



PROVINCIA
DI VITERBO



REGIONE
LAZIO



COMUNE DI
VITERBO

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA R.T.N. TERNA DELLA POTENZA DI PICCO 65,292 MWp

Denominazione Impianto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO "VITERBO 2"

Ubicazione: Comune di Viterbo

ELABORATO
02.VT2.RS.08

DOC.01.01.A

PROGETTO AGRONOMICO



CLEAN ENERGY NATURALLY

Project - Commissioning - Consulting
CEN SRL
STRADA DI GUINZA GRANDE
1 INT. 2 CAP 01014
MONTALTO DI CASTRO (VT)

Scala:

Data:
12/06/23

PROGETTO

PRELIMINARE



DEFINITIVO



ESECUTIVO



Il Richiedente:

CCEN Viterbo 2 S.r.l.
PIAZZA WALTHER VON VOGELWEIDE 8
39100 BOLZANO
KANZLEI ROEDL & PARTNER
P IVA 03210110213

Tecnici:

Dott. Gianluca Egidi SEA Tuscia srl

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato
01	12/03/2024	Emissione	EGIDI	EGIDI	EGIDI
02					
03					
04					

Firma Produttore

Firme

AgroPhotoVoltaico Multi-uso e aspetti di mitigazione

IDENTIFICAZIONE DELLE SOLUZIONI SPERIMENTALI IN FUNZIONE DEL DESIGN

Azienda Agricola Sant'Isidoro
Viterbo (VT)

Indice

1. Introduzione	3
2. Il contesto normativo	4
2.1. Il procedimento autorizzativo	7
2.2. Requisiti nuove linee guida.....	9
3. <i>SoW-Scope of Work</i>	10
4. Descrizione del sito.....	10
4.1. <i>Layout</i> dell'impianto.....	11
4.2. Effetti microclimatici dell'impianto APV.....	14
4.3. Caratterizzazione del suolo	15
4.4. Aspetti climatici	15
5. Soluzioni.....	17
5.1. Rotazioni	17
6. Sperimentazione.....	20
6.1. Progettazione delle soluzioni e sperimentazioni.....	20
6.2. Progettazione delle soluzioni irrigue	24
7. <i>Design</i> sperimentale.....	24
7.1. Descrizione della sperimentazione per parcelle.....	24
7.2. Gestione delle attività e manutenzione	29
8. Monitoraggio della sperimentazione	30
8.1. In situ	30
8.2. Risultati attesi.....	30
9. Computo metrico.....	31
9.1. Analisi di costi e ricavi dell'attività agrivoltaica.....	31
10. Analisi delle ricadute ambientali dell'intervento	34
10.1. Benefici dell'impianto APV	34
10.2. Impatti ambientali	35
11. Cronoprogramma	36
12. Caratteristiche e requisiti degli impianti agrivoltaici.....	37
12.1. REQUISITO A:.....	37
12.2. REQUISITO B:	39
12.3. REQUISITO C:	40
12.4. REQUISITO D ed E:.....	40
13. Conclusioni	46

1. Introduzione

Con il termine AgriPhotoVoltaic (abbreviato APV) si indica un settore, ancora poco diffuso, caratterizzato da un utilizzo "ibrido" dei terreni agricoli per la produzione agricola e produzione di energia elettrica attraverso l'installazione, sullo stesso terreno, di impianti agrivoltaici in combinazione con la coltivazione agricola (agrivoltaico).

La cosiddetta "generazione distribuita", infatti, non potrà fare a meno, per molte ragioni, di impianti che occupano nuovi terreni oggi dedicati all'agricoltura per una parte. Per essere possibile è necessario adottare nuovi criteri di impiantistica, utilizzando criteri e modalità di gestione completamente nuovi per il nuovo settore APV. Esempi del passato di questo tipo di settore sono le "serre fotovoltaiche" nate non per esigenze agricole, ma per creare moduli fotovoltaici da collocare su terreno su cui, altrimenti, non sarebbe stato possibile installare impianti. Ora è necessario integrare la produzione agricola ed elettrica in nuovi sistemi.

I sistemi agrivoltaici sono un approccio strategico e innovativo per combinare il solare agrivoltaico (PV) con la produzione agricola e per il recupero delle aree marginali. La sinergia tra modelli di Agricoltura 4.0 e l'installazione di pannelli fotovoltaici di ultima generazione, garantirà una serie di vantaggi a partire dall'ottimizzazione del raccolto, sia dal punto di vista qualitativo sia quantitativo, con conseguente aumento della redditività e dell'occupazione.

Il Piano Agro-Solare ha come obiettivi principali l'incremento della produttività dei terreni agricoli coinvolti, attraverso lo sviluppo di un modello di agricoltura razionale, anche con nuove coltivazioni accanto a quelle tradizionali, compresi gli aspetti zootecnici e di sicurezza sul lavoro. Il programma mira alla produzione di energia rinnovabile in maniera sostenibile e in armonia con l'ambiente, puntando anche all'impiego di mezzi agricoli elettrici. Questa relazione tecnica deve servire anche come supporto all'Azienda per comprendere i fattori che agiscono sulla scelta della coltura in funzione del *design* impiantistico dell'impianto agrivoltaico.

2. Il contesto normativo

Negli ultimi anni l'ONU, l'Unione europea e le principali agenzie internazionali che ricoprono un ruolo fondamentale in materia ambientale si sono occupate, con particolare attenzione, delle problematiche riguardanti la produzione di energie rinnovabili nei principali Stati mondiali ed europei.

A livello internazionale, nel settembre del 2015, l'ONU ha adottato un Piano mondiale per la sostenibilità denominato Agenda 2030 che prevede 17 linee di azione, tra le quali è presente anche lo sviluppo di impianti Agrovoltaici per la produzione di energia rinnovabile.

L'Unione europea ha recepito immediatamente l'Agenda 2030, obbligando gli Stati membri ad adeguarsi a quanto stabilito dall'ONU.

Il 10 novembre 2017, in Italia, è stata approvata la SEN 2030, Strategia Energetica Nazionale fino al 2030. Contiene obiettivi più ambiziosi dell'agenda ONU 2030, in particolare:

- la produzione di 30 GW di nuovo fotovoltaico;
- la riduzione emissioni CO₂;
- lo sviluppo di tecnologie innovative per la sostenibilità.

A livello europeo, invece, l'art. 194 del Trattato sul funzionamento dell'Unione europea prevede che l'Unione debba promuovere lo sviluppo di energie nuove e rinnovabili per meglio allineare e integrare gli obiettivi in materia di cambiamenti climatici nel nuovo assetto del mercato.

Nel 2018 è entrata in vigore la direttiva riveduta sulle energie rinnovabili (direttiva UE/2018/2001), nel quadro del pacchetto «Energia pulita per tutti gli europei», inteso a far sì che l'Unione europea sia il principale leader in materia di fonti energetiche rinnovabili e, più in generale, ad aiutare l'UE a rispettare i propri obiettivi di riduzione di emissioni ai sensi dell'accordo di Parigi.

La nuova direttiva stabilisce un nuovo obiettivo in termini di energie rinnovabili per il 2030, che dev'essere pari ad almeno il 32% dei consumi energetici finali, con una clausola su una possibile revisione al rialzo entro il 2023.

A partire dal 2021, nell'ambito del nuovo pacchetto «Energia pulita per tutti gli europei», la direttiva ha stabilito un obiettivo complessivo dell'UE in materia di energie rinnovabili per il 2030. Gli Stati membri potranno proporre i propri obiettivi energetici nazionali nei piani nazionali decennali per l'energia e il clima. I predetti piani saranno valutati dalla Commissione europea, che potrà adottare misure per assicurare la loro realizzazione e la loro coerenza con l'obiettivo complessivo dell'UE. I progressi compiuti verso gli obiettivi nazionali saranno misurati con cadenza biennale, quando gli

Stati membri dell'UE pubblicheranno le proprie relazioni nazionali sul processo di avanzamento delle energie rinnovabili.

Dunque, negli ultimi anni l'Unione europea ha incentivato notevolmente l'utilizzo di pannelli fotovoltaici al fine di produrre nuova energia "pulita" che dovrebbe contribuire a soddisfare il fabbisogno annuo di energia elettrica di ogni Stato.

L'UE per il periodo successivo al 2020 ha voluto fornire indicazioni ben precise agli investitori sul regime post-2020. Infatti, la strategia a lungo termine della Commissione definita «Tabella di marcia per l'energia 2050» del 15.12.2011 (COM(2011)0885) delinea i diversi possibili scenari per la decarbonizzazione del settore energetico che sono finalizzati al raggiungimento di una quota di energia rinnovabile pari ad almeno il 30% entro il 2030. In mancanza di ulteriori interventi da parte dei diversi Stati membri, dopo il 2020, si assisterà ad un rallentamento della crescita delle energie rinnovabili. Ulteriori indicazioni da parte della Commissione si hanno tramite la pubblicazione, nel marzo 2013, di un Libro verde dal titolo «Un quadro per le politiche dell'energia e del clima all'orizzonte 2030» (COM(2013)0169) con il quale vengono ridefiniti alcuni obiettivi strategici, quali la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e il sostegno alla crescita, alla competitività e all'occupazione nell'ambito di un approccio che associ alta tecnologia, efficienza in termini di costo e efficacia nell'utilizzo delle risorse. A questi tre obiettivi strategici sono associati tre obiettivi principali per le riduzioni delle emissioni dei gas serra, l'energia rinnovabile e i risparmi energetici. Il libro verde fa riferimento ad una riduzione del 40% delle emissioni, entro il 2030, al fine di poter conseguire una riduzione dell'80-95% entro il 2050, in linea con l'obiettivo concordato a livello internazionale di limitare il riscaldamento globale a 2 °C.

Successivamente, la Commissione nella sua comunicazione del 22 gennaio 2014 dal titolo «Quadro per le politiche dell'energia e del clima per il periodo dal 2020 al 2030» (COM(2014)0015), risolvendo il problema posto dagli Stati membri, nel Libro verde, ha proposto di non rinnovare gli obiettivi nazionali vincolanti per le energie rinnovabili dopo il 2020. Infatti, è previsto un obiettivo vincolante, solo a livello di UE, della riduzione del 27% del consumo energetico da fonti rinnovabili in modo tale da stimolare la crescita nel settore dell'energia.

Nell'ambito della più ampia strategia relativa all'Unione dell'energia (COM(2015)0080) la Commissione ha pubblicato un pacchetto legislativo dal titolo «Energia pulita per tutti gli europei» (COM(2016)0860) del 30 novembre 2016. Si tratta di un passo di fondamentale importanza perché comprende una proposta di revisione della direttiva sulla promozione delle fonti energetiche rinnovabili (direttiva (UE) 2018/2001) con l'obiettivo di rendere l'UE un leader mondiale

nel campo delle fonti rinnovabili e garantire il conseguimento dell'obiettivo di un consumo di energia da fonti rinnovabili pari ad almeno il 27% del totale dell'energia consumata nell'UE entro il 2030. La proposta di direttiva presentata dalla Commissione mira, inoltre, a promuovere ulteriormente le fonti rinnovabili nel settore dell'energia in sei diversi settori quali l'energia elettrica, la fornitura di calore e freddo, la decarbonizzazione e diversificazione nel settore dei trasporti (con un obiettivo di fonti rinnovabili per il 2030 pari ad almeno il 14% del consumo totale di energia nei trasporti), la responsabilizzazione e informazione dei clienti, il rafforzamento dei criteri di sostenibilità dell'UE per la bioenergia, e l'assicurazione che l'obiettivo vincolante a livello di UE sia conseguito in tempo e in modo efficace in termini di costi.

La proposta di modifica della direttiva sulla promozione delle fonti energetiche rinnovabili è stata concordata in via provvisoria il 14 giugno 2018 con un accordo che ha fissato un obiettivo vincolante a livello di UE pari al 32% di energia da FER entro il 2030. Il Parlamento europeo e il Consiglio hanno adottato formalmente la direttiva modificata sulla promozione delle energie rinnovabili (direttiva (UE) 2018/2001) nel dicembre 2018.

In Italia il recepimento di questa direttiva comunitaria è stato anticipato prima attraverso il Decreto Milleproroghe (Legge 30 dicembre 2019, n. 162), poi con il decreto Rilancio (legge 19 maggio 2020, n. 34) e il *Superbonus*, che hanno attivato diversi meccanismi incentivanti.

Recentemente l'Unione si è attivata, altresì, per prevedere una nuova strategia agrovoltica europea da inserire nella futura Politica Agricola Comune (PAC), finalizzata alla promozione di questa nuova tecnologia in tutta Europa. La Commissione europea, per sostenere l'Agrivoltaico, intende attuare iniziative all'interno della *Farm to Fork Strategy* europea, con lo scopo di accelerare la transizione verso un nuovo sistema alimentare sostenibile. La Commissione, inoltre, ha già proposto di integrare l'Agrivoltaico nella *Climate Change Adaptation Strategy*, in via di approvazione, e vi sono varie proposte volte all'inserimento dell'Agrivoltaico nelle Agende europee in materia di transizione energetica.

A livello nazionale nel 2020 il MISE (Ministero dello Sviluppo Economico), ha adottato il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC), che rappresenta uno strumento fondamentale per far volgere la politica energetica e ambientale del nostro Paese verso la decarbonizzazione.

Più nel dettaglio, il Piano nazionale integrato energia e clima prevede che in Italia per raggiungere gli obiettivi prefissati si dovrebbero installare circa 50 GW di impianti fotovoltaici entro il 2030, con una media di 6 GW l'anno e considerando che l'attuale potenza installata annuale è inferiore a 1 GW è chiaro che è necessario trovare soluzioni alternative per accelerare il passo. Basti pensare che

solamente in Italia il fabbisogno annuo di energia elettrica è pari a 320 TWh (dati Terna) e solo 24 TWh derivano da impianti fotovoltaici.

2.1. Il procedimento autorizzativo

Un ulteriore aspetto normativo che interessa l'installazione di impianti Agrovoltaiici sui terreni agricoli in Italia sono gli adempimenti autorizzativi e ambientali. Preme far presente che nel corso degli anni gli iter autorizzativi si sono spesso sovrapposti tra loro, creando non poche difficoltà e rallentamenti nell'installazione degli impianti di produzione di energie rinnovabili.

La direttiva europea 2009/28/CE al fine di favorire lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili ha espressamente chiesto agli Stati membri di semplificare e snellire i vari iter autorizzativi, rendendoli proporzionati e realmente necessari, nonché di rendere più adeguato possibile il procedimento amministrativo, ex lege 241/1990, connesso. Per tali motivi, con il D.M. del MITE del 27 giugno 2022 sono state emanate le nuove Linee Guida al fine di armonizzare gli iter procedurali e autorizzativi per l'installazione degli impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti energetiche rinnovabili.

Con il d.lgs. n. 28 del 3 marzo 2011 il Governo ha modificato il suddetto D.M. e ha introdotto nuove misure di semplificazione dei procedimenti amministrativi per la realizzazione di impianti di energia rinnovabile. L'attuale quadro procedimentale e autorizzativo in materia di installazione di impianti di produzione di energie rinnovabili è il seguente:

- **Autorizzazione Unica (AU)**- è il provvedimento introdotto dall'articolo 12 del D.Lgs. 387/2003 per l'autorizzazione di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da FER, al di sopra di prefissate soglie di potenza. Più nello specifico, l'AU è una procedura riservata agli impianti di almeno 20 Kw di potenza che hanno particolari vincoli o caratteristiche che richiedano un esame approfondito dell'Autorizzazione. L'Autorizzazione Unica è rilasciata al termine di un procedimento svolto nell'ambito della Conferenza dei Servizi alla quale partecipano tutte le amministrazioni interessate e costituisce titolo a costruire e a esercire l'impianto e, ove necessario, diventa variante allo strumento urbanistico. Il procedimento unico ha durata variabile. Nel dettaglio le tempistiche per il rilascio dell'AU sono di 15 giorni per i casi più semplici, i quali si applica anche il principio del silenzio-assenso; 30 giorni nel caso di procedimenti più complessi nei quali è necessario convocare la Conferenza dei Servizi; 90 giorni nei casi in cui l'Amministrazione competente debba richiedere modifiche o integrazioni al progetto (sulle quali decide entro 60 giorni dalla

loro presentazione). Nel caso di richiesta della Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) i tempi dilatano di ulteriori 45 giorni. **Nelle casistiche meno complesse** entro 90 giorni dall'avvio della procedura, se non incorrono integrazioni e intoppi, la conferenza dovrebbe garantire la conclusione del procedimento unico, ma ogni richiesta, ogni integrazione, ogni valutazione di impatto ambientale, costituisce una sospensione dei 90 giorni.

La competenza per il rilascio dell'Autorizzazione Unica è in capo alle Regioni che possono delegare i compiti alle Province.

- **Procedura Abilitativa Semplificata (PAS)**- è la procedura introdotta dal D.Lgs. 28/2011 che sostituisce la Denuncia di Inizio Attività (DIA). La PAS è utilizzabile per la realizzazione di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da FER al di sotto di prefissate soglie di potenza (oltre le quali si ricorre alla Autorizzazione Unica) e per alcune tipologie di impianti di produzione di caldo e freddo da FER. La PAS deve essere presentata al Comune almeno 30 giorni prima dell'inizio dei lavori, accompagnata da una dettagliata relazione, a firma di un progettista abilitato, e dagli opportuni elaborati progettuali, attestanti anche la compatibilità del progetto con gli strumenti urbanistici e i regolamenti edilizi vigenti, nonché il rispetto delle norme di sicurezza e di quelle igienico-sanitarie. Alla Procedura Abilitativa Semplificata si applica il meccanismo del silenzio-assenso ovvero trascorso i 30 giorni dalla presentazione della PAS senza ottenere riscontri o notifiche da parte dell'Ente competente è possibile iniziare i lavori.
- **Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA)**- è la procedura introdotta dalla Direttiva 85/337/CEE del Consiglio delle Comunità europee del 27 giugno 1985. La VIA è una procedura che ha lo scopo di individuare, descrivere e valutare, in via preventiva alla realizzazione delle opere, gli effetti sull'ambiente, sulla salute e benessere umano di determinati progetti pubblici o privati, nonché di identificare le misure atte a prevenire, eliminare o rendere minimi gli impatti negativi sull'ambiente, prima che questi si verificano effettivamente, è quindi utilizzabile per la realizzazione di impianti di produzione di energia elettrica. La documentazione trasmessa dal proponente viene acquisita dalla DVA, la cui verifica amministrativa è svolta entro 15 giorni dall'acquisizione dell'istanza. Verificata la completezza dell'istanza e della documentazione allegata, tutta la documentazione trasmessa dal proponente è immediatamente pubblicata nel Portale delle Valutazioni Ambientali. Entro 60 giorni dalla data di pubblicazione dell'avviso al pubblico possono essere presentate le osservazioni alla DVA, la quale riceverà anche i pareri delle Amministrazioni e

degli Enti Pubblici. Successivamente possono essere presentate: Controdeduzioni, Richiesta d'Integrazioni, Sospensione, Nuova Pubblicazione e Nuova Consultazione Pubblica.

2.2. Requisiti nuove linee guida

Le nuove Linee Guida (D.M. del MITE del 27 giugno 2022) definiscono gli aspetti ed i requisiti che i sistemi agrivoltaici devono rispettare al fine di rispondere alla finalità generale per cui sono realizzati.

I requisiti definiti sono i seguenti:

- REQUISITO A: Il sistema è progettato e realizzato in modo da adottare una configurazione spaziale ed opportune scelte tecnologiche, tali da consentire l'integrazione fra attività agricola e produzione elettrica e valorizzare il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi;
- REQUISITO B: Il sistema agrivoltaico è esercito, nel corso della vita tecnica, in maniera da garantire la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli e non compromettere la continuità dell'attività agricola e pastorale;
- REQUISITO C: L'impianto agrivoltaico adotta soluzioni integrate innovative con moduli elevati da terra, volte a ottimizzare le prestazioni del sistema agrivoltaico sia in termini energetici che agricoli;
- 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;
- REQUISITO E: Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio che, oltre a rispettare il requisito D, consenta di verificare il recupero della fertilità del suolo, il microclima, la resilienza ai cambiamenti climatici

Il rispetto dei requisiti A, B è necessario per definire un impianto fotovoltaico realizzato in area agricola come "agrivoltaico". Per tali impianti dovrebbe inoltre essere previsto il rispetto del requisito D.2.

Il rispetto dei requisiti A, B, C e D è necessario per soddisfare la definizione di "impianto agrivoltaico avanzato" e, in conformità a quanto stabilito dall'articolo 65, comma 1-quater e 1-quinquies, del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1, classificare l'impianto come meritevole dell'accesso agli

incentivi statali a valere sulle tariffe elettriche. Il rispetto anche del requisito E è pre-condizione per l'accesso ai contributi del PNRR.

3. SoW-Scope of Work

Scopo principale del presente *Report* è definire soluzioni agronomiche da integrare con l'impianto solare per il sito ubicato nel Comune di Viterbo (VT). Le attività richieste sono relative all'individuazione e alla sperimentazione di soluzioni di utilizzo polivalente del suolo per mitigare l'impatto dei grandi impianti FV e che non influiranno sull'efficienza della produzione energetica.

4. Descrizione del sito

L'area oggetto della presente relazione è censita al N.C.T del Comune di Viterbo (VT); più precisamente interessa la Particella 21 del Foglio 220 e le Particelle 2, 4 (parte), 14, 67, 73, 127, 128, 129, 130, 131, 132 del Foglio 236, per una superficie complessiva di circa 115,58 ettari (Figura 1). Le coordinate geografiche sono: 42°21' .12.58'' N e 11°56'57.47'' E. L'altimetria è di circa 150 m s.l.m.. L'area di interesse si trova a circa 14 km in linea d'aria a sud-ovest rispetto la città di Viterbo, e a 2 km a ovest dalla strada SS675.



Figura 1. Area individuata dal sito Google Earth con ortofoto della località, Comune di Viterbo

4.1. Layout dell'impianto

Di seguito (Figure 2 e 3), vengono individuati i *layout* dell'impianto e le installazioni dei pannelli. L'impianto è diviso in aree con differenti *layout*. L'area 2 ha una distanza tra le fila di 12 m, i pannelli presentano un'altezza minima da terra di 3,76 m e una larghezza di 4,8 m. Le aree 1 e 6 hanno una distanza interfilare di 9 m, un'altezza di 2,89 m e una larghezza di 2,64 m. Infine, le aree 3, 4, 5 e 7 presentano una distanza di 9 m, un'altezza di 3,5 m e una larghezza di 2,38 m (Figura 3).

L'area d'interesse per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico fisso e ad inseguimento mono-assiale, presenta un'estensione complessiva di circa 115,58 ettari, la cui potenza complessiva massima sarà pari a **65.292 MWp**.

La superficie risulta essere così ripartita:

- Superficie Totale Impianto APV: **115.57.99 ha**;
 - Superficie Coltivata APV: **109.99.29 ha**;
 - Superficie non Colt. APV: **05.58.70 ha**;
- di cui:
- Fascia Buffer: **04.98.79 ha**;
 - Cabine: **00.59.91 ha**.

RIPARTIZIONE SAT				
COLTURA	S.agr	S.fascia buffer	Cabine	SAT
<i>FAVINO</i>	13,2081	4,9879	0,0130	18,2090
<i>NOCCIOLO</i>	96,7848	-	0,5861	97,3709
<i>TOT</i>	109,9929	4,9879	0,5991	115,5799

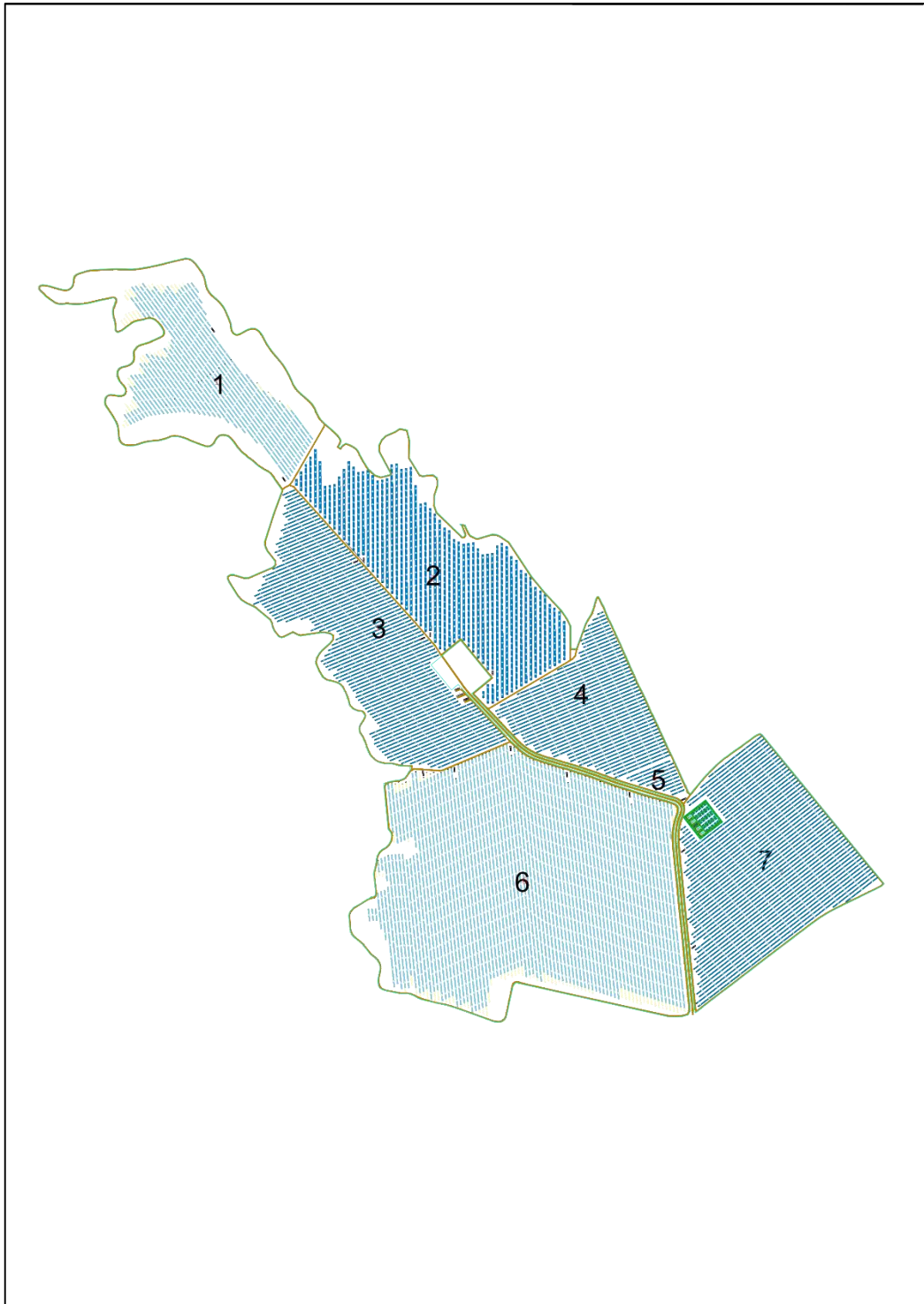


Figura 2. Visualizzazione generale dell'area

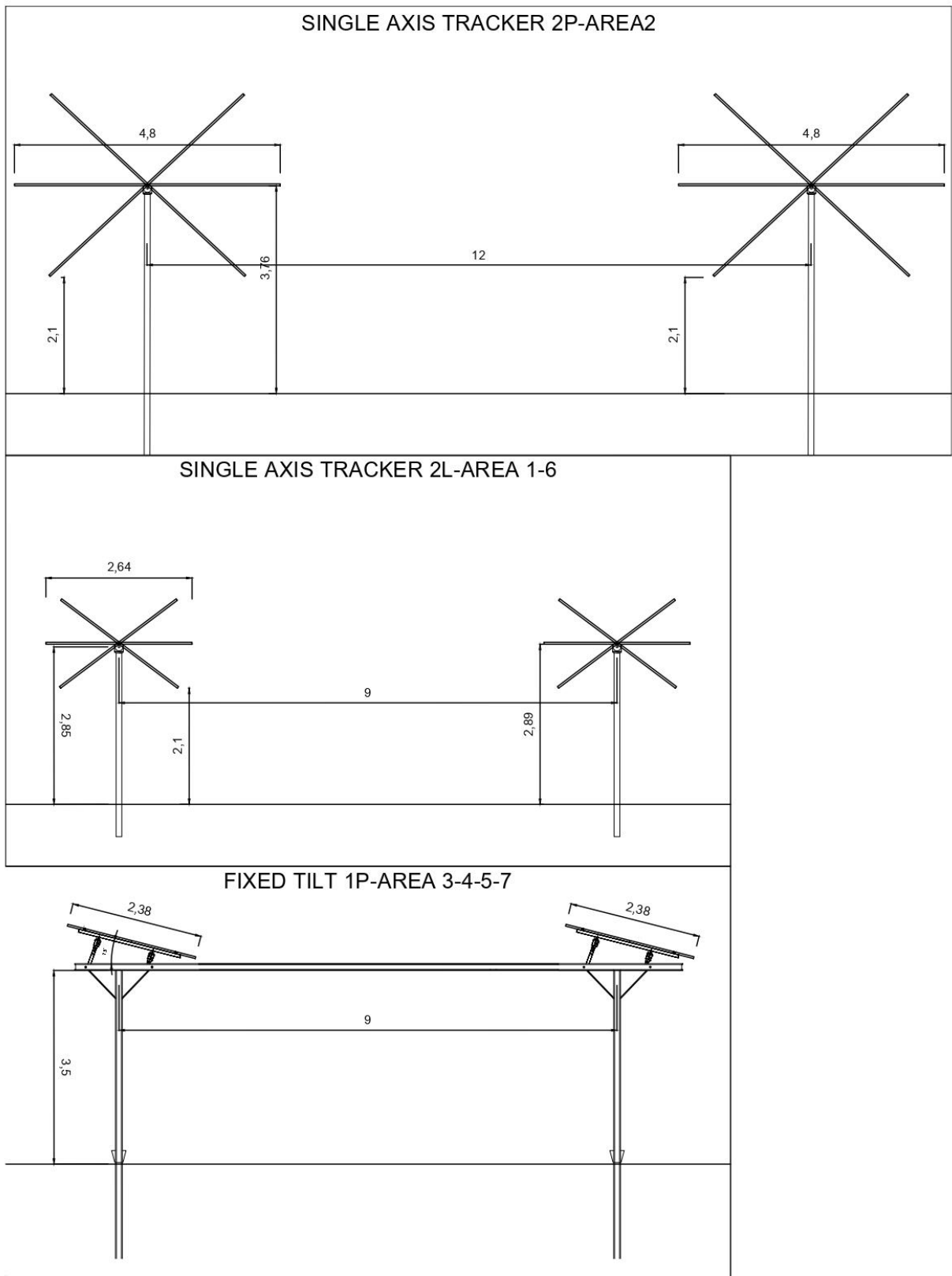


Figura 3. Caratteristiche dei pannelli

4.2. Effetti microclimatici dell'impianto APV

La presenza dei *trackers* dell'impianto APV determina alcune alterazioni a livello di disponibilità di radiazione, di temperatura e di umidità del suolo, che caratterizzano il microclima delle piante coltivate. L'impatto può essere più o meno incisivo, in funzione delle specifiche esigenze delle specie prese in considerazione per l'impianto.

- La radiazione solare è un fattore essenziale per le piante, regola il processo di fotosintesi clorofilliana, l'accrescimento e la loro produttività.

In generale, la presenza di un *tracker* tende a ridurre la percentuale di radiazione diretta, con intensità variabile in funzione della distanza dal pannello, del momento del giorno e del periodo dell'anno, e tende ad aumentare la quantità di radiazione diffusa. Tuttavia, la moderna tipologia di *trackers* ad inseguimento mono-assiale e l'ampia distanza tra questi, consentono alle piante coltivate di sfruttare sia la radiazione riflessa che quella diffusa dai pannelli stessi.

- La temperatura dell'aria, essendo in stretta correlazione con la radiazione solare, tende a variare nell'area sottostante l'impianto andando a ridursi anche di 3-4 °C e aumentando la propria umidità.

In funzione delle esigenze termiche, le piante vengono raggruppate in microterme, aventi modeste esigenze termiche, e macroterme che necessitano di temperature mediamente più elevate. A causa degli impatti agricoli dovuti ai cambiamenti climatici, oggi, si tende ad ombreggiare le colture con siepi, alberature e reti ombreggianti, per cercare di mitigare fenomeni di stress termici, scottature e carenze idriche. A tal fine l'impianto agrivoltaico potrebbe rappresentare un servizio analogo. Così come le piante microterme trarrebbero certamente vantaggio dalla condizione di ombreggiamento parziale, anche le macroterme ne sarebbero avvantaggiate per la riduzione dei picchi di temperatura estivi e per la riduzione dell'evapotraspirazione. Inoltre, il parziale ombreggiamento dell'impianto andrebbe a influire anche sulla temperatura del suolo che nel periodo estivo tenderebbe a diminuire e nel periodo invernale, grazie al riflesso delle radiazioni emesse dalla terra durante il raffreddamento notturno e trattenute dai pannelli, tenderebbe ad aumentare.

- L'evapotraspirazione definisce la quantità d'acqua che effettivamente evapora dalla superficie del terreno e traspira attraverso gli apparati fogliari delle piante, in determinate condizioni di temperatura. La condizione di ombreggiamento, intervenendo sulla

radiazione solare, sulla temperatura dell'aria e infine, sulla temperatura del suolo, tende a ridurre la traspirazione fogliare e, in maggior misura, l'evapotraspirazione del terreno, determinando un aumento dell'efficienza d'uso delle riserve idriche del suolo con conseguente riduzione degli apporti idrici necessari.

4.3. Caratteri pedologici

L'area interessata dall'intervento, secondo la Carta dei suoli della Regione Lazio, ricade all'interno del gruppo litologico "C6c" Area del Plateau inciso afferente agli apparati delle caldere di Bolsena, Vico e Bracciano. Nel dettaglio, secondo la Carta geologica d'Italia, l'area ricade nel foglio 354-Tarquini, nell'unità "tufo rosso a scorie nere vicano-WIC". *Essa comprende tre depositi di flusso, il più basso ha matrice bruno giallastra a tratti zeolizzata, contenente pomice, scorie, sanidino, pirossene, biotite, plagioclasio, leucite analcimizzata e litici lavici. Il secondo ha matrice cineritica grigio violaceo generalmente poco coerente, con pomice grigie e scorie nere con leucite analcimizzata. Il terzo si presenta a matrice cineritica rossiccia e litoide per zeolitizzazione contenente grosse scorie nere e leucite analcimizzata e sanidino; nella matrice sono presenti pirosseno, plagioclasio, analcime e litici lavici.*

Nello specifico, i terreni dell'area hanno un discreto grado di fertilità, sono di tipo franco-sabbioso, con pH che varia da 6,2 a 6,8 e sono caratterizzati da un alto contenuto di potassio.

4.4. Aspetti climatici

Esistono diversi dati climatici per comprendere il sito in cui verranno implementate le colture. Questi dati influenzano la scelta finale della coltura. La temperatura e la piovosità sono i fattori principali da tenere a mente. Per avere una visione ampia del territorio in Tabella 1 sono riportate le medie delle temperature e precipitazioni dall'anno 2020 al 2023 della stazione meteo di Tuscania (VT), stazione meteo più prossima all'area in oggetto. Legando la temperatura alle colture è importante osservare il termoperiodismo, cioè la risposta delle piante alle fluttuazioni del livello termico alle variazioni di temperatura giornaliere o stagionali. I dati sottoesposti definiscono l'areale di coltivazione in una fascia climatica a clima caldo e temperato. La temperatura più bassa si raggiunge a gennaio quando la media è di 5.9 °C. I mesi più caldi risultano essere luglio e agosto, con una temperatura media di 25.3 °C. La precipitazione media annua è di 651.8 mm, con concentrazioni maggiori nei mesi di novembre e dicembre (medie mensili rispettivamente di 105.1 e 107.6 mm).

Tabella 1. Dati termo-pluviometrici medi annui riferiti al periodo 2020-2023. Stazione meteo di Toscana (VT). Fonte ARSIAL

	Gen		Feb		Mar		Apr		Mag		Giu		Lug		Ago		Set		Ott		Nov		Dic		Prec. tot. [mm]	T med tot. [°C]
	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]	Prec. [mm]	T med [°C]		
2020	27,8	9,7	13,6	10,1	53,6	10,8	47,0	13,6	5,0	18,8	45,2	21,5	16,6	26,0	53,6	26,6	108,8	20,9	73,0	13,2	82,0	10,0	170,8	6,5	697,0	15,6
2021	138,2	5,0	47,4	8,4	40,6	8,9	72,4	11,0	79,8	14,3	17,8	21,5	5,4	24,4	35,4	24,3	94,4	21,4	55,2	14,7	155,8	10,2	89,2	7,3	831,6	14,3
2022	36,0	5,4	16,2	7,5	27,6	8,4	26,4	9,5	13,0	16,8	21,6	23,6	7,4	25,7	4,6	25,3	137,8	18,3	4,0	13,0	111,0	9,0	124,0	4,1	529,6	13,9
2023	71,8	3,6	33,2	5,9	33,6	7,6	76,4	9,4	61,2	15,0	41,8	22,2	20,2	26,0	38,6	24,7	30,6	22,3	23,4	19,9	71,6	13,4	46,4	10,4	548,8	15,0
Media 2020- 2023	68,5	5,9	27,6	8,0	38,9	8,9	55,6	10,8	39,8	16,2	31,6	22,2	12,4	25,5	33,1	25,2	92,9	20,7	38,9	15,2	105,1	10,7	107,6	7,1	651,8	14,7

5. Soluzioni

La scelta delle specie da utilizzare per l'agrivoltaico nel sito ubicato nel Comune di Viterbo (VT) è vincolata dalle seguenti limitazioni:

1. caratteristiche pedo-climatiche del sito;
2. larghezza delle fasce coltivabili tra i pannelli;
3. altezza dei pannelli da terra.

Il secondo vincolo produce due effetti negativi: 1) limita fortemente la possibilità di meccanizzare le colture, orientando la scelta verso specie che richiedono pochi interventi di gestione e con piccoli macchinari; 2) durante le ore più calde potrebbero verificarsi fenomeni di ombreggiamento, i quali non si ritiene possano causare problematiche a livello fisiologico della pianta.

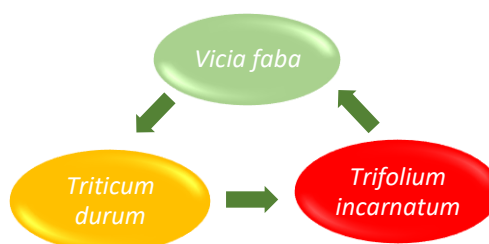
Il terzo vincolo è forse il più limitante, perché restringe la scelta a quelle specie e/o varietà che hanno un *habitus* strisciante o prostrato, in modo da non superare i 50-120 cm di altezza e quindi non creare problemi di ombreggiamento per i pannelli fotovoltaici.

5.1. Rotazioni

In base a questi dati, si è deciso quindi di puntare in primo luogo su colture che avessero un *habitus* adatto alla tipologia d'impianto APV. Successivamente, tra queste, si è scelto un *set* di colture che fosse adatto alla coltivazione nell'areale del sito d'impianto e che avesse uno stretto legame con il territorio. La scelta, quindi, secondo la tradizione agricola della provincia di Viterbo, è ricaduta su piante erbacee già coltivate in zona quali: *Vicia faba minor*, *Triticum durum* e *Trifolium incarnatum*. In particolare, il frumento duro vanta una produzione di 19.740 ettari nella provincia di Viterbo (dati ISTAT 2023). Altra coltura tipica della zona, con una superficie di 23.950 ettari (dati ISTAT 2023), selezionata per l'impianto APV è il *Corylus avellana*.

Le tre colture seminatrici scelte sono state ideate in un sistema di rotