



Comune di Penne 	Regione Abruzzo 	Provincia di Pescara 
---	---	--

PROGETTO:

Realizzazione di un Impianto Agrovoltaiico Potenza Nominale 9,453 MWp

Località Colle Trotta, Penne (PE)

STUDIO AGRONOMOICO E FLORO-FAUNISTICO DEL SITO DI PROGETTO

<p>Soggetto Proponente</p> <p>v·ridium SOLAR ABRUZZO 1 S.R.L. VIA Del Plebiscito N° 112 00186 ROMA Legale Rappresentante Ing. Sergio Chiericoni</p>			
Redazione documento			
Data emissione	21/10/2022	Formato A4Documento Rel	Revisione 01
			N. Doc 01 AF
	Nome del Professionista	Firma	
Studio Agronomico e analisi generale	Dott. Agronomo Mario Di Giacomo		
Consulenza botanica, bioclimatica, eco-ambientale	Dott. forestale. Angelo Pellicciotti		
Supervisione	Ing Paolo Biagiola logos ENGINEERING Studio di Ingegneria Associato		

Penne, 21/10/2022

Sommario

Premessa.....	4
1 Descrizione del progetto	4
2 Effetti microclimatici sulle piante nel sistema agri-voltaico	9
2.1 Radiazione solare	11
2.2 Temperatura	14
2.3 Evapotraspirazione.....	15
3 Esperienze di coltivazione in condizione di ombreggiamento.....	15
4 Stato attuale della superficie agricola interessata dall’impianto agri-voltaico	16
5 Piano di coltivazione agronomica	19
5.1 Coltivazione del grano, orzo, cece, erba medica.....	19
5.2 Integrazione coltura-fotovoltaico	21
5.3 Sostenibilità economica dell'attività agricola.....	23
5.4 Monitoraggio delle produzioni agricole nel sistema agri-voltaico	24
5.5 Aspetti vegetazionali e faunistici	25
6 Miglioramento della qualità dell’agroecosistema e mitigazione degli impatti	26
7 Analisi multicriterio	27
7 Conclusioni	28

Premessa

Il 27 giugno 2022 sono state pubblicate le **"Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici"** e contestualmente è stata avviata la consultazione pubblica sulla misura per la concessione dei benefici previsti dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.

Al Gruppo di lavoro coordinato dal MITE ha contribuito l'ENEA per giungere alla scrittura del documento tramite l'apporto della Task force Agrivoltaico Sostenibile. Al gruppo di lavoro hanno partecipato anche CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, GSE - Gestore dei servizi energetici S.p.A. ed RSE - Ricerca sul sistema energetico S.p.A.. Il documento descrive le caratteristiche minime e i requisiti che un impianto fotovoltaico dovrebbe possedere per essere definito agrivoltaico, sia per ciò che riguarda gli impianti più avanzati, che possono accedere agli incentivi PNRR, sia per ciò che concerne le altre tipologie di impianti agrivoltaici, che possono comunque garantire un'interazione più sostenibile fra produzione energetica e produzione agricola. La relazione agronomica che segue si conforma e ottempera alle linee guida per una soluzione progettuale e una gestione agronomica integrate in maniera ottimale e sostenibile sia sotto l'aspetto ambientale sia sotto quello economico e tecnico-funzionale.

1 Descrizione del progetto

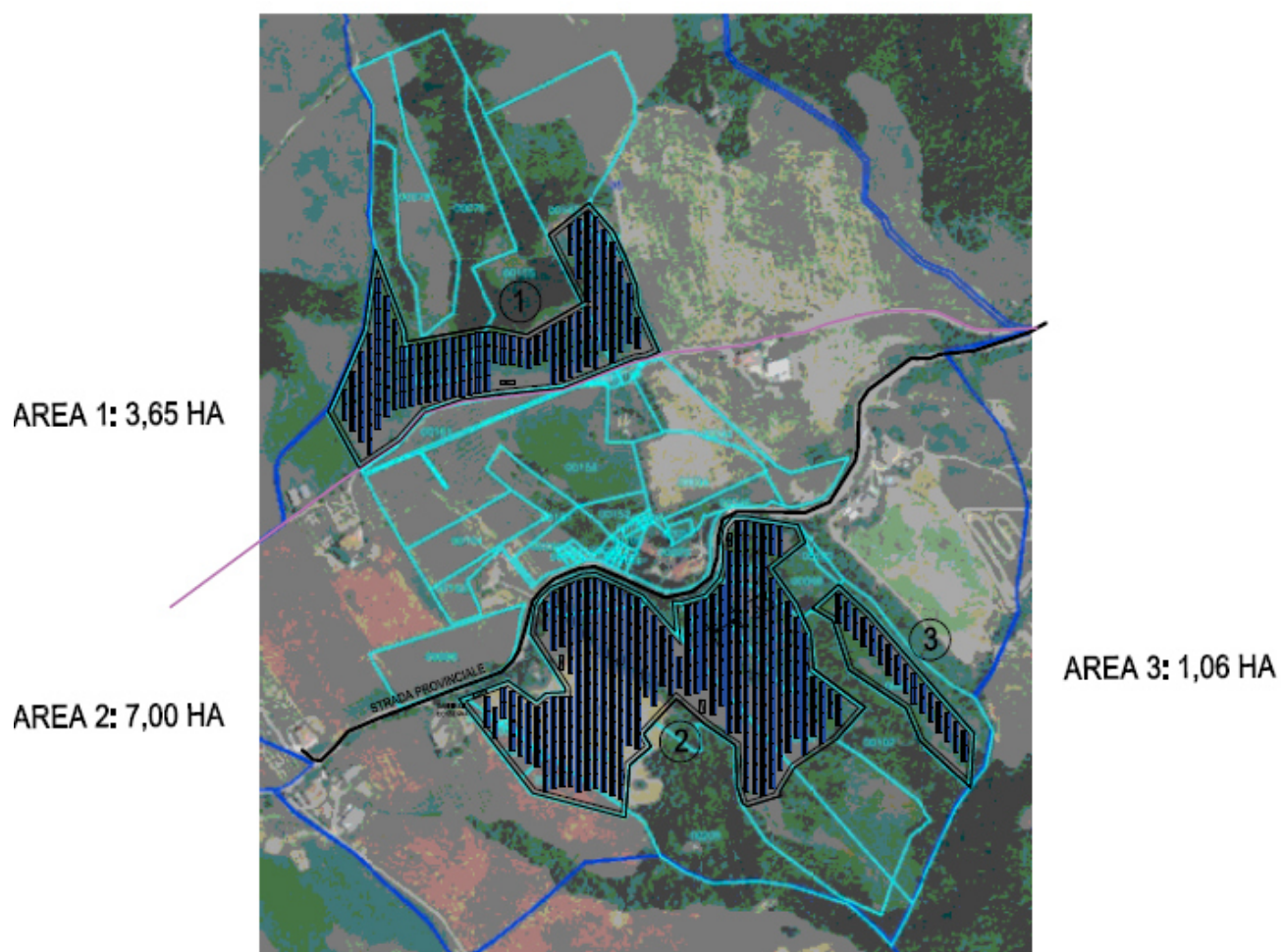
La superficie interessata dal progetto fotovoltaico è un terreno agricolo situato nella frazione di Colle Trotta (Comune di Penne), che si estende su una superficie di circa 15 ettari, attualmente coltivata a seminativi cerealicoli in rotazione agronomica.

L'installazione si articola in 3 campi agro-fotovoltaici dislocati, il primo sul versante collinare a nord della SP 52, il secondo e il terzo, in esposizione opposta, sul versante a sud della strada.

Campo agrovoltaico	Foglio di mappa NCT	Mappali n°	Sup. cata- stale ha	Sup. im- pianto ha
AV1	35	41-79-145-155		3,65
AV2	35	8-61-87-9920 6-207-208-21 1-212		7,0
AV3	35	54		1,06

Tab.1 Prospetto particellare

Il progetto di sviluppo aziendale riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra a inseguimento solare, organizzato in filari nord-sud con interfila media di 5 m e ampiezza dell'interfilare variabile da un minimo di 4 a un massimo di 6 m, in funzione della pendenza del terreno. In tutte le situazioni l'ampiezza è sufficiente per consentire la coltivazione in maniera adeguata. Le ali fotovoltaiche, che presentano movimentazione est-ovest, sono incernierate a 2,3 m di altezza su piloni semplicemente inseriti nel terreno senza alcun manufatto cementizio. I pali battuti nel terreno sono agevolmente rimovibili a fine vita dell'impianto e non determinano alcun impatto residuo sul terreno agricolo. Il sistema agrofotovoltaico, per le sue caratteristiche costruttive, consente l'esercizio della coltivazione e la produzione di energia elettrica rinnovabile.



Tav. 1 Area di progetto suddivisa in 3 campi agro-fotovoltaici.



