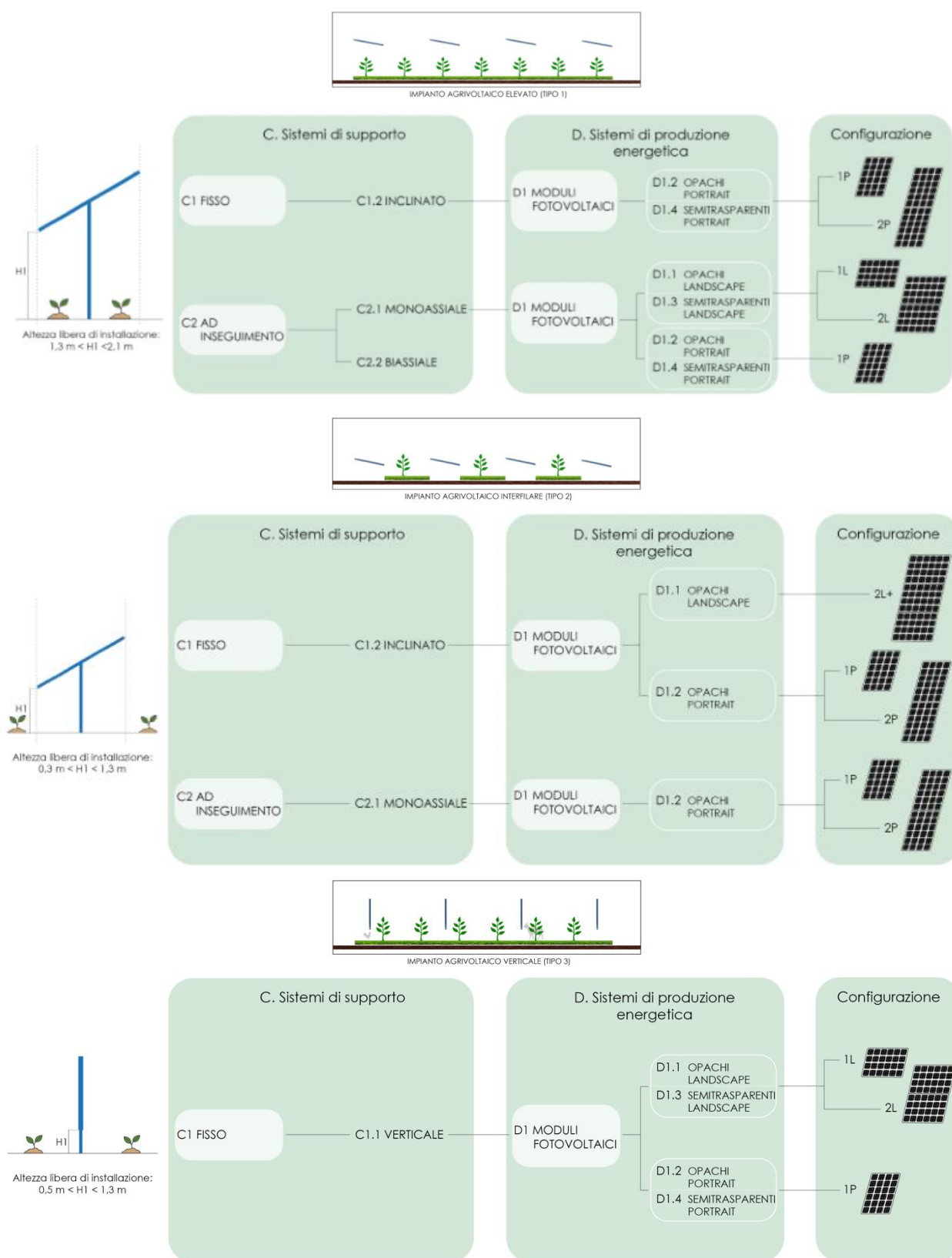


Figura 9 - Schemi sintetici delle principali caratteristiche tecnologiche che definiscono le soluzioni tecnico-progettuali relative alla Soluzione Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3, immagini rielaborate da Linee guida in materia di Impianti Agrivoltaici (MASE, 2022), dati da analisi dei casi studio e offerta industrializzata

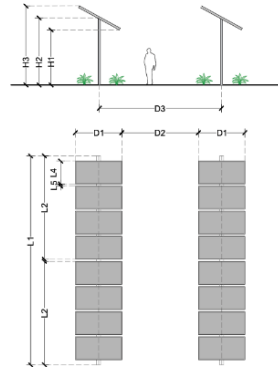
Le Schede di alternative tecnico-progettuali sono articolate in blocchi di informazioni uniformi e ricorrenti. Si riporta di seguito una scheda tipo di Soluzione tecnico-progettuale.



