

REGIONE SARDEGNA  
**COMUNE DI CODRONGIANOS**  
PROVINCIA DI SASSARI

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PER LA REALIZZAZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO SOLARE  
AGRIVOLTAICO A TERRA DELLA POTENZA DI PICCO (DC) PARI A 39,99  
MW<sub>p</sub> CON SISTEMA DI ACCUMULO, CON CONNESSIONE ALLA RETE  
TERNA PER UNA POTENZA (AC) PARI A 30,8 MW**



Proponente: **SOLAR TORRES SRL**

VIA BORBOGNA, 8 - 20122 MILANO (MI)

**TAVOLA:**

**B1.R06**

**ELABORATO:**

**RELAZIONE AGRIVOLTAICA**

DATA STESURA  
**OTTOBRE 2023**

AGGIORNAMENTO

SCALA  
-

PROPONENTE



**SOLAR TORRES S.r.l.**

Via Borgogna, 8  
20122 Milano (MI)  
PEC:solartorres@legalmail.it  
P.IVA 10670410967



PROGETTAZIONE



**MARE S.r.l.s.**

Dott. Agr. Davide Atzori  
Ordine dei Dottori agronomi della Provincia di Oristano n.156

## Sommario

<b>1. PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO</b>	<b>5</b>
<b>a. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b>	<b>5</b>
<b>b. CARATTERI VEGETAZIONALI</b>	<b>9</b>
<b>c. USO DEL SUOLO</b>	<b>11</b>
<b>3. DATI SPECIFICI DI PROGETTO</b>	<b>13</b>
<b>a. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO</b>	<b>13</b>
<b>4. CONDUZIONE AGRIVOLTAICA DEI TERRENI</b>	<b>17</b>
<b>a. EFFETTI MICROCLIMATICI SULLE PIANTE NEL SISTEMA AGRIVOLTAICO</b>	<b>20</b>
<b>i. Radiazione solare</b>	<b>20</b>
<b>ii. Temperatura</b>	<b>21</b>
<b>iii. Evapotraspirazione</b>	<b>22</b>
<b>5. ESPERIENZE DI COLTIVAZIONE IN CONDIZIONE DI OMBREGGIAMENTO</b>	<b>23</b>
<b>6. STATO ATTUALE DELLA SUPERFICIE AGRICOLA INTERESSATA DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO</b>	<b>24</b>
<b>7. COLTIVAZIONE FUTURA</b>	<b>24</b>
<b>a. COLTIVAZIONE DEL PRATO POLIFITA PERMANENTE</b>	<b>25</b>
<b>i. Opzione 1 - Sfalcio stagionale</b>	<b>27</b>
<b>ii. Opzione 2 - Pascolo</b>	<b>28</b>
<b>b. APICOLTURA</b>	<b>29</b>
<b>i. Calcolo del potenziale mellifero</b>	<b>30</b>
<b>ii. Calcolo del numero di arnie</b>	<b>32</b>
<b>iii. Analisi economica dell'attività apistica</b>	<b>34</b>
<b>c. INTEGRAZIONE COLTURA-FOTOVOLTAICO</b>	<b>40</b>
<b>d. SOSTENIBILITA' ECONOMICA DELL'ATTIVITA' AGRICOLA</b>	<b>42</b>
<b>e. ANALISI MULTICRITERIO</b>	<b>43</b>
<b>f. GESTIONE IDRAULICA</b>	<b>46</b>

<b>g. REALIZZAZIONE DEL PRATO POLIFITA E MECCANIZZAZIONE DELLA RACCOLTA</b>	<b>46</b>
<b>h. ESSICCAZIONE E STOCCAGGIO DEL FORAGGIO</b>	<b>47</b>
<b>i. SVILUPPO AZIENDALE FUTURO</b>	<b>48</b>
<b>j. CALCOLO PARAMETRI AGRIVOLTAICO</b>	<b>49</b>
<b>8. CONCLUSIONI</b>	<b>55</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>60</b>

	<b>RELAZIONE AGRIVOLTAICA</b>	Codifica <b>B1.R06</b>	
		Rev. 00 del 30/10/2023	Pag. <b>4</b> a 61

## 1. PREMESSA

La presente relazione si inquadra nell'ambito del progetto relativo alla realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra e delle opere di connessione in località "Sos Coroneddos" nel Comune di Codrongianos. Nello specifico, l'intervento riguarda la realizzazione e l'esercizio di un impianto solare agrivoltaico.

L'Impianto sarà denominato "AgriCodrongianos" ed avrà una potenza di picco di 39,99 MWp e in immissione di 30,80 MWac integrato da un sistema di accumulo sul lato DC e connesso da un cavidotto AT a 36 kV. Come da STMG (CODICE PRATICA: 202002147), l'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV con una nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione a 380/220/150/36 kV della RTN.

## 2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

### a. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il progetto ricade entro le pertinenze amministrative del Comune di Codrongianos (SS) su terreni a destinazione d'uso agricolo.

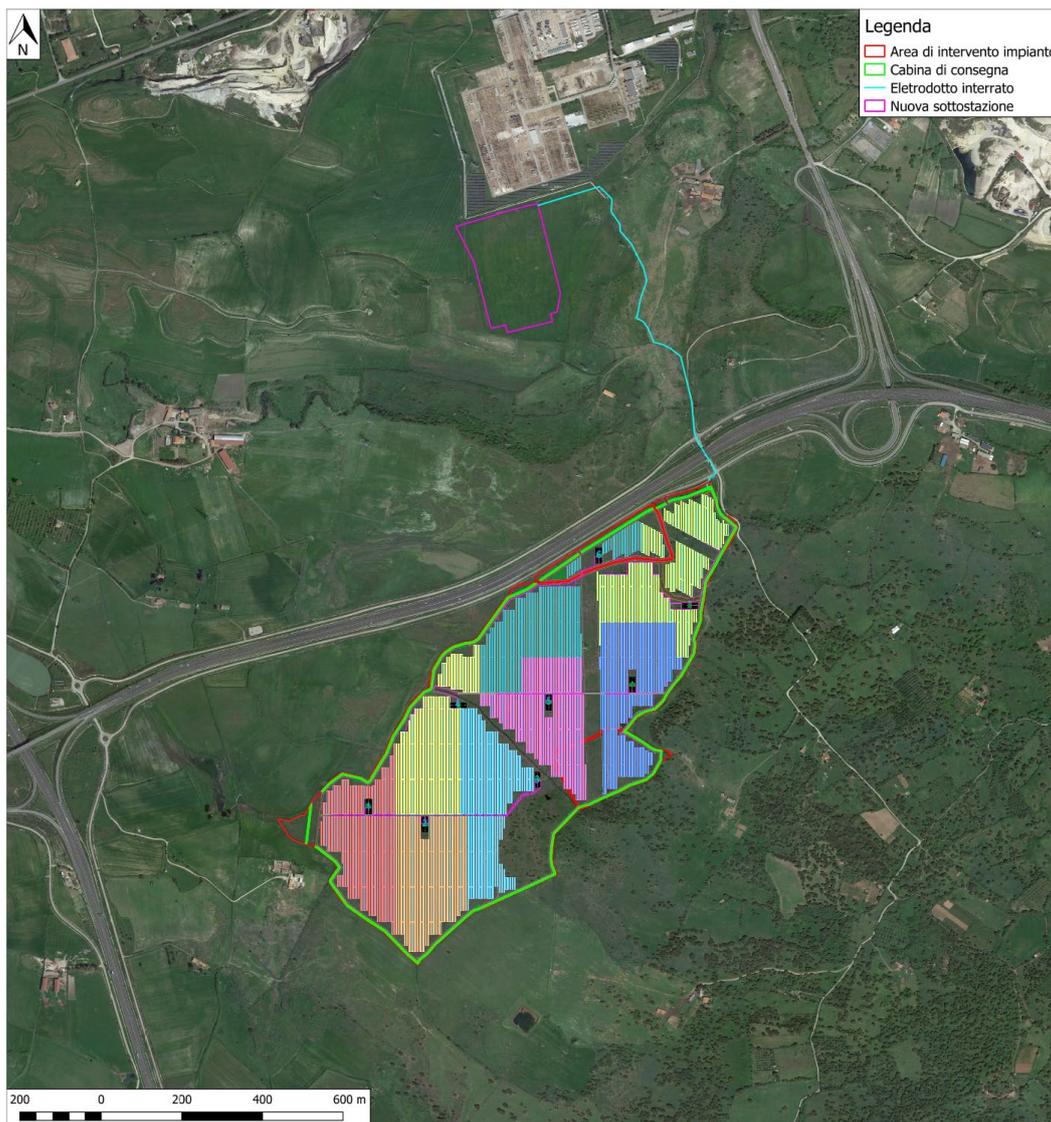


Figura 1: Inquadramento su ortofoto

La Figura 1 mostra l'area di interesse inquadrata su base ortofoto del 2019 estratta dal Database Cartografico della Regione Autonoma della Sardegna.

	<b>RELAZIONE AGRIVOLTAICA</b>	Codifica <b>B1.R06</b>	
		Rev. 00 del 30/10/2023	Pag. <b>6</b> a 61

Il progetto è inoltre inquadrato in:

- Cartografia IGM (Figura 2) in scala 1:50.000 nel Foglio 460, Ploaghe;
- Carta Tecnica Regionale (Figura 3) in scala 1:10.000 nei Fogli 460-130 e 460-090;
- Catasto Terreni (Figura 4):
  - Foglio 16 – Particella 125;
  - Foglio 18 – Particelle 31, 152, 156, 182;
  - Foglio 20 – Particella 1;
  - Foglio 25 – Particella 1108.

In particolare, i perimetri delle aree impianto ricadono nei Fogli 18 e 20 mentre, il percorso del cavidotto parte dal Foglio 18 e attraversa i Fogli 25 e 16 per finire nella Stazione Terna di Codrongianos, che ricade nel Foglio 16.

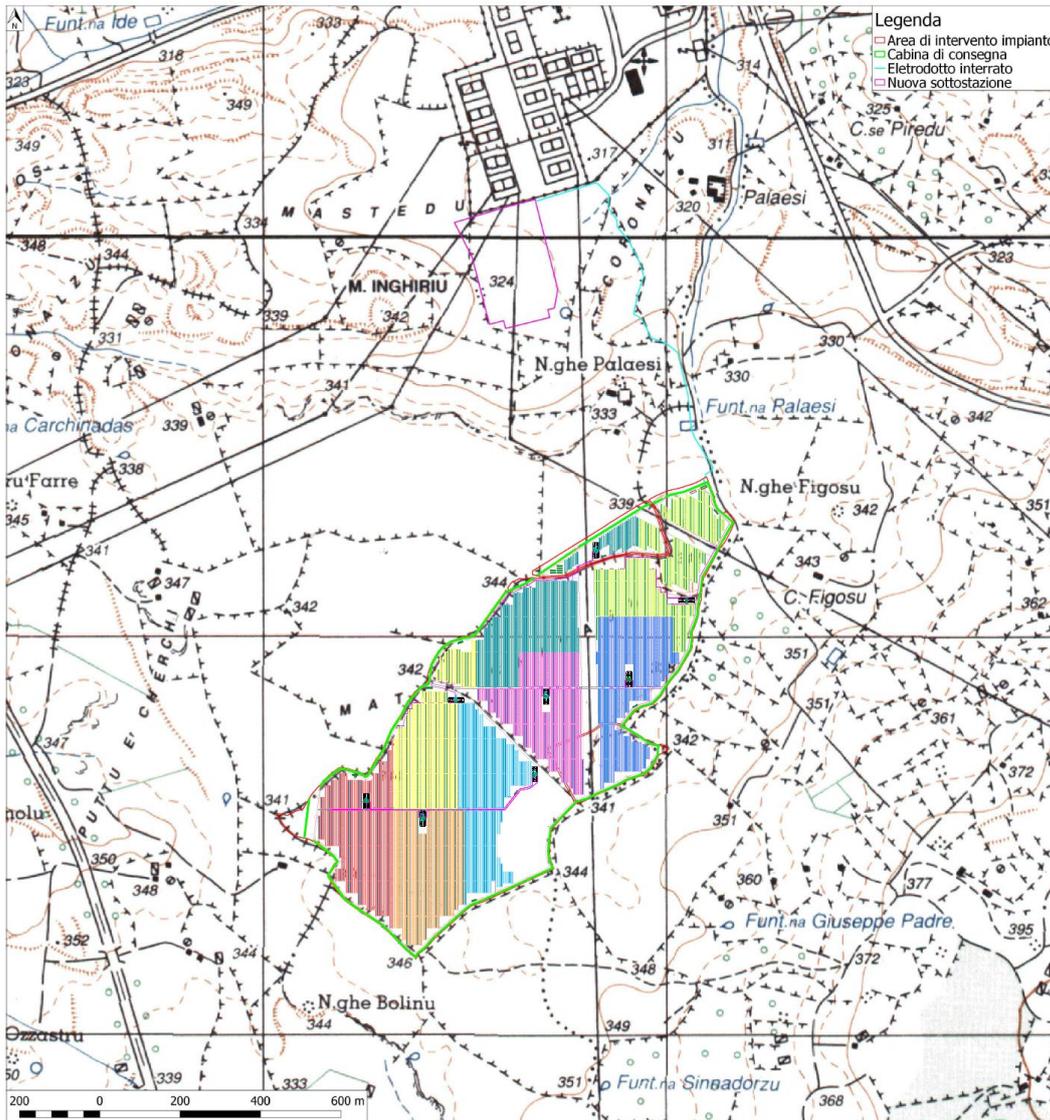


Figura 2: Inquadramento su IGM

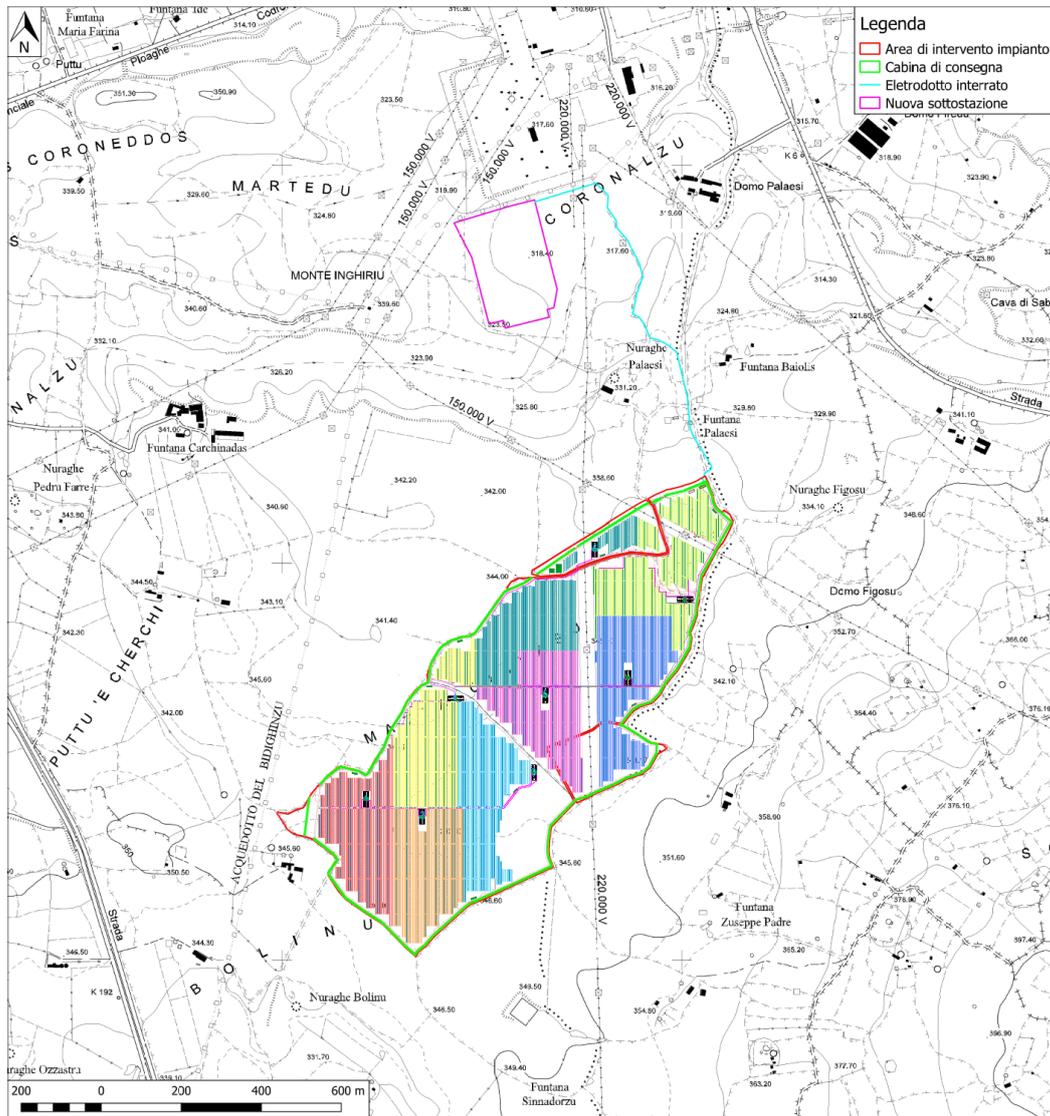


Figura 3: Inquadramento su CTR

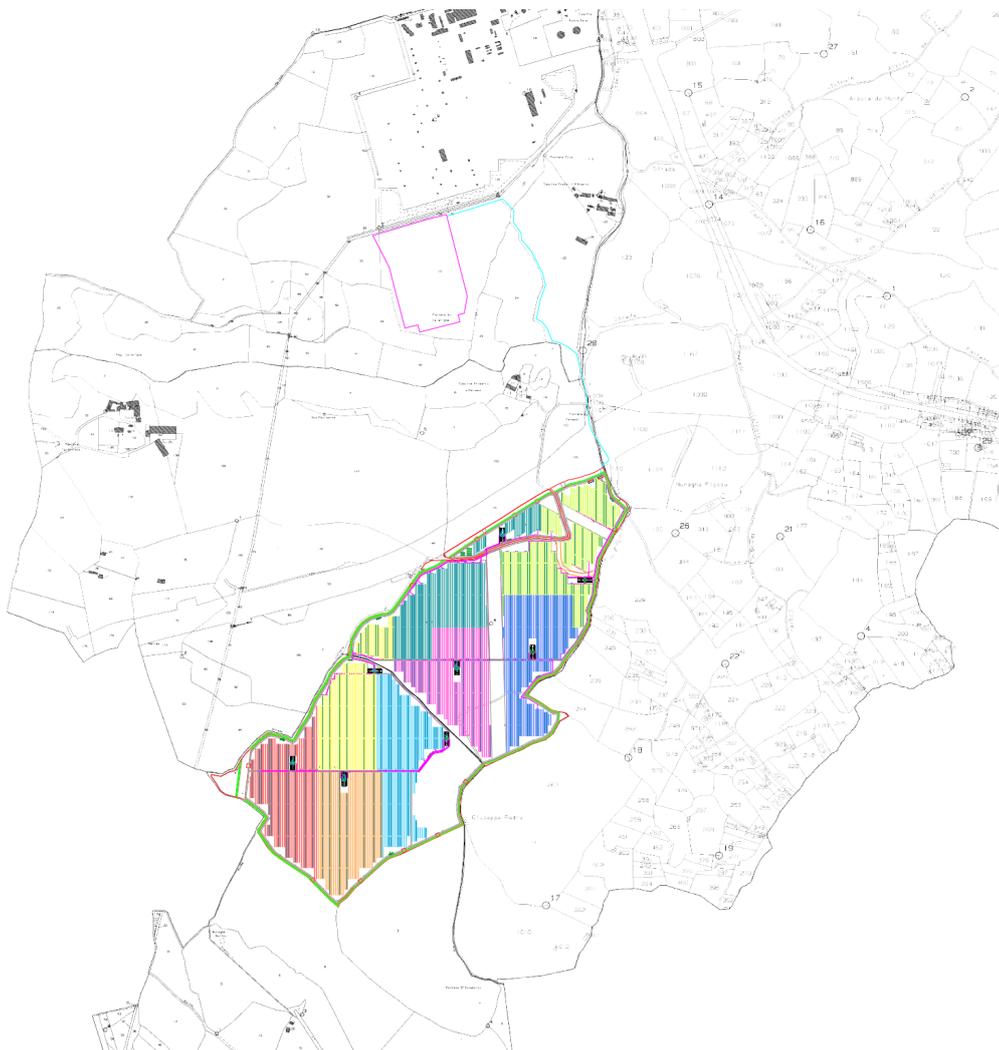


Figura 4: Inquadramento su catastale

**b. CARATTERI VEGETAZIONALI**

Seguendo le indicazioni della carta forestale della Sardegna, le unità di lettura della flora esistente sono le associazioni, che rappresentano un raggruppamento vegetale più o meno stabile, in parziale equilibrio con l’ambiente, caratterizzato da una composizione floristica determinata in cui certi elementi più o meno esclusivi rivelano una ecologia particolare e autonoma.

L’associazione vegetale deriva da un insieme di individui che possiedono in comune gli stessi caratteri floristici, statistici, ecologici, dinamici, corologici e storici.

	<b>RELAZIONE AGRIVOLTAICA</b>	Codifica <b>B1.R06</b>	
		Rev. 00 del 30/10/2023	Pag. <b>10</b> a 61

In base ai criteri generali di classificazione indicati dalla carta forestale della Sardegna sono stati individuate le seguenti associazioni:

- Associazione 2, che delimita tutte le aree che presentano condizioni pedo-agronomiche interessanti per una forma di agricoltura intensiva (agricoltura irrigua, uliveti, frutteti, vigneti, etc.);
- Associazione 4, che rappresenta quei terreni in cui vive una vegetazione naturale, estremamente degradata o parzialmente degradata, in cui è stata praticata e si pratica una pastorizia irrazionale ed una selvicoltura che non ha curato la conservazione della formazione forestale, ma solo la produttività immediata a livello economico. Tale associazione si divide nelle due sub-associazioni S1 ed S2. S1 rappresenta le aree in cui la foresta esistente è scomparsa e la vegetazione è rappresentata da qualche cespuglio del genere Quercus completamente accestito dal pascolo e contornato da sottobosco degradato. Tale territorio rappresenta il termine più degradato, prossimo alla desertificazione, ove non è possibile alcun processo produttivo immediato, ma riattivabili con razionali interventi di rimboschimento per la formazione forestale primitiva.
- Associazione 8, occupata soprattutto da popolazioni pure di Quercus Suber, realizzate artificialmente e quindi fattore puramente antropico. La sub unità Q2, raccoglie boschi costituiti da piante cespugliate coetanee tendenti alla maturità.

Il paesaggio agricolo forestale, cioè quella parte del territorio modellata nel tempo dall'esercizio di attività colturali e di allevamento, è costituito da appezzamenti a medica o a cereali o le superfici boscate. Il confine tra paesaggio spontaneo e paesaggio modellato è labile e consente di classificare il territorio comunale come "edificato a prevalenza di copertura vegetale artificiale ed organizzata in colture specializzate sia da un punto di vista strutturale che botanico.

Nel territorio comunale di Codrongianos, l'intensa attività antropica accompagnata ai fattori climatici hanno determinato la distruzione quasi totale della copertura originale, costituita prevalentemente da sughere.

	<b>RELAZIONE AGRIVOLTAICA</b>	Codifica <b>B1.R06</b>	
		Rev. 00 del 30/10/2023	Pag. <b>11</b> a 61

Nelle diverse zone a vocazione forestale, si osserva una ripresa delle specie autoctone con prevalenza di uno strato arbustivo costituito prevalentemente da Cystus, Colicitone, Quercus pubescens, Pistacia lentiscus, Genista, Olea oleaster, etc.

### c. USO DEL SUOLO

L'utilizzo del suolo è caratterizzato da pascoli saltuari, ossia seminativi abbandonati oppure terreni lasciati a riposo per una percentuale pari a circa il 60% della superficie agricola utilizzata.

Sono individuabili pascoli caratterizzati da una coltre di erba secca ricca di infestanti il cui decadimento è dovuto allo stato di abbandono e pascoli resi poveri dall'eccessivo carico di bestiame. Come già illustrato nell'analisi vegetazionale, il quadro della composizione attuale non rispecchia l'ambiente naturale, ma è indotto dalle cause antropiche sviluppatasi nel tempo.

Circa il 27% delle coltivazioni sono caratterizzate da terreni destinati ai cereali, utilizzati in modo diretto come foraggi freschi o indiretto come foraggi affienati. Si hanno poi colture pregiate, di tipo prato stabile irriguo per circa il 2-2.5% della superficie agricola utilizzata, rappresentato dall'erba medica quale essenza più utilizzata nell'agro di Codrongianos.

Tra le colture pregiate, l'orticoltura rappresenta meno del 2-2.5%, caratterizzata da poderi di piccole dimensioni classificabili come orti familiari.

La sintesi grafica è fornita dalla Carta di Uso del Suolo, in Figura 5.

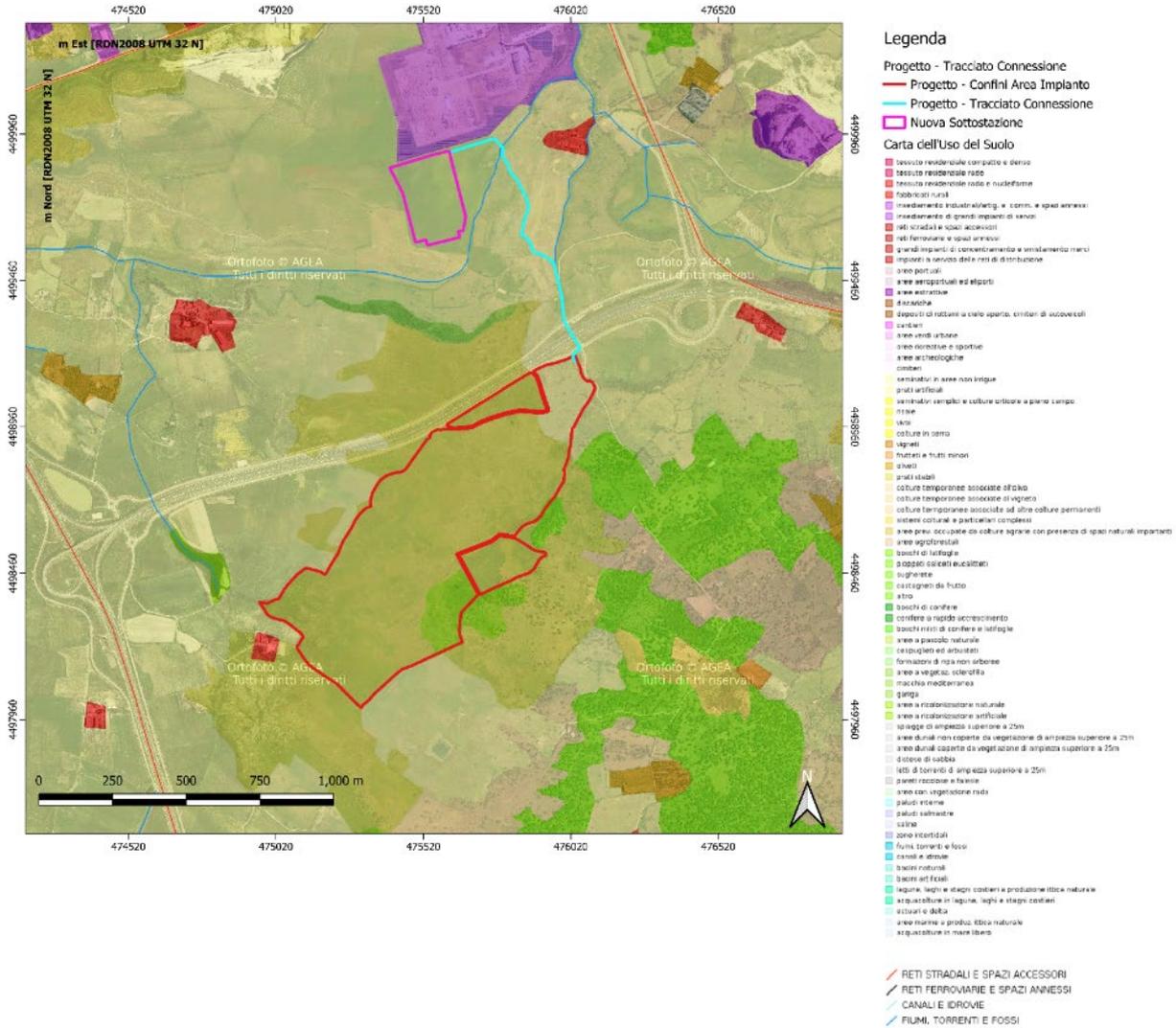


Figura 5:Carta uso del suolo (DATABASE CARTOGRAFICO DELLA REGIONE SARDEGNA)

### 3. DATI SPECIFICI DI PROGETTO

#### a. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

In linea generale, i componenti principali di un impianto agrivoltaico sono:

- i moduli fotovoltaici;
- i cavi elettrici di collegamento;
- gli inverter;
- i trasformatori BT/AT;
- i quadri di protezione e distribuzione in alta tensione; gli elettrodotti in alta tensione;
- i contatori per misurare l'energia elettrica prodotta dall'impianto;
- la cabina di raccolta.

L'impianto agrivoltaico in oggetto avrà le seguenti caratteristiche:

- potenza installata lato DC: 39,99 MWp;
- potenza dei singoli moduli: 625 Wp;
- n. 8 blocchi di cabine di conversione e trasformazione dell'energia elettrica e di storage sul lato DC;
- n. 2 cabina di raccolta e controllo AT;
- n. 8 magazzini.

Sarà costituito inoltre da:

- rete elettrica interna a bassa tensione e corrente continua;
- rete elettrica interna a 36 kV per il collegamento sia in entra-esce che ad anello tra le cabine di trasformazione fino alla cabina di raccolta;
- rete telematica interna di monitoraggio per il controllo dell'impianto agrivoltaico.