Tav. 2 Estratto di mappa catastale F° 35 NCT Penne, piano particellare del Campo agro-fotovoltaico 1



Tav. 2 Estratto di mappa catastale F° 35 NCT Penne, piano particellare dei Campi agro-fotovoltaici 2 e 3

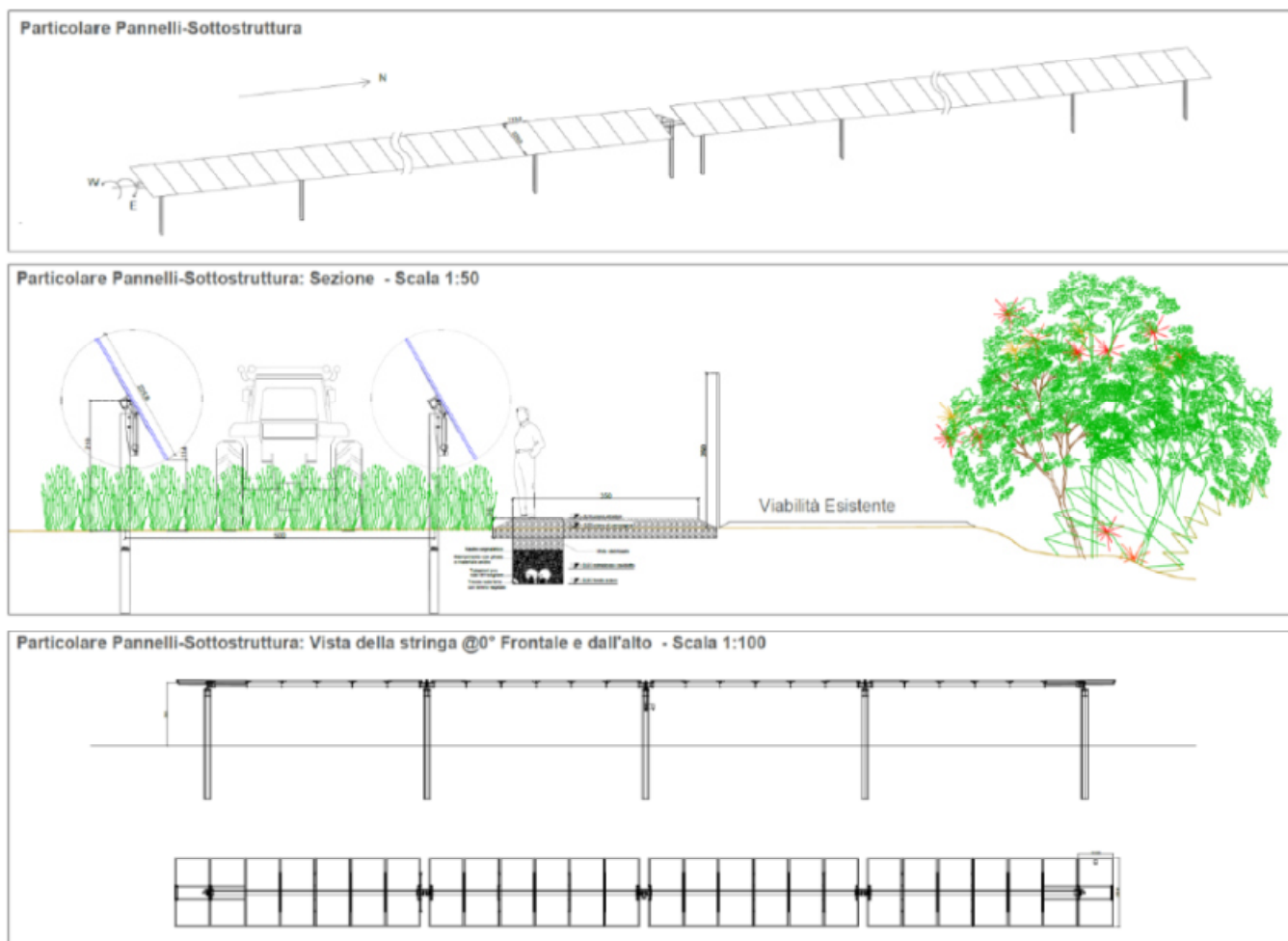
Considerati i dati progettuali, la copertura fotovoltaica determina tra i filari una zona (corridoi) in proiezione orizzontale sgombra di pannelli di larghezza variabile in funzione dell'ora del giorno, da un minimo di 2,75 m (mezzogiorno, ora solare) and un massimo di 3,8 m (alba e tramonto), ovvero variabile dal 55% al 76% della superficie disponibile (Fig. 2).

I corridoi tra i filari fotovoltaici consentono la necessaria movimentazione dei mezzi meccanici per la coltivazione e per la gestione delle ordinarie attività connesse. Il progetto prevede un Piano di coltivazione con colture non permanenti a seminativo a indirizzo cerealicolo (grano tenero o duro unitamente ad altri cereali autunno-vernini tipici della zona), alternato alla coltivazione di leguminose erbacee da granella (cece, specie rinnovatrice) e da foraggio (erba medica), coltura leguminosa quest'ultima miglioratrice del terreno. In tutti i casi parliamo di essenze microterme a ciclo autunno-primaverile che risultano ben adatte alle condizioni microclimatiche che si vengono a realizzare all'interno dell'impianto fotovoltaico. Tale scelta, che verrà descritta nel prosieguo, abbinata alla realizzazione di una fascia inerbita di piante aromatiche e mellifere in corrispondenza dei pali tracker, ha indubbi vantaggi in termini di conservazione della qualità

del suolo (accumulo di sostanza organica), incremento della biodiversità, la diffusione e la protezione delle api selvatiche e di altri indispensabili insetti impollinatori. Inoltre il popolamento di predatori e antagonisti dell'entomofauna naturale così costituita consentono il controllo delle più comuni fitopatologie fungine e parassitarie delle coltivazioni. La produttività della rotazione cereali-leguminose non risulterebbe alterata dalla presenza della copertura fotovoltaica, al contrario si può avere la possibilità di aumentare la produttività e la conseguente marginalità rispetto alle condizioni di pieno sole. soprattutto nelle annate più siccitose, per l'effetto di contenimento dell'evapotraspirazione ad opera dei pannelli fotovoltaici, come dimostrato dalla letteratura internazionale citata nella relazione.



Figura 1. Vista dal basso dell'area 1, sito di installazione dell'impianto agrfotovoltaico.



Figur 1, 2e 3. Schema di installazione delle struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici.

2 Effetti microclimatici sulle piante nel sistema agri-voltaico

La presenza dei pannelli fotovoltaici determina alcune modificazioni microclimatiche riferibili alla disponibilità di radiazione solare, alla temperatura, e all'umidità dell'atmosfera e del suolo, che possono avere effetti positivi, nulli o negativi, in funzione delle specifiche esigenze della specie vegetale coltivata (Vamerali 2021).

Nello specifico la connotazione climatica del sito può definirsi di tipo caldo e temperato. Si riscontra una piovosità significativa e distribuita in maniera abbastanza omogenea durante l'arco dell'anno. Anche nei mesi maggiormente siccitosi (luglio e agosto) si registrano precipitazioni superiori a 50 mm mensili.

La classificazione del clima come stabilito da Köppen e Geiger risulta di tipo temperato con estate calda ma senza aridità denominata di tipo sub tropicale umido (Cfa).

I principali gruppi climatici proposti dagli autori si basano sui tipi di vegetazione presenti in una data regione. Oltre a identificare il clima, la classificazione può essere utilizzata per analizzare le condizioni dell'ecosistema e identificare le facies vegetazionali

caratteristiche della zona studiata. Per il suo legame con la vegetazione di una data regione, il sistema è utile per prevedere i cambiamenti bioclimatici a livello locale.

Per la stazione di Penne si registra una temperatura media annua di 12.5 °C, le temperature medie, durante l'anno, tra il mese più freddo (Gennaio) e il più caldo (Luglio), variano di 18.8 °C. Luglio è il mese più caldo con una temperatura media di 22.2 °C mentre il mese più freddo risulta Gennaio con una media di 3.4 °C.

La piovosità media annuale è pari a 868 mm. mentre è di 52 mm la pioggia di Luglio, che è il mese più secco. Con una media di 91 mm il mese di Novembre è quello con maggiori precipitazioni, la differenza di pioggia tra il mese più secco e quello più piovoso è di 39 mm..

Il valore più basso per l'umidità relativa viene misurato a Luglio (65.39 %) quella più alta a Dicembre (82.32 %).

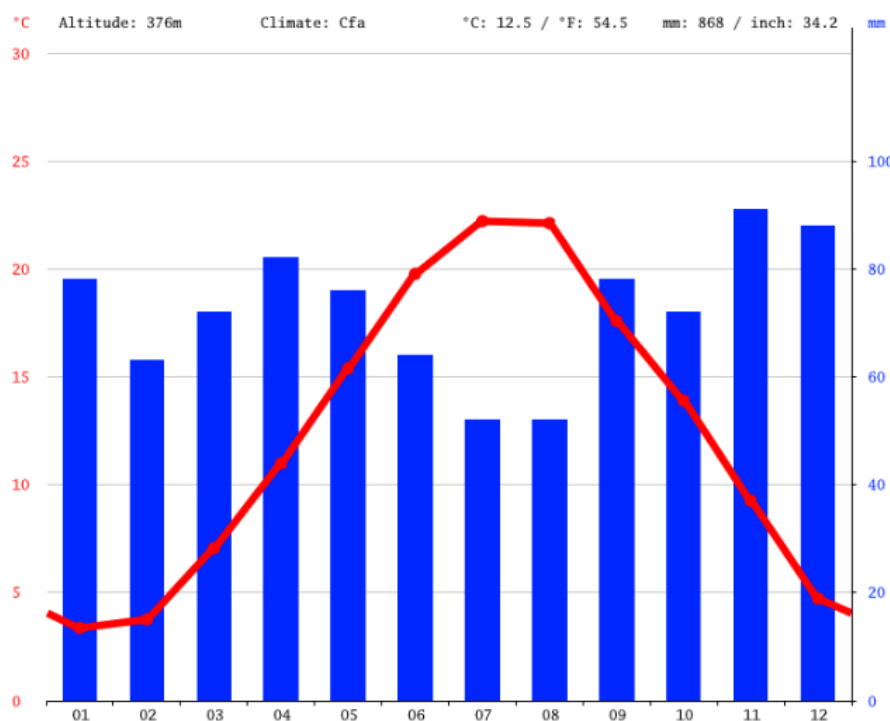


Figura 4 Diagramma termo pluviometrico. Data: 1999 - 2019:

In media, il minor numero di giorni di pioggia si registra a Luglio (giorni: 6.87) mentre il mese con più giorni piovosi è Aprile (giorni: 11.47).