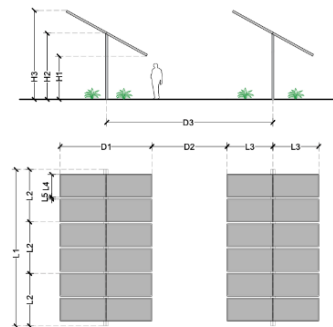
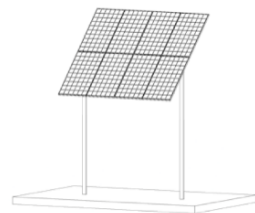
-

CLASSIFICAZIONE TECNOLOGICA		
Unità tecnologica	Classe	Descrizione
C. Sistema di supporto	C1. Sistemi di supporto fisso	Tipologia di sistema agrivoltaico di tipo elevato con supporto fisso. Configurazione ricorrente composta da una fila di moduli con disposizione <i>portrait</i> , compatibile con l'impiego di moduli opachi o semitrasparenti.

Disposizione dei moduli rispetto al suolo in configurazione 1P, una fila di moduli *portrait*



Disposizione dei moduli rispetto al suolo in configurazione 2P, due file di moduli *portrait*



CARATTERISTICHE SPAZIALI DEL SISTEMA			CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE COMPATIBILI CON IL SISTEMA	
Range dimensionali		valore medio		
H. Altezza dei moduli dal suolo		Configurazione 1P	A. Strutture di fondazione A1.1 Pali battuti in acciaio zincato A1.2 Pali battuti in acciaio corten A1.3 Pali battuti in c.a. precompresso A2.1 Fondazioni a vite in acciaio zincato A3.1 Plinti in c.a. gettati in opera A3.2 Plinti in c.a. prefabbricati	
H1. Altezza libera di installazione	m 1,3 - m 2,7	m 2,4 ≈		
H2. Altezza della struttura	m 2,5 - m 3,2	m 2,8 ≈		
H3. Altezza massima d'impianto	m 3,1 - m 3,7	m 3,4 ≈	B. Strutture di elevazione B1.1 Pali in acciaio zincato B1.2 Pali in acciaio corten B1.3 Pali in c.a. precompresso B3.1 Travi in acciaio zincato B3.2 Travi reticolari in acciaio	
H. Altezza dei moduli dal suolo		Configurazione 2P		
H1. Altezza libera di installazione	m 2,1 - m 3,0	m 2,5 ≈		
H2. Altezza della struttura	m 2,8 - m 4,3	m 3,6 ≈	E. Sistemi di protezione E1. Reti e teli	
H3. Altezza massima d'impianto	m 3,2 - m 5,4	m 4,3 ≈		
D. Dimensione dello spazio interfilare		Configurazione 1P		
D1. Largh. struttura di supporto	m 2,1 - m 2,2	m 2,2 ≈	F. Sistemi di gestione F1. Reti e teli	
D2. Distanza tra i moduli	m 0,7 - m 2,8	m 1,8 ≈		
D3. Dist. interfilare/ <i>pitch</i> (D1+D2)	m 3,0 - m 5,0	m 4,0 ≈		
D. Dimensione dello spazio interfilare		Configurazione 2P	G. Sistemi di monitoraggio e controllo G1. Reti e teli	
D1. Largh. struttura di supporto	m 4,0 - m 4,6	m 4,3 ≈		
D2. Distanza tra i moduli	m 1,6 - m 3,8	m 2,7 ≈		
D3. Dist. interfilare/ <i>pitch</i> (D1+D2)	m 6,0 - m 8,5	m 7,3 ≈	Caratteristiche dei moduli Tipologia: moduli monofacciali Trasparenza: moduli opachi / semitrasparenti	
L. Dimensione della struttura di supporto				
L1. Passo o campata		m 5,2 ≈		
L2. Lungh. supporto (L1 + nL1)		m 10,4 ≈		
T. Orientamento dei moduli e numero				
T1. Direzione delle file	est/ovest			
T2. Angolo di tilt	24°-35°			
Media n° moduli per inseguitore	4 ≈			

SCHEDA ST 1.1		SOLUZIONI TECNICO-PROGETTUALI SISTEMA APV ELEVATO (TIPO 1)		Schede correlate: -
CARATTERISTICHE DI COMPATIBILITÀ DELLO SPAZIO COLTIVATO				
Tipologie di attività compatibili con il sistema		Caratteristiche delle specie compatibili		
Agricoltura		Culture erbacee, orticole e seminative (max 1,5 m): erbe aromatiche ed officinali, ortaggi in foglia, floricoltura Culture arbustive (max 3,0 m): bacche e frutti rossi Culture arboree e mellifere (piccoli alberi e terza grandezza): agrumi e alberi da frutto Allevamento: ovicoltura, avicoltura		
Allevamento				
Disponibilità di radiazione al suolo				
Media				
IMMAGINI DI RIFERIMENTO				
				
<i>Foto dell'impianto dimostratore ENEA a Scalea (CS) in Italia, configurazione 1p, realizzato da EF Solare, Le Green House e SET Energie</i>				
				
<i>Impianti agrivoltaici in configurazione 2p (Fonte: SunCycle Farms via LinkedIn, Soltec Automation)</i>				

Figura 10 - Scheda relativa alla soluzione tecnico-progettuale di "Sistema agrivoltaico elevato Tipo 1

Obiettivi, strategie e indirizzi

Lo sviluppo di strategie e azioni per la sostenibilità ambientale del progetto dei sistemi agrivoltaici costituisce un contributo rilevante per la transizione energetica, coerentemente con quanto individuato dal PNRR, Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. L'attuale evoluzione nel campo del progetto di tali sistemi prefigura concezioni orientate alla salvaguardia dell'ambiente rurale, alla qualità insediativa degli habitat agricoli e all'equilibrio degli ecosistemi, attraverso il controllo degli impatti ambientali, delle condizioni microclimatiche e dell'incremento della resilienza climatica. L'azione progettuale richiede di basarsi sull'adozione di soluzioni integrate volte a sostenere efficaci livelli di produzione agricola ed energetica attraverso l'applicazione di innovazioni convergenti di tipo tecnologico-energetico e tecnologico-culturale. Per orientare il progetto di sistemi agrivoltaici verso la sostenibilità ambientale, sono stati identificati sei obiettivi prioritari: 01. Integrazione fra produzione agricola ed energetica; 02. Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica; 03. Efficienza della produzione energetica; 04. Resilienza climatica; 05. Salvaguardia e promozione della biodiversità; 06. Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo. Ogni obiettivo è specificato attraverso strategie e indirizzi operativi per il progetto nonché attraverso la definizione di un sistema di Requisiti e Indicatori finalizzato alla valutazione del

livello di rispondenza di un progetto agrivoltaico alla sostenibilità ambientale. Il set di indicatori ha rappresentato il punto di partenza per la definizione del EASY APV Tool.

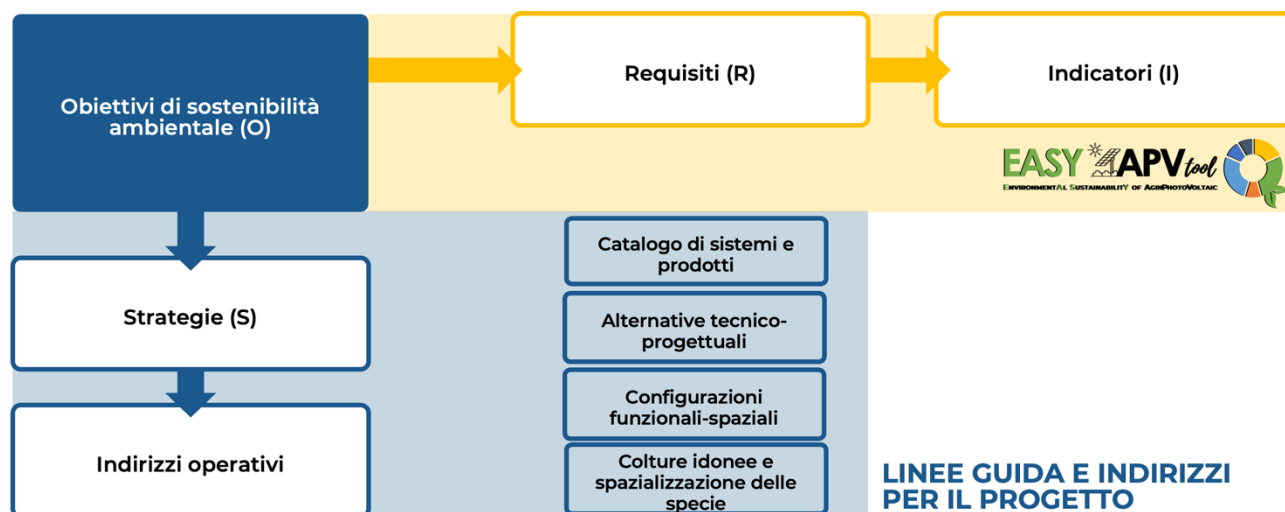


Figura 11 - Gli obiettivi di sostenibilità ambientale alla base degli indirizzi per il progetto e della costruzione del Tool di valutazione della sostenibilità ambientale

Di seguito si riporta, a titolo esemplificativo l'obiettivo O2. *Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica* e la sua declinazione in termini di Strategie e di Indirizzi progettuali.

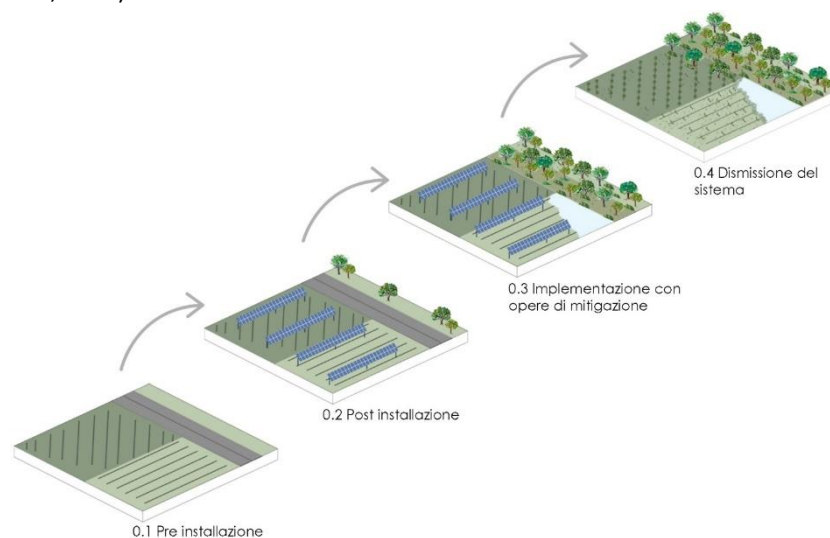
Tabella 10 - Obiettivo 2: strategie e indirizzi progettuali per la sostenibilità ambientale dei sistemi agrivoltaici

O2. Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica			
S	Strategie	IP	Indirizzi progettuali
S2.1	Valorizzare il potenziale produttivo del sistema agricolo	2.1.1	Valutazione della potenziale resa dell'attività agricola / pastorale
		2.1.2	Previsione del monitoraggio della fertilità e del contenuto di sostanza organica del suolo
S2.2	Garantire una disponibilità di luce ottimale in relazione alle esigenze colturali	2.2.1	Analisi del grado di tolleranza all'ombreggiamento per le specie previste
		2.2.2	Controllo dei parametri progettuali che determinano una riduzione della radiazione solare al suolo
		2.2.3	Impiego di moduli semitrasparenti in caso di specifiche esigenze colturali
S2.3	Garantire il risparmio della risorsa idrica ai fini irrigui	2.3.1	Impiego di dispositivi per la raccolta e il riutilizzo delle acque piovane
		2.3.2	Impiego di dispositivi per il trattamento e il riutilizzo delle acque salmastre
		2.3.3	Adozione di tecniche e sistemi d'irrigazione volti all'ottimizzazione dell'impiego della risorsa idrica
		2.3.4	Previsione del monitoraggio dell'efficienza d'uso della risorsa idrica e del risparmio idrico ai fini irrigui
S2.4	Tutelare le colture fioristiche e risorse autoctone e/o endemiche	2.4.1	Mantenimento o inserimento di specie endemiche
		2.4.2	Mantenimento o inserimento di specie autoctone
S2.5	Ridurre l'impiego di sostanze chimiche di sintesi	2.5.1	Adozione di un regime di conduzione biologico / integrato
		2.5.2	Adozione di pratiche agro-ecologiche e tecniche colturali che garantiscano ridotti impatti ambientali ed il mantenimento della sostanza organica al suolo
		2.5.3	Previsione di tecnologie e strumentazioni di agricoltura digitale e di precisione

A seguire, a titolo di esempio, si riporta la scheda relativa all'Indirizzo 6.2.3 *Previsione di sistemi di monitoraggio della fertilità del suolo in seguito alla dismissione dell'impianto*. Per la trattazione completa di Obiettivi, Strategie e Indirizzi si rimanda alle Linee guida.

OBIETTIVO 6	RIDUZIONE DEL CONSUMO DI RISORSE E DEGLI IMPATTI SUL SUOLO
STRATEGIA S6.2	Ridurre gli impatti generati sul suolo in tutte le fasi del ciclo di vita dell'impianto
INDIRIZZO 6.2.3	PREVISIONE DI SISTEMI DI MONITORAGGIO DELLA FERTILITÀ DEL SUOLO IN SEGUITO ALLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO

La dismissione di un impianto agrivoltaico rappresenta un momento critico per la conservazione delle funzionalità ecosistemiche del suolo, richiedendo strategie di monitoraggio volte a garantire il ripristino della fertilità e la continuità delle attività agricole. L'alterazione della struttura del suolo dovuta alla presenza prolungata di infrastrutture e all'eventuale compattazione causata dall'installazione e dalla manutenzione dell'impianto può influenzare negativamente la capacità di ritenzione idrica, la biodiversità del microbiota e la disponibilità di nutrienti essenziali per le colture (Regan et al., 2022). In fase realizzativa e di dismissione dell'impianto occorre rispettare la stratigrafia pedologica del terreno destinato alla coltivazione, prevedendo mezzi leggeri per minimizzare il compattamento del suolo e programmando le attività in periodi in cui il terreno, asciutto, non viene coltivato. In caso di danni provocati in fase di realizzazione o dismissione, è necessario prevedere misure adeguate a ripristinare la struttura originaria del suolo, evitando alterazioni permanenti che possano compromettere la produttività agraria e la funzionalità ecologica dell'area. Un sistema di monitoraggio post-dismissione dovrebbe basarsi su una combinazione di indicatori fisici, chimici e biologici, valutando parametri quali la tessitura del suolo, il contenuto di sostanza organica, il pH, la capacità di scambio cationico e la presenza di microrganismi benefici per la rigenerazione del substrato agrario (Bongiorno et al., 2019). L'impiego di tecniche di agricoltura rigenerativa, come la semina di colture di copertura e la somministrazione di compost o biochar, può accelerare il recupero delle proprietà pedologiche e facilitare la transizione del terreno verso un uso agricolo ottimale (Lal, 2020). Parallelamente, l'implementazione di misure di mitigazione finalizzate alla rinaturalizzazione dell'area può contribuire all'aumento della funzionalità ecosistemica del suolo, migliorando la biodiversità e la connettività ecologica del sito. La creazione di aree vegetate, il ripristino di siepi e la piantumazione di specie autoctone favoriscono la formazione di habitat per la fauna locale e la stabilizzazione della qualità del suolo nel lungo periodo (Agnoletti, 2014). Inoltre, l'integrazione di infrastrutture verdi, come fasce di vegetazione perimetrali e corridoi ecologici, può potenziare la resilienza del territorio ai cambiamenti climatici, migliorando la capacità del suolo di assorbire acqua e riducendo il rischio di erosione (Perring et al., 2015).



