

REGIONE LAZIO
Provincia di LATINA

PROGETTO:

REALIZZAZIONE DELL' IMPIANTO AGROVOLTAICO "LA COGNA" DA
20.997,34 kWp E DELLE RELATIVE OPERE ED INFRASTRUTTURE
CONNESSE NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI APRILIA (LT)

Potenza Nominale Impianto: 20.997,34 kWp

Potenza Immissione: 21.800,0 kW

PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO:

**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA:
STUDIO AGRONOMICO DEL SITO**

COMMITTENTE



INE La Cogna srl
A Company of ILOS New Energy Italy

INE La Cogna S.R.L.
Piazza Walther Von Vogelweide, 8
39100 Bolzano (BZ)
P. IVA 16311421008
P.e.c. inelacognasrl@legalmail.it

INE LA COGNA S.R.L.
a company of ILOS New Energy Italy
P.IVA e C.F.: IT 16311421008
Sede legale: Piazza Walther Von Vogelweide 8,
39100 Bolzano (BZ)
inelacognasrl@legalmail.it

M. Schieran
Firmato Digitalmente

Formato A4	SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI		
	Commessa L2203	Documento STUDIO AGRONOMICO DEL SITO	N. Doc. Rel 06 R1

Prof. Vamerli Teofilo
Viale dell'Università 16
35020 Legnaro (Padova) – Italy

tel +39 049 8272861
teofilo.vamerli@unipd.it

Legnaro, 27/10/2023

OGGETTO: Relazione agronomica per la coltivazione di terreno agricolo integrato con impianto fotovoltaico ad inseguimento solare in località La Cogna - Aprilia

Sommario

1	Descrizione del progetto e valutazione di conformità alle Linee Guida MITE (giugno 2022)....	2
2	Effetti microclimatici sulle piante nel sistema agrivoltaico	5
3	Esperienze di coltivazione in condizione di ombreggiamento	8
4	Stato attuale della superficie agricola interessata dall'impianto agrivoltaico	10
5	Coltivazione futura	11
5.1	<i>Coltivazione del prato polifita permanente</i>	12
5.2	<i>Realizzazione del prato polifita e meccanizzazione</i>	15
5.3	<i>Sostenibilità economica dell'attività agricola</i>	18
5.4	<i>Integrazione coltura-fotovoltaico</i>	20
5.5	<i>Monitoraggio delle produzioni agricole nel sistema agrivoltaico</i>	23
6	Analisi multicriterio.....	24
7	Conclusioni	27
8	Bibliografia	29

1 Descrizione del progetto e valutazione di conformità alle Linee Guida MITE (giugno 2022)

Il progetto fotovoltaico interessa un terreno agricolo situato in località La Cogna nel comune di Aprilia (Latina), che si estende su una superficie catastale complessiva di 28,99 ettari (Fig. 1). Sul terreno insisteva un impianto policiclico artificiale di Eucalipto, molto diradato, a fine turno programmato, espantato per la raccolta delle biomasse legnose tra la fine del 2022 e l'inizio del 2023.

Il progetto prevede di realizzare una superficie captante fotovoltaica (superficie totale di ingombro S_{pv}) di 9,38 ettari circa, che determina un rapporto **LAOR (Land Occupation Ratio) del 32,4%**, valore inferiore al limite massimo del 40% indicato nelle Linee Guida Nazionali in Materia di Impianti Agrivoltaici (Giugno 2022) (Criterio A2).



Figura 1. Visione dall'alto dell'area oggetto di intervento (delimitata da linea fucsia).

Al netto della viabilità aziendale, delle cabine elettriche e della fascia vegetazionale perimetrale di mitigazione, **la superficie agricola coltivata e sottoposta a raccolta meccanizzata** risulta di 20,96 ettari, **pari al 72,3% della superficie totale (indice LAOR)**. Tale valore rispetta dunque il limite minimo del 70% indicato dalle Linee Guida Nazionali del MITE (Criterio A1).

L'impianto fotovoltaico consente il **contemporaneo esercizio conveniente dell'agricoltura e la produzione di energia elettrica rinnovabile con la loro integrazione sinergica** (Criterio B1), con una **producibilità elettrica minima** che sarà superiore al 60 % di quella di un impianto standard (Criterio B2). Al fine di verificare la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli del sistema agri-voltaico si prevede il monitoraggio della continuità dell'attività agricola (Criterio B1), della producibilità elettrica minima (criterio B2) e dell'impatto sulle colture (Criterio D2), mentre il criterio D1 (monitoraggio del risparmio idrico) non è applicabile poiché il terreno non è attualmente irriguo e la coltivazione del prato polifita previsto non necessiterà di apporti idrici.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra con pannelli fotovoltaici monocristallini sopraelevati ad inseguimento solare, organizzati in filari nord-sud con interfila ampia (8,50 m), tali da consentire la coltivazione meccanizzata dell'interfilare. Le ali fotovoltaiche, che presentano movimentazione est-ovest, sono incernierate a 3,1 m di altezza, determinando con il moto di rotazione un'altezza da terra minima (alba e tramonto) di 1,22 m da un alto, e massima di 5,16 m dall'altro, **per tale motivo l'impianto si configura come agrivoltaico "standard" (rispetto dei criteri A, B, D2 delle Linee Guida)**. I pannelli fotovoltaici sono sorretti da tali tracker semplicemente inseriti nel terreno senza alcun manufatto cementizio, non causando in tal modo nessun consumo di suolo. Tali piloni sono agevolmente rimovibili a fine vita dell'impianto e non determinano alcun impatto residuo sul terreno agricolo.

Considerati i dati progettuali, la proiezione a terra dei pannelli fotovoltaici determina uno spazio libero tra i filari di larghezza variabile in funzione dell'orario del giorno, da un minimo di circa 3,7 m (mezzogiorno, ora solare con pannelli paralleli al terreno) ad un massimo di 5,7 m (alba e tramonto) (Fig. 2).

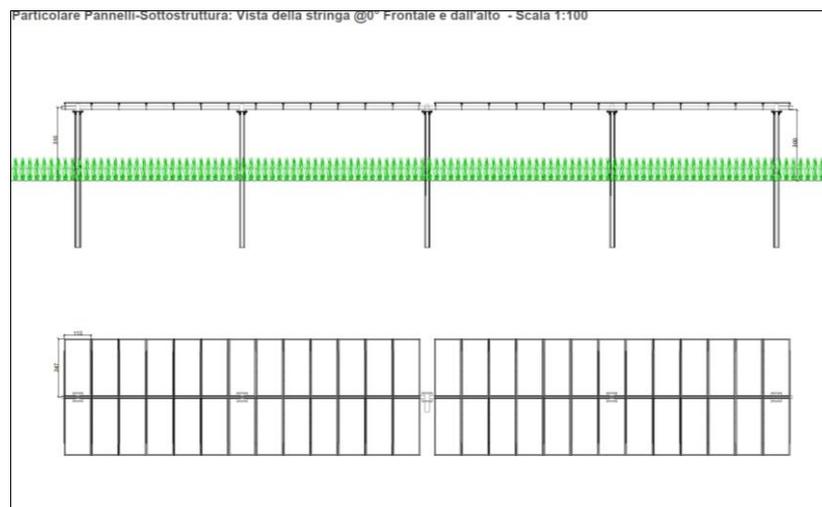
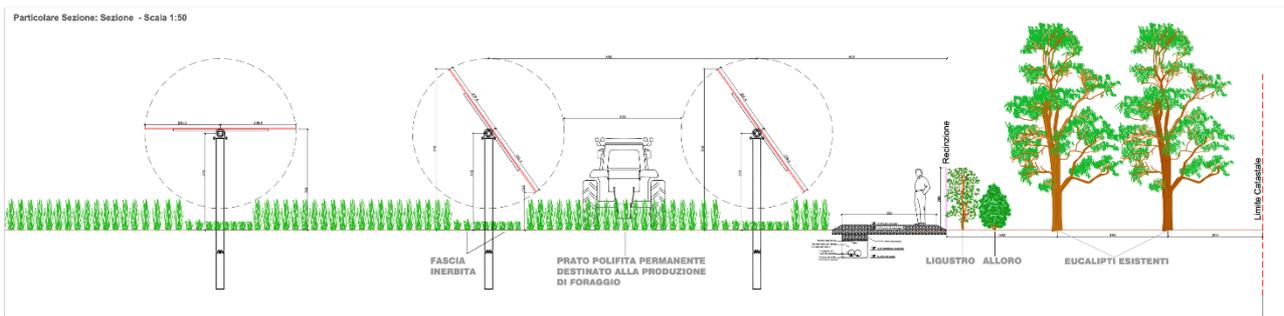


Figura 2. Schema di progettazione dell'impianto agrivoltaico.