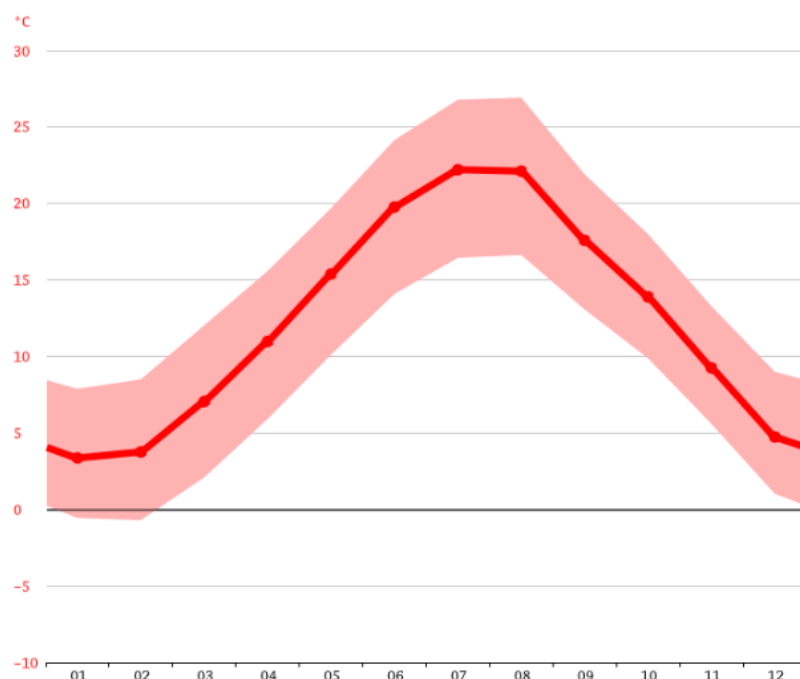


Figura 5 Diagramma delle temperature medie, minime e massime mensili Data: 1999 - 2019:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	3.4	3.8	7.1	11	15.4	19.8	22.2	22.1	17.6	13.9	9.3	4.7
Temperatura minima (°C)	-0.6	-0.7	2.1	5.9	10.1	14.1	16.5	16.6	13.1	9.9	5.6	1
Temperatura massima (°C)	7.9	8.5	12	15.6	19.7	24.2	26.8	26.9	21.9	18	13.3	9
Precipitazioni (mm)	78	63	72	82	76	64	52	52	78	72	91	88
Umidità(%)	82%	79%	76%	74%	73%	69%	65%	67%	74%	80%	82%	82%
Giorni di pioggia (g.)	8	7	8	9	9	7	5	6	7	7	7	8
Ore di sole (ore)	5.8	6.6	7.9	9.5	10.9	12.2	12.4	11.5	9.4	7.0	6.2	5.7

Figura 6 Temperatura minima (°C), Temperatura massima (°C), Precipitazioni (mm), Umidità, Giorni di pioggia. Data: 1999 - 2019:

2.1 Radiazione solare

La radiazione solare è un fattore essenziale per le piante, garantendo lo svolgimento della fotosintesi clorofilliana, determina l'accrescimento e la produttività delle coltivazioni agricole. Le piante utilizzano solo una minima parte della radiazione solare, dal 2% al 5%, ed in particolare possono impiegare per la fotosintesi solo la frazione visibile, definita PAR (radiazione fotosinteticamente attiva), compresa tra 400 e 700 nm di lun-

ghezza d'onda; questa frazione dello spettro solare rappresenta circa il 40% dell'energia della radiazione globale. Le piante peraltro riflettono dalla superficie delle foglie il 25% della radiazione globale, pari al 10% della componente utile PAR (Vamerali 2021).

In condizioni normali di pieno sole, la radiazione globale che raggiunge la superficie del terreno si compone per metà di radiazione diretta, e per metà di radiazione diffusa, priva di direzione prevalente. La presenza di pannelli fotovoltaici riduce la percentuale di radiazione diretta, ovvero quella che raggiunge direttamente il suolo, con intensità variabile in funzione della distanza dal filare fotovoltaico, dell'ora del giorno e della stagione, mentre si prevede un aumento della quantità di radiazione diffusa (Vamerali 2021).

Nell'area esaminata il mese di Luglio registra il maggior numero di ore di sole giornaliere, in media si misurano 12,5 ore/die per un totale mensile di 386 ore; a Gennaio, viceversa, si registra il minor numero di ore di irraggiamento giornaliero con una media di 5.5 ore e un totale per il mese di 178 ore di sole. Complessivamente si contano circa 3201 ore di irraggiamento durante tutto l'anno che in media corrispondono a 105 ore di esposizione solare al mese.

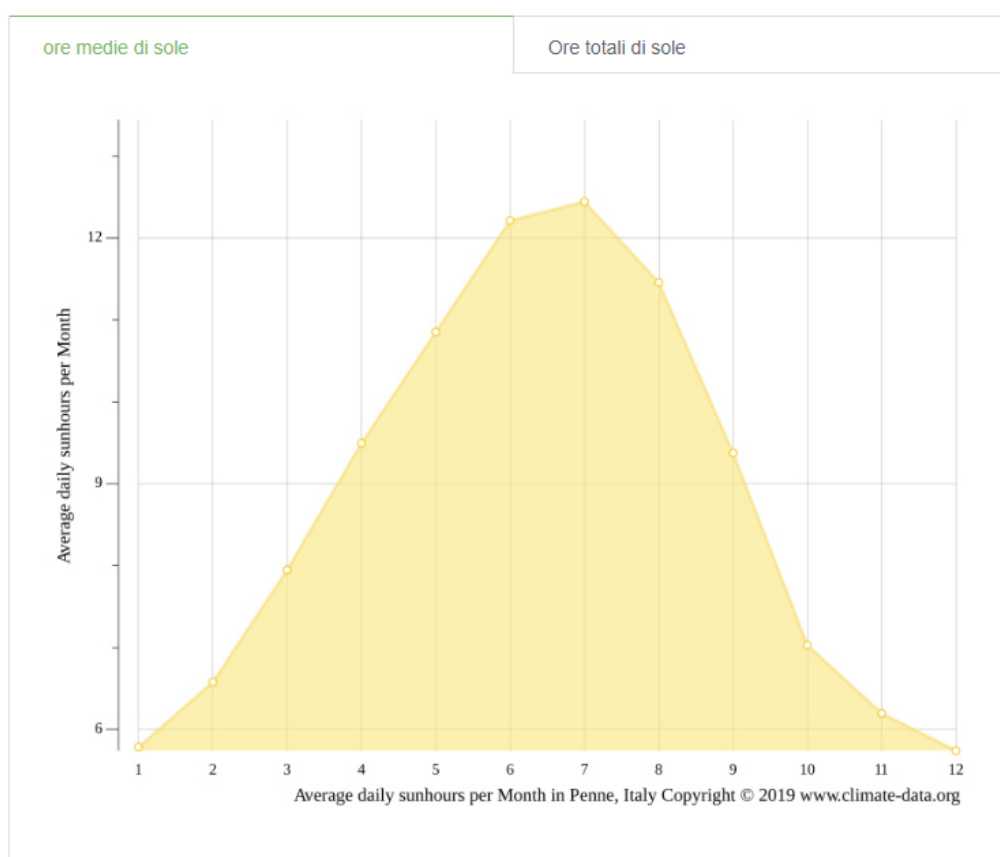


Figura 7 Eliofania (numero di ore di irraggiamento solare) medio mensile.

Nel sistema agro-fotovoltaico di progetto si stima che la riduzione media annua della radiazione diretta sia dell'80% nelle zone immediatamente adiacenti al disotto del filare di pannelli (traker), fino a circa 1 m di distanza dall'asse, mentre nella zona centrale dell'interfilare la riduzione è stimata al 35-40%. In realtà, queste diminuzioni devono

considerarsi meno marcate nel periodo primaverile-estivo, durante il quale si realizza lo sviluppo delle maggior parte delle piante coltivate, per effetto del maggior angolo di elevazione solare. Inoltre, la tipologia mobile della struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici, a causa della riflessione, consente alle coltivazioni sottostanti di sfruttare la radiazione sia riflessa che diffusa degli stessi pannelli (Vamerali 2021).

Considerando il livello di saturazione della fotosintesi per l'intensità luminosa (valore limite oltre il quale il processo biochimico si arresta), le piante vengono classificate in eliofile e sciafile. Le specie eliofile richiedono una elevata quantità di radiazione, mentre le sciafile soffrono di un eccesso di illuminazione. La maggior parte delle piante coltivate devono essere considerate sciafile facoltative in quanto nelle normali condizioni di coltivazione l'elevata fittezza di semina comporta sempre l'instaurarsi di un ambiente sub-ottimale per l'illuminazione (Vamerali 2021).