Ciclo di vita sostenibile di un impianto agrivoltaico (Rielaborazione grafica da Studio Alami), articolato in quattro fasi principali: Pre-installazione (0.1) – L'area agricola si trova nel suo stato originario, con colture in atto e un uso del suolo funzionale alle pratiche agricole preesistenti; Post-installazione (0.2) – L'impianto agrivoltaico viene installato, comportando una modifica della morfologia del sito attraverso la presenza di strutture di supporto per i pannelli fotovoltaici e l'eventuale inserimento di elementi accessori per la manutenzione.; Implementazione con opere di mitigazione (0.3) – L'adozione di strategie di mitigazione, tra cui la piantumazione di alberature, la creazione di aree vegetate e il ripristino di habitat ecologici, permette di compensare l'impatto dell'installazione e migliorare la biodiversità dell'area.; Dismissione del sistema (0.4) – Una volta giunta al termine la vita utile dell'impianto, la rimozione delle strutture consente il ripristino dell'agibilità del suolo, con la possibilità di incrementare la funzionalità ecosistemica del sito attraverso opere di rinaturalizzazione.

L'adozione di sistemi di telerilevamento e sensori in situ per il monitoraggio continuo delle condizioni del suolo consente di raccogliere dati utili a valutare l'efficacia delle strategie di ripristino e a definire eventuali interventi correttivi (Gebbers & Adamchuk, 2010). L'integrazione di queste tecnologie con approcci partecipativi, coinvolgendo agricoltori e ricercatori nella gestione dei dati e nella pianificazione delle azioni di recupero, può contribuire a una maggiore sostenibilità dell'intervento, riducendo il rischio di perdita di produttività e promuovendo un uso efficiente delle risorse disponibili.

7.2 EASY APV tool - Environmental Sustainability of AgriPhotoVoltaic

Un ulteriore esito delle attività svolte è costituito da uno strumento di supporto decisionale l'“EASY APV tool - Environmental Sustainability of AgriPhotoVoltaic” finalizzato a valutare i livelli di rispondenza di un progetto ai sei obiettivi di sostenibilità ambientale: 01. Integrazione fra produzione agricola ed energetica, 02. Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica, 03. Efficienza della produzione energetica, 04. Resilienza climatica, 05. Salvaguardia e promozione della biodiversità, 06. Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo. Ogni obiettivo è specificato nel tool attraverso un set di requisiti a cui corrispondono uno o più indicatori di tipo qualitativo o quantitativo per i quali sono fissati dei valori-soglia.

Tabella 11 – Tabella di sintesi di obiettivi, requisiti e indicatori dell'EASY APV Tool

Obiettivi, Requisiti e Indicatori per il controllo della sostenibilità ambientale del progetto di sistemi agrivoltaici					
O	Obiettivi	R	Requisiti	I	Indicatori
01	Integrazione fra produzione agricola ed energetica	R1.1	Adeguatezza spaziale e tecnologica	I 1.1.1	Superficie destinata all'attività agricola / zootecnica
				I 1.1.2	Superficie coperta dai moduli fotovoltaici (LAOR)
				I 1.1.3	Altezza dei moduli rispetto al suolo
02	Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica	R2.1	Produttività agricola	I 2.1.1	Selezione di colture appropriate
		R2.2	Ottimizzazione della radiazione solare al suolo nella sinergia impianto-culture	I 2.2.1	Disponibilità di radiazione solare al suolo
		R2.3	Gestione ecoefficiente della risorsa idrica	I 2.3.1	Sistemi per la raccolta, il trattamento e il riuso delle acque per usi irrigui
				I 2.3.2	Sistemi d'irrigazione volti all'efficientamento della risorsa idrica
		R2.4	Tutela delle specie autoctone e/o endemiche	I 2.4.1	Indirizzi produttivi locali
R2.5	Conduzione di pratiche agricole sostenibili	I 2.5.1	Adozione di un regime di conduzione ad alta sostenibilità		
03	Efficienza della produzione energetica	R3.1	Produttività energetica	I 3.1.1	Produttività elettrica specifica dell'impianto agrivoltaico
		R3.2	Efficienza energetica	I 3.2.1	Tecnologie innovative, sperimentali e/o ad alta efficienza
		R3.3	Promozione dell'autoconsumo e dell'autosufficienza energetica	I 3.3.1	Fabbisogno energetico aziendale coperto tramite l'energia prodotta dall'impianto agrivoltaico
04	Resilienza climatica	R4.1	Regolazione del ciclo del carbonio	I 4.1.1	Soluzioni per la regolazione della riserva di carbonio dell'agroecosistema
		R4.2	Verifica dei parametri microclimatici	I 4.2.1	Sistemi per il monitoraggio dei parametri ambientali
		R4.3	Mitigazione degli impatti generati da eventi climatici estremi	I 4.3.1	Soluzioni per la riduzione degli impatti sulle colture generati da avversità climatiche
I 4.3.2	Soluzioni per la ritenzione del sedimento asportato a opera delle piogge				
05	Salvaguardia e promozione della biodiversità	R5.1	Tutela della funzionalità ecologica dell'habitat e della biodiversità vegetale e animale dei siti	I 5.1.1	Interventi di mitigazione e compensazione
				I 5.1.2	Connettività del sito e presenza di corridoi ecologici
06	Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo	R6.1	Circularità delle risorse	I 6.1.1	Materiali, elementi e componenti riciclati e/o riciclabili
		R6.2	Riduzione degli impatti sul suolo	I 6.2.1	Strutture che consentono la riduzione degli impatti sul suolo e la reversibilità dell'intervento
6	OBIETTIVI	15	REQUISITI	20	INDICATORI