La zona libera tra i filari fotovoltaici consente quindi la necessaria movimentazione dei mezzi meccanici per la gestione delle ordinarie attività di coltivazione del terreno. Il progetto prevede, infatti, la coltivazione di un prato polifita permanente, di durata illimitata, che risulta ben adatto alle condizioni microclimatiche che si vengono a realizzare all'interno dell'impianto e per la conservazione della fertilità del terreno. Tale scelta, che verrà di seguito descritta, ha notevoli vantaggi in termini di conservazione della qualità e fertilità del suolo (accumulo di sostanza organica), favorendo lo sviluppo di organismi terricoli nel suolo indisturbato/non lavorato, l'incremento della biodiversità, la diffusione e la protezione delle api selvatiche, il popolamento della fauna selvatica e dei predatori e antagonisti di malattie parassitarie delle piante coltivate. La produttività del prato polifita non risulterebbe alterata dalla presenza della copertura fotovoltaica ma, al contrario, si prevede un effetto sinergico, con la possibilità di aumentare la produttività unitaria (per ettaro) e la conseguente marginalità rispetto alle condizioni di pieno sole, soprattutto

nelle annate più calde e siccitose, per l'effetto di contenimento dell'evapotraspirazione ad opera dei pannelli fotovoltaici, come dimostrato dalla letteratura internazionale ed europea di settore. La coltivazione del prato consentirebbe anche un'agevole conversione al metodo di coltivazione biologico per il ridotto apporto di input colturali necessari alla conduzione del prato.

2 Effetti microclimatici sulle piante nel sistema agrivoltaico

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.

Radiazione solare

La radiazione solare è un fattore essenziale per le piante, garantendo lo svolgimento della fotosintesi clorofilliana, l'accrescimento e la produzione dei prodotti agricoli. Le piante tuttavia, utilizzano 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 nell'intervallo tra 400 e 700 nm di lunghezza d'onda, frazione dello spettro solare che rappresenta circa il 40% dell'energia della radiazione globale. Le piante peraltro riflettono alla superficie delle foglie il 25% della radiazione globale, pari al 10% della componente utile (PAR).

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, quest'ultima essendo 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, del momento del giorno e del periodo dell'anno, mentre si ha un aumento della quantità di radiazione diffusa, molto più favorevole alla fotosintesi rispetto alla radiazione diretta.

Nel presente impianto si stima che la riduzione **media annua** della **radiazione diretta** sia dell'80% nelle zone immediatamente adiacenti al filare (fino a circa 1 m di distanza), mentre nella zona

centrale dell'interfilare sia del 30-35%. In realtà, queste riduzioni medie devono considerarsi meno marcate nel periodo primaverile-estivo (periodo nel quale si realizza il ciclo di sviluppo delle maggior parte delle piante coltivate) per effetto del maggior angolo di elevazione solare. Inoltre, la tipologia mobile del pannello fotovoltaico adottata in progetto, per effetto di riflessione consente alle piante coltivate di sfruttare sia la radiazione riflessa che quella diffusa dai pannelli.

Considerando il livello di saturazione della fotosintesi per l'intensità luminosa, le piante vengono classificate in eliofile e sciafile. Le specie eliofile richiedono una elevata quantità di radiazione, mentre le sciafile soffrono per un eccesso di illuminazione. La maggior parte delle piante coltivate sono 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 per effetto del reciproco ombreggiamento. 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'ombreggiamento è considerato condizione favorevole e realizzata agronomicamente, ad esempio aumentando la densità di semina o trapianto, per accentuare l'allungamento dei fusti e quindi la produzione di fibra, foraggio e foglie. Nell'insalata o nel basilico, ad esempio, un leggero ombreggiamento aumenta la dimensione e riduce lo spessore delle foglie, rendendo il prodotto di migliore qualità commerciale.

Temperatura

In riferimento alla temperatura dell'aria, questa rappresenta la diretta conseguenza della radiazione solare. Normalmente l'ombreggiamento non determina una riduzione della temperatura dell'aria in un sistema aperto qual è un impianto agrivoltaico, ma piuttosto uno sfasamento, con un ritardo termico al mattino in fase di riscaldamento dell'atmosfera, e un rallentamento del raffreddamento serale (Panozzo et al., 2019). Al di sotto dell'impianto fotovoltaico inoltre, è lecito attendersi una maggiore umidità relativa dell'aria al mattino, e minore nel tardo pomeriggio-sera rispetto alle zone in pieno sole.

L'ombreggiamento delle colture è una pratica agricola molto utilizzata, ad esempio nelle serre per ridurre le temperature nel periodo estivo tramite reti ombreggianti (dal 30 al 50% di ombreggiamento); l'ombreggiamento in questo modo riduce 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 questa base termica, l'accrescimento incrementa di velocità all'aumentare della temperatura fino ad una temperatura ottimale, oltre la quale esso rallenta fino ad arrestarsi alla cosiddetta *temperatura massima* (anche questo valore è specifico per ogni specie vegetale). Le elevate temperature estive, superiori alla temperatura massima, possono quindi ridurre l'accrescimento delle piante, condizione attentamente monitorata nell'attuale contesto di cambiamento climatico. Per mitigare questi effetti, numerosi studi scientifici sono concordi oggi nel suggerire l'introduzione di filari alberati e siepi a distanza regolare nei sistemi agricoli, proprio per attenuare l'impatto negativo delle elevate temperature e della carenza idrica nel periodo primaverile-estivo, soprattutto in ambiente Mediterraneo. Una funzione analoga è svolta dai pannelli fotovoltaici, così come dimostrano alcuni studi tedeschi condotti in impianti agrivoltaici pilota (Fraunhofer ISE, 2020).

In funzione delle esigenze termiche, le piante vengono raggruppate in **microterme**, generalmente a ciclo autunno-primaverile, aventi modeste esigenze termiche; e **macroterme**, ovvero piante estive che necessitano di temperature più elevate. I cereali microtermi (grano, orzo, avena, segale), molte specie foraggere graminacee (erba mazzolina in particolare, ma anche loiessa, loietto perenne, poa, festuca arundinacea, coda di topo, etc.), e alcune leguminose (es. veccia, pisello), che hanno zero di vegetazione relativamente basso, traggono vantaggio dalla condizione di parziale ombreggiamento che si viene a creare negli impianti agrivoltaici (Mercier et al., 2020). Ne sarebbero comunque avvantaggiate anche le specie vegetali macroterme per effetto dell'attenuazione degli effetti negativi derivanti dagli eccessi termici estivi, riducendo l'evapotraspirazione ed il fabbisogno irriguo. Studi recenti sugli effetti dell'ombreggiamento generato da alberature di pioppo, ad esempio, evidenziano un miglioramento del contenuto di clorofilla fogliare ed una maggiore espansione fogliare in grano tenero e soia, che in qualche caso si traduce in un incremento di produzione (Mezzalana et al., 2021).

D'estate il parziale ombreggiamento riduce anche il riscaldamento del suolo con effetti positivi sull'accrescimento delle radici, che possiedono un ottimo di temperatura (16°C in molti cereali autunno-primaverili) inferiore rispetto alla parte epigea della pianta. In tali condizioni le radici

possono accrescersi maggiormente anche grazie alla maggiore 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 poiché i pannelli riflettono le radiazioni infrarosse (raggi caloriferi) emesse dalla terra durante il raffreddamento notturno, e questo permette un miglioramento sensibile dell'accrescimento delle piante microterme anche nei periodi più freddi dell'anno. Ne trarrebbero vantaggio in particolare le piante foraggere microterme, ma anche i cereali vernini come grano ed orzo e leguminose a ciclo autunno-primaverile come pisello e favino.

Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione è definita come somma delle perdite di acqua per evaporazione dal terreno e per traspirazione fogliare da parte delle piante. Delle due, solo il flusso dai vegetali è utile all'accrescimento poiché mantiene aperti gli stomi, e quindi consente gli scambi gassosi necessari per la fotosintesi (ingresso di anidride carbonica nella foglia). In condizioni di ombreggiamento si rileva una riduzione della traspirazione fogliare ed una più marcata riduzione dell'evaporazione dal terreno, determinando un aumento dell'efficienza d'uso delle riserve idriche del suolo.

In grano è stato stimato ad esempio che un ombreggiamento del 50% determina una riduzione del 30-35% dell'evapotraspirazione (Marrou et al., 2013a), con un risparmio di circa 200 mm di acqua rispetto ai 600 mm complessivamente 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 del grano (la ben nota "stretta"), il parziale ombreggiamento che si realizza nel sistema agrivoltaico deve essere considerato positivamente anche per i cereali da granella.

3 Esperienze di coltivazione in condizione di ombreggiamento

Allo stato attuale esistono informazioni scientifiche documentate in merito agli effetti dell'ombreggiamento per varie 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 agrivoltaici sperimentali, sia fissi che ad inseguimento solare.

Le colture meno penalizzate dalla presenza dei pannelli fotovoltaici 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 parziale ritardo dell'epoca di maturazione (Marrou et al., 2013b). Il mais, invece pianta estiva tropicale, 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, a latitudini quindi più svantaggiate rispetto all'Italia in termini di disponibilità complessiva di radiazione solare; 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 (barriere), ma le perdite risultano notevolmente inferiori nel caso di pannelli a inseguimento solare e con adeguata progettazione (distanza tra i filari) dell'impianto agrivoltaico. Interessanti sono, tuttavia, gli aumenti di resa registrati in patata, grano e orzo in annate particolarmente siccitose (es. 2018). È stato inoltre documentato che le specie foraggere (graminacee e trifoglio) subiscono perdite di produzione modeste, del 5-8%, mentre è stato confermato che il mais, non risulta adatto alla coltivazione in presenza di fotovoltaico a causa della compromissione dell'accrescimento, della robustezza e la fertilità della pianta.

Questi risultati sono in linea con gli studi italiani (Amaducci et al., 2018) che hanno simulato in un impianto agrivoltaico a Piacenza, sulla base dei dati climatici storici degli ultimi 40 anni, rese di grano analoghe o superiori al pieno sole. Tali risultati vanno ascritti alle migliori condizioni microclimatiche nel periodo di maturazione della coltura, ovvero una maggiore umidità del terreno, una minore evapo-traspirazione e l'effetto frangivento che riduce l'allettamento delle piante. Va ritenuto interessante anche il parziale effetto antigrandine dovuto alla copertura fotovoltaica.

Risultati produttivi interessanti in condizioni di ombreggiamento elevato sono stati ottenuti anche in pomodoro, che non risente di una riduzione della radiazione fino al 60% (Callejòn-Ferre et al., 2009).

4 Stato attuale della superficie agricola interessata dall'impianto agrivoltaico

Il terreno dell'area di progetto è stato coltivato con essenze legnose, principalmente Eucalipto, con varie specie: *Eucalyptus viminalis*, *E. globulus*, *E. trabutii* e *E. occidentalis*. L'impianto risale al 1980, ed è già stato sottoposto a 2 cicli di taglio senza rilascio di matricine, nel 1994 e nel 2004. Nel 2022 è stato realizzato il terzo e ultimo taglio, come da turno programmato. La vitalità delle ceppaie è in riduzione da tempo, sia nella competizione intraceppaia che nella densità dell'impianto (Fig. 3).



Figura 3. Aspetto diradato dell'eucalipteto in località La Cogna nel 2022.

L'eucalipto è pianta tipica del territorio Agro Pontino, pur non autoctona (proviene dall'Oceania), la cui introduzione risale all'epoca delle bonifiche di inizio 1900, risultando utile la sua azione frangivento costiera ma anche l'elevato consumo di acqua per la riduzione del ristagno idrico, mentre il legno ha scarso valore commerciale, usato prevalentemente come legna da ardere.

Allo stato attuale si stima la presenza di una densità di 1500 piante per ettaro, dalla cui ceduzione si è calcolato l'ottenimento di circa 110 m³/ha di legno (dati: diametro medio a petto d'uomo di 13 cm, altezza del popolamento circa 16 m). Si stima di ricavare circa 90 tonnellate di legna ad ettaro, che al prezzo medio di 30 €/t del legname in piedi corrisponde a 2.700 €/ha, valore da ripartire su 18 anni dell'ultimo turno di ceduzione. Ciò significa che il reddito atteso non capitalizzato, e al lordo dell'eliminazione delle ceppaie, è di circa 150 €/ha/anno.

L'area è circondata da piccole superfici di boschi naturali limitate agli impluvi dei due fossi (Ciocca e Buon riposo) presenti in contiguità ad ovest della superficie (Fig. 1). Si tratta di boschi a prevalenze di specie quercine quali leccio (*Quercus ilex* L.), quercia crenata (*Q. crenata* L.), roverella (*Q. pubescens* L.) e specie secondarie quali frassino minore (*Fraxinus ornus* L.), alloro (*Lauris nobilis* L.), con arbusti quali lentisco (*Pistacia Lentiscus* L.), mirto (*Myrtus communis* L.), fillirea (*Phillyrea latifolia* L.) e rovi (*Rubus* spp.). Lo stato fitosanitario è buono, non sono presenti disseccamenti o danni legati a fitopatologie, e verranno mantenute come elemento di pregio ambientale.

5 Coltivazione futura

Il progetto ingegneristico prevede di installare inseguitori solari mono-assiali con i quali, contrariamente a quanto avveniva con il fotovoltaico tradizionale (pannelli fissi rivolti verso sud) che presenta una zona d'ombra concentrata in corrispondenza dell'area coperta dai pannelli stessi, si realizza una fascia d'ombra che si sposta con gradualità durante il giorno da ovest verso est sull'intera superficie del terreno. Come conseguenza non si vengono a creare zone costantemente ombreggiate o costantemente soleggiate, e questo consente una adeguata coltivazione agraria del terreno.

Date le premesse su esposte in merito alla risposta delle piante all'ombreggiamento, nell'impianto agrivoltaico in oggetto si **prevede di coltivare un prato polifita permanente destinato alla produzione di foraggio**. Tale scelta, incontra un elevato livello di naturalità e di rispetto ambientale per effetto del limitato impiego di input colturali richiesti, consente di attirare e dare protezione alla fauna e all'entomofauna selvatica, in particolare le api, e rappresenta la migliore soluzione per coltivare l'intera superficie di terreno e ottenere produzioni analoghe a quelle che si raggiungerebbero in pieno sole. Va evidenziato, infatti, che negli impianti agrivoltaici ad inseguimento solare esistenti viene coltivata solamente la fascia centrale dell'interfilare, corrispondente a circa il 60-70% della superficie, mentre vengono mantenute inerbite le fasce di rispetto immediatamente adiacenti al filare fotovoltaico.