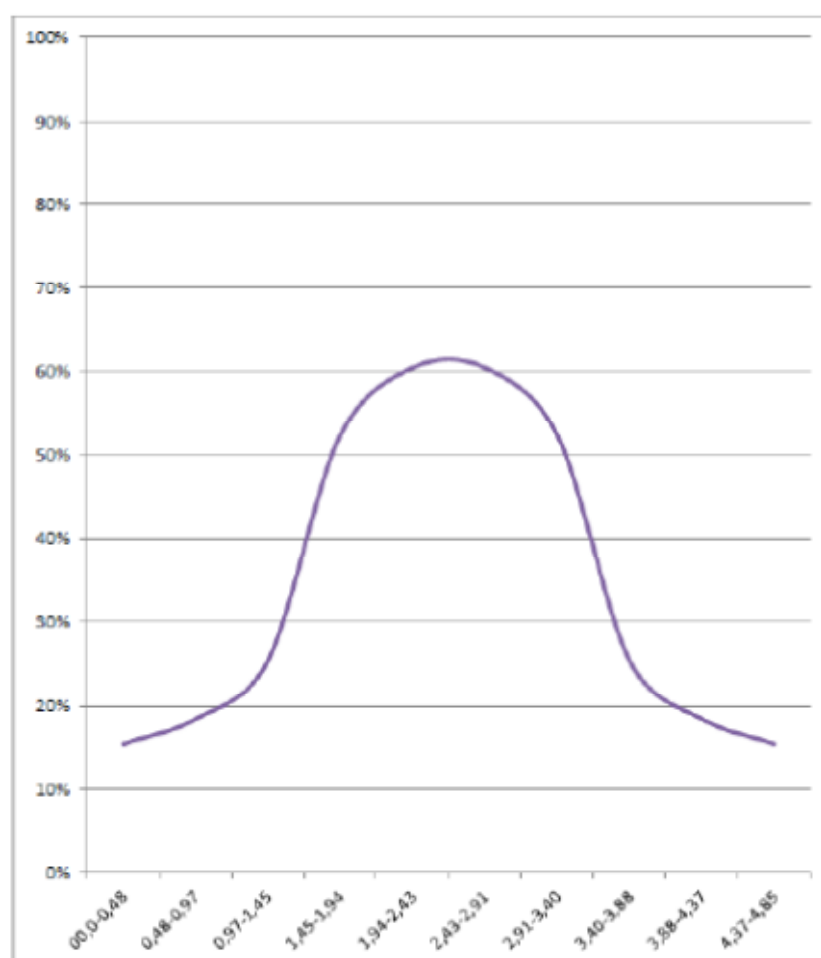


Figura 8. Disponibilità di radiazione solare diretta in funzione della distanza dal filare (valori medi annui) espressa come percentuale rispetto al pieno sole.

In generale, si considerano piante con elevate esigenze di intensità di radiazione i cereali estivi, le piante da zucchero, le specie oleaginose, da fiore e da frutto. Sono invece considerate sciafile, con basse esigenze luminose, le specie da fibra, le piante foraggere e alcune piante orticole, nelle quali l'elevata fittezza di semina e l'ombreggiamento ven-

gono realizzati agronomicamente per accentuare l'allungamento dei fusti e quindi la produzione di fibra, foraggio e foglie. Nell'insalata, ad esempio, un leggero ombreggiamento aumenta la dimensione fogliare e riduce lo spessore delle foglie, rendendo il prodotto di migliore qualità commerciale. (Vamerali 2021)

2.2 Temperatura

La temperatura dell'aria è legata alla radiazione solare, tuttavia l'ombreggiamento non determina una riduzione della temperatura dell'aria in un sistema aperto ma uno sfasamento termico, con un ritardo al mattino, in fase di riscaldamento dell'atmosfera e un rallentamento del raffreddamento pomeridiano-serale (Panozzo et al., 2019). Al di sotto dell'impianto fotovoltaico inoltre è plausibile attendersi una umidità relativa dell'aria maggiore al mattino e minore nel tardo pomeriggio-sera rispetto alle zone in pieno sole.

L'ombreggiamento (dal 30 al 50%) delle colture è una pratica agricola molto utilizzata nelle serre per ridurre le temperature nel periodo estivo tramite reti ombreggianti; l'ombreggiamento riduce ad esempio la percentuale di nicotina nel tabacco e favorisce la colorazione rossa del pomodoro che sarebbe ostacolata da temperature troppo elevate.

Ogni specie vegetale necessita di una specifica temperatura minima per accrescersi, il cosiddetto zero di vegetazione. Superata la base termica, l'accrescimento accelera all'aumentare della temperatura fino ad una temperatura ottimale, oltre la quale l'accrescimento rallenta fino ad arrestarsi (temperatura massima). Le elevate temperature estive, superiori alla temperatura massima, possono quindi danneggiare l'accrescimento delle piante, condizione che si sta progressivamente accentuando d'estate a causa del riscaldamento climatico globale. Per mitigare questi effetti, numerosi studi scientifici sono concordi nel suggerire l'introduzione nei sistemi agricoli di filari alberati e siepi a distanza regolare, proprio per attenuare l'impatto negativo delle elevate temperature e della carenza idrica nel periodo primaverile-estivo. Una funzione analoga potrebbe derivare dall'installazione fotovoltaica (Vamerali 2021).

In funzione delle esigenze termiche, le piante vengono raggruppate in microterme, generalmente a ciclo autunno-primaverile, aventi modeste esigenze termiche; e macroterme, piante estive che necessitano di temperature mediamente più elevate. I cereali microtermi (grano, orzo, avena, segale), molte specie foraggere graminacee (erba mazolina in particolare) e alcune leguminose (es. veccia, pisello), che hanno lo zero di vegetazione relativamente basso, traggono vantaggio dalla condizione di parziale ombreggiamento che si realizza negli impianti agri-voltaici (Mercier et al., 2020). Ne sarebbero comunque avvantaggiate anche le specie macroterme nell'attenuazione degli effetti negativi derivanti dagli eccessi termici estivi, riducendo l'evapotraspirazione ed il fabbisogno irriguo.

Il parziale ombreggiamento causato dai moduli riduce il riscaldamento estivo del suolo con effetti positivi sull'accrescimento delle radici, che possiedono un ottimo di temperatura per l'accrescimento inferiore rispetto alla parte aerea della pianta (16°C in molti cereali autunno-primaverili). In tali condizioni le radici possono accrescersi maggiormente anche grazie al tasso superiore di umidità e minore tenacità del terreno. Nel periodo invernale, invece, la presenza della copertura fotovoltaica mantiene la temperatura del suolo leggermente più elevata rispetto al pieno sole in quanto i pannelli oltre a riflettere le radiazioni infrarosse emesse dalla terra durante il raffreddamento notturno, disperdono calore essi stessi nel processo di conversione fotovoltaico. Questo permette

un miglioramento sensibile dell'accrescimento delle piante microterme anche nei periodi più freddi dell'anno e di questo si avvantaggiano in particolare i cereali microtermi come grano ed orzo (Vamerali 2021).

2.3 Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione è costituita dalla perdita di acqua dal terreno per evaporazione sommata alla traspirazione fogliare della vegetazione ma solo quest'ultima è utile all'accrescimento della pianta poiché mantiene aperti gli stomi, e quindi consente gli scambi gassosi utili alla fotosintesi (ingresso di anidride carbonica nella foglia). In condizioni di ombreggiamento si riscontra una riduzione della traspirazione fogliare ed una più marcata riduzione dell'evaporazione dal terreno, determinando un risparmio della riserva idrica del suolo. Per il grano è stato stimato che un ombreggiamento del 50% genera una riduzione del 30-35% dell'evapotraspirazione (Marrou et al., 2013a), con un risparmio di circa 200 mm di acqua rispetto ai 600 mm normalmente richiesti dalla coltura in pieno sole. Poiché la carenza idrica in fase di riempimento della granella ha conseguenze negative marcate sulla resa e sulla qualità (la ben nota "stretta del grano"), il parziale ombreggiamento che si realizza nel sistema agri-voltaico deve essere considerato positivamente per questa coltura (Vamerali 2021).

3 Esperienze di coltivazione in condizione di ombreggiamento

Allo stato attuale esistono già informazioni documentate a livello scientifico in merito agli effetti dell'ombreggiamento per numerose specie erbacee coltivate, ed i dati disponibili derivano sia da studi di consociazione di specie erbacee con piante arboree organizzate in filari, che da veri e propri impianti agri-voltaici sperimentali sia fissi che ad inseguimento solare.

Le colture meno penalizzate dalla presenza del fotovoltaico sono quelle microterme e sciafile. Il grano può fornire rese simili o leggermente inferiori (-20% circa; Dupraz et al., 2011) a quelle ottenibili in pieno sole, subendo un ritardo dell'epoca di maturazione (Marrou et al., 2013b); mentre il mais alle normali densità di semina riduce notevolmente lo sviluppo della pianta sia in diametro che in altezza, a discapito della resa (Dupraz et al., 2011).

Gli studi più avanzati in questo settore provengono dalla Germania; l'Istituto Fraunhofer (2020) di Friburgo documenta perdite di resa del 18-20% in patata, grano e altri cereali vernini (es. orzo, segale e triticale) se i pannelli fotovoltaici sono disposti verticalmente e fissi, ma le perdite risultano notevolmente attenuate nel caso di sistemi a inseguimento solare con adeguata progettazione. Interessanti sono gli aumenti di resa registrati in patata, grano e orzo in annate particolarmente siccitose (es. 2018). Le specie foraggere (graminacee e trifoglio) subiscono perdite in produzione del 5-8%, mentre è stato confermato che i cereali estivi come il mais, non risulterebbero adatti alla coltivazione se associati al fotovoltaico.

Questi risultati sono in linea con gli studi italiani (Amaducci et al., 2018) che hanno simulato in un impianto agri-voltaico a Piacenza, sulla base dei dati climatici storici degli ultimi 40 anni, rese di granella di grano analoghe o superiori al pieno sole. Tali risultati

vanno ascritti alle migliori condizioni microclimatiche nel periodo di maturazione del frumento, tra cui una maggiore umidità del terreno, una minore evapotraspirazione e l'effetto frangivento che riduce l'allettamento della coltura. Da non sottovalutare anche il parziale effetto antigrandine dovuto alla copertura fotovoltaica e la mitigazione dell'impatto di piogge torrenziali (attenuazione cinematica) sempre più frequenti per il cambiamento climatico.

Risultati produttivi interessanti in condizioni di ombreggiamento elevato sono stati ottenuti anche col pomodoro, che sembrerebbe non risentire di una riduzione della radiazione anche del 60% (Callejón-Ferre et al., 2009).

4 Stato attuale della superficie agricola interessata dall'impianto agri-voltaico

I terreni agrari interessati dal progetto sono attualmente parzialmente incolti o coltivati a seminativo, in prevalenza a cereali e foraggiere posti in rotazione annuale.