Per la definizione degli indicatori si è tenuto conto dei principali strumenti normativi e indirizzi di natura non cogente vigenti in Italia, della letteratura tecnico-scientifica di riferimento e degli indirizzi europei sul tema della sostenibilità ambientale (CICES - *Common International Classification of Ecosystem Services*). Per alcuni indicatori si è fatto riferimento ai punti di controllo contenuti nella *Certificazione agrivoltaico sostenibile*[®] redatta dall'Associazione Italiana Agrivoltaico Sostenibile (AIAS) in collaborazione con RINA. Gli indicatori, dopo un processo di normalizzazione, sono stati partizionati in tre classi, corrispondenti al livello di soddisfacimento dell'indicatore (0=basso; 1=medio; 2=alto). Secondo un approccio gerarchico per ogni categoria - obiettivi, requisiti e indicatori - è stato attribuito un peso attraverso il

metodo a conoscenza esperta. Il punteggio finale della valutazione è fornito dalla media pesata di tutti gli indicatori ed esprime quattro livelli di sostenibilità ambientale mentre, attraverso un grafico radar, sono visualizzabili i livelli di rispondenza del progetto analizzato rispetto ai sei obiettivi di sostenibilità ambientale.



Anagrafica progetto	
Tipologia impianto	Parco Agrivoltaico con sottocampi di Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3
Localizzazione	Santa Maria La Fossa, Grazzanise (CE)
Latitudine	41.1075° N
Longitudine	14.1220° E
Altitudine	12m slm
Progettisti	arch. Emanuela Miele
Proponente	CdS SUE - Università degli Studi di Napoli Federico II
Superficie del sistema (Stot)	6 ha
Superficie agricola (Sagr)	4.9 ha
Potenza dell'impianto (MWp)	3 MWp

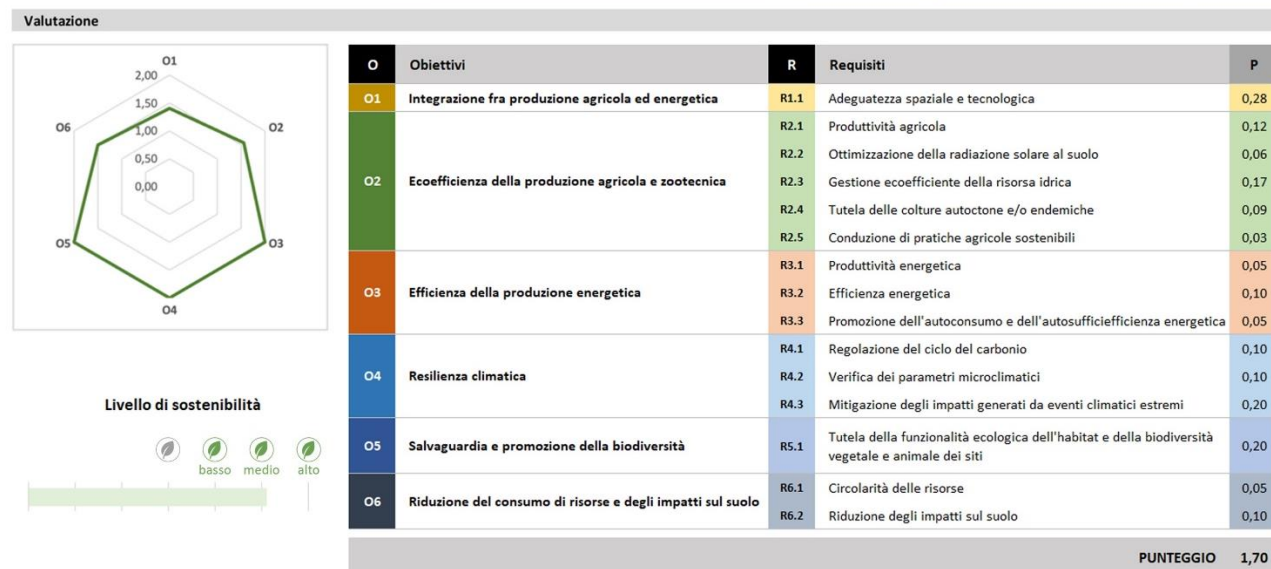


Figura 12 – Schermata di valutazione del livello di sostenibilità ambientale di un progetto APV elaborata con l'EASY APV tool nell'ambito di una sperimentazione progettuale

Il tool sviluppato in ambiente Excel ha una interfaccia user friendly con una schermata di avvio sintetica con obiettivi, requisiti e indicatori associati ai rispettivi pesi. Ogni indicatore rimanda a una scheda di approfondimento che definisce le finalità, il metodo di verifica, i riferimenti normativi e/o bibliografici e una sezione dedicata al calcolo.