5.1 Coltivazione del prato polifita permanente

Facendo riferimento alle rilevazioni meteorologiche di Latina, il sito si caratterizza per una piovosità media annua storica elevata, di 1.010 mm, ed una temperatura media annua di 16,1 °C. La piovosità è maggiormente concentrata nel periodo autunno-primaverile con valori mensili non inferiori a 75 mm, mentre nei mesi di giugno, luglio e agosto le precipitazioni sono modeste, di circa 25 mm al mese. Le temperature medie mensili oscillano tra 7,9 °C di gennaio e 25,3 °C di agosto (Fig. 4).



Figura 4. Andamento termo-pluviometrico di Latina.

L'eliofania è quella tipica della latitudine, con una durata giornaliera del soleggiamento che oscilla tra 5,96 ore di gennaio a 12,16 ore di luglio (Fig. 5).

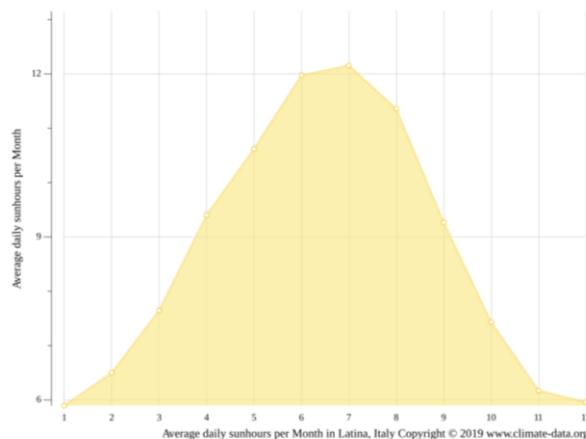


Figura 5. Eliofofania (numero di ore di luce) medio mensile a Latina.

Considerate le condizioni climatiche della zona, la coltivazione scelta è quella della **produzione di foraggio attraverso la realizzazione di un prato permanente (detto anche prato stabile)**. Tale coltivazione beneficia della naturale piovosità autunno-primaverile, e ben si adatta alle condizioni di parziale e variabile ombreggiamento creato dai pannelli fotovoltaici. Va ricordato che **il sito non dispone di prese o pozzi di acqua irrigua e la coltivazione del prato avverrà in asciutta senza l'ausilio dell'irrigazione**.

Il prato permanente è coltura molto diffusa in Italia (691.733 ettari nel 2021), utilizzata per la produzione di foraggio destinato all'allevamento degli animali, essenzialmente ruminanti, equini e cunicoli. Nel 2021 in Lazio erano presenti 69.620 ettari di prato permanente (Fonte ISTAT), di cui 9.700 in provincia di Latina, con una produzione media di foraggio molto elevata, circa 96 quintali per ettaro.

La produzione foraggera può essere realizzata in vario modo, con prati monofiti (formati da una sola essenza foraggera), prati oligofiti (formati da due o tre foraggere), e prati polifiti che prevedono la coltivazione contemporanea di molte specie foraggere. In base alla durata si distinguono: erbai, di durata inferiore all'anno; prati avvicendati, di durata pluriennale, solitamente 2-4 anni; e permanenti, di durata di alcuni decenni o illimitata. Per garantirne una durata prolungata, la stabilità della composizione floristica e una elevata produttività, i prati permanenti possono essere periodicamente (ogni 3-4 anni) traseminati nel periodo autunnale senza alcun intervento di lavorazione del terreno (semina diretta).

Il prato polifita permanente si caratterizza per la presenza sinergica di molte specie foraggere, generalmente appartenenti alle due famiglie botaniche più importanti, graminacee e leguminose, permettendo così la massima espressione di biodiversità vegetale, a cui si aggiunge una elevata biodiversità microbica e della mesofauna del terreno, e quella della fauna selvatica che trova rifugio nel prato. Molte leguminose foraggere, come il trifoglio pratense, il trifoglio bianco ed il trifoglio incarnato, ed il ginestrino, sono anche piante mellifere, potendo fornire un ambiente edafico e di protezione idoneo alle api selvatiche e all'ape domestica. In merito al potere mellifero, il trifoglio pratense ad esempio è classificato come specie di classe III, mentre il ginestrino di classe II, potendo fornire rispettivamente da 51 a 100 kg miele, e da 25 a 50 kg di miele per ettaro all'anno.

Il prato polifita permanente non necessita di alcuna rotazione colturale e quindi non deve essere annualmente lavorato come avviene negli altri seminativi, condizione che favorisce la stabilità del biota e la conservazione (ma anche l'aumento) della sostanza organica del terreno, e allo stesso

tempo la produzione e la raccolta del foraggio. Diversamente da quello che si potrebbe pensare, questa condizione mantiene un ecosistema strutturato e solido del cotico erboso con conseguente arricchimento sia in termini di biodiversità che di quantità della biofase (organismi viventi) del terreno. Il cotico erboso permanente consente anche un agevole passaggio dei mezzi meccanici utilizzati per la pulizia periodica dei pannelli fotovoltaici anche con terreno umido.

Le piante che costituiscono il prato permanente variano in base al tipo di terreno e alle condizioni climatiche e saranno individuate dopo analisi pedologica e chimica. Verrà impiegato un **miscuglio di graminacee e di leguminose**:

- le graminacee, a rapido accrescimento dopo lo sfalcio, sono ricche di energia e di fibra;
- le leguminose sono molto importanti perché fissano l'azoto atmosferico, in parte cedendolo alle graminacee e fornendo una ottimale concimazione azotata del terreno, e offrono un foraggio di elevato valore nutritivo grazie alla abbondante presenza di proteine.

Per massimizzare la produzione e l'adattamento del prato alle condizioni di parziale ombreggiamento sarà opportuno impiegare due diversi miscugli, uno per la zona centrale dell'interfilare più soleggiata, e uno più adatto alla maggior riduzione di radiazione solare per le fasce adiacenti il filare fotovoltaico. Pur tuttavia, l'impiego di un unico miscuglio con un elevato numero di specie consentirà la selezione naturale di quelle più adatte alle diverse distanze dal filare fotovoltaico in funzione del gradiente di soleggiamento/ombreggiamento che si viene a creare.

I prati stabili gestiti in regime non irriguo possono fornire 2-3 sfalci all'anno con produzioni medie pari a 80-100 quintali per ettaro di fieno, derivanti principalmente dal primo sfalcio (50% del totale annuo), e fino a 4-5 sfalci, con una produzione complessiva di 120-140 quintali, in irriguo. Tradizionalmente gli sfalci vengono denominati, in ordine cronologico, maggengo, agostano, terzuolo e quartiolo. Il maggengo, come detto, è il primo e viene ottenuto a inizio maggio. Gli altri cadono a intervallo variabile da 35-40 giorni per i prati irrigui e fino a 50-60 giorni per quelli asciutti, anche in funzione dell'andamento pluviometrico. Il primo e l'ultimo sfalcio forniscono un foraggio ricco di graminacee (microterme), mentre le leguminose (macroterme) prevalgono nei mesi estivi. Date le parziali condizioni di ombreggiamento, si prevede di sottoporre il foraggio a insilamento oppure a fienagione in due tempi: dopo un breve appassimento dell'erba in campo, si procederà alla raccolta del prodotto da insilare, oppure al completamento dell'essiccazione artificialmente in fienile (fienagione in due tempi). Entrambi questi sistemi di raccolta consentono di ridurre notevolmente le perdite meccaniche di foraggio causate dalle operazioni di rivoltamento e di

raccolta, e forniscono un prodotto di qualità superiore, per la maggiore abbondanza di proteine dovuta alla minor perdita di foglie, rispetto alla fienagione tradizionale. Non si esclude tuttavia la possibilità di essiccare completamente il foraggio del secondo e terzo sfalcio, in piena estate, risparmiando così il costo dell'insilamento o dell'essiccazione artificiale.