Figura 9. Vista dall'alto dell'area 1, sito di installazione dell'impianto agrofotovoltaico.



Figura 10. Vista dall'alto dell'area 2, sito di installazione dell'impianto agrofotovoltaico



Figura 11. Vista dall'alto dell'area 2, sito di installazione dell'impianto agrofotovoltaico



Figura 12 Vista dall'alto dell'area 3, sito di installazione dell'impianto agrofotovoltaico



Figura 13 Vista dall'alto dell'area 3, sito di installazione dell'impianto agrofotovoltaico

5 Piano di coltivazione agronomica

Il sistema agri-voltaico proposto si configura come un miglioramento fondiario, il progetto prevede di installare inseguitori solari mono-assiali che, contrariamente a quanto avviene con il fotovoltaico a terra tradizionale (strutture fisse orientate a sud che presentano una zona d'ombra concentrata in corrispondenza dell'area coperta dai pannelli), qui la disposizione dei tracker lungo l'asse nord-sud, genera una fascia d'ombra che per effetto della rotazione si sposta con gradualità durante il giorno da ovest verso est sull'intera superficie del terreno. Conseguentemente non si vengono a creare zone costantemente ombreggiate o soleggiate, e questo consente un migliore utilizzo agronomico del terreno.

Considerate le premesse esposte in merito alla risposta delle piante all'ombreggiamento, nell'impianto agri-voltaico in oggetto si prevede di coltivare un cereale microtermo a ciclo autunno-primaverile come il frumento, indifferentemente grano duro (*Triticum durum*) o tenero (*Triticum aestivum*), alternandolo annualmente ad una leguminosa da granella quale il cece (*Cicer arietinum* L.) erbacea della famiglia delle Fabaceae, pianta rinnovatrice molto frugale particolarmente arido resistente che precede i cereali, con ciclo biologico da 4 a 6 mesi. In alternativa al grano si potrà seminare di volta in volta l'orzo comune (*Hordeum vulgare*) in alternanza ad una leguminosa foraggera l'erba medica (*Medicago sativa*) miglioratrice del terreno per l'apporto naturale di azoto nel terreno.

Nelle fasce immediatamente adiacenti al filare, a destra e a sinistra dei pali del tracker, per circa 1 m di larghezza in entrambi i lati, si effettuerà l'inerbimento del terreno con essenze erbacee e arbustive aromatiche e mellifere utili alle api selvatiche, quali la facelia (*Phacelia tanacetifolia*), il rosmarino (*Rosmarinus officinalis*), il timo (*Tymus serpyllum*) e la lavanda selvatica (*Lavandula stoechas*). Questa fascia tampone può beneficiare degli aiuti previsti dalla PAC nei prossimi eco schemi ed è inoltre compatibile con la gestione meccanizzata della coltivazione agricola che, per motivi di sicurezza e agibilità non potrebbe operare nelle più immediate vicinanze dei tracker.

La scelta della rotazione grano/orzo-cece/medica unitamente alla fascia inerbita, oltre a garantire una adeguata produttività del terreno, paragonabile alla produttività del pieno sole, realizza un elevato livello di naturalità, consolidando habitat che favoriscono l'entomofauna, la microfauna e arricchiscono la flora batterica della rizosfera, migliorando nel complesso gli equilibri e gli antagonismi ecologici.

5.1 Coltivazione del grano, orzo, cece, erba medica

Facendo riferimento alle rilevazioni della stazione meteorologica di Penne per il ventennio 1999-2019, il sito si caratterizza per una piovosità media annua di circa 850 mm ed una temperatura media annua di 12,5 °C. La piovosità ha dei massimi primaverili in Aprile e maggiormente nel periodo tardo autunnale, con valori mensili intorno a 85 in Novembre e Dicembre. Nei mesi di giugno, luglio e agosto le precipitazioni sono generalmente sufficienti, comprese tra 50 e 60 mm al mese. Le temperature medie mensili oscillano tra 3,5 °C di gennaio e 22 °C di luglio e agosto (Fig. 4).

L'eliofania della zona è quella tipica della latitudine, ovvero con una durata giornaliera che oscilla tra 5,5 ore di gennaio a 12,5 di luglio (Fig. 6).

Considerate le condizioni climatiche della zona, ed escludendo le colture estive che necessitano obbligatoriamente di irrigazione, la coltivazione ottimale è quella della rotazione cereali (grano e orzo)/leguminose da granella (cece) e da foraggio (erba medica).

Nell'insieme sono piante microterme a semina autunnale e raccolta della granella secca a inizio estate; beneficiano della naturale piovosità autunno-primaverile e ben si adattano alle condizioni di parziale e variabile ombreggiamento creato dal sistema fotovoltaico mobile.

Le coltivazioni selezionate risultano ben consolidate e diffuse localmente e si adattano molto bene alle condizioni pedo-climatiche dell'area di studio.

Il paesaggio geo-litologico è quello dei rilievi appenninici ed antiappenninici dell'Italia centrale formati da substrati sedimentari costituiti da alternanze pelitico arenacee e marnoso calcaree che interessa le aree collinari e pedemontane. Localmente si rinven- gono ambienti con substrati costituiti da marne e argille grigie alternate a strati arenacei o da sedimenti della successione evaporitica delle alternanze pelitico-arenacee. La fisio- grafia è quella caratterizzata dai rilievi con versanti lineari a tratti dissestati, posti a quote tra 400 e 500 m s.l.m.

I suoli presentano contenuti di carbonio organico variabili tra il 4,5-5% negli strati infe- riori e tra 0,5-0,7% in quelli superiori lavorati. Le aree di progetto presentano terreni di medio impasto tendenti all'argilloso, mediamente fertili e profondi, provvisti di una suf- ficiente dotazione di sostanza organica.

La coltivazione delle colture selezionate inizia con le semine di ottobre-novembre su terreno preparato con lavorazioni ridotte (es. estirpatura ed erpicatura) o semina su so- do, ovvero tecniche di minima lavorazione che hanno dimostrato di sostituire valida- mente l'aratura nelle colture a ciclo autunno-primaverile. Tale gestione del terreno ha il vantaggio di essere compatibile con la presenza dei pali tracker del fotovoltaico, di ri- durre significativamente i costi, e favorire la conservazione della sostanza organica del terreno. Le operazioni di semina, concimazione e le principali operazioni agronomiche delle colture scelte avverranno con la normale dotazione di macchine e attrezzature meccaniche, mentre la fase di raccolta verrà gestita con mietitrebbia di piccole dimen- sioni e falciatrici per il passaggio nell'interfilare.

Considerato che i pannelli sono ad inseguimento solare, lo spazio libero tra le ali foto- voltaiche, utile al passaggio delle macchine operatrici, si modifica in funzione dell'orario del giorno, potendo variare da un minimo di 2,75 m a mezzogiorno ad un massimo di 3,8 m all'alba e tramonto. Anche l'altezza dei pannelli fotovoltaici varia con la rivoluzione giornaliera, da un minimo di 1,14 m all'alba e tramonto, a 2,3 m a mezzogiorno quando assumono posizione orizzontale. La gestione computerizzata dell'impianto consente di porre i pannelli in "posizione di riposo", ovvero completamente reclinati verso est od ovest, per singoli filari indipendenti. Tale posizione viene adottata per effettuare le pe- riodiche pulizie dei pannelli fotovoltaici (lavaggio annuale), ma può essere utilizzata anche per agevolare il passaggio delle macchine operatrici dedite alla gestione agrono- mica. Anche considerando la distanza minima tra le ali fotovoltaiche (2,75 m), il passag- gio della maggior parte delle trattrici agricole è possibile in considerazione del fatto che i costruttori rispettano la larghezza massima di 2,50 m necessaria per la libera circola- zione stradale, oltre la quale i mezzi agricoli vengono classificati "speciali". La maggior parte delle trattrici agricole possiede larghezze "fuori tutto" (pneumatici compresi) infe- riori a 2 m, in grado di transitare facilmente al centro dell'interfilare di progetto anche con la minima distanza tra le ali fotovoltaiche. Per quanto riguarda le macchine opera- trici, quali ripuntatore ed erpice, seminatrice e barre di diserbo, quando si trovano in

fase di lavoro presentano generalmente un'altezza inferiore a quella minima del pannello (1,14 m). Questo consente l'esecuzione di tutte le operazioni meccaniche senza interferire con i pannelli fotovoltaici, anche grazie alla predisposizione della fascia inerbita lungo i filari dei pali tracker.

5.2 Integrazione coltura-fotovoltaico

L'impianto di pannelli fotovoltaici si integra adeguatamente con la coltivazione di cereali e leguminose da granella e foraggio, potendosi ottenere una produzione analoga a quella ottenibile in pieno campo grazie agli effetti di schermo e protezione con parziale ombreggiamento nelle ore più assolate, particolarmente utili nella fase finale del ciclo di queste colture. È noto che le elevate temperature dopo la fioritura e durante la fase di formazione della granella, soprattutto se associate a carenza idrica, sono causa di una rapida chiusura del ciclo di sviluppo delle piante, con gravi penalizzazioni produttive. Questa condizione critica si è accentuata negli ultimi lustri a causa del cambiamento climatico; si ritiene pertanto che la presenza del fotovoltaico espliciti un effetto positivo sulle piante coltivate (Vameralli 2021).

In riferimento ai dati progettuali, la massima superficie in proiezione al suolo dei pannelli fotovoltaici (ore 12:00 solare) insiste per il 35 % circa sull'intera area del sito di progetto, un valore compatibile con le linee guida nazionali che propongono per la realizzazione degli impianti agro-fotovoltaici di preservare il 70% della SAU aziendale alla coltivazione mentre la superficie captante (pannelli) non debba eccedere il 40% della superficie d'impianto. Entrambi questi valori sono ampiamente osservati dai parametri previsti dal progetto. A riguardo si utilizza il fattore "LAOR" (*Land Area Occupation Ratio*): rapporto tra la superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (Spv), e la superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico (S tot). Il valore è espresso in percentuale. In tal senso la Superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (Spv) è intesa come somma delle superfici individuate dal profilo esterno di massimo ingombro di tutti i moduli fotovoltaici costituenti l'impianto (proiezione a terra della superficie attiva compresa la cornice in posizione orizzontale col sole allo zenith.); mentre la Superficie del sistema agrivoltaico (Stot) è l'area che comprende la superficie utilizzata per coltura e la superficie totale su cui insiste l'impianto agrivoltaico.

Nell'ambito della superficie aziendale disponibile il progetto individua 3 aree con superficie lorda rispettivamente di 3,65; 7,0 e 1,06 ettari; i tre corpi agro-fotovoltaici non sono adiacenti, mantenendo inalterata l'attuale viabilità aziendale e le plaghe boscate che svolgeranno fin da subito una importante azione di mitigazione dell'impatto visivo (Tav. 1). La suddetta disposizione assicura pertanto la connettività ecologica del mosaico paesaggistico frutto della combinazione di tessere di appezzamenti agricoli coltivati, incolti, terreni saldi a copertura boschiva. Vengono salvaguardate le fasce ecotonali e i corridoi ecologici naturali del tessuto topologico.

Considerando una larghezza della fascia inerbita di 2 m lungo i pali tracker di sostegno dei pannelli fotovoltaici, e la modesta perdita di superficie corrispondente alla sezione suddetta, l'area coltivata sarà pari a circa il 70% di quella totale. A riguardo si sottolinea l'importanza ecosistemica della fascia inerbita con piante mellifere, elemento di naturalità non trascurabile per gli equilibri bio-ecologici dell'intero sistema agro-ambientale.

Nell'analisi dell'interazione coltura-installazione fotovoltaica vanno considerati i seguenti elementi:

- i filari fotovoltaici, posti ad interasse medio di 5 m, consentono un agevole accesso per le lavorazioni agricole ai mezzi meccanici utilizzati per la coltivazione;
- è prevista la posizione di blocco dei pannelli in totale rotazione ovest o est, in questo modo si agevola la lavorazione del terreno per la semina e le altre operazioni colturali, inclusa la raccolta;
- l'assenza di elettrodotti interrati (con esclusione di quelli concentrati esternamente, dalle cassette stringhe alla cabina elettrica) consente le normali lavorazioni del terreno;
- i supporti sono costituiti da pali in acciaio infissi nel terreno con ancoraggio "Tree system" (a radice), di facile rimozione a fine vita operativa;
- la coltivazione delle leguminose, che fissano l'azoto atmosferico, in alternanza con il cereale, fornisce una ottimale concimazione azotata e arricchisce il terreno di sostanza organica, diversamente da quanto avviene nella mono successione di frumento;
- il tipo di coltivazione proposta è compatibile con i requisiti dell'agricoltura biologica che richiede l'adozione di una rotazione almeno biennale con un anno di leguminose.

L'impatto del sistema fotovoltaico sul suolo è ritenuto minimo, in quanto non interessato in modo significativo da infrastrutture inamovibili:

- i pali dei Tracker sono semplicemente infissi nel terreno per battitura o avvitatura per essere rimossi con facilità per semplice estrazione;
- i cavidotti sono minimi e saranno localizzati unicamente ai margini dell'area dei pannelli, e anch'essi sono facilmente rimovibili a fine vita operativa dell'impianto fotovoltaico;
- le linee di bassa tensione in corrente continua saranno posate su canaline esterne, fissate alle strutture dei tracker, senza interessare il terreno .

Relativamente all'impatto paesaggistico e la gestione del sistema agri-voltaico, si evidenziano i seguenti punti:

- l'attività di manutenzione del fotovoltaico, che consiste in sostanza nel lavaggio annuale dei pannelli, avviene con mezzi leggeri che non arrecano danno al terreno, da eseguirsi nel periodo estivo quando il terreno è asciutto e facilmente transitabile e privo di colture;
- il lavaggio dei pannelli avviene con l'uso di roto-spazzoloni, utilizzando acqua pura, senza alcun detergente che possa inquinare la coltivazione e le falde;
- le attività di manutenzione delle siepi perimetrali di nocciolo (*Corilus avellana*) e cilie-

gio amaro (*Prunus cerasus* L.), eventualmente piantate, rappresenteranno una integrazione al reddito aziendale, e attenuano ulteriormente l'impatto visivo dell'intero impianto.

5.3 Sostenibilità economica dell'attività agricola

Ai sensi del regolamento (UE) n. 1307/2013, e in particolare dell'articolo 32 (Attivazione dei diritti all'aiuto), paragrafo 3, riguardante gli ettari ammissibili al sostegno PAC, fermo restando l'utilizzo prevalente per l'attività agricola, è consentito, previa comunicazione preventiva all'organismo pagatore competente (AGEA), svolgere un'attività non agricola purché quest'ultima rispetti in toto le seguenti condizioni:

- a) non occupi la superficie agricola interferendo con l'ordinaria attività agricola per un periodo superiore a sessanta giorni;
- b) non utilizzi strutture permanenti che interferiscano con lo svolgimento dell'ordinario ciclo colturale;
- c) consenta il mantenimento di buone condizioni agronomiche e ambientali.

Infatti, quando la superficie agricola di un'azienda è adibita anche ad attività non agricole, essa si considera utilizzata prevalentemente per attività agricole se l'esercizio della coltivazione non è seriamente ostacolato dall'intensità, dalla natura, dalla durata e dal calendario delle attività non agricole (Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici).

L'installazione di impianti agrivoltaici si pone come possibile soluzione per il rispetto dei requisiti suddetti. D'altronde, ai fini della conservazione della PAC, va considerata l'ipotesi che, da un punto di vista reddituale e in base alle scelte imprenditoriali, l'attività agricola diventi marginale rispetto all'attività economica legata alla produzione di energia fotovoltaica, con quest'ultima che potrebbe rappresentare l'attività economica principale del beneficiario. In particolare, va tenuto conto del fatto che l'importo annuo dei pagamenti diretti, vale a dire della sola componente di sostegno al reddito degli agricoltori garantita dalla politica agricola comunitaria (PAC), deve essere almeno pari al 5 % dei proventi totali ottenuti da attività non agricole nell'anno fiscale più recente per cui sono disponibili tali prove (Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici).

Un parametro fondamentale ai fini della qualifica di un sistema agrivoltaico, richiamato anche dal decreto-legge 77/2021, è la continuità dell'attività agricola, atteso che la norma circoscrive le installazioni ai terreni a vocazione agricola. Pertanto si dovrebbe garantire sugli appezzamenti oggetto di intervento (superficie totale del sistema agrivoltaico, Stot) che almeno il 70% della superficie sia destinata all'attività agricola, nel rispetto delle Buone Pratiche Agricole (BPA).

Per analizzare la sostenibilità economica dell'attività agricola si è fatto riferimento al principio di cassa, determinando il margine netto unitario (per ettaro), ricavabile dalla tipologia di coltivazione proposta (cereale e leguminosa), calcolato con la seguente formula:

Margine Netto (MN, espresso in €/ha) = $PLT - CV - A$

Dove:

PLT = produzione lorda totale come sommatoria della produzione lorda vendibile (PLV) e della produzione reimpiegata e/o trasformata in azienda;

CV = costi variabili = SS (spese dirette) + ASP (Altre spese) + RA (Reimpieghi).

I costi variabili (CV) possono essere calcolati anche come somma delle seguenti voci: anticipazioni, acqua,

assicurazioni, energia, concimi, conto-terzismo, commercializzazione, difesa, sementi, altri costi, reimpieghi.

A = ammortamenti delle macchine, qualora si utilizzi la meccanizzazione aziendale.

Si stima che il fondo agricolo venga remunerato dalla PLV o da un canone di affitto annuale valutato in € 350 per ettaro.

Relativamente al grano duro, considerando la produttività ISTAT della provincia di Pescara di circa 40 quintali per ettaro, e tenendo conto della limitazione al 75% della superficie coltivata dovuta alla fascia erbacea in corrispondenza dei pali tracker, si stima una PLV di circa € 1.500 (prezzo di 50 € al quintale). Sottraendo i Costi Variabili (circa € 1.000 ad ettaro, ricorrendo al contoterzismo) si ottiene un Margine Netto di € 500 ad ettaro.

Relativamente alla leguminosa da granella, considerando una resa media di circa 20 quintali per ettaro, ridotta a 15,0 quintali (-25%), si genera una PLV di € 510 (prezzo di 34 € al quintale). Il Margine netto risulta di circa € 185 ad ettaro.

Mediamente le due colture in rotazione possono fornire un margine operativo netto annuo di € 342 ad ettaro, leggermente inferiore al canone di affitto ipotizzato. A questo si deve aggiungere il canone per il diritto di superficie per la presenza del Fotovoltaico stabilito dalle parti.

5.4 Monitoraggio delle produzioni agricole nel sistema agri-voltaico

Al fine di verificare la sostenibilità della coltivazione erbacea nel sistema agri-voltaico si prevede il monitoraggio continuo e annuale di alcuni dati climatici e di produttività delle coltivazioni a fini statistici, come stabilito dalle Linee guida nazionali in materia.

La disponibilità di un'area agricola immediatamente adiacente al sito di progetto, con i medesimi caratteri stagionali in termini pedoclimatici e di fertilità del suolo, da utilizzare come area di controllo/testimone per la coltivazione delle colture in atto nell'impianto agri-voltaico, consentirà il raffronto parametrico degli effetti della presenza dell'impianto rispetto al pieno campo convenzionale.

Con l'impiego delle nuove tecnologie digitali e delle applicazioni oggi disponibili (Agricoltura 4.0) sarà possibile monitorare in modo automatizzato e preciso alcuni importanti parametri climatici e agronomici. In campo saranno installate centraline dotate di sensori ambientali di temperatura e umidità dell'aria e del terreno, evapo-traspirazione e radiazione solare (radiazione globale e la frazione fotosinteticamente attiva). La rilevazione dei dati avverrà da remoto sfruttando le tecnologie digitali e la connessione web con registrazione in continuo degli andamenti giornaliero e stagionale. Sarà così possi-

bile quantificare con precisione l'impatto della combinazione fotovoltaica sui parametri micro-climatici ed in particolare sul consumo idrico.

La produttività delle coltivazioni sarà monitorata con mietitrebbiatrici dotate di GPS per la georeferenziazione dei dati, ponendo in raffronto il sistema agri-voltaico al testimone. In questo modo saranno generate le mappe di produzione, la loro variabilità spaziale e temporale in relazione anche all'andamento climatico.

Per quanto riguarda il monitoraggio della temperatura e dell'umidità, nonché della velocità del vento, si riporta di seguito una sintetica valutazione delle voci di costo stimate:

- 2.500 € per l'acquisto delle PT100, dell'igrometro e dell'anemometro;
- 2.500 € per l'acquisto del sistema di acquisizione e trasmissione dati;
- 2.000 € per l'installazione, inclusa la fornitura dei necessari supporti, e l'avvio del sistema di monitoraggio (Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici).
-

5.5 Aspetti vegetazionali e faunistici

Il mosaico ambientale si compone di varie tessere con prevalenza dei sistemi agricoli composti essenzialmente di coltivi a seminativo, più o meno estensivi, e in sub ordine da colture arboree permanenti, specificamente oliveti e vigneti.

Non mancano tuttavia habitat lacustri in concomitanza di laghetti collinari artificiali e corsi d'acqua caratterizzati da vegetazione ripariale. Gli ambienti umidi sono caratterizzati da vegetazione igrofila erbacea-arbustiva come farfaraccio, equiseti, giunco, carice con le tipiche essenze arboree quali i salici (*S. rubra* e *S. vicinali*), l'olmo (*Ulmus minor*) e i pioppi (*Populus. alba* e *P. tremula*). Il bosco igrofilo ripario passa, nelle aree collinari al bosco termofilo costituito da latifoglie decidue (quereti) a prevalenza di roverella (*Quercus pubescens*), consociata a carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), orniello (*Fraxinus ornus*) e acero campestre (*Acer campestre*), in percentuale variabile in funzione delle esposizioni e del substrato. Tra gli arbusti prevalgono il ginepro, il prugnolo, la fusaria, i crateghi, l'agazzino e il carpino orientale (*Carpinus. orientalis*).

Tra le specie di uccelli censiti sono presenti nelle aree umide e lacustri alcuni ardeidi come l'airone cinereo (*Ardea cinerea cinerea*), l'airone rosso e la nitticora, la garzetta (*Egretta garzetta garzetta*), varie specie di limicoli tra cui il cavaliere d'Italia (*Himantopus himantopus*) e diverse specie di anatidi.

L'avifauna silvicola è rappresentata prevalentemente dalla tortora dal collare orientale (*Streptopelia decaocto*), la calandrella (*Calandrella brachydactyla*), la calandra (*Melanocorypha calandra*), lo strizzolo (*Miliaria calandra*), il cardellino (*Carduelis carduelis*), il fringuello (*Fringilla coelebs*), il gheppio (*Falco tinnunculus*).

Più volte è stato segnalato il lupo in località Collalto, tra i mammiferi vivono la faina, la puzzola, il tasso, la volpe (*Vulpes vulpes*), il riccio (*Erinaceus europaeus*) e il capriolo (*Capreolus capreolus*), oltre a numerosi micro mammiferi (moscardino, talpa, toporagno).

Tra gli anfibi e rettili sono presenti: la rana verde, la raganella, il tritone crestato, il ramarro (*Lacerta bilineata*), il biacco (*Coluber viridiflavus*), il cervone (*Elaphe quatuorline-*

ata), la natrice dal collare e il colubro d'Esculapio. Numerosi sono i macroinvertebrati lungo i corsi d'acqua: efemerotteri, tricotteri e plecoteri. La fauna ittica comprende generalmente; cavedani, carpe e tinche.

6 Miglioramento della qualità dell'agroecosistema e mitigazione degli impatti

I siti di installazione dell'impianto fotovoltaico hanno subito ovviamente svariate modificazioni ambientali nel corso dei secoli, provocate dalla pressione antropica e dell'attività agricola di tipo intensivo, che hanno inciso profondamente sugli ecosistemi naturali e sul paesaggio nel suo complesso.

In termini di ripristino ambientale e mitigazione degli impatti, la presenza della zona inerbita posta lungo l'asse della palificazione di sostegno della struttura fotovoltaica, costituisce di fatto una fascia di rispetto indisturbata, formata da piante mellifere molto attrattive per gli insetti pronubi, in combinazione con siepaggioni perimetrali di nocciolo e ciliegio amaro, previsti dal progetto, che si integrano con la presenza di ampie fasce ecotonali a vegetazione arbustiva e arborea naturale; nell'insieme costituiscono elementi agro-ecosistemici per il riparo e la riproduzione dell'avifauna di passo e stanziale.

Particolare attenzione viene riservata dal Progetto all'integrazione paesaggistica del sistema agrivoltaico, prevedendo allo scopo la piantagione al perimetro delle superfici ingombrate dall'impianto agro fotovoltaico di siepi arbustive di Nocciolo (*Corylus avellana* L.) specie da frutto appartenente alla famiglia Betulaceae. La pianta ha portamento a cespuglio o ad albero, se coltivata è alta in genere dai 2 ai 4 m ma se lasciata in forma libera può raggiungere anche l'altezza di 7-8 m. con crescita rapida. Tale scelta si giustifica in quanto specie abbastanza plastica, preferisce terreni calcarei, ben drenati, fertili e profondi e luoghi semi-ombreggiati. L'habitat naturale è costituito da boschi di latifoglie, soprattutto querceti misti mesofili, radure e margini. In abbinamento si può trovare impiego il ciliegio amaro o amarena (*Prunus cerasus* L.) è un albero da frutto appartenente alla famiglia delle Rosacee, si adatta facilmente a ogni clima e non ha bisogno di particolari attenzioni, crescendo spesso anche in forma selvatica. Ama il sole, ma resiste anche alle basse temperature così come sopporta anche la siccità; non ha particolari esigenze per il terreno e cresce adattandosi facilmente come specie ubiquitaria, la presenza dei frutti la rende molto attrattiva all'avifauna.

Rispetto all'impiego di sistemi ed approcci volti al miglioramento della biodiversità dei siti si prevede la riduzione o eliminazione dell'uso di pesticidi e fertilizzanti con l'adesione a regimi di agricoltura integrata o biologica; inoltre una significativa percentuale del sito sarà coperta da specie erbacee selvatiche seminate nelle fasce di rispetto ; con fioritura di almeno tre specie gradite agli insetti impollinatori.

Analogamente per sistemi ed approcci volti al miglioramento della qualità dei suoli sarà salvaguardata capacità del suolo di mantenere la propria funzionalità per sostenere la produttività biologica, la qualità dell'ecosistema e di promuovere la salute di piante ed animali applicando opportune rotazioni agronomiche ed eco schemi previsti dalla nuova PAC

Infine saranno adottate soluzioni volte all'ottimizzazione della risorsa idrica con l'impiego di convogliatori alloggiati nelle strutture di sostegno e alloggiamento dei pannelli fotovoltaici, serbatoi, distributori localizzati, sistemi di automazione e combinazioni applicabili alla strutture fotovoltaiche. Sarà valutato il supporto al fabbisogno idrico della coltura in atto attraverso

la verifica della riduzione del quantitativo di acqua da prelevare dalle reti irrigue e dell'efficienza nell'utilizzo della risorsa idrica es. l/kg produzione.

7 Analisi multicriterio

Quando la scelta di una opzione progettuale interessa più criteri di valutazione (es. economico, ambientale, sociale, etc.), sarebbe consigliabile utilizzare una metodologia di analisi multicriterio (AMC) o SWOT Strengths (punti di forza), Weaknesses (punti di debolezza), opportunities (opportunità) e Threats (minacce).

L'analisi multicriterio prevede che il confronto fra le alternative di intervento venga effettuato tramite l'utilizzo della cosiddetta matrice di valutazione: una matrice in cui ogni alternativa è messa a confronto per una serie di criteri di valutazione, che possono essere obiettivi del progetto o dei portatori di interesse, criteri tecnici, sociali, etc. Le alternative vengono elencate nelle colonne della matrice, mentre i criteri di valutazione sono descritti nelle righe. Il grado di raggiungimento di ogni obiettivo (o di soddisfacimento del criterio di valutazione) da parte delle alternative considerate è indicato tramite un indice che, che ad esempio può variare tra 0 (obiettivo non raggiunto o criterio non soddisfatto) e 5 (obiettivo raggiunto), passando per valori intermedi che indicano un obiettivo raggiunto parzialmente. Nel caso di criteri che possono avere un significato negativo o positivo (ad esempio gli impatti ambientali) si può ricorrere anche a valori indice che variano da negativi (impatto negativo) a positivi (impatto completamente positivo), dove zero assume il significato di impatto nullo.

Ad ogni criterio di valutazione viene assegnato un peso (valore compreso tra 0 e 1) moltiplicativo degli indici assegnati ad ogni criterio. Tale peso viene in genere attribuito tenendo conto anche di quanto espresso dai portatori di interesse. I valori degli indici per ogni alternativa (moltiplicati per i pesi) vengono sommati, cosicché ad ogni alternativa di intervento corrisponde un punteggio totale, confrontabile con quello delle diverse opzioni/alternative.