Il tool è stato sottoposto a una fase di testing, con il duplice scopo da un lato di tarare soglie, range e benchmark degli indicatori, dall'altro di verificare la correttezza delle procedure e l'usabilità dell'interfaccia.

Obiettivo	Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica	O2
Requisito	Produttività agricola	R2.1
<i>Descrizione</i>	Attitudine del sistema agrivoltaico a valorizzare il potenziale produttivo del sistema agricolo.	
Indicatore	Selezione di colture appropriate	I2.1.1
<i>Descrizione</i>	L'indicatore fornisce informazioni indirette sulla potenziale resa agricola sulla base della tolleranza delle diverse colture all'ombreggiamento.	
<i>Verifica</i>	Le specie/cultivar previste nell'ambito del sistema agrivoltaico sono:	
	<i>Check</i>	Punteggio
	<input type="checkbox"/> Coltivazioni suscettibili: diminuzione della resa più che proporzionale rispetto al livello di ombreggiamento	0
	<input type="checkbox"/> Coltivazioni tolleranti: diminuzione della resa meno che proporzionale rispetto al livello di ombreggiamento	1
	<input type="checkbox"/> Coltivazioni beneficate: aumento della resa entro uno specifico livello di ombreggiamento	2
	Risultato	
<i>Parametri e metodo di verifica</i>	<p>Riduzione della radiazione solare sotto i pannelli (RSR, Relative Shade Rate) $RSR [\%] = (\text{Radiazione sotto i pannelli fotovoltaici} / \text{Radiazione piena luce}) * 100$</p> <p>La resa di ciascuna specie o cultivar mostra una specifica curva di risposta in relazione a crescenti livelli di RSR, nonché una specifica soglia di tolleranza massima all'ombreggiamento.</p> <p><i>Coltivazioni suscettibili</i> : cereali e leguminose da granella; marcata intolleranza all'ombreggiamento, con significative perdite di resa già a livelli di RSR del 1%.</p> <p><i>Coltivazioni tolleranti</i> : foraggi, ortaggi da foglia, tuberi e radici; decrementi di resa meno che proporzionali per livelli di RSR entro il 20%.</p> <p><i>Coltivazioni beneficate</i> : frutti di bosco, fruttiferi maggiori ed ortaggi da frutto; potenziali incrementi di resa fino a livelli di RSR rispettivamente del 30, 25 e 20%.</p>	
<i>Strumento di simulazione</i>	https://hyperfarm.eu/webtool/	
<i>Riferimenti</i>	<p>Linee Guida MASE - Requisito D (D.2); Regole operative DM Agrivoltaico - Requisito 2.D.1; UNI/PdR 148:2023 - par.8.3. Linee tecnico agronomiche della Regione Campania in materia di impianti agrivoltaici; Laub, M., Pataczek, L., Feuerbacher, A., Zikeli, S., & Högy, P. (2022). Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems: a meta-analysis. <i>Agronomy for Sustainable Development</i>, 42(3), 51.</p> <p>Magarelli, A., Mazzeo, A., & Ferrara, G. (2024). Fruit Crop Species with Agrivoltaic Systems: A Critical Review. <i>Agronomy</i>, 14(4), 722.</p> <p>Touil, S., Richa, A., Fizir, M., & Bingwa, B. (2021). Shading effect of photovoltaic panels on horticulture crops production: A mini review. <i>Reviews in Environmental Science and Bio/Technology</i>, 20(2), 281-296.</p>	

Figura 13 – Scheda indicatore 2.1.1 Selezione di colture appropriate

Riferimenti bibliografici

Agnolletti, M. (2014). Rural landscape, nature conservation and culture: Some notes on research trends and management approaches from a (southern) European perspective. *Landscape and Urban Planning*, 126, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.012>

Amaducci, S., Yin, X. & Colauzzi, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy*, 220, 545–561. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.081>

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). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848–855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>

BirdLife International (2015). The Messengers: What birds tell us about threats from climate change and solutions for nature and people. <https://www.birdlife.org/papers-reports/the-messengers/>

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>

Donald, P. F. & Evans, A. D. (2006). Habitat connectivity and matrix restoration: the wider implications of agri-environment schemes. *Journal of Applied Ecology*, 43(2), 209–218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01146.x>

Drobnik, T., Greiner, L., Keller, A., Grêt-Regamey, A. (2018). Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. *Ecological Indicators*, 94 (Part 1), 151–169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.052>

Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2011). Biodiversity for Food and Agriculture: Contributing to food security and sustainability in a changing world. https://www.fao.org/fileadmin/templates/biodiversity_paia/PAR-FAO-book_lr.pdf

Forman, R. T. T. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/highereducation/books/land-mosaics/802680A6A7DA2CF9D80A2DD115D2CD4F>

GSE – Gestore dei Servizi Energetici (2023). Sviluppo agrivoltaico: attuazione misure PNRR. <https://www.gse.it/servizi-per-te/attuazione-misure-pnrr/sviluppo-agrivoltaico>