I prati stabili presentano una varietà di specie molto più elevata rispetto ai prati avvicendati, nei quali in genere si coltiva erba medica, i trifogli e il loietto. Per questo motivo, i prati stabili divengono oggetto di tutela normativa dopo 5 anni di permanenza continuativa, allo scopo di proteggerne la biodiversità floristica e faunistica.

5.2 Realizzazione del prato polifita e meccanizzazione

Il prato polifita verrà seminato in autunno (settembre-ottobre) al termine della messa in opera dell'impianto fotovoltaico, comprensivo di piloni e ali fotovoltaiche, previa lavorazione meccanica del terreno con ripuntatura ed erpicatura. La semina verrà realizzata con seminatrici a file o a spaglio al dosaggio di 35-40 kg/ha di semente con miscugli costituiti da 8-12 specie e varietà di foraggiere graminacee e leguminose. Verrà adottata una elevata biodiversità nella composizione del miscuglio, utilizzando specie graminacee (loietto italico e loietto perenne, erba fienarola, festuca, erba mazzolina, fleolo) e leguminose (trifoglio pratense, trifoglio bianco, trifoglio incarnato, trifoglio alessandrino, lupolina e ginestrino).

Il prato polifita verrà realizzato su tutta la superficie agricola disponibile coltivando l'intero interfilare di 8,5 metri. Per il passaggio delle macchine operatrici va considerato che l'ingombro dei pannelli in posizione orizzontale (ore 12:00) è di 4,76 m, lasciando una larghezza minima per passaggio delle macchine operatrici ampia, di 3,7 m, in ampliamento durante le altre fasce orarie. I pannelli presentano una larghezza di 4,76 m che, per rotazione est-ovest determina un'altezza minima da terra all'alba e al tramonto di 1,22 da un lato e 5,16 m dall'altra; a mezzogiorno l'altezza del pannello è di 3,1 m.

Le operazioni meccaniche di fienagione saranno realizzate con trattori di medio-bassa potenza (40-60 CV) di piccole dimensioni, facilmente manovrabili all'interno degli interfilari. L'impiego di barre falcianti frontali o laterali consentiranno di svolgere le operazioni di sfalcio fino a ridosso del filare fotovoltaico. Le successive fasi di rivoltamento e andatura del foraggio, da svolgere rispettivamente con macchine spandivoltafieno e andatori sono agevolate dalla modesta altezza

di tali attrezzature (massimo 75-80 cm), che possono compiere in sicurezza il lavoro anche sotto i pannelli fotovoltaici. La permanenza del foraggio in campo e il numero di rivoltamenti sarà contenuto, in quanto si intende valorizzare la qualità del foraggio attraverso l'insilamento o la fienagione in due tempi, in sostituzione della fienagione tradizionale, con un breve periodo (1-2 giorni) di pre-appassimento in campo; non si esclude comunque il ricorso alla fienagione tradizionale, in piena estate, con la raccolta di foraggio completamente secco qualora le condizioni climatiche lo consentissero. Rispetto alla fienagione tradizionale, in questo caso il foraggio sarà di maggiore quantità per effetto della minimizzazione delle perdite meccaniche, e di migliore qualità (contenuto proteico) potendo preservare da rotture e perdite le parti del foraggio più nobili e ricche di proteine (fogliame).

Le macchine per la raccolta, essenzialmente rotoimballatrici, sono comunemente di larghezza e dimensioni contenute, opereranno nella zona centrale dell'interfilare dopo che il fieno sarà stato radunato in tale posizione tramite giroandanatore. In generale la movimentazione in campo dei trattori con le diverse macchine operatrici è compatibile con i dati progettuali dell'impianto fotovoltaico (larghezza interfilare, altezza delle ali fotovoltaiche e loro rotazione). Va tenuto comunque in considerazione che eventuali particolari necessità di passaggio di attrezzature di dimensioni elevate, ad esempio il sistema di carico e trasporto delle rotoballe di fieno, è possibile attraverso il bloccaggio delle ali fotovoltaiche in posizione completamente a Est o Ovest, per singoli filari indipendenti. Tale posizione verrà normalmente adottata per effettuare le periodiche pulizie dei pannelli fotovoltaici (lavaggio annuale), ma può essere utilizzata anche per agevolare il passaggio delle macchine operatrici dedite alla gestione agronomica, e durante eventi piovosi per favorire una omogenea distribuzione delle piogge al terreno.

Verrà considerata inoltre l'opportunità di sostituire i trattori diesel con trattori ad alimentazione elettrica per il miglioramento della sostenibilità ambientale dell'intero sistema produttivo, soluzione ingegneristica oggi disponibile soprattutto per piccole e medie potenze.

Considerato che i pannelli sono ad inseguimento solare, che i filari dei pali tracker sono ben distanziati, lo spazio libero tra le ali fotovoltaiche utile al passaggio delle macchine operatrici dedite alle operazioni agricole è da considerarsi ampio. Pur modificandosi in funzione dell'orario del giorno, la zona libera da ingombri verticali varia da un minimo di 3,7 m a mezzogiorno, ad un massimo di 5,7 m all'alba e al tramonto.

Anche considerando la distanza minima tra le ali fotovoltaiche di 3,7 m, il passaggio di tutte le trattrici agricole è possibile poiché la larghezza massima per la libera circolazione stradale è di 2,50 m, oltre la quale i mezzi agricoli vengono classificati “speciali”. La maggior parte delle trattrici agricole possiede larghezze “fuori tutto” (pneumatici compresi) inferiori a 2,5 m, in grado quindi di transitare facilmente al centro dell’interfilare di progetto anche con la minima distanza tra le ali fotovoltaiche. Questo consente l’esecuzione di tutte le operazioni meccaniche senza interferire con la funzionalità e l’integrità dei pannelli fotovoltaici.

L’ingresso dei macchinari (trattore+attrezzatura) avverrà dalle vie di accesso (capezzagne o strade sterrate) attuali e quelle di nuova realizzazione. Inoltre, la suddivisione dell’area in più corpi agevolerà l’ingresso dei macchinari, ed il trasporto del foraggio (Fig. 6).

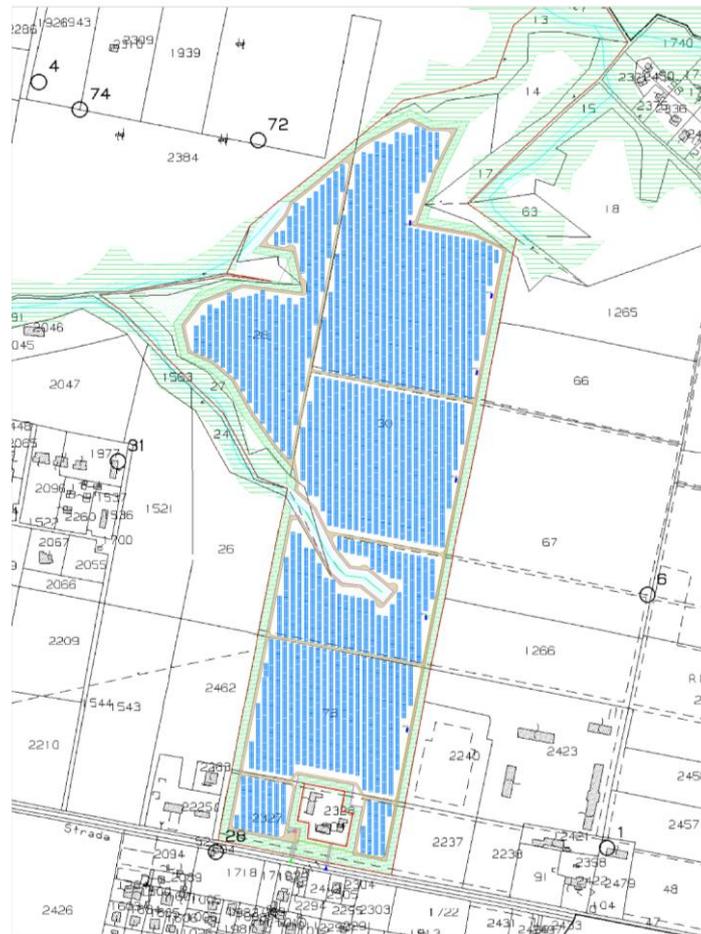


Figura 6. Area di progetto a fotovoltaico suddivisa in 6 corpi.

Si riportano di seguito i tempi di lavoro indicativi delle principali operazioni meccaniche (Tabella 1).

Tabella 1. Tempi di esecuzione delle principali operazioni agricole per la coltivazione del prato polifita.

Operazione	Ettari/ora	Ore complessive (circa 28 ettari)	Note
Ripuntatura ed erpicatura	1,5	(18,6)	<i>Operazione una tantum alla semina del prato</i>
Semina	2	(14)	<i>Operazione una tantum alla semina del prato</i>
Concimazione	4	7	<i>Operazione di fine inverno</i>
Sfalcio, rivoltamento, andatura, e raccolta	0,5	56	<i>Tempo richiesto ad ogni sfalcio</i>

5.3 Sostenibilità economica dell'attività agricola

Per verificare la sostenibilità economica dell'attività agricola nell'impianto fotovoltaico si è fatto riferimento alla determinazione del MARGINE LORDO unitario (per ettaro), calcolato con la seguente formula:

Margine Lordo (ML, espresso in €/ha) = PLT – CV

Dove:

- PLT = produzione lorda totale come sommatoria della produzione lorda vendibile (PLV) e della eventuale produzione reimpiegata e/o trasformata in azienda;
- CV = costi variabili = SS (spese dirette) + ASP (Altre spese) + RA (Reimpieghi).

I CV possono essere calcolati anche come somma delle seguenti voci: anticipazioni, acqua, assicurazioni, energia, concimi, conto-terzismo, commercializzazione, difesa, sementi, altri costi, reimpieghi.

Ipotizzando di ricorrere completamente al contoterzismo, ed escludendo quindi l'acquisto e l'ammortamento di macchine e attrezzature agricole, il Margine lordo corrisponde al MARGINE NETTO operativo.

Facendo riferimento alla produttività dei prati polifiti della provincia di Latina (96 quintali per ettaro di foraggio secco, dati ISTAT) ottenibili con almeno 3 sfalci annuali, e considerando un prezzo medio del foraggio di 13 € al quintale, se ne ricava una PLV di 1.248 € ad ettaro. A questa devono essere

sottratte le voci di costo, incluso la quota annuale di ammortamento delle spese una tantum per la semina/impianto del prato polifita (Tabella 2).

Di seguito si riporta un bilancio analitico previsionale, tenuto conto del prezzario delle opere agricole della Regione Lazio - Assessorato all'Agricoltura, del 2015, qui aggiornato al 2022 sulla base dell'inflazione ISTAT avvenuta dal 2015 al 2021 (aumento del 4,6%). Ove non presenti, si fa riferimento al listino prezzi A.P.I.M.A. – Associazione provinciale Imprese di meccanizzazione Agricola di Reggio Emilia.

Tabella 2. Calcolo dei costi di impianto del prato polifita.

Operazione	Costo €/ha	Note
Ripuntatura	188	Profondità 40-50 cm
Erpicatura (2 passaggi)	84	Profondità 10-15 cm
Semina	52	Seminatrice meccanica
Semente	184	40 kg/ha di semente a 4,6 €/kg
Costo Totale	508	
Costo medio annuo	25	Durata 20 anni

Tabella 3. Calcolo dei costi di coltivazione/raccolta, della Produzione Lorda vendibile (PLV) e del margine netto per ettaro di prato polifita.

Operazione/Macchinario	€/ha	Note
Falcia condizionatrice	195	Per 3 sfalci
Spandivoltafieno	222	Per 3 sfalci
Pressatura	192	2 € al quintale (96 quintali totali)
Insilamento (fasciatura con film plastico)	219	8 € al ballone (1 ballone = 3,5 quintali)
Concimazione di fine inverno	173	Incluso il concime
Quota annuale costo impianto	25	
Totale costi	1026	
PLV	1248	Si ipotizza 13 € al quintale (96 quintali totali)
Margine netto operativo	222	

Il totale dei costi di coltivazione risulta pari a 1026 € ad ettaro, determinando un margine netto operativo di 222 € ad ettaro (Tabella 3). Tale valore, pur non molto elevato, potrà aumentare nel caso di ricorso alla fienagione tradizionale rispetto all'insilamento qui ipotizzato, che incide per il 21% sui costi totali, e nell'ipotesi di miglioramento della produttività del prato grazie all'effetto di

schermatura dei pannelli fotovoltaici. Tale valore risulta comunque leggermente superiore alla stima del reddito netto derivante dalla ceduzione dell'attuale Eucalipteto, di 150 €/ha.

5.4 Integrazione coltura-fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico si integra perfettamente con la coltivazione del prato stabile, come sopra evidenziato, potendo anche far aumentare la resa in foraggio grazie agli effetti di schermatura e protezione con parziale ombreggiamento nelle ore più assolate e calde delle giornate estive ed il mantenimento di condizioni ottimali di umidità del terreno per un tempo più prolungato. Questa condizione è particolarmente utile dopo lo sfalcio, quando l'assenza di copertura vegetale causerebbe un rapido essiccamento del terreno nel periodo estivo, a discapito della capacità di ricaccio delle essenze foraggere.

L'ampio interasse tra i filari fotovoltaici (8,5 m), unitamente alla possibilità di reclinare completamente i pannelli con appositi automatismi, consente l'accesso dei mezzi meccanici comunemente impiegati nella fienagione, che consistono in trattrici di potenza medio-bassa, e piccole e medie attrezzature agricole (barre falcianti, spandi-voltafieno, giro-andanatori, rotoimballatrici).

In riferimento ai dati progettuali, la superficie captante dei pannelli fotovoltaici (9,38 ettari) insiste per il 32,4% circa (**indice LAOR**) sull'intera area del sito La Cogna (28,99 ettari), **valore inferiore al limite massimo del 40% indicato dalle Linee Guida Nazionali in materia di Impianti Agrivoltaici (Giugno 2022) (Criterio A2 rispettato)**. All'interno del sito si prevede di mantenere la viabilità perimetrale e le adiacenti alberature che svolgeranno fin da subito una importante azione di mitigazione dell'impatto visivo (Fig. 7).



Figura 7. Foto della zona di progetto con alberature perimetrali esistenti.