Può essere inoltre condotta un'analisi di sensibilità dei punteggi finali ai valori dei pesi, così da verificare quanto efficace sia la scelta della soluzione migliore.

Ad esempio: riguardo all'Occupazione (impiego di personale) si potrebbe attribuire un valore (+4) Medio, per le operazioni di coltivazione del cereale e della leguminosa da granella, in combinazione con l'impiego addizionale di maestranze agricole per la manutenzione delle siepi perimetrali o Medio-alto (+5), per dall'impiego di tecnici specializzati impiegati nella costruzione e manutenzione dell'impianto fotovoltaico.

Considerando la Fertilità agronomica dei terreni (contenuto di sostanza organica) si potrebbe assegnare (+3) infatti le lavorazioni del terreno tendono a ossidare e ridurre il contenuto di sostanza organica del terreno. Tale azione però viene efficacemente mitigata dalla presenza della leguminosa e dal rilascio dei residui vegetali pagliosi del cereale. La specie leguminosa fissa l'azoto atmosferico, fornendo una naturale concimazione del terreno e fa aumentare il contenuto di sostanza organica del terreno.

Esaminando gli effetti sul sistema idrico (consumo e qualità di acqua) il punteggio medio applicabile potrebbe essere (+3). Sia il cereale che la leguminosa non abbisognano di irrigazione nel periodo autunno-primaverile durante il quale si svolge il loro ciclo di svi-

luppo. L'utilizzo di concimi e (qualora necessario) di antiparassitari è limitato al solo cereale. Possibilità di conversione al sistema di coltivazione biologico (+4).

Riguardo all' Utilizzo di carburanti fossili per le macchine agricole il punteggio risulterebbe basso (+2). La coltivazione richiede l'uso di mezzi agricoli leggeri e consumi medio-bassi di carburante. Il ricorso a lavorazioni ridotte del terreno riduce significativamente questa voce di costo e di impatto ambientale.

Sotto l'aspetto della biodiversità floristica e faunistica si potrebbe assegnare un (+3). La coltivazione del cereale e della leguminosa riduce notevolmente la biodiversità floristica, che viene però parzialmente mitigata dalla fascia inerbita con specie mellifere lungo i filari. Tali specie attraggono insetti impollinatori (api), e creano rifugio per fauna selvatica e nemici naturali (parassitoidi) dei parassiti delle piante.

Dal punto di vista economico Margine netto (valore del prodotto agricolo) il punteggio sarebbe alto (+5). A integrazione di una marginalità media del cereale e medio-bassa della leguminosa, si affianca la redditività derivante dalla produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico (DDS diritto di superficie o vendita dell'energia elettrica).

In ultima analisi sotto l'aspetto dei benefici ambientali, Produzione di elettricità da fonte solare (energia rinnovabile), il punteggio risulterebbe massimo (+5). La produzione stimata dell' impianto agro-fotovoltaico potrebbe raggiungere annualmente la quota di circa: 800 MWh per ogni ettaro di superficie. Inoltre c'è da considerare il contributo della produzione cerealicola e della leguminosa da granella destinata all'alimentazione umana e quella della foraggera destinata all'alimentazione animale (zootecnia).

Si giungerebbe così alla determinazione del Punteggio complessivo raggiunto dal Progetto in raffronto alla situazione di partenza che vede i terreni incolti o coltivati in modo convenzionale.

L'AMC viene utilizzata per arrivare alla scelta della soluzione preferibile, in quanto permette di tener conto di tutti i benefici e gli impatti, inclusi quelli di difficile quantificazione (per esempio alcuni impatti ambientali e sociali) e permette, inoltre, di coinvolgere i portatori di interesse mostrando in maniera trasparente il processo di decisione.

Per un'analisi oggettiva a confronto si potrebbe costruire una matrice che assegni punteggi compresi tra -5 (minimo) e +5 (massimo) ad alcuni indicatori socio-economici ed ambientali. Se si volessero pesare in egual misura tutti i criteri, si potrebbe assegnare a ciascuno di essi un peso uguale pari a 1.

In ogni caso l'investimento in progetto garantirà un reddito aggiuntivo al reddito agrario derivante dalla sola produzione delle coltivazioni (PLV) in forza della produzione di energia rinnovabile.

Si evidenzia pertanto che l'obiettivo di coniugare la coltivazione agricola con la produzione di energia rinnovabile, attraverso un razionale uso della risorsa suolo, possa essere efficacemente raggiunto con il sistema agro-fotovoltaico.

7 Conclusioni

L'esigenza di incrementare il reddito fondiario dell'azienda agricola (reddito dominicale+reddito agrario) e di produrre energia rinnovabile è oggi quanto mai sentita per ridurre gli effetti negativi dell'inquinamento ambientale e del cambiamento climatico le-

gati all'utilizzo di energie fossili. L'associazione tra impianto fotovoltaico di nuova generazione (ad inseguimento solare) e l'agricoltura, rappresenta una soluzione innovativa, rispettosa della conservazione dei suoli, che trova giustificazione nel maggiore output energetico (LER, Land Equivalent Ratio) complessivamente ottenuto dai due sistemi combinati rispetto alla loro realizzazione individuale.

Attraverso la scelta attenta di idonee colture, tolleranti del parziale ombreggiamento generato dai pannelli fotovoltaici, è possibile migliorare la produttività agricola e la conseguente marginalità e utilizzare efficacemente la superficie agraria in combinazione con l'installazione fotovoltaica. L'azione mitigativa delle fasce inerbite in corrispondenza dei pali di sostegno, non verrà coltivata, favorirà la conservazione del suolo e la proliferazione degli insetti impollinatori e della meso e micro fauna selvatica.

Sebbene siano numerose le colture realizzabili in presenza di un impianto agrivoltaico, con marginalità spesso comparabile, come orzo, insalata, pomodoro, etc., la scelta di cereali e leguminose da granella e foraggio consente di ottenere una convenienza economica comparabile a quella usuale, con tutti i benefici ambientali che derivano dalla produzione di energia rinnovabile fotovoltaica.

È documentato che la maggior parte dei terreni coltivati stia progressivamente perdendo fertilità a causa della coltivazione intensiva e della frequenza e profondità delle lavorazioni. È frequente rilevare valori di sostanza organica del terreno in molti casi anche inferiori all'1%, condizione che agronomicamente viene definita di terreno "povero" poiché inferiore alla soglia ideale del 2%. Questa involuzione verrà efficacemente mitigata nel sito di Colle Trotta adottando tecniche di minima lavorazione del terreno e lasciando in campo i residui vegetali (paglie) delle colture. A riguardo il terreno è considerato uno dei sink di carbonio più importanti, dopo le foreste e gli oceani, e riveste quindi un ruolo fondamentale per l'assorbimento della CO₂ e contrastare il cambiamento climatico.

Durante il periodo primaverile-estivo l'impianto fotovoltaico offre protezione dal vento, contro l'allettamento delle colture, riduce il consumo di acqua e gli eccessi di calore sempre più frequenti in un contesto di cambiamento climatico, agendo da sistema di ombreggiamento, analogamente a quanto svolto dalle siepi e dalle alberature. L'adozione del sistema fotovoltaico alla coltivazione di grano e leguminose è documentato possa anche aumentarne la produttività nelle annate più calde e siccitose, mantenendo più elevata l'umidità del terreno.

La presenza attuale delle vegetazione arborea e arbustiva naturali, inframezzata ai siti di installazione dell'impianto, nonché le siepi perimetrali da piantare costituiscono un importante elemento di arricchimento paesaggistico e una rete ecologica per la fauna selvatica, nonché dei validi sistemi di intercettazione di nutrienti e fitofarmaci provenienti dai campi coltivati. Poiché tali quinte vegetali presentano già uno sviluppo in altezza e densità consistenti, consentirà fin da subito di svolgere anche il ruolo di mitigazione di impatto visivo dell'impianto fotovoltaico, azzerando di fatto la fase di transizione che si avrebbe nel caso di siepi e filari realizzati ex-novo.

8 Bibliografia

- Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici, MITE, ENEA, CREA, GSE spa, RSE spa; giugno 2022.
- Amaducci S., Xinyou, Colauzzi M., 2018. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy* 220: 545-561.
- Callejón-Ferre A.J., Manzano-Agugliaro F., Díaz-Pérez, Carreño-Ortega A., Pérez_Alonso J., 2009. Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 7: 41-49.
- Dupraz C., Marrou H., Talbot G., Dufur L., Nogier A., Ferard Y., 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* 36: 2725-2732.
- Fraunhofer ISE, 2020. Agrivoltaics: opportunities for agriculture and the energy transition. A Guideline for Germany. 56 pp.
- Marrou H., Dufur L., Wery J., 2013b. How does a shelter of solar paners influence water flows in a soil-crop system? *European Journal of Agronomy* 50: 38-51.
- Marrou H., Guilioni L., Dufur L., Dupraz C., Wery J., 2013a. Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural & Forest Meteorology* 177: 117-132.
- Mercier KM, Teutsch CD, Fike JH, Munsell JF, Tracy BF, Strahm BD., 2020. Impact of increasing shade levels on the dry-matter yield and botanical composition of multispecies forage stands. *Grass Forage Science*, 00: 1-12.
- Panozzo A., Bernazeau B., Dal Cortivo C., Desclaux D., Vamerali T., 2019. Microclimate modification

and yield responses of different varieties of durum wheat within an olive orchard agroforestry system. Società Italiana di Agronomia, Atti del XLVIII Convegno Nazionale “Evoluzione e adattamento dei sistemi colturali”, Perugia 18-20 Settembre 2019: 72-73.

Prof. Teofilo Vamerali *DAFNAE UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA*, Ottobre 2021