Haines-Young, R. & Potschin, M. (2018). Revision of the Common International Classification for Ecosystem Services (CICES V5.1): A Policy Brief. *One Ecosystem*, 3, e27108. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108>

Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B. J., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, J. W., Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., Tabor, G. M. (2020). Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. IUCN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-030-En.pdf>

ISPRA (2001). Le misure di mitigazione e di compensazione. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00000600/601-tv-mitigazioni.pdf>

Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>

- Lal, R. (2020). Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(2), 27A–32A. <https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.27A>
- Laub, M., Pataczek, L., Feuerbacher, A., Nendel, C., Glaser, R., Hötger, M., Schnabel, S., Hoffmann, C. (2022). Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(51). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00783-7>
- Magarelli, A., Mazzeo, A., Ferrara, G. (2024). Fruit crop species with agrivoltaic systems: A critical review. *Agronomy*, 14(4), 722. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040722>
- MASE – Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica (2022). Linee guida in materia di impianti agrivoltaici. https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/linee_guida_impianti_agrivoltaici.pdf
- MASE – Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023). Decreto Agrivoltaico – Regole operative. <https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNRR/ROAGR%20Allegato%201.pdf>
- MEA – Millenium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Island Press, Washington, DC.
- Oudes, D. & Stremke, S. (2021). Next generation solar power plants? A comparative analysis of frontrunner solar landscapes in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111101. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111101>
- Oudes, D., van den Brink, A., Stremke, S. (2022). Towards a typology of solar energy landscapes: Mixed-production, nature based and landscape inclusive solar power transitions. *Energy Research & Social Science*, 91, 102742. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102742>
- Perring, M. P., Standish, R. J., Hobbs, R. J. (2013). Incorporating novelty and novel ecosystems into restoration planning and practice in the 21st century. *Ecological Processes*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/2192-1709-2-18>
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A., Weber, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 265, 114737. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>
- Scognamiglio, A. (2016). ‘Photovoltaic landscapes’: Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 629–661. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.072>
- Toledo, C. & Scognamiglio, A. (2021). *Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns)*. *Sustainability*, 13(12), 6871. <https://doi.org/10.3390/su13126871>
- Touil, S., Richa, A., Fizir, M., Bingwa, B. (2021). Shading effect of photovoltaic panels on horticulture crops production: A mini review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 20. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09572-2>
- Turner, M. G., Gardner, R. H., O'Neill, R. V. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-2794-4>
- Walston, L., Barley, T., Bhandari, I., Campbell, B., McCall, J., Hartmann, H., Dolezal, A. (2022). Opportunities for agrivoltaic systems to achieve synergistic food-energy-environmental needs and address sustainability goals. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 932018. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.932018>
- Weselek, A., Bauerle, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: Applications, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>

8. Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state utilizzate consulenze all'interno della LA2.7 per l'esecuzione delle attività di ricerca e l'ottenimento dei risultati.

9. Pubblicazioni scientifiche

- Marandino, F., Santomartino, G. (2024), "The Role of Innovative PV-Green Integrated System for Energy-Food Production in the Nexus Approach Towards Energy Transition". In *INTERNATIONAL SYMPOSIUM: New Metropolitan Perspectives* (pp. 224-234). Springer, Cham.
- D'Ambrosio V., Tersigni E. (2025), "Sistemi agrivoltaici innovativi: soluzioni integrate per habitat climate resilient / Innovative agrivoltaic systems: integrated solutions for climate resilient habitats", *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, n.29, accettato a dicembre 2024, IN PRESS.

10. Eventi di disseminazione

I principali eventi di disseminazione delle attività di ricerca hanno riguardato:

- Marandino, F., Santomartino, G., Tersigni, E., Relazione nell'ambito della EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024. Titolo del contributo "Photovoltaic-Green Systems for Urban Transition. An Integrated Approach for the Assessment of Food-Energy-Water mutual benefits in the Emergent Habitat", EGU24-17669, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-17669>, 2024.
- D'Ambrosio V. Tersigni E. (Coordinamento), organizzazione del Convegno Internazionale "Innovation, experimentation and sustainability for agrivoltaic systems design", che si è svolto a Napoli il 21 ottobre 2024 e online via piattaforma Microsoft Teams. Il Convegno è stato organizzato dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II e da ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile in collaborazione con il Dipartimento di Agraria. Il Convegno è stato patrocinato dalla SITdA - Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura e da AIAS - Associazione Italiana Agrivoltaico Sostenibile.
- D'Ambrosio V., Tersigni E., Relazione nell'ambito dell'International Conference "Innovation, experimentation and sustainability for agrivoltaic systems design", University of Naples Federico II, Department of Architecture, Aula Magna, Palazzo Gravina, Napoli 21 ottobre 2024. Titolo del contributo: "Agrivoltaic systems: integrated solutions for sustainable habitats".
- Pindozi S., Cervelli E., Relazione nell'ambito dell'International Conference "Innovation, experimentation and sustainability for agrivoltaic systems design", University of Naples Federico II, Department of Architecture, Aula Magna, Palazzo Gravina, Napoli 21 ottobre 2024. Titolo del contributo: "Agrivoltaics: A path to Sustainable Energy, Crop Productivity, and Ecosystem Preservation".