Il progetto prevede l'utilizzo di moduli fotovoltaici montati su struttura mobile ad inseguitore solare monoassiale. Questa tecnologia consente, attraverso la variazione dell'orientamento dei moduli, di mantenere la superficie captante sempre perpendicolare ai raggi solari. La struttura ruotando sul

suo asse, con orientamento Nord-Sud, ne consente la movimentazione giornaliera da Est a Ovest, coprendo un angolo sotteso tra  $\pm 60^\circ$  massimo. Nella struttura ad inseguitore solare i moduli fotovoltaici sono fissati ad un telaio in acciaio, che ne forma il piano d'appoggio, a sua volta opportunamente incernierato ad un palo, anch'esso in acciaio, da infiggere direttamente nel terreno. L'infissione sarà eseguita a mezzo di battipalo. La profondità standard di infissione è di 2 m. Tuttavia, in fase esecutiva in base alle caratteristiche del terreno ed ai calcoli strutturali tale valore potrebbe subire modifiche che tuttavia si prevede siano non eccessive (come l'utilizzo di pali più profondi o cemento su alcuni pali). Questa tipologia di struttura faciliterà enormemente sia la costruzione che la dismissione dell'impianto a fine vita, riducendo drasticamente le modifiche subite dal suolo. E' importante evidenziare che le altezze minime e massime della struttura di supporto dei moduli fotovoltaici potranno essere rispettivamente 1300 mm e 3.500 mm (con variazioni di 100 mm a seconda della caratteristica del terreno).

I moduli saranno montati in posizione orizzontale su una fila, in numero tale da formare quattro tipologie di strutture:

- Tracker da 72 moduli, 3 stringhe in serie;
- Tracker da 60 moduli, 2,5 stringhe in serie;
- Tracker da 48 moduli, 2 stringhe in serie;
- Tracker da 24 moduli, 1 stringhe in serie.

Da un punto di vista strutturale il tracker è realizzato in acciaio da costruzione in conformità agli Eurocodici, con maggior parte dei componenti zincati a caldo. I tracker possono resistere fino a velocità del vento di 55 km/h, ed avviano la procedura di sicurezza (ruotando fin all'angolo di sicurezza) quando le raffiche di vento hanno velocità superiore a 50 km/h. L'angolo di sicurezza non è zero (posizione orizzontale) ma un angolo diverso da zero, per evitare instabilità dinamica ovvero particolari oscillazioni che potrebbero danneggiare i moduli ed il tracker stesso.

La movimentazione dei tracker nell'impianto agrivoltaico è controllata da un software che include un algoritmo di backtracking per evitare ombre reciproche tra file adiacenti. Quando l'altezza del

sole è bassa, i pannelli ruotano dalla loro posizione ideale di inseguimento per evitare l'ombreggiamento reciproco, che ridurrebbe la potenza elettrica delle stringhe. L'inclinazione non ideale riduce la radiazione solare disponibile ai pannelli fotovoltaici, ma aumenta l'output complessivo dell'impianto, in quanto globalmente le stringhe fotovoltaiche sono esposte in maniera più uniforme all'irraggiamento solare.

I moduli fotovoltaici saranno del tipo mono-cristallino aventi potenza nominale alle STC (Standard Test Condition) pari a 625 Wp; avranno dimensioni pari a 2.465 x 1.134 mm.

Il collegamento elettrico dell'impianto è articolato in stringhe, quadri elettrici di campo, cabine elettriche, inverter, trasformatore, cabina di raccolta e cabina di controllo.

Più moduli sulla stessa struttura saranno collegati tra loro in serie, a formare una "stringa". Questa sarà costituita da 24 moduli. Ogni struttura ospiterà un massimo di 3 stringhe, quindi 72 moduli, che afferiranno ad un Quadro elettrico di campo posizionato in prossimità delle strutture portamoduli.

Il quadro elettrico di campo, detto anche di Parallelo Stringhe, raccoglie la corrente continua in Bassa Tensione prodotta dai moduli. Questa è poi trasferita sempre in c.c. e BT, al gruppo di conversione dove avverrà la trasformazione in c.a. (corrente alternata). Il gruppo di conversione sarà alloggiato all'interno di una Cabina elettrica di Campo.

Le cabine elettriche di campo (2 per ogni blocco) saranno costituite da Shelter prefabbricati ed preassemblati in stabilimento dal produttore. Questi ospiteranno al loro interno il Gruppo Conversione/Trasformazione (Inverter + Trasformatore BT/AT) ed il Quadro AT, costituito dalle celle/scomparti per l'arrivo e la partenza delle linee di Alta Tensione dell'Impianto. Le Cabine avranno dimensioni pari a 12,5 x 3 x 3,5 m (LxWxH) e saranno poggiate su una vasca di fondazione prefabbricata, la cui funzione sarà anche quella di vasca porta cavi (in prossimità della Cabina o all'interno della vasca di fondazione, sarà predisposta una scorta di cavo di 5-10 m).

A sua volta la vasca sarà poggiata su strato di allettamento costituito da una soletta in calcestruzzo magro debolmente armata.

Il gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata (o inverter) attua il condizionamento e il controllo della potenza trasferita. Esso deve essere idoneo al trasferimento della potenza dal generatore fotovoltaico alla rete del distributore, in conformità ai requisiti normativi tecnici e di sicurezza applicabili. In particolare, il gruppo deve essere rispondente alle norme su EMC e alla Direttiva Bassa Tensione (73/23/CEE e successiva modifica 93/68/CEE). Gli inverter scelti per il presente progetto avranno potenza nominale in c.a. pari a 2.000 kVA. A tal proposito, si fa presente che l'inverter definitivo verrà scelto in funzione delle tecnologie disponibili sul mercato europeo al momento della costruzione.

La funzione del Trasformatore è quella di elevare la Tensione in uscita dagli Inverter, sino a 36.000 V (36 kV), idonea per essere trasportata sino alla SE Terna 380/220/150/36 kV senza eccessive perdite.

Come detto, il Trasformatore AT è parte integrante del gruppo conversione/trasformazione alloggiato all'interno dello Shelter prefabbricato precedentemente descritto.

La cabina AT di raccolta sarà realizzata all'interno dell'area dell'impianto agrivoltaico. Sarà conforme alla norma CEI 0-16 ed avrà dimensioni approssimative esterne di 15x4,5x3,5m (LxWxH). La cabina sarà prefabbricata, realizzata in cemento armato vibrato (c.a.v.) o shelter, completa di vasca di fondazione con funzione portacavi del medesimo materiale, posata su un magrone di sottofondazione in cemento.

La Cabina di controllo sarà realizzata all'interno dell'area dell'impianto agrivoltaico. Sarà conforme alla norma CEI 0-16 ed avrà dimensioni approssimative esterne di 15x4,5x3,5m (LxWxH). La cabina sarà prefabbricata, realizzata in cemento armato vibrato (c.a.v.) o shelter, completa di vasca di fondazione con funzione portacavi del medesimo materiale, posata su un magrone di sottofondazione in cemento.

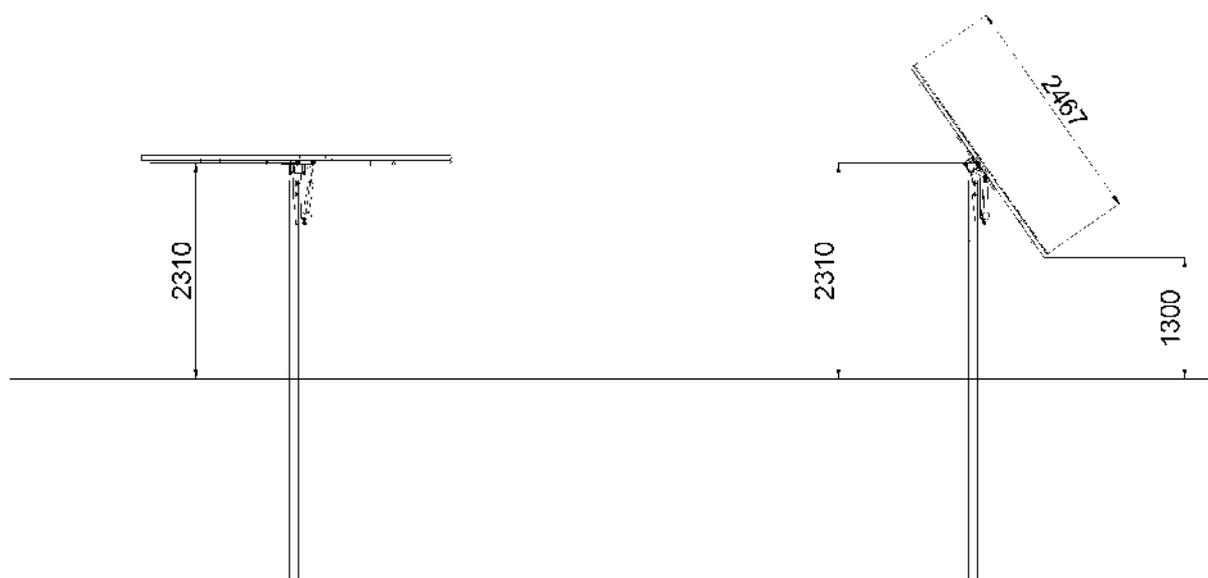
Lo scopo del presente lavoro è stato quello di definire l'assetto agronomico dell'area di intervento e del suo intorno; esso è stato conseguito attraverso il rilevamento di dettaglio dell'area integrato dall'esame della documentazione bibliografica disponibile oltreché dei dati di una campagna di indagini eseguita in prossimità dell'area di interesse.

#### 4. CONDUZIONE AGRIVOLTAICA DEI TERRENI

La superficie interessata dal progetto fotovoltaico è un terreno agricolo situato nel Comune di Codrongianus, che si estenderà su una superficie di circa 54,55 ettari attualmente non coltivata a pascolo cespugliato.

Il progetto di valorizzazione agrovoltaica nel seguito descritto riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra con tecnologia ad inseguimento monoassiale, organizzato in file nord-sud distanziate (pitch 5,2 m) per consentire la coltivazione tra e sotto le fila e ottimizzare la produzione fotovoltaica.

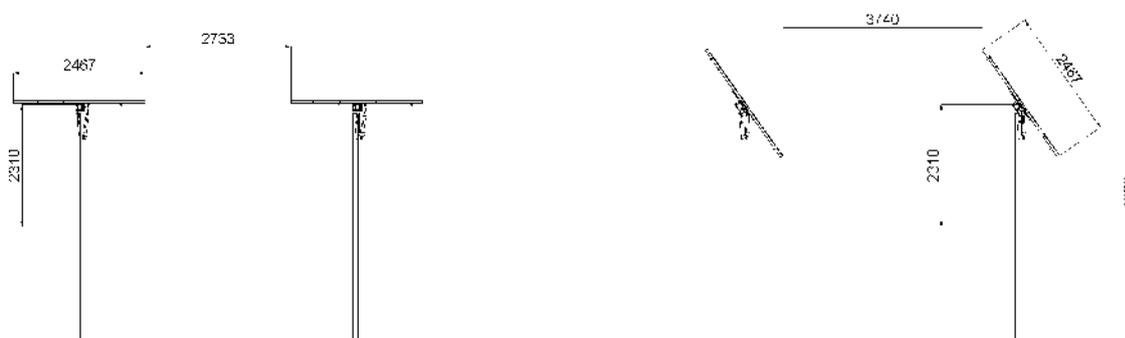
I moduli fotovoltaici disposti in verticale (portrait), che presentano rotazione est-ovest, sono incernierati a 2,31 m circa di altezza su pali semplicemente infissi nel terreno. ALTEZZA MINIMA 1,3 m



Tali pali sono agevolmente rimovibili a fine vita dell'impianto e non determinano alcun impatto residuo sul terreno agricolo.

Si tratta di un impianto fotovoltaico di ultima generazione che, per le sue caratteristiche costruttive, ha un impatto limitato sul suolo agricolo, consentendo la continuità nell'esercizio conveniente dell'agricoltura e la produzione di energia elettrica rinnovabile.

Considerati i dati progettuali, la copertura fotovoltaica lascia tra i filari una zona priva di ingombro di larghezza variabile in funzione dell'orario del giorno, da un minimo di 2,733 m (mezzogiorno, ora solare) and un massimo di 3,740 m (alba e tramonto), ovvero variabile dal 53% al 72%.



La fascia libera tra le file consente quindi la necessaria movimentazione dei mezzi meccanici per la gestione delle ordinarie attività di coltivazione del terreno e manutenzione dell'impianto.

È possibile tuttavia la coltivazione dell'intera superficie e la valorizzazione dell'agroecosistema attraverso una opportuna scelta delle colture; il progetto infatti prevede di coltivare tutto il terreno sotto i pannelli fotovoltaici attraverso la realizzazione di un prato polifita permanente, di durata illimitata, che risulterebbe ben adatto alle condizioni microclimatiche che si vengono a realizzare all'interno dell'impianto.

Tale scelta, che verrà descritta nel seguito della relazione, ha indubbi vantaggi in termini di conservazione della qualità del suolo (accumulo di sostanza organica), incremento della biodiversità, favorendo lo sviluppo di organismi terricoli (biota), la diffusione e la protezione delle api selvatiche, il popolamento di predatori e antagonisti delle più comuni malattie fungine e parassitarie delle piante coltivate, e della fauna selvatica.

La redditività del prato polifita non risulterebbe alterata dalla presenza del fotovoltaico, al contrario si intravede la possibilità di aumentare la marginalità rispetto alle condizioni di pieno sole, e

sarebbe possibile la conversione al metodo di coltivazione biologico per il ridotto apporto di input colturali richiesti dal prato.

La scelta di un prato permanente stabile è dovuta alla risultanza della valutazione dei seguenti fattori:

- Caratteristiche fisico-chimiche del suolo agrario;
- Caratteristiche morfologiche e climatiche dell'area;
- Caratteristiche costruttive dell'impianto fotovoltaico;
- Vocazione agricola dell'area.

Gli obiettivi da raggiungere sono:

- Stabilità del suolo attraverso una copertura permanente e continua della vegetazione erbacea;
- Miglioramento della fertilità del suolo;
- Mitigazione degli effetti erosivi dovuti agli eventi meteorici soprattutto eccezionali quali le piogge intense;
- Realizzazione di colture agricole che hanno valenza economica per il pascolo e la fauna selvatica;
- Tipologia di attività agricola che non crea problemi per la gestione e manutenzione dell'impianto fotovoltaico;
- Operazioni colturali agricole semplificate e ridotte di numero;
- Favorire la biodiversità creando anche un *ambiente* idoneo per lo sviluppo e la diffusione di insetti pronubi.

Il presente progetto agronomico, così impostato e sviluppato, può rientrare nella categoria dei progetti agrovoltai, caratterizzati da una doppia valorizzazione, energetica e agricola, dei terreni utilizzati.

	<b>RELAZIONE AGRIVOLTAICA</b>	Codifica <b>B1.R06</b>	
		Rev. 00 del 30/10/2023	Pag. <b>20</b> a 61

## a. EFFETTI MICROCLIMATICI SULLE PIANTE NEL SISTEMA AGRIVOLTAICO

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

### i. 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 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 lunghezza d'onda, che è pari a circa il 40% della radiazione globale.

Le piante peraltro riflettono alla superficie delle foglie il 25% della radiazione globale, pari al 10% della radiazione visibile PAR.

Va sottolineato che, 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 del pannello fotovoltaico 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 prevede un aumento della quantità di radiazione diffusa.

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 sia solamente del 35-40%.

In realtà, queste riduzioni devono considerarsi meno marcate nel periodo primaverile- estivo durante il quale si realizza lo sviluppo delle maggior parte delle piante coltivate essendone soddisfatte le esigenze termiche, 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 la radiazione sia riflessa che diffusa dai pannelli stessi.

Per quanto riguarda il livello di saturazione per l'intensità luminosa, le piante vengono classificate in eliofile e sciafile.

Le prime richiedono una elevata quantità di radiazione, mentre le sciafile soffrono per un eccesso di illuminazione, anche se 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.

In generale, si considerano piante con elevate esigenze di intensità di radiazione i cereali, 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 sono realizzati agronomicamente per accentuare l'allungamento dei fusti e quindi la produzione di fibra, foraggio e foglie, per effetto della maggiore presenza dell'ormone della crescita (auxina) che è foto-labile.

Nell'insalata, ad esempio, un leggero ombreggiamento aumenta lo sviluppo fogliare e riduce lo spessore delle foglie, rendendo il prodotto anche di migliore qualità commerciale.

## ii. Temperatura

In riferimento alla temperatura dell'aria, questa rappresenta la diretta conseguenza della radiazione solare.

Sebbene sia lecito attendersi una riduzione dei valori termici dell'atmosfera in zone ombreggiate rispetto alle zone in pieno sole, anche di 3-4 °C, l'ombreggiamento determina generalmente uno sfasamento termico, con un ritardo termico 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 lecito attendersi una maggiore umidità relativa dell'aria al mattino, e minore nel tardo pomeriggio-sera rispetto a 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) o pannelli fotovoltaici; l'ombreggiamento riduce la percentuale di nicotina nel tabacco e, nelle serre serve per favorire 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. Oltre questa base termica, l'accrescimento accelera all'aumentare della temperatura fino ad una temperatura ottimale, specifica per ciascun stadio di sviluppo, oltre la quale l'accrescimento rallenta fino ad arrestarsi (temperatura massima).

Le elevate temperature estive, oltre la temperatura massima, possono quindi danneggiare l'accrescimento delle piante, condizione che si sta progressivamente accentuando in pieno sole a causa del cambiamento climatico.

Per mitigare questi effetti, numerosi studi scientifici oggi 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 estive. Una funzione analoga può essere svolta dall'impianto agrivoltaico.

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 (frumento, orzo, avena, segale) e molte specie foraggere graminacee (erba mazzolina in particolare, ma anche loiessa, loietto inglese, poa, festuca arundinacea, coda di topo, etc.), che hanno zero di vegetazione molto bassi, vicini a 1-2 °C, trarrebbero vantaggio dalla condizione di parziale ombreggiamento che si realizza in un impianto agrivoltaico (Mercier et al., 2020).

Ne sarebbero comunque avvantaggiate anche le specie macroterme per la riduzione dei picchi di temperatura estivi e per la riduzione dell'evapotraspirazione, consentendo peraltro una riduzione dell'apporto irriguo artificiale.

Il parziale ombreggiamento del suolo riduce il riscaldamento estivo del suolo stesso 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 alla maggiore umidità e minore tenacità del terreno.

Nel periodo invernale, invece, ci si attende che la presenza del fotovoltaico, mantenga la temperatura del suolo leggermente più elevata rispetto al pieno sole poiché le ali fotovoltaiche riflettono le radiazioni infrarosse (raggi caloriferi) emesse dalla terra durante il raffreddamento notturno, e questo permette un sensibile accrescimento delle piante microterme anche nei periodi più freddi dell'anno. Ne trarrebbero vantaggio in particolare le piante foraggere microterme.

### iii. Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione è definita dalla somma delle perdite di acqua per evaporazione dal terreno e di traspirazione fogliare.

Delle due, solo la perdita dalla pianta è utile all'accrescimento delle piante poiché mantiene gli stomi aperti, e quindi consente gli scambi gassosi utili alla fotosintesi (ingresso di anidride carbonica nella foglia).

In condizioni di ombreggiamento è lecito attendersi una riduzione della traspirazione fogliare, e in modo più marcato, una riduzione dell'evaporazione dal terreno, determinando un aumento dell'efficienza d'uso delle riserve idriche del suolo.

In frumento è stato stimato che al 50% di ombreggiamento si verifichi 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 nei territori della Pianura Padana.

Poiché in Italia, la carenza idrica in fase di riempimento della granella ha conseguenze negative marcate sulla resa e sulla qualità ("stretta del grano"), il parziale ombreggiamento che si realizza nel sistema agrivoltaico deve essere considerato positivamente per questa coltura.

## 5. ESPERIENZE DI COLTIVAZIONE IN CONDIZIONE DI OMBREGGIAMENTO

Allo stato attuale esistono limitate informazioni in merito agli effetti dell'ombreggiamento per la maggior parte delle piante erbacee coltivate, ed i dati disponibili derivano da studi di consociazione di specie erbacee con piante arboree organizzate in filari, e da pochi e giovani impianti agri-voltaici.

Le colture meno penalizzate dalla presenza del fotovoltaico sono quelle microterme e sciafile.

Il frumento 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).

Con una percentuale di riduzione della radiazione del 50%, comparabile a quella che si realizzerà nell'impianto agrivoltaico in oggetto, sono state rilevate produttività uguali o addirittura superiori al pieno sole in specie graminacee foraggere microterme, ed una moderata riduzione, dell'ordine del 20-30%, in specie macroterme foraggere sia graminacee (es. mais, sorgo, panico, setaria, etc.) che leguminose (es. trifoglio bianco, trifoglio violetto, erba medica, etc.), e in lattuga (Lin et al., 1998; Mercier et al., 2020).

Questi risultati sono in linea con gli studi italiani (Amaducci et al., 2018) che hanno simulato in un analogo impianto agrivoltaico a Piacenza, sulla base dei dati climatici storici degli ultimi 40 anni, rese di granella di frumento 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. Va ritenuto interessante anche il parziale effetto antigrandine dovuto alla copertura fotovoltaica.

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

## 6. STATO ATTUALE DELLA SUPERFICIE AGRICOLA INTERESSATA DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Generalmente trattasi di pascoli saltuari cioè di seminativi abbandonati di terreni lasciati a riposo per cicli di durata poliennale.

Il pascolo è una entità biologica quasi sempre eterogenea per la diversità delle piante componenti che dipende dall'insieme delle condizioni climatiche da cause antropiche e in modo particolare dalla sua utilizzazione da parte del bestiame più o meno ben guidato dagli allevatori, dipende inoltre dalla sua composizione floristica con conseguente variabilità del loro valore foraggiero.

Attualmente sono pascoli con una coltre di erba secca ricca di infestanti, il cui decadimento è dovuto alla mancata utilizzazione e all'abbandono, e pascoli resi poveri dall'eccessivo carico di bestiame con conseguente sovrapascolamento che porta ad un continuo sistematico impoverimento delle essenze più appetite e alla diffusione delle piante di minor pregio o addirittura infestanti e/o dannose.

Concludendo, l'area in oggetto è stata negli anni, a seconda delle necessità, condotta a foraggera o a prato /pascolo (erbaio).

## 7. COLTIVAZIONE FUTURA

Il sistema agrivoltaico proposto rappresenta un piano di miglioramento e modernizzazione aziendale inquadrabile come Agricoltura 5.0.

Il progetto prevede di installare inseguitori solari mono-assiali nei quali, contrariamente a quanto avviene con il fotovoltaico tradizionale (pannelli fissi rivolti verso sud) che presenta una zona d'ombra concentrata in corrispondenza dell'area coperta dai pannelli stessi, vi è una fascia d'ombra che si sposta con gradualità durante il giorno da ovest a est sull'intera superficie del terreno.

Come conseguenza non si vengono a creare zone costantemente ombreggiate o costantemente soleggiate.

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 per la vendita o alternativamente al pascolo di greggi ovisi provenienti da allevamenti estensivi, a seconda delle contingenze.

Tale scelta, incontra un elevato livello di naturalità e di rispetto ambientale per effetto del limitatissimo impiego di input colturali, 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 agri-voltaici ad inseguimento solare esistenti viene coltivato solamente la fascia centrale, corrispondente al 70% della superficie, mentre vengono mantenute inerbite le fasce di rispetto immediatamente adiacenti al filare.

In aggiunta e in sinergia con la coltivazione del prato polifita permanente, si prevede di implementare una attività di allevamento ad api, con ritorni positivi sia suoi economici che di potenziamento e tutela della biodiversità.

#### **a. COLTIVAZIONE DEL PRATO POLIFITA PERMANENTE**

Le superfici oggetto di coltivazione non sono irrigue e pertanto si prevede una tecnica di coltivazione in "asciutto", cioè tenendo conto solo dell'apporto idrico dovuto alle precipitazioni meteoriche.

La coltivazione scelta è quella della produzione di foraggio con prato permanente (detto anche prato stabile).

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; 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 traseminati nel periodo autunnale senza alcun intervento di lavorazione del terreno (semina diretta).

Il prato polifita permanente, ritenuto la miglior scelta per l'impianto agrivoltaico, 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 unisce la biodiversità microbica e della mesofauna del terreno, e quella della fauna selvatica che trova rifugio nel prato (volpi, lepri, etc.).

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 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.

Il prato polifita permanente non necessita di alcuna rotazione e quindi non deve essere annualmente lavorato come avviene negli altri seminativi, condizione che favorisce la stabilità del

biota e la conservazione/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 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 in condizioni di elevata umidità.

Le piante che costituiscono il prato permanente variano in base al tipo di terreno e alle condizioni climatiche e saranno individuate dopo un'accurata analisi pedologica e biochimica.

In generale, si può dire che 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.

La prevalenza di specie vegetali scelte per la costituzione del prato permanente stabile apparterrà alla famiglia delle leguminosae, e pertanto aumenteranno la fertilità del terreno principalmente grazie alla loro capacità di fissare l'azoto.

Le graminacee considerate hanno funzione di supporto prevalentemente ai fini faunistici.

La tipologia di piante scelte ha ciclo poliennale, a seguito anche della loro capacità di autorisemina (in modo particolare il trifoglio sotterraneo ed il loietto perenne), consentendo così la copertura del suolo in modo continuativo per diversi anni dopo la prima semina.

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 e uno, più adatto alla maggior riduzione di radiazione solare, per le fasce adiacenti il filare fotovoltaico e le zone limitrofe all'interno della fascia di rispetto del rio.

Pur tuttavia, l'impiego di un unico miscuglio con un elevato numero di specie favorirà la selezione naturale di quelle più adatte a diverse distanze dal filare fotovoltaico in funzione del gradiente di soleggiamento/ombreggiamento.

Una volta giunto a matura crescita il prato stabile polifita, si potranno scegliere due metodi per la gestione della biomassa vegetale:

cicli stagionali di sfalcio e raccolta del foraggio in balle per la vendita ad allevamenti di bovini e ovini consumo periodico in situ delle erbe utilizzando il pascolo di greggi ovini.

### **i. Opzione 1 - Sfalcio stagionale**

I prati stabili di pianura gestiti in regime non irriguo possono fornire 2-3 sfalci all'anno con produzioni medie pari a 8-10 tonnellate per ettaro di fieno, derivanti principalmente dal primo sfalcio, e fino a 4-5 sfalci, con una produzione complessiva di 12-14 tonnellate, 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 nella prima metà del mese di maggio. Gli altri cadono a intervallo variabile dai 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.

Essendo un erbaio di prato stabile non irriguo sono ipotizzabili un numero massimo di due periodi durante i quali le piante completerebbero il loro ciclo vitale.

Si prevede una fioritura a scalare che, a seconda dell'andamento climatico stagionale, può avere inizio ad aprile-maggio. Pertanto, oltre alla produzione di foraggio tardo primaverile (fine maggio normalmente), nel caso di adeguate precipitazioni tardo-primaverili ed estive, è ipotizzabile effettuare una seconda produzione a fine agosto – settembre.

Il fieno ricavato verrà utilizzato prevalentemente per l'alimentazione dei bovini, ma potrà essere usato anche in allevamenti ovini.

Date le parziali condizioni di ombreggiamento, per accelerare il processo di essiccazione del foraggio si può prevedere di utilizzare la fienagione in due tempi, con appassimento dell'erba in campo e completamento dell'essiccazione in fienile, da implementare in futuro con un sistema di ventilazione forzata che sfrutta l'energia elettrica prodotta dal fotovoltaico.

Tale sistema riduce notevolmente le perdite meccaniche durante le operazioni di rivoltamento e di raccolta e fornisce un prodotto di qualità superiore, in particolare più ricco di proteine per effetto della limitata perdita di foglie, rispetto alla fienagione tradizionale.

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, in alcune regioni italiane, inclusa la Sardegna, i prati stabili sono diventati e divengono oggetto di tutela normativa dopo 5 anni di permanenza continuativa, allo scopo di proteggerne la biodiversità floristica e faunistica.

## ii. Opzione 2 - Pascolo

Considerato che obiettivo primario è quello di mantenere la continuità ed il livello di efficienza produttiva della copertura vegetale del terreno per ottimizzare le performances di protezione del suolo, si ritiene tecnicamente altrettanto valido ed opportuno svolgere una attività pascoliva (ovini) sull'intera superficie.

Il pascolo consentirebbe una naturale ed efficiente manutenzione dell'area con una forte valorizzazione economica delle biomasse di foraggio prodotte senza che ci sia bisogno di lavorazioni meccaniche per la raccolta del foraggio.

La produzione di foraggio avrebbe dunque funzione pabulare per attività di pascolo ovino a carattere temporaneo (pascolo vagante), pertanto si avrebbe una gestione dell'attività zootecnica affidata ad allevatore professionale esterno.

Il pascolo ovino di tipo vagante è la soluzione ecocompatibile ed economicamente sostenibile che consente di valorizzare al massimo le potenzialità agricole del parco fotovoltaico. Le finalità nonché gli obiettivi dell'attività pascoliva sono:

Mantenimento e ricostituzione del prato stabile permanente attraverso l'attività di brucatura ed il rilascio delle deiezioni (sostanza organica che funge da concime naturale) degli animali;

L'asportazione della massa vegetale attraverso la brucatura delle pecore ha notevole efficacia in termini di prevenzione degli incendi;

Valorizzazione economica attraverso una attività zootecnica tipica dell'area;

Favorire e salvaguardare la biodiversità delle razze ovine locali.

L'attività di pascolo nell'area di progetto necessita che venga svolta con una certa continuità nel periodo autunnale-invernale e, successivamente al periodo di fioritura prevista del prato stabile permanente di leguminose messo a coltura.

Nello specifico per il prato stabile permanente a prevalenza di leguminose sono previste due produzioni annue, la prima in primavera e la seconda nel periodo estivo.

Il pascolo del prato permanente deve essere effettuato successivamente alla fioritura delle specie vegetali seminate al fine di consentire l'attività impollinatrice e produttiva delle api.

La scelta delle razze ovine da utilizzare è condizionata fortemente dall'esigenza di favorire lo sviluppo di un'attività zootecnica legata alle radicate tradizioni territoriali nell'ottica della tutela della biodiversità e la conservazione dei genotipi autoctoni. In un ambito di operatività proteso verso la "sostenibilità ecologica", nell'ambito degli erbivori domestici, ogni razza è caratterizzata da una diversa capacità selettiva e da percorsi preferenziali e di sosta.

L'attività di pascolamento in particolari habitat è stata riconosciuta quale fattore chiave nella conservazione di quegli stessi habitat semi-naturali di altissimo valore ecologico (MacDonald et al., 2000; Sarmiento, 2006); inoltre il pascolamento da parte delle razze autoctone ha un basso impatto sulla biodiversità vegetale ed ha, di contro, un effetto benefico nel creare condizioni favorevoli per l'avifauna erbivora ed insettivora (Chabuz et al., 2012).

Da quanto riportato risulta evidente come l'attività economica zootecnica del pascolo sia sostenibile dal punto di vista agro-ambientale.

Affinché l'attività di pascolo sia anche economicamente sostenibile per le finalità afferenti alla gestione del parco fotovoltaico, risulta essere necessario (come già accennato in precedenza) affidare l'attività pascoliva ad imprenditore agricolo- zootecnico che disponga di strutture adeguate (ovile, sale mungitura, ecc...) nelle immediate vicinanze dell'area di pascolo.

## **b. APICOLTURA**

Al fine di ottimizzare le operazioni di valorizzazione ambientale ed agricola dell'area a completamento di un indirizzo programmatico gestionale che mira alla conservazione e protezione dell'ambiente nonché all'implementazione delle caratterizzazioni legate alla biodiversità, si intende avviare un allevamento di api stanziale.

La messa a coltura del prato stabile e le caratteristiche dell'areale in cui si colloca il parco fotovoltaico, crea le condizioni ambientali idonee affinché l'apicoltura possa essere considerata una attività "zootecnica" economicamente sostenibile.

L'ape è un insetto, appartenente alla famiglia degli imenotteri, al genere Apis, specie mellifera (adamsonii). Si prevede l'allevamento dell'ape italiana o ape ligustica (Apis mellifera ligustica Spinola, 1806) che è una sottospecie dell'ape mellifera (Apis mellifera), molto apprezzata internazionalmente in quanto particolarmente prolifica, mansueta e produttiva.

Di seguito si analizzano i fattori ambientali ed economici per il dimensionamento dell'attività apistica, considerando nel calcolo della PLV (Produzione Lorda Vendibile) la sola produzione di miele.

L'attività apistica ha come obiettivo primario quella della tutela della biodiversità e pertanto non si prevede lo sfruttamento massivo delle potenzialità tipico degli allevamenti zootecnici intensivi, facendo svolgere all'apicoltura una funzione principalmente di valenza ambientale ed ecologica.

### **i. Calcolo del potenziale mellifero**

Si definisce potenziale mellifero di una pianta la quantità teorica di miele che è possibile ottenere in condizioni ideali da una determinata estensione di terreno occupata interamente dalla specie in questione.

Conoscendo il numero di fiori presenti in un ettaro e la quantità di nettare prodotto da un fiore nella sua vita, e considerando che gli zuccheri entrano a far parte della composizione media del miele in ragione dell'80% (cioè 0,8 Kg zuccheri = 1 Kg miele), si applica la seguente formula:

$$\text{Kg miele/ha} = \text{Kg zucchero/ha} \times 100/80$$

Il valore così calcolato non tiene conto di tutti quegli eventi negativi che tendono ad abbassarlo (condizioni climatiche sfavorevoli ecc...) né può ovviamente fornire previsioni dirette sulla quantità di miele che l'apicoltore può realmente ottenere: su questa incidono infatti vari fattori quali l'appetibilità della specie, la concorrenza di altri pronubi (diurni e notturni), il consumo di miele da parte della colonia stessa per la propria alimentazione, lo sfruttamento più o meno oculato della coltura (n. di arnie per ettaro e la loro disposizione), ecc... .

Tuttavia, sulla base dei dati riscontrati in letteratura, è possibile raggruppare le varie specie studiate secondo classi di produttività concepite così come riportato nella seguente tabella:

<b>CLASSE</b>	<b>POTENZIALE MELLIFERO (Kg/Ha di miele)</b>
<b>I</b>	meno di 25
<b>II</b>	da 26 a 50
<b>III</b>	da 51 a 100
<b>IV</b>	da 101 a 200
<b>V</b>	da 201 a 500
<b>VI</b>	oltre 500

Nello specifico, nel valutare e definire il potenziale mellifero per la vegetazione presente nell'area di progetto si è tenuto conto di diversi fattori quali:

- Specie vegetali utilizzate per la messa a coltura del prato stabile permanente di leguminose e loro proporzione nel miscuglio;
- Piante mellifere caratterizzanti la vegetazione spontanea;
- Caratterizzazione Agro-ambientale (clima, coltivazioni agrarie, ecc...).

Il potenziale mellifero è estremamente variabile rispetto ad alcuni parametri: condizioni meteo (vento, pioggia, ...), temperature (sotto i 10 gradi molte piante non producono nettare), umidità del suolo e dell'aria, caratteristiche del suolo (alcune piante pur crescendo in suoli non a loro congeniali, non producono nettare), posizione rispetto al sole e altitudine, ecc... .

Naturalmente per avere un dato quanto più attendibile, sarebbe opportuno fare dei rilievi floristici di dettaglio per più anni di osservazione (calcolo del numero di fiori per specie e per unità di superficie, periodo di fioritura, ecc...).

Pertanto, in base alle criticità individuate, si reputa opportuno considerare il potenziale mellifero minimo di quello indicato in letteratura.

La sottostima del dato consente di fare valutazioni economiche prudenziali, abbassando notevolmente i fattori di rischio legati all'attività d'impresa.

Nella tabella seguente si riporta il nome delle piante mellifere afferenti al prato stabile permanente e non alla vegetazione spontanea con il riferimento del periodo di fioritura, della classe e del potenziale mellifero.

FAMIGLIA	SPECIE	FIORITURA	CLASSE	POTENZIALE MELLIFERO (Kg/ha di miele)
LEGUMINOSAE	<i>Medicago sativa L.</i>	V-IX	V	250
LEGUMINOSAE	<i>Hedysarum coronarium L.</i>	V	V	250
LEGUMINOSAE	<i>Trifolium subterraneum L.</i>	IV-IX	III	60

Nella tabella non viene preso in considerazione il loietto permanente in quanto non è pianta mellifera.

Una volta definito il potenziale mellifero delle principali piante prese in considerazione, si rapporta la produzione di miele unitaria all'intera superficie di riferimento progettuale. Dal calcolo viene escluso il potenziale mellifero del sistema agro-ambientale extra-progetto.

La superficie destinata alle opere di mitigazione ambientale sicuramente incide nella valutazione del potenziale mellifero complessivo, ma non è definibile in modo statisticamente valido l'apporto dei dati inerenti alla vegetazione.

## ii. Calcolo del numero di arnie

La quantità di miele prodotto da un'arnia è molto variabile: si possono ottenere dalla smielatura di un'arnia stanziale in media 10-15 Kg di miele all'anno, con punte che oltrepassano i 40 Kg.

Come per il polline, anche per il nettare l'entità della raccolta per arnia è in linea di massima proporzionale alla robustezza e alla consistenza numerica della colonia e segue nel corso dell'anno un andamento che è correlato con la situazione climatica e floristica.

Anzi in questo caso il fattore "clima" è di importanza ancora più rilevante, in quanto, come già detto, influisce direttamente sulla secrezione nettariana. Se ad esempio i valori di umidità relativa si innalzano oltre un certo limite, la produzione di nettare è elevata, ma esso è anche più diluito e per ottenere la stessa quantità di miele le api devono quindi svolgere un lavoro molto maggiore.

Per l'area di progetto è ipotizzabile un carico di n. 2-3 arnie ad ettaro (numero ottimale in funzione del tipo di vegetazione); ma in base alla valutazione dei fattori limitanti la produzione di cui si è detto risulta essere opportuno installare, almeno per il primo anno, un numero di arnie complessivo pari a 50.

Tale valutazione operativa definirebbe un numero di arnie ad ettaro superiore all'unità.

### Ubicazione delle arnie

Oltre al numero di alveari/arnie per ettaro acquista molta importanza anche la loro disposizione all'interno della coltura.

Il raggio di azione della bottinatrice di nettare è molto più ampio di quello della bottinatrice di polline: normalmente; infatti, può estendersi fino a 3 chilometri, e in condizioni particolari può essere largamente superato.

Il raggio di volo degli altri apoidei, escluso i bombi che possono volare per distanze più rilevanti, è in genere limitato, circoscritto a poca distanza dal nido, da poche decine di metri a 200-300 metri.

Gli elementi che bisogna considerare per l'ubicazione e posizionamento degli alveari per l'apicoltura stanziale, posso essere così elencati:

1. Scegliere un luogo in cui sono disponibili sufficienti risorse nettariifere per lo sviluppo e la crescita delle colonie. Se possibile evitare campi coltivati con monocolture dove si pratica la coltura intensiva.
2. L'apiario deve essere installato lontano da strade trafficate, da fonti di rumore e vibrazioni troppo forti e da elettrodotti. Tutti questi elementi disturbano la vita e lo sviluppo della colonia.
3. Luoghi troppo ventosi o dove c'è un eccessivo ristagno di umidità sono vivamente sconsigliati. Troppo vento non solo disturba le api, contribuendo a innervosirle e ad aumentarne l'aggressività, ma riduce la produzione di nettare. Per contro, troppa umidità favorisce l'insorgenza di micosi e patologie.
4. Accertarsi della disponibilità di acqua corrente nelle vicinanze, altrimenti predisporre degli abbeveratoi con ricambio frequente dell'acqua. L'acqua serve in primavera per l'allevamento della covata, e in estate per la regolazione termica dell'alveare. In primavera le api abbandonano la raccolta d'acqua quando le fioriture sono massime.
5. Preferire postazioni che si trovano al di sotto della fonte nettariifera da cui attingono le api. In tal modo, saranno più leggere durante il volo in salita e agevolate nel volo di ritorno a casa, quando sono cariche di nettare e quindi più pesanti.
6. Posizionare le arnie preferibilmente dove vi è presenza di alberi caducifoglie. Questo tipo di vegetazione è davvero ottimale, in quanto permette di avere ombra d'estate, evitando così eccessivi surriscaldamenti degli alveari, ma nel contempo in inverno i raggi del sole possono scaldare le famiglie senza essere ostacolati e schermati da fronde sempreverdi. Anche in questo caso, però, si può intervenire "artificialmente" creando tettoie o ripari per proteggere le api dalla calura estiva o sistemi di coibentazione per il freddo.
7. Una volta scelto il luogo è anche importante il posizionamento delle arnie. Sicuramente è importantissimo che le arnie siano rivolte a sud e che siano esposte al sole almeno nelle ore mattutine. Questo favorisce la ripresa dell'attività delle api. Ottimo sarebbe se ricevessero luce anche nel pomeriggio, soprattutto d'inverno.
8. Dopo aver scelto la direzione, bisogna considerare il posizionamento vero e proprio. Per poter limitare il fenomeno della "deriva" è utile posizionare le arnie lungo linee curve, a semicerchio, in cerchio, a ferro di cavallo, a L o a S. Inoltre, bisogna avere l'accortezza di disporre le cassette in modo da intercalarne i colori per non confondere ulteriormente le api.

9. Bisogna considerare la distanza da terra e fra le arnie stesse. Non bisogna posizzarle troppo vicino al suolo perché altrimenti si favorirebbe il ristagno di umidità. L'opzione migliore è quella di metterle su blocchi singoli perché se poggiassero su traversine lunghe le eventuali vibrazioni, indotte su un'arnia si propagherebbero alle arnie contigue. Generalmente, inoltre, le arnie devono essere posizionate a 35-40 cm l'una dall'altra e, se disposte in file, deve esserci una distanza di almeno 4 m. In generale, si consiglia sempre di non avere apiari che eccedano di molto le 50 unità.
10. È necessario evitare ostacoli davanti alle porticine di volo delle arnie, siano essi erba alta, arbusti o elementi di altra natura. Questi ovviamente disturbano le api e il loro lavoro.

In base alle precauzioni sopra riportate e in funzione della morfologia e l'uso del suolo definitivo dell'area di progetto, si ritiene opportuno posizionare le arnie in area dove vi è disponibilità continua di acqua, soprattutto durante la stagione secca.

Pertanto, per garantire le disponibilità idriche ed assicurare la facile accessibilità alle arnie si può pensare di collocare gli apiari in posizione contrapposta sull'area di pertinenza dell'impianto fotovoltaico con il posizionamento di contenitori d'acqua nel periodo estivo.

### iii. Analisi economica dell'attività apistica

La presente analisi economica si pone i seguenti obiettivi:

- stimare, dal confronto tra ricavi e costi relativi ad un ciclo produttivo, il reddito dell'imprenditore;
- determinare, attraverso l'individuazione delle singole voci di spesa, i costi relativi alla produzione del miele.

Per raggiungere entrambi gli obiettivi, è necessario predisporre un bilancio aziendale.

Tale bilancio, che prende lo spunto da un bilancio normalmente utilizzato in aziende zootecniche, è stato tarato e modificato per rispondere alle esigenze peculiari di un'azienda apistica.

Il ciclo produttivo dell'azienda agraria al quale, di norma, fa riferimento il bilancio è un anno che normalmente nel sud Italia ha inizio nel mese di settembre.

Nel caso specifico, per le aziende apistiche si è optato per la durata convenzionale del periodo di riferimento (1anno), ma utilizzando come giorno di inizio il 1° marzo: questa scelta è dettata dal

fatto che, a quella data, si è normalmente in grado di stimare il numero corretto di famiglie/nuclei che hanno superato il periodo invernale che costituirà il “capitale bestiame iniziale”.

In questo caso viene redatto un bilancio preventivo considerando che non ci sia variazione della consistenza “zootecnica” tra l’inizio e la fine dell’annata agraria di riferimento.

Non si considerano, poiché non valutabili preventivamente, le perdite di famiglie dovute alla sciamatura e a problemi sanitari (es. Varroa).

Si considera che l’attività apistica venga svolta in modo stanziale da un singolo apicoltore e che per la definizione della Produzione Lorda Vendibile venga valutato solo il prodotto miele (non si considerano gli altri prodotti apistici vendibili quali: pappa reale, propoli, polline, cera, idromele, aceto di miele, veleno, ...).

Nella analisi economica si tiene conto che l’azienda è condotta secondo i dettami del Reg. CE 834/07 “agricoltura biologica” e che la produzione di miele bio sia venduta all’ingrosso.

Il costo d’impianto è definito dall’investimento iniziale necessario per la realizzazione delle arnie e l’acquisto degli animali (sciame).

Di seguito si riporta il dettaglio dell’investimento riferito alla singola arnia.