Va inoltre ribadito che la combinazione tra fotovoltaico ad inseguimento monoassiale e prato polifita permanente consente di mantenere **una elevata percentuale di utilizzo del suolo per scopi agricoli, qui quantificata nell'ordine del 72,3%, valore superiore al limite minimo del 70% indicata dalle Linee Guida del MITE del Giugno 2022 (Criterio A1 rispettato). L'impianto può quindi essere definito Agrivoltaico..**

Nell'analisi dell'interazione coltura-sistema fotovoltaico vanno considerati i seguenti elementi:

- I filari fotovoltaici, posti ad interasse di 8,5 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 Est o Ovest, in questo modo è agevole svolgere tutte le operazioni meccaniche legate alla fienagione;
- L'assenza di elettrodotti interrati (con esclusione di quelli concentrati esternamente, dalle cassette stringhe alla cabina elettrica che saranno posati sulle strutture o sulla viabilità interna) consente le normali lavorazioni del terreno per la semina del prato, ma anche eventuali operazioni di scarificazione/arieggiamento del terreno;
- I supporti dei pannelli fotovoltaici sono costituiti da pali in acciaio infissi o avvitati nel terreno e di facile rimozione a fine vita operativa;
- Il prato polifita permanente arricchisce progressivamente di sostanza organica e di biodiversità il terreno, mantiene un ecosistema strutturato e solido del cotico erboso, le leguminose presenti nel miscuglio fissano l'azoto atmosferico fornendo una ottimale

concimazione azotata del terreno, e producono un foraggio di elevato valore nutritivo ricco di proteine;

- Il tipo di coltivazione proposta è compatibile con la possibilità di convertire il terreno in agricoltura biologica, in virtù dei bassi input di concimazione richiesti dal prato e dall'assenza di malattie o parassiti da controllare.

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 avvitamento e possono essere rimossi con facilità per semplice estrazione;
- I cavidotti sono minimi e saranno posizionati unicamente ai margini dell'area dei pannelli fotovoltaici, 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 stesse dei tracker, senza interessare il terreno con cavidotti.

Relativamente all'impatto paesaggistico e la gestione del sistema agrivoltaico, si evidenzia quanto segue:

- Il prato permanente è una coltura pluriennale la cui durata è dell'ordine di decenni e più, che offre una copertura vegetale verde continuativa, anche nel periodo invernale, mitigando efficacemente l'impatto paesaggistico del sistema fotovoltaico;
- Le attività di impianto del prato polifita, che consistono in ripuntatura, erpicatura e semina, non interferiscono con il Fotovoltaico in quanto sono attività una-tantum propedeutiche e preliminari all'attivazione dell'impianto stesso;
- L'attività di manutenzione ordinaria del fotovoltaico, che consiste in sostanza nell'annuale lavaggio dei pannelli, avviene con mezzi leggeri che non arrecano danno al prato, al contrario, vi è un impatto positivo del prato sulla transitabilità del terreno;
- 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, assimilabili per tipologia alle attività agricole, possono rappresentare una integrazione al reddito del personale impiegato, e attenuano l'impatto visivo dell'intero impianto.

5.5 Monitoraggio delle produzioni agricole nel sistema agrivoltaico

Al fine di verificare la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli del sistema agrivoltaico si prevede il monitoraggio della continuità dell'attività agricola (Criterio B1) e dell'impatto sulle colture (Criterio D2), e della producibilità elettrica minima (criterio B2).

La disponibilità di un'ampia area agricola esterna alla recinzione di progetto di 1,05 ettari (particella catastale 14, Fig. 6), con la stessa tipologia e fertilità del suolo, da utilizzare come controllo/testimone per la coltivazione del prato polifita con la stessa composizione floristica di quello presente nell'impianto agrivoltaico, consentirà il confronto efficace e preciso degli effetti della presenza dei pannelli fotovoltaici rispetto al pieno sole.

I monitoraggi previsti sono:

B1: Continuità dell'attività agricola.

Questa verrà valutata dai seguenti parametri:

- a) Vi sarà l'annuale accertamento del mantenimento della superficie inerbita, e dell'adeguata gestione agronomica associata alla rilevazione della produzione foraggera e del valore della PLV (produzione lorda vendibile);
- b) L'indirizzo produttivo della produzione agricola antecedente all'impianto agrivoltaico era di tipo arboreo da legno che non prevedeva marchi IGP o DOP, e questo verrà ricondotto a seminativo (prato polifita) come era prima del 1980 (anno di impianto dell'eucalipteto).

CRITERIO B2: Producibilità elettrica minima.

Il progetto agrivoltaico prevede l'installazione di 30.212 pannelli da 695 W ciascuno, per una potenza complessiva di picco di 20.997,34 kWp. In base alle caratteristiche dell'impianto agrivoltaico, composto da tracker monoassiali a rotazione est-ovest, la produzione elettrica specifica per kWp installato (1.743,42 kWh/kWp/anno) è maggiore di circa il 25% rispetto alle strutture fisse posate con 25° di tilt e 0° azimut (circa 1.488 kWh/kWp/anno). Considerando che si sarebbero potuti

installare circa 30.000 kWp su tutto il terreno a disposizione si avrebbero avute le seguenti producibilità specifiche:

Produzione FVagri: $1.743,42 * 20.997,34 / 29,9 = 1.224,3$ MWh/ha/anno

Produzione FVstandard: $1.488 * 30.000 / 29,9 = 1.429,7$ MWh/ha/anno

Risulta quindi che: $FVagri = 0,82 * FVstandard$

Essendo $FVagri > 0,6 FVstandard$, ci si attende che dal monitoraggio annuale della produzione di energia elettrica il Criterio B2 venga rispettato.

D2: Monitoraggio della continuità dell'attività agricola:

Attraverso la rilevazione annuale delle produzioni di foraggio sarà possibile redigere una relazione agronomica asseverata, con cadenza triennale, che riporti la produttività del prato nel sistema agrivoltaico e nel controllo, corredata dalle informazioni sulla tecnica di coltivazione e le condizioni di accrescimento della coltura. La produttività del prato polifita verrà monitorata ad ogni sfalcio, ponendo in raffronto il sistema agrivoltaico al testimone. In questo modo sarà possibile ottenere la dinamica delle produzioni stagionali e inter-annuali, anche in funzione del variabile andamento climatico nel corso degli anni. L'azienda proponente aderirà alla rilevazione dei dati con metodologia RICA (Rete di Informazione Contabile Agricola).

6 Analisi multicriterio

Quando la scelta di una opzione progettuale interessa più criteri di valutazione (es. economico, ambientale, sociale, etc.), e non solo quelli economici, è opportuno utilizzare una metodologia di analisi multicriterio (AMC). 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), ove 0 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 assegnato 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 robusta sia la scelta della soluzione migliore.

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 decisore.

Per un'analisi oggettiva tra le due situazioni a confronto (agrilvoltaico con prato polifita vs. attuale coltivazione a fine vita economica dell'eucalipto), si è costruita una matrice che assegna punteggi compresi tra -5 (minimo) e +5 (massimo) ad alcuni indicatori socio-economici ed ambientali, nonché quelli tecnico-energetici così importanti in questo momento di elevato costo dell'energia (Tabella 4).

Poiché si è voluto pesare in egual misura tutti i criteri, si è deciso di assegnare a ciascuno di essi un peso eguale e pari a 1.

Tabella 4. Matrice dei principali effetti socio-economici e ambientali delle coltivazioni a confronto.

Voce	Coltivazione attuale (Bosco ceduo di Eucalipto)	Coltivazione futura (Prato Polifita Permanente+FV)
1. Occupazione (impiego di personale)	(+4) Medio-alto, in conseguenza della parziale meccanizzazione delle operazioni di ceduzione, che però sono una-tantum.	(+3) Medio, per le operazioni di sfalcio e raccolta del foraggio ripetute 2-3 volte all'anno. Impiego addizionale di maestranze agricole per la manutenzione delle siepi perimetrali. Medio-alto, per l'impiego di tecnici specializzati impiegati nella costruzione e manutenzione dell'impianto foto-voltaico.
2. Fertilità agronomica dei terreni (contenuto di sostanza organica)	(+3) Buono: a fine ciclo di 42 anni del ceduo il terreno si presenta fertile per il deposito di lettiera e la non lavorazione del terreno.	(+3) La lavorazione del terreno è necessaria solo nel primo anno di impianto del prato polifita. Le specie leguminose presenti nel miscuglio fissano l'azoto atmosferico, fornendo una naturale concimazione del terreno, e le piante arricchiscono di sostanza organica il terreno.
3. Effetti sul sistema idrico (consumo di acqua e qualità)	(+2) Elevato consumo di acqua ma non di fertilizzanti e antiparassitari	(+3) Moderate necessità di acqua di irrigazione. Limitato utilizzo di concimi. Nessun utilizzo di antiparassitari.
4. Utilizzo di carburanti fossili per le macchine agricole	(+5) Modesto impiego di carburanti. Le piante fissano una elevata quantità di anidride carbonica riducendo le emissioni.	(+3) La coltivazione del prato polifita richiede l'uso di mezzi agricoli leggeri e consumi ridotti di carburante.
5. Biodiversità floristica e faunistica	(+4) Ottimi effetti di riparo di fauna e insetti utili forniti dalle varie specie di eucalipto.	(+4) I miscugli polifiti generalmente prevedono la coltivazione di numerose specie foraggere contemporaneamente (8-12 specie). Molte specie attraggono insetti impollinatori (api), ed il prato crea rifugio per fauna selvatica e nemici naturali (parassitoidi) dei parassiti delle piante.
6. Margine lordo (valore economico del prodotto agricolo)	(+1) La coltivazione genera una marginalità molto bassa	(+2) Il prato polifita produce una marginalità medio-bassa.
7. Produzione di Energia Rinnovabile	(+1) Si stima una produzione di circa 90 t di legna in 18 anni, pari a 5 t/ha/anno, che hanno una resa energetica in combustione di 5,14 MWh/t, per un totale di circa: 26^(*) MWh/ha <small>(*) valore medio del Polere Calorifero Inferiore Anidro del legno</small>	(+5) La produzione dell'associato impianto fotovoltaico raggiunge annualmente per ogni ettaro di superficie circa: 727 MWh/ha L'intera produzione di foraggio è inoltre destinata all'alimentazione animale per la produzione di alimenti per l'uomo.
PUNTEGGIO TOTALE	20	23

La matrice AMC evidenzia un **punteggio maggiore del sistema agrivoltaico**, rispetto alla coltivazione attuale, anche ipotizzandone una destinazione energetica.

Con questa soluzione il terreno agricolo oggetto di intervento garantirà un reddito aggiuntivo al reddito caratteristico della sola produzione agricola grazie alla produzione di energia rinnovabile.

È quindi evidente come l'obiettivo di coniugare la coltivazione agricola con un razionale, sinergico e conveniente uso del terreno, sia efficacemente raggiunto con il sistema agrivoltaico.

7 Conclusioni

L'esigenza di produrre energia rinnovabile è oggi quanto mai sentita per ridurre gli effetti negativi dell'inquinamento e del cambiamento climatico legati all'utilizzo di energie fossili, e per calmierare l'attuale prezzo dell'energia oggetto di forti tensioni internazionali a seguito dell'incremento dei costi delle materie prime, incluse quelle energetiche e cerealicole. L'associazione tra impianto fotovoltaico di nuova generazione (ad inseguimento solare) e l'attività agricola rappresenta una soluzione innovativa dell'uso del territorio che trova giustificazione nel maggiore output energetico (LER, *Land Equivalent Ratio*) complessivamente ottenuto dai due sistemi combinati rispetto alla loro realizzazione individuale separata.

Attraverso la scelta di idonee colture, tolleranti al parziale ombreggiamento generato dai pannelli fotovoltaici, è possibile migliorare la produttività agricola e la conseguente marginalità e sfruttare efficacemente per scopi agricoli la superficie di terreno tra i pannelli fotovoltaici. A differenza delle coltivazioni cerealicole (es. frumento) che sono possibili solo nella zona centrale dell'interfilare fotovoltaico, **la scelta di coltivare specie foraggere all'interno di un miscuglio di prato polifita consente di sfruttare l'intera superficie del terreno.** La presenza inoltre di molte specie nel miscuglio foraggero, garantisce l'instaurarsi di un perfetto equilibrio e l'adattamento del prato alle specifiche e variabili condizioni di illuminamento, favorendo l'una o l'altra essenza foraggera in funzione delle condizioni microclimatiche che si vengono a realizzare a diverse distanze dal filare fotovoltaico.

Sebbene siano diverse le colture realizzabili all'interno di un impianto agrivoltaico, e con marginalità spesso comparabile, **la scelta del prato polifita permanente consente di raggiungere contemporaneamente più obiettivi, oltre alla convenienza economica:** conservazione della qualità dei corpi idrici, aumento della sostanza organica dei terreni, minor inquinamento ambientale da fitofarmaci, minor consumo di carburanti fossili, aumento della biodiversità vegetale e animale, creando, in particolare, un ambiente idoneo alla protezione delle api, raggiungendosi così il massimo dei benefici, come indicato dall'analisi costi-benefici multicriterio.

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) documenta che la maggior parte dei terreni coltivati sta progressivamente perdendo di fertilità a causa della coltivazione intensiva e dell'elevata frequenza e profondità delle lavorazioni. È oggi frequente rilevare valori di

sostanza organica dei terreni inferiore a 1,5%, e in molti casi anche inferiori all'1%, condizione che agronomicamente viene definita di terreno "povero", inferiore alla soglia ideale del 2%. La situazione viene efficacemente migliorata con il mantenimento prolungato dell'inerbimento, come evidenzia l'elevato contenuto di sostanza dei terreni destinati a prato permanente, che presentano anche 3-4% di humus. A tale riguardo, va rilevato che il terreno è uno dei sink di carbonio più importanti per la sua fissazione, dopo le foreste e gli oceani, e riveste quindi un ruolo fondamentale nella mitigazione climatica.

Durante il periodo estivo l'impianto fotovoltaico offre protezione dal vento, contro l'allettamento delle colture, riduce il consumo di acqua e riduce gli eccessi di calore sempre più frequenti in un contesto di cambiamento climatico, agendo da moderno sistema di ombreggiamento, analogamente a quanto svolto dalle siepi e dalle alberature campestri. **L'adozione del sistema fotovoltaico può anche aumentare la produttività del prato permanente nelle annate più calde e siccitose, attraverso il mantenimento di una più elevata umidità del terreno, facilitando il ricaccio dopo lo sfalcio e riducendo gli apporti idrici artificiali.** Dal punto di vista paesaggistico, inoltre, la superficie a prato mitiga efficacemente la presenza dell'impianto fotovoltaico anche nel periodo invernale, fornendo una superficie stabilmente verde.

La presenza attuale di zone boscate perimetrali, soprattutto nel lato Ovest del sito costituisce un ulteriore importante elemento di arricchimento paesaggistico e un corridoio ecologico per la fauna selvatica, nonché un valido sistema di intercettazione di eventuali agrofarmaci provenienti dai campi coltivati. Poiché le alberature perimetrale presentano già uno sviluppo notevole in altezza e fittezza, consentiranno fin da subito di svolgere anche il ruolo di mitigazione di impatto visivo dell'impianto fotovoltaico, attenuando la fase di transizione.

8 Bibliografia

- 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.

Mezzalana G., Panizza A., Vamerali T., 2021. L'agroforestazione è un pilastro fondamentale del farming for future. *Biogas Informa*, 36: 34-41.

Panizza 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