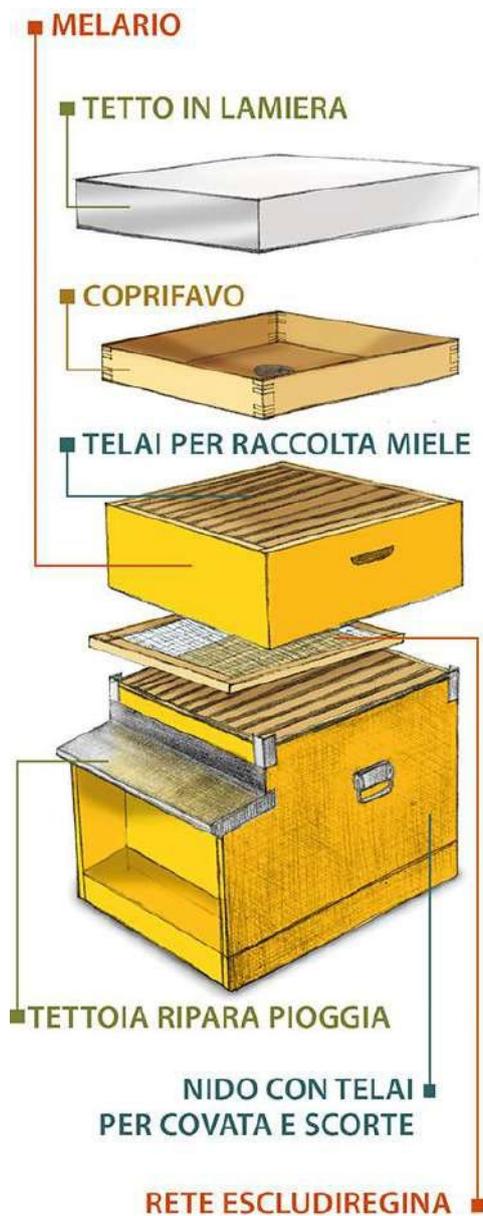


Figura 6: Modello di arnia con 12 scomparti

Il costo per arnia iniziale per allevamento di ape ligustica è dettagliato di seguito:

Voce di costo	Numero	Costo Unitario (€/Pz o €/Kg)	Costo totale	Precisazioni	IVA	Costo totale + IVA
Famiglia	1	100,00 €	100,00 €		10%	110,00 €
Regina	1	20,00 €	20,00 €		10%	22,00 €
Arnia (12 telaini)	1	55,00 €	55,00 €		22%	67,10 €
Melari	5	9,00 €	45,00 €		22%	54,90 €
Telai	12	0,70 €	8,40 €		22%	10,25 €
Cera bio per telai nido	1,32	35,00 €	46,20 €	Per ogni telaino è necessario un foglio di cera del peso di 110 gr. Sono necessari 12 fogli per un peso complessivo di Kg. 1,32. Il costo è definito come €/Kg di cera.	10%	50,82 €
Telaini per melario	55	0,70 €	38,50 €	Per ogni arnia si considerano n. 5 melari, e per ogni melario n. 11 telaini	22%	46,97 €
Cera bio per telaini melario	3,025	35,00 €	105,88 €	Per ogni telaino è necessario un foglio di cera del peso di 55 gr. Sono necessari 55 fogli per un peso complessivo di Kg. 3,025. Il costo è definito come €/Kg di cera.	10%	116,46 €
Escludi regina	1	5,00 €	5,00 €		22%	6,10 €
Apiscampo	1	15,00 €	15,00 €		22%	18,30 €
			<b>Costo totale arnia 438,98 €</b>			<b>502,90 €</b>

Considerato che si prevede il posizionamento di n. 50 arnie avremo che il costo necessario per l'avvio attività sarà:

$$\text{costo singola arnia} \times 50 = € 438,98 \times 50 = € 21.949,00 \text{ (Iva esclusa)}$$

Il calcolo delle spese varie viene fatto tenendo conto della gestione complessiva dell'allevamento effettuata da 1 solo operatore.

Si considera il prezzo medio ordinario di mercato riferito alla singola voce di spesa dando il valore complessivo.

La voce di spesa riferita al candito (alimento di soccorso da dare alle api nel periodo invernale) è fortemente condizionato dall'andamento climatico stagionale e pertanto si considerano valori prudenziali alti di gestione.

Per quanto riguarda le spese di trasformazione, non essendo previste attrezzature e locali, ci si avvarrebbe della prestazione di contoterzisti.

Voce di costo		Numero	Costo Unitario (€/Pz o €/Kg)	Costo totale (iva inclusa)	Precisazioni
Alimenti (candito bio)		500	5,00 €	2.500,00 €	Consumo medio di 10 Kg ad arnia
Antiparassitari e medicinali	Acido ossalico	50	1,00 €	50,00 €	Trattamento invernale per Varroa
	Acido formico	50	3,00 €	150,00 €	Trattamento estivo per Varroa
Erogatori per acido formico		50	11,00 €	550,00 €	
Materiale per confez. (vasi, etichette, ecc...)	Vasetti in vetro da 1 Kg	625	0,50 €	312,50 €	Si tiene conto di una produzione media di miele millefiori ad arnia di 25 Kg
	Vasetti in vetro da 0,5 Kg	1250	0,35 €	437,50 €	
	Etichetta e sigillo	1875	0,25 €	468,75 €	
Trasformazione		1250	0,50 €	625,00 €	Il calcolo è riferito al costo medio per 1 Kg di miele
Spese per spostamenti		67	30,00 €	2.010,00 €	Si considera che l'apicoltore visita l'apiario ogni 5 giorni nel periodo che va dal 1 marzo al 1 ottobre ed in inverno ogni 10 gg. Quindi il totale delle giornate minime di spostamento sarà di 67 gg.
Spese generali	Associazionismo	1	60,00 €	60,00 €	
	Ente di certificazione bio	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
	Contabilità (fiscalista)	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
	Altro (telefono, imprevisti vari,...)	1	50,00 €	50,00 €	
<b>Totale spese varie</b>				<b>9.213,75 €</b>	

Nel calcolo delle quote di reintegrazione si considera che la "vita" economica di un'arnia stanziale sia di circa 5 anni.

QUOTE	Importo	Precisazioni
Reintegrazione arnie	4.064,63 €	Durata di un'arnia= 5 anni. Tasso d'interesse applicato 5%
Assicurazione	500,00 €	
Manutenzione	329,24 €	Si considera che la quota manutenzione sia pari all' 1,5% del valore imponibile delle arnie
<b>Totale quote</b>	<b>4.893,87 €</b>	

Come già detto l'unica produzione vendibile dell'attività apistica è il miele.

Si prevede una produzione di miele media per singola arnia di 25 Kg/anno. Bisogna inoltre considerare che trattasi di produzione biologica certificata e pertanto il prezzo di vendita risulta essere in media superiore del 20-30% (mercato italiano) rispetto al prodotto convenzionale.

Prodotto	Quantità (Kg)	Prezzo (€/Kg)	Importo totale (iva inclusa)
Miele bio millefiori - vaso da 1Kg	625	17,00 €	10.625,00 €
Miele bio millefiori- vaso da 0,5 Kg	625	18,00 €	11.250,00 €
<b>Totale PLV</b>			<b>21.875,00 €</b>

Di seguito si definisce il conto economico presumibile dell'attività apistica.

VOCE CONTABILE	SPECIFICA VOCE DI BILANCIO	Importo	Precisazioni
<b>INVESTIMENTO INIZIALE</b>	<i>CONTO ARNIE</i>	<b>21.949,00 €</b>	importo IVA esclusa
<b>RICAVI VENDITA MIELE</b>	<i>Produzione Lorda Vendibile (PLV)</i>	<b>21.875,00 €</b>	
<b>COSTI DI GESTIONE</b>	<i>SPESE VARIE</i>	9.213,75 €	
	<i>SPESE MANODOPERA</i>	5.778,94 €	
	<i>ASSICURAZIONE</i>	500,00 €	
	<i>MANUTENZIONE</i>	329,24 €	
	<i>REINTEGRAZIONE ARNIE</i>	4.064,63 €	Durata di un'arnia= 5 anni. Tasso d'interesse applicato 5%
	<i>Totale costi di gestione</i>	<b>19.886,56 €</b>	

### c. INTEGRAZIONE COLTURA-FOTOVOLTAICO

L'impianto di pannelli fotovoltaici si integra perfettamente nella coltivazione del prato stabile come sopra evidenziato, potendo far aumentare la resa in foraggio grazie agli effetti di schermo e protezione con parziale ombreggiamento nelle ore più assolate delle giornate estive ed il mantenimento di condizioni ottimali di umidità del terreno per un tempo più prolungato.

Questa condizione è particolarmente interessante 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'interasse tra i filari fotovoltaici di 4,40 m, unitamente alla possibilità di reclinare completamente i pannelli con appositi automatismi, consente l'accesso a qualsiasi tipo di mezzo meccanico comunemente impiegato nella fienagione, che consistono in trattrici di potenza medio-bassa, e piccole e medie attrezzature agricole (barre falcianti, spandi-voltafieno, giro-andanatori, rotoimballatrici).

Va inoltre ribadito che la combinazione tra fotovoltaico ad inseguimento monoassiale e prato polifita permanente consente l'utilizzo dell'intera superficie al suolo per scopi agricoli.

Nel caso del pascolo vagante, la struttura dell'impianto non pone alcun problema al transito e alla sosta degli ovini, che possono brucare anche sotto i tracker vista la loro altezza da terra.

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

- I filari fotovoltaici, posti ad interasse di 4,40 m, consentono un agevole accesso per le lavorazioni agricole ai mezzi meccanici utilizzati per la coltivazione, lo sfalcio e la raccolta del foraggio;
- È prevista la posizione di blocco dei pannelli in totale rotazione ovest o est, in questo modo è agevole lavorare il terreno per la semina del prato fino a ridosso dei sostegni;
- L'assenza di elettrodotti interrati (con esclusione di quelli concentrati sulle direttrici di progetto, dalle cassette stringhe alla cabina elettrica) consente eventuali lavorazioni di ripuntatura/scarificazione, e arieggiamento del terreno;
- I supporti sono costituiti da pali in acciaio infissi 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 offrono un foraggio di elevato valore nutritivo ricco di proteine;
- A fine vita operativa, ad impianto dismesso, il suolo così rigenerato sarà ideale anche per coltivazioni agricole di pregio (es. orticole, frutteto, vigneto).

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 e possono essere rimossi con facilità per semplice estrazione;
- I cavidotti sono minimi e saranno localizzati unicamente al margine sud-est e sud-ovest, in vicinanza della recinzione, 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 numerosi cavidotti ad eccezione delle linee che portano le stringhe alle cassette di campo.

Relativamente all'impatto paesaggistico e la gestione del sistema agrivoltaico, si evidenziano i seguenti punti di forza della soluzione proposta:

- Il prato permanente è una coltura pluriennale la cui durata è dell'ordine di decenni e più e, offrendo una copertura vegetale verde costante, anche nel periodo invernale, mitiga efficacemente l'impatto paesaggistico del sistema fotovoltaico;
- Le attività di impianto del prato polifita, che consistono in aratura, erpicatura e semina, non interferiscono con l'impianto in quanto sono attività una-tantum propedeutiche e preliminari all'installazione dell'impianto stesso;
- L'attività di manutenzione 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 presenti, assimilabili per tipologia alle attività agricole, rappresenteranno un'importante integrazione al reddito del personale impiegato, e attenuano l'impatto visivo dell'intero impianto.

#### **d. SOSTENIBILITA' ECONOMICA DELL'ATTIVITA' AGRICOLA**

Per verificare la sostenibilità economica dell'attività agricola nell'impianto fotovoltaico si è fatto riferimento ai dati di sintesi, reperibili presso le principali fonti bibliografiche regionali.

La comparazione tra le diverse coltivazioni viene fatta in termini di MARGINE LORDO unitario (per ettaro), ricavabile da ciascuna tipologia di coltivazione, 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 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.



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 corrisponda 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 coltivazioni a confronto (agrivoltaico con prato polifita permanente vs. pascolo cespugliato), si è costruita una matrice che assegna punteggi compresi tra -5 (minimo) e +5 (massimo) ad alcuni indicatori socio- economici ed ambientali.

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

La matrice AMC evidenzia un punteggio significativamente maggiore del prato polifita permanente combinato all'impianto fotovoltaico, rispetto all'pascolo cespugliato attuale.

Con questa soluzione il terreno agricolo oggetto di intervento, che non è utilizzabile per colture specializzate e protette, 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 e conveniente uso del terreno, sia pienamente raggiunto con il sistema agrivoltaico.

Voce	Coltivazione attuale (pascolo cespugliato)	Coltivazione futura (Prato Polifita Permanente)
<b>1. Occupazione (impiego di personale)</b>	(+2) Limitato, in conseguenza della totale meccanizzazione e della periodicità di taglio.	(+4) Medio, per le operazioni di sfalcio e raccolta del foraggio ripetute 3-5 volte. Impiego addizionale di maestranze agricole per la manutenzione delle siepi perimetrali di inserimento ambientale. Voce a parte è rappresentata dall'impiego dei tecnici specializzati impiegati nella costruzione e manutenzione dell'impianto foto-voltaico.
<b>2. Fertilità agronomica dei terreni (contenuto di sostanza organica)</b>	(-1) L'aratura profonda annuale comporta l'impoverimento progressivo per ossidazione della matrice organica del terreno.	(+2) L'aratura 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.
<b>3. Effetti sul sistema idrico (consumo di acqua e qualità)</b>	(+1) Elevate necessità di acqua di irrigazione. Elevato utilizzo di concimi, ammendanti e antiparassitari che contribuiscono all'inquinamento delle acque superficiali e di falda.	(+3) Moderate necessità di acqua di irrigazione. Limitato utilizzo di concimi. Nessun utilizzo di antiparassitari.
<b>4. Utilizzo di carburanti fossili per le macchine agricole</b>	(+2) Il taglio e trasporto richiede mezzi potenti ed un elevato consumo di carburante.	(+3) La coltivazione richiede l'uso di mezzi agricoli leggeri e consumi ridotti di carburante.
<b>5. Biodiversità floristica e faunistica</b>	(0) La coltivazione è condotta in monocoltura (una sola specie coltivata), con minima biodiversità. Il taglio, se pur con un periodo medio, elimina completamente l'ecosistema impattando drasticamente su flora e fauna.	(+2) I miscugli polifiti generalmente prevedono la coltivazione di numerose specie foraggere contemporaneamente (6-10 specie). Molte specie attraggono insetti impollinatori (api), ed il prato crea rifugio per fauna selvatica e nemici naturali (parassitoidi) dei parassiti delle piante.
<b>6. Margine lordo (valore economico del prodotto agricolo)</b>	(+2) La coltivazione ha marginalità media rispetto a colture orticole o frutticole a più alto reddito.	(+2) Il prato polifita produce una marginalità molto simile a quella delle coltivazioni cerealicole.
<b>7. Produzione di Energia Rinnovabile</b>	(+1) La produzione dei cereali in sito è in buona parte destinata all'alimentazione umana e animale.	(+5) La produzione dell'associato impianto fotovoltaico raggiunge annualmente per ogni ettaro di superficie circa:  <b>1700 MWh/ha</b>  L'intera produzione di foraggio è inoltre destinata all'alimentazione animale per la produzione di alimenti per l'uomo.

**f. GESTIONE IDRAULICA**

Il terreno aziendale si caratterizza per una prevalenza di tessitura ghiaiosa, sabbiosa.

Lo sviluppo del progetto agrivoltaico prevede di mantenere inalterata la morfologia degli appezzamenti inserendo a profondità variabile i pali porta pannelli fotovoltaici per ottenere una quota costante della superficie di intercettazione solare.

Le piccole scoline presenti sui terreni verranno mantenute ed eventualmente potranno essere potenziate nella loro funzione con un più efficiente sistema di scolo delle acque in eccesso sempre con scoline data la natura molto permeabile del terreno, da valutare in sede di progettazione esecutiva.

Il drenaggio può essere costituito da una rete di scoline disposte parallelamente nel campo a distanza regolare e con una profondità moderata, all'incirca di 20-25 cm. L'inter-distanza tra i canali va commisurata alla tessitura del terreno per un ottimale drenaggio ed evitare ristagni idrici, potendo oscillare tra 10 e 15 m. Nello specifico, si può prevedere di posizionare i canali al centro di dell'interfilare, ad un interasse di 14 m, ovvero una scolina ogni circa 3 filari fotovoltaici.

I canali hanno una larghezza di 40 cm e verranno realizzati con macchine con benna sagomata rispettando una pendenza dello 0,1-0,2% per consentire un adeguato sgrondo delle acque nei capifosso.

**g. REALIZZAZIONE DEL PRATO POLIFITA E MECCANIZZAZIONE DELLA RACCOLTA**

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 ripuntatura del terreno 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.

Si adotterà una elevata biodiversità nella realizzazione del miscuglio, utilizzando le seguenti specie graminacee (loietto italico e loietto inglese, erba fienarola, festuca, erba mazzolina, fleolo) e leguminose (trifoglio pratense, trifoglio bianco, trifoglio incarnato, ginestrino)

Nel caso si opti per la raccolta mediante sfalcio e imballatura, 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.

Le operazioni di sfalcio con barre falcianti frontali o laterali consentiranno di svolgere le operazioni fino a ridosso del filare fotovoltaico.

Le successive fasi di rivoltamento e andanatura del foraggio, da svolgere rispettivamente con macchine spandivolfafieno e andanatoris sono agevolate dalla modesta altezza di tale attrezzature (massimo 75-80 cm), che possono compiere il lavoro anche sotto i pannelli fotovoltaici.

La permanenza del foraggio in campo e il numero di rivoltamenti sarà contenuto, nel caso si intende valorizzare la qualità del foraggio attraverso la fienagione in due tempi in sostituzione della fienagione tradizionale, con pre-appassimento in campo e successivo completamento dell'essiccazione attraverso idoneo impianto.

Il foraggio ottenuto sarebbe di maggiore quantità per effetto della minimizzazione delle perdite meccaniche, e di migliore qualità (contenuto proteico) potendo preservare da rotture e perdite soprattutto le parti più nobili e ricche di proteine del foraggio (foglie).

Le macchine per la raccolta, essenzialmente rotoimballatrici, sono comunemente di larghezza e dimensioni contenute, compatibili con la movimentazione in campo rispetto ai dati progettuali dell'impianto fotovoltaico (larghezza interfila, altezza delle ali fotovoltaiche e loro rotazione).

Va tenuto comunque in considerazione che eventuali particolari necessità di movimentazione di attrezzature di dimensioni maggiori, ivi compreso il sistema di carico e trasporto delle rotoballe di fieno, è possibile attraverso il bloccaggio delle ali fotovoltaiche in posizione completamente a est o ad ovest.

Nel caso invece non si voglia eseguire l'essiccazione in due fasi, l'erba sfalciata verrebbe lasciata ad essiccare sul terreno e poi raccolta e imballata secondo le modalità e con i macchinari già descritti.

#### **h. ESSICCAZIONE E STOCCAGGIO DEL FORAGGIO**

L'azienda disporrà di una superficie a prato polifita di circa 52 ettari.

Nel caso di sfalcio e imballatura del foraggio prodotto si terrà conto della produzione media di foraggio e dei relativi volumi occupati.

Si assumono le seguenti caratteristiche delle rotoballe di fieno: 160 cm diametro x 120 cm altezza, peso 0,32 t circa (rotoballe a cuore/nocciolo tenero).

La produzione di foraggio può oscillare nel seguente intervallo di valori:

- Produzione minima di foraggio: 9 t/ha = 28 rotoballe/ha x 60 ha = 1680 rotoballe
- Produzione massima di foraggio: 13 t/ha = 40 rotoballe/ha x 60 ha = 2400 rotoballe

	<b>RELAZIONE AGRIVOLTAICA</b>	Codifica <b>B1.R06</b>	
		Rev. 00 del 30/10/2023	Pag. <b>48</b> a 61

- Produzione media di foraggio: 11 t/ha = 34 rotoballe/ha x 60 ha = 2040 rotoballe (652 t)

Si prevede che produzione complessive di 652 t annue (valore medio) di foraggio sia temporalmente distribuita come segue:

- 1° sfalcio: 50%, ovvero 840-1200 rotoballe, in media 1020 rotoballe
- 2° sfalcio: 25%, ovvero 420-600 rotoballe, in media 510 rotoballe
- 3° sfalcio: 12,5%, ovvero 210-300 rotoballe, in media 255 rotoballe;
- 4° sfalcio: 12,5%, ovvero 210-300 rotoballe, in media 255 rotoballe.

Considerando il diametro delle rotoballe e la possibilità di stoccarle in pile da 3-5 unità, si stima di poterle accatastare completamente in futuri magazzini (da realizzare), valorizzandone l'utilizzo nel progetto di integrazione agrovoltaica.

Adiacente al magazzino si potrebbe in seguito realizzare un impianto di essiccazione per cereali che potrà essere adattato per la produzione di aria calda da convogliare ad un sistema di griglie, da realizzare unitamente ad una tettoia, per l'essiccazione del foraggio pre-appassito.

Queste sono tutte opzioni che dovranno essere valutate dal proponente in funzione degli spazi residui e delle marginalità economiche.

#### **i. SVILUPPO AZIENDALE FUTURO**

Il foraggio prodotto in azienda dal sistema agrovoltaico potrà essere commercializzato e destinato, come detto, all'alimentazione di diverse tipologie di animali (bovini, ovini, equini, conigli, etc.).

L'elevata qualità del foraggio ottenuto con l'essiccazione in due tempi consentirebbe di ottenere una marginalità superiore rispetto ai prezzi medi di mercato.

La presenza di ampi spazi non utilizzati per l'impianto fotovoltaico permetterebbe anche la creazione di stalle per allevamento di bovini o ricovero di ovini.

L'ipotesi di sviluppare la filiera di produzione della carne aumenterebbe significativamente il margine lordo aziendale senza ulteriori investimenti.

Inoltre, optando per la sostituzione della copertura esistente delle stalle e del fienile con superficie fotovoltaica, si potrebbe produrre ulteriore energia pulita valorizzando in modo completo il progetto di riqualificazione aziendale.

Quelle qui indicate sono azioni di potenziale sviluppo che andranno però scelte e definite dopo l'autorizzazione dell'impianto.

**j. CALCOLO PARAMETRI AGRIVOLTAICO**

Di seguito vengono rappresentati i valori relativi alla verifica di “agrivoltaico” in riferimento alle “Linee Guida MASE del giugno 2022”.

**Criterio 1**

**A.1 Superficie minima coltivata: è prevista una superficie minima dedicata alla coltivazione**

$$S_{agricola} \geq 0,7 \cdot Stot$$

A.1	A.1 Superficie minima coltivata: è prevista una superficie minima dedicata alla coltivazione	$S_{agricola} \geq 0,7 Stot$	<i>Stot</i>	<i>Sposts</i>	<i>Sroads</i>	<i>Scontain</i>	<i>Sagricola</i>
		0.95	54.55	0.05	1.96	0.48	52.07

**Criterio 2**

**A.2 Percentuale di superficie complessiva coperta dai moduli (LAOR)**

$$LAOR \leq 40\%$$

A.2	A.2 Percentuale di superficie complessiva coperta dai moduli (LAOR)	$LAOR \leq 40\%$	<i>Spv</i>	<i>Strackers 3</i>	<i>Strackers 2.5</i>	<i>Strackers 2</i>	<i>Strackers 1</i>
	●LAOR (Land Area Occupation Ratio): rapporto tra la superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico ( <i>Spv</i> ), e la superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico ( <i>S tot</i> ).	0.35	19.11	14.49	1.65	1.48	1.49

**Criterio 3**

---

**B.1 Continuità dell'attività agricola**

a) L'esistenza e la resa della coltivazione €/UBA (Unità di Bestiame Adulto), confrontandolo con il valore medio della produzione agricola registrata sull'area destinata al sistema agrivoltaico negli anni solari antecedenti, a parità di indirizzo produttivo. In assenza di produzione agricola sull'area negli anni solari precedenti, si potrebbe fare riferimento alla produttività media della medesima produzione agricola nella zona geografica oggetto dell'installazione

**Rispettata**

---

**Criterio 4****B.2 Producibilità elettrica minima**

Producibilità elettrica specifica di riferimento ( $FV_{standard}$ ): stima dell'energia che può produrre un impianto fotovoltaico di riferimento (caratterizzato da moduli con efficienza 20% su supporti fissi orientati a Sud e inclinati con un angolo pari alla latitudine meno 10 gradi), espressa in GWh/ha/anno, collocato nello stesso sito dell'impianto agrivoltaico

$FV_{agri} \geq 0,6 \cdot FV_{standard}$   
 $FV_{agri} = 1.13 \cdot FV_{standard}$ ;  
 $73.2 \text{ GWh}/64,58 \text{ GW} = 1.13$

**Criterio 5**
**REQUISITO C: l'impianto agrivoltaico adotta soluzioni integrate innovative con moduli elevati da terra**

TIPO 1)

La configurazione spaziale del sistema agrivoltaico, e segnatamente l'altezza minima di moduli da terra, influenza lo svolgimento delle attività agricole su tutta l'area occupata dall'impianto agrivoltaico o solo sulla porzione che risulti libera dai moduli fotovoltaici. Nel caso delle colture agricole, l'altezza minima dei moduli da terra condiziona la dimensione delle colture che possono essere impiegate (in termini di altezza), la scelta della tipologia di coltura in funzione del grado di compatibilità con l'ombreggiamento generato dai moduli, la possibilità di compiere tutte le attività legate alla coltivazione ed al raccolto. Le stesse considerazioni restano valide nel caso di attività zootecniche, considerato che il passaggio degli animali al di sotto dei moduli è condizionato dall'altezza dei moduli da terra (connettività).

- 1,3 metri nel caso di attività zootecnica (altezza minima per consentire il passaggio con continuità dei capi di bestiame);
- 2,1 metri nel caso di attività colturale (altezza minima per consentire l'utilizzo di macchinari funzionali alla coltivazione).

Il sistema di Codrongianos si contraddistingue come Tipo1.  
Altezza minima di 1.3m


**Criterio 6**

**D REQUISITO D: Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio che consenta di verificare l'impatto sulle colture, il risparmio idrico, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture e la continuità delle attività delle aziende agricole interessate**

D.1 D.1 Monitoraggio del risparmio idrico

Il sistema agrivoltaico consente una minore evapotraspirazione, si potrebbe consigliare installazione di lisimetri o stazioni totali sotto la vela fotovoltaica e nell'area priva di moduli fotovoltaici.

## Criterio 7

<p><b>D. D.2 Monitoraggio della continuità 2 dell'attività agricola</b></p> <p><i>Come riportato nei precedenti paragrafi, gli elementi da monitorare nel corso della vita dell'impianto sono:</i></p> <ol style="list-style-type: none"><li><i>1. l'esistenza e la resa della coltivazione;</i></li><li><i>2. il mantenimento dell'indirizzo produttivo;</i></li></ol> <p><b>Tale attività può essere effettuata attraverso la redazione di una relazione tecnica asseverata da un agronomo con una cadenza stabilita.</b></p> <p><i>Alla relazione potranno essere allegati i piani annuali di coltivazione, recanti indicazioni in merito alle specie annualmente coltivate, alla superficie effettivamente destinata alle coltivazioni, alle condizioni di crescita delle piante, alle tecniche di coltivazione (sesto di impianto, densità di semina, impiego di concimi, trattamenti fitosanitari).</i></p>	<p>Si eseguirà un costante monitoraggio con la supervisione di un tecnico abilitato Agronomo</p>
---	--

**Criterio 8**

<b>E.1</b>	<b>E.1 Monitoraggio del recupero della fertilità del suolo</b>	Si eseguirà una costante verifica con la supervisione di un tecnico abilitato Agronomo
	<p><i>Importante aspetto riguarda il recupero dei terreni non coltivati, che potrebbero essere restituiti all'attività agricola grazie alla incrementata redditività garantita dai sistemi agrivoltaici. È pertanto importante monitorare i casi in cui sia ripresa l'attività agricola su superfici agricole non utilizzate negli ultimi 5 anni *</i></p> <p><i>Il monitoraggio di tale aspetto può essere effettuato nell'ambito della relazione di cui al precedente punto, o tramite una dichiarazione del soggetto proponente.</i></p> <p><b>* La definizione di pascolo permanente prevista dall'art. 2 (2) (c) del reg. 1120/2009, interpreta come terreno agricolo un terreno che è, da almeno 5 anni, usato per la produzione di erba e altre piante erbacee da foraggio, anche se quel terreno è stato arato e seminato con un'altra varietà di pianta erbacea da foraggio diversa da quella precedente.</b></p>	

**Criterio 9**

<b>E.2</b>	<b>E.2 Monitoraggio del microclima</b>	Si eseguirà un costante monitoraggio con l'installazione di centraline meteo con la supervisione di un tecnico abilitato Agronomo
	<p><i>Tali aspetti possono essere monitorati tramite sensori di temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria unitamente a sensori per la misura della radiazione posizionati al di sotto dei moduli fotovoltaici e, per confronto, nella zona immediatamente limitrofa ma non coperta dall'impianto. In particolare, il monitoraggio potrebbe riguardare:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>· la temperatura ambiente esterno (acquisita ogni minuto e memorizzata ogni 15 minuti) misurata con sensore (preferibile PT100) con incertezza inferiore a <math>\pm 0,5^{\circ}\text{C}</math>;</i></li> <li><i>· la temperatura retro-modulo (acquisita ogni minuto e memorizzata ogni 15 minuti) misurata con sensore (preferibile PT100) con incertezza inferiore a <math>\pm 0,5^{\circ}\text{C}</math>;</i></li> <li><i>· l'umidità dell'aria retro-modulo e ambiente sterno, misurata con igrometri/psicrometri (acquisita ogni minuto e memorizzata ogni 15 minuti);</i></li> </ul>	

*· la velocità dell'aria retro-modulo e ambiente esterno, misurata con anemometri*

*I risultati di tale monitoraggio possono essere registrati, ad esempio, tramite una relazione triennale redatta da parte del proponente*

## Critério 10

### **E.3 Monitoraggio della resilienza ai cambiamenti climatici**

Si eseguirà un costante monitoraggio con l'installazione di centraline meteo con la supervisione di un tecnico abilitato Agronomo

#### **E.3**

*Dovrà essere prevista una valutazione del rischio ambientale e climatico attuale e futuro in relazione ad alluvioni, nevicate, innalzamento dei livelli dei mari, piogge intense, ecc. per individuare e implementare le necessarie misure di adattamento in linea con il Framework dell'Unione Europea. Dunque:*

- in fase di progettazione: il progettista dovrebbe produrre una relazione recante l'analisi dei rischi climatici fisici in funzione del luogo di ubicazione, individuando le eventuali soluzioni di adattamento;*
- in fase di monitoraggio: il soggetto erogatore degli eventuali incentivi verificherà l'attuazione delle soluzioni di adattamento climatico eventualmente individuate nella relazione di cui al punto precedente (ad esempio tramite la richiesta di documentazione, anche fotografica, della fase di cantiere e del manufatto finale).*

## 8. 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.

L'associazione tra impianto fotovoltaico di nuova generazione (ad inseguimento solare) e l'attività agricola rappresenta una soluzione innovativa dell'impiego del territorio 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 di una idonea coltura, tollerante al parziale ombreggiamento generato dai pannelli fotovoltaici, è possibile migliorare la produttività agricola e la conseguente marginalità e sfruttare tutta la superficie del suolo sotto ai pannelli solari per scopi agricoli.

A differenza delle coltivazioni cerealicole, e di cereali microtermi in particolare (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 un perfetto equilibrio e adattamento del prato alle specifiche e variabili condizioni di illuminamento, favorendo l'una o l'altra essenza foraggera in funzione delle variabili 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, come frumento, orzo, insalata, pomodoro, pisello, etc., 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.

La maggior parte dei terreni della pianura del campidano sta progressivamente perdendo di fertilità a causa della coltivazione intensiva e della frequenza e profondità delle lavorazioni.

È frequente rilevare valori di sostanza organica del terreno inferiori a 1,5% e in molti casi anche inferiori all'1%, condizione che agronomicamente viene definita di terreno "povero" poiché inferiore alla soglia ideale del 2%.

La situazione viene efficacemente migliorata dai prati permanenti, poiché in questi è frequente rilevare contenuti di sostanza organica ben superiori, pari al 3-4% e più. A tale riguardo, il terreno è

considerato 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.

Presso la stazione meteorologica ARPAS di Sassari negli ultimi 30 anni sono stati documentati incrementi termici di circa 1,5 °C, condizione che aumenta le condizioni di stress da caldo e di carenza idrica e accelera il ciclo colturale, a discapito di resa e qualità dei prodotti.

Nello specifico, l'applicazione del sistema fotovoltaico alla coltivazione di specie foraggere è documentato possa aumentarne la produttività, facilitare il ricaccio dopo lo sfalcio e ridurre gli apporti idrici artificiali.

Dal punto di vista paesaggistico, la superficie a prato mitiga efficacemente la presenza dell'impianto fotovoltaico anche nel periodo invernale, fornendo una superficie stabilmente verde.

La realizzazione aggiuntiva delle siepi perimetrali con specie arbustive ed arboree costituisce un ulteriore importante elemento di arricchimento paesaggistico e un corridoio ecologico per la fauna selvatica, nonché dei validi sistemi di intercettazione di nutrienti e fitofarmaci provenienti dai campi coltivati.

Le opere di valorizzazione agricola e mitigazione ambientale previste nel presente progetto, tendono ad impreziosire ed implementare il livello della biodiversità dell'area.

In un sistema territoriale di tipo misto (agricolo estensivo semplificato e silvicoltura intensiva), la progettualità descritta nel presente lavoro consente di:

- diversificare la consistenza floristica;
- aumentare il livello di stabilizzazione del suolo attraverso la prevenzione di fenomeni erosivi superficiali;
- consentire un aumento della fertilità del suolo;
- contribuire al sostentamento e rifugio della fauna selvatica;
- contribuire alla conservazione della biodiversità agraria.

Nel suo complesso le opere previste avranno un effetto "potente" a supporto degli insetti pronubi e cioè che favoriscono l'impollinazione.

In modo particolare saranno favoriti gli imenotteri quali le api (*Apis mellifera* L.).

Il ruolo delle api è fondamentale per la produzione alimentare e per l'ambiente. E in questo, sono aiutata anche da altri insetti come bombi o farfalle.

In base a quanto detto l'impatto delle opere previste nella realizzazione del parco fotovoltaico avrà un sicuro effetto di supporto, sviluppo e sostentamento degli insetti pronubi in un raggio di 3 Km.

Sebbene le crescenti pressioni antropogeniche stiano impoverendo la biodiversità attraverso la perdita, la modifica e la frammentazione degli habitat, una progettazione degli impianti fotovoltaici inclusiva, non solo degli aspetti legati all'efficienza energetica complessiva ma anche di quelli paesaggistici ed ecologici, rappresenta una strategia per creare infrastrutture verdi sponsorizzate alla UE per supportare la biodiversità.

Le infrastrutture verdi, secondo la definizione comunitaria, sono *“una rete di aree naturali e seminaturali pianificata a livello strategico con altri elementi ambientali, progettata e gestita in maniera da fornire un ampio spettro di servizi ecosistemici. Ne fanno parte gli spazi verdi (o blu, nel caso di ecosistemi acquatici) ed altri elementi fisici in aree sulla terraferma (incluse le aree costiere) e marine. Sulla terraferma, le infrastrutture verdi sono presenti in un contesto rurale ed urbano”* (Commissione Europea, 2013).

Le infrastrutture verdi si basano sul principio che l'esigenza di proteggere la natura deve essere integrata nella pianificazione territoriale con riferimenti ai concetti di connettività ecologica, conservazione e multifunzionalità degli ecosistemi (Mubareka et al., 2013). Ne sono un esempio parchi naturali, terreni agricoli periurbani, foreste e giardini urbani.

In particolare, l'idea del *“AGRIVOLTAICO”* proposta nel presente progetto propone un uso multifunzionale del suolo attraverso una riorganizzazione del processo che passa da una *“gestione negativa del verde”* nei tradizionali impianti fotovoltaici, volta principalmente all'eliminazione delle piante infestanti, ad una *“gestione attiva del verde”*, cioè coltivazione di essenze a valore economico ed ecologico.

Quindi, oltre a garantire la produzione di energia, l'uso del suolo può supportare funzioni primarie (produzione di cibo, fibre o altro), fornire servizi secondari alla comunità (miglioramento della qualità dell'aria e dell'acqua, mitigazione del clima, conservazione della biodiversità animale e vegetale) e sostenere le attività socioeconomiche delle aree rurali creando spazi.

Tali beni e servizi, utili al benessere della popolazione, in termini ecologici sono definiti servizi ecosistemici.

L' *“AGRIVOLTAICO”* proposto nel presente progetto risulta compatibile con il contesto territoriale nel quale si colloca, in quanto non indurrà modificazioni tali da interferire negativamente con la struttura, la dinamica ed il funzionamento degli ecosistemi naturali e seminaturali; anzi, potrebbe contribuire ad aumentarne la biodiversità e la probabilità di frequentazione da parte della fauna ed avifauna sia stanziale che migratoria, cercando altresì di agevolare il raggiungimento degli obiettivi

posti dall'attuale governo regionale e nazionale, sull'uso e la diffusione delle energie rinnovabili, che stanno alla base delle politiche di controllo e di attenuazione dei cambiamenti climatici tutt'ora in corso.

In particolare, a livello paesaggistico, tale intervento si potrebbe inserire all'interno della Rete Ecologica Regionale (un sistema interconnesso di habitat, di cui salvaguardare la biodiversità, ponendo quindi attenzione alle specie animali e vegetali potenzialmente minacciate) in quanto, in un contesto fortemente antropizzato e caratterizzato da monoculture, andrebbe a costituire un'isola di vegetazione a prato che può supportare sia gli insetti pronubi che l'avifauna stanziale e migratoria.

Tale intervento si può configurare nel contesto della Rete Ecologica Regionale come una stepping zone ovvero "habitat attestati su aree di piccola superficie che, per la loro posizione strategica o per la loro composizione, rappresentano siti importanti per la sosta delle specie in transito in un territorio non idoneo alla loro vita. Sono piccoli habitat in cui le specie possono trovare temporaneamente ricovero e cibo".

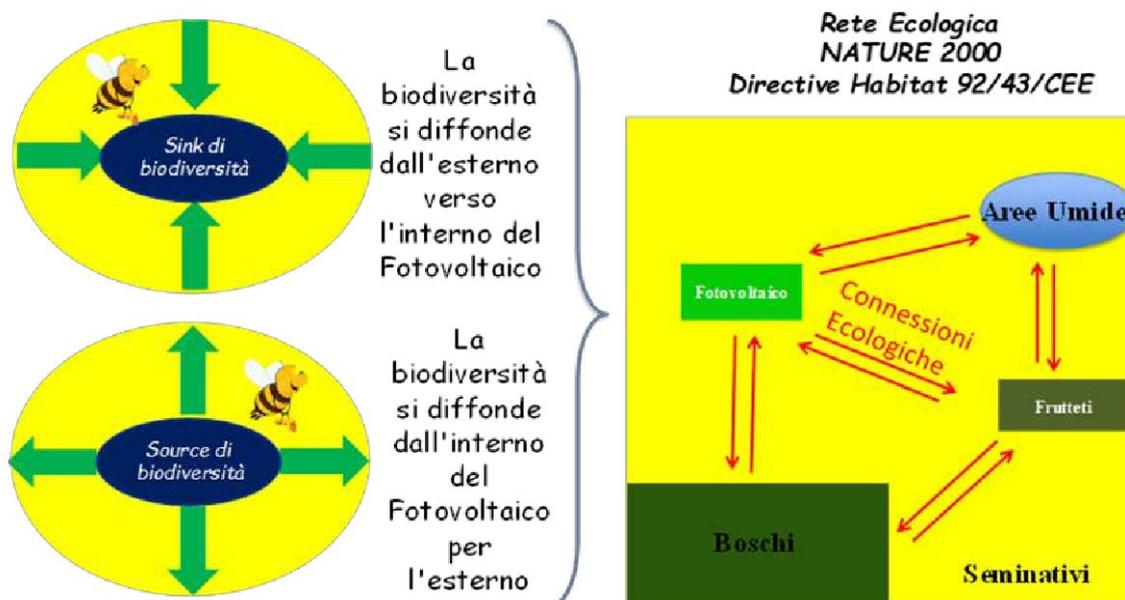


Figura 7 – inquadramento concettuale dell'impianto agrivoltaico come stepping stone a supporto della Rete Ecologica Regionale

In particolare, le interconnessioni ecologiche riguardano sia la possibilità della fauna di utilizzare tale area, ma anche la possibilità di supportare un servizio ecosistemico molto importante come

l'impollinazione non solo nell'area di intervento, ma anche nel contesto paesaggistico in cui si inserisce.

Le popolazioni di impollinatori, garantendo la fecondazione di circa l'80% delle specie vegetali dotate di fiori, si dimostrano indispensabili per la salute dell'intero sistema ecologico ed agricolo; un servizio che Lautenbach (2009) ha stimato globalmente tra 235 e 577 miliardi di dollari all'anno.

Il calo della produzione di miele registrato in Italia nel 2016, legato alla moria delle api, si è aggravato con una perdita del 50-60% e punte fino all'80% in alcuni areali.

Il cambiamento di uso del suolo è tra le potenziali cause della riduzione degli impollinatori, insieme a cambiamenti climatici, uso di pesticidi ed erbicidi, frazionamento degli habitat ed invasione di specie aliene (Potts et al., 2016).

Il divieto di utilizzo di pesticidi imposto nei campi fotovoltaici li rende idonei per coltivazioni a bassissimo impatto ambientale, favorendo la colonizzazione da parte di api, farfalle ed altri insetti pronubi che avrebbero un impatto positivo anche per le aree agricole limitrofe l'impianto grazie alla mobilità degli insetti impollinatori che spesso supera 1,5 km.

Il progetto agri voltaico qui proposto mira, quindi, ad armonizzare la produzione energetica, quella agricola e la salvaguardia dei processi ecologici che sostengono il benessere umano, creando una forte sinergia tra operatori economici ed istituzionali nel territorio regionale.

In fase operativa, considerando gli interventi di mitigazione dell'impatto ambientale finalizzati anche al miglioramento ecosistemico dell'area previsti in progetto, gli impatti sulla componente faunistica legati all'inserimento ambientale dell'impianto fotovoltaico possono considerarsi positivi; è noto, infatti, che la fascia arborea di mitigazione perimetrale e la valorizzazione del prato erboso sottostante ai moduli fotovoltaici creano un "habitat" più attrattivo per la fauna ed avifauna.

Inoltre, la presenza di specie mellifere autoctone contribuisce a formare chiazze caratterizzate da habitat eterogenei in grado di attrarre insetti impollinatori.

Gli interventi di valorizzazione agricola e forestale descritti nei capitoli precedenti sono da considerarsi a tutti gli effetti opere di mitigazione ambientale.

Nello specifico si cerca di creare un vero e proprio ecotono e cioè un ambiente di transizione tra due ecosistemi differenti come quello agricolo e quello prettamente naturale.

Così facendo si crea sistema "naturalizzato" intermedio che rende l'impatto dell'opera compatibile con le caratteristiche agro-ambientali dell'area in cui si colloca, adeguandosi perfettamente a quelli che sono gli aspetti socioeconomici e culturali.

Con la presente relazione si vuole dimostrare come sia possibile svolgere attività produttive diverse ed economicamente valide che per le proprie peculiarità svolgono una incisiva azione di protezione e miglioramento dell'ambiente e della biodiversità.

L'idea di realizzare un impianto agrivoltaico è senz'altro un'occasione di sviluppo e di recupero per quelle aree marginali che presentano criticità ambientali destinate ormai ad un oblio irreversibile.

Il progetto nel suo insieme (fotovoltaico-agricoltura-zootecnia e mantenimento della biodiversità) ha una sostenibilità ambientale ed economica in perfetta concordanza con le direttive programmatiche de "Il Green Deal europeo".

Infatti, in linea con quanto disposto dalle attuali direttive europee, si può affermare che con lo sviluppo dell'idea progettuale di agrivoltaico vengano perseguiti due elementi costruttivi del GREEN DEAL:

- Costruire e ristrutturare in modo efficiente sotto il profilo energetico e delle risorse.
- Preservare e ripristinare gli ecosistemi e la biodiversità.

Inoltre, si vuol far notare come nell'analisi economica dell'attività agricola e di quella zootecnica si sia tenuto conto delle potenzialità minime di produzione. Nonostante l'analisi economica "prudenziale", le attività previste creano marginalità economiche interessanti rispetto all'obiettivo primario di protezione e miglioramento dell'ambiente e della sua biodiversità.

E' importante rimarcare l'importanza che le opere previste possono avere sul territorio attraverso l'implementazione di una rete territoriale di "prossimità" e cioè di collaborazione con altre realtà economiche prossime all'area di progetto del parco fotovoltaico.

## **9. 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.

Lin C.H., McGraw R.L., George M.F., Garrett H.E., 1998. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. *Agroforestry Systems* 44: 109-119.

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., Vamerli 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.

Oristano, 05/11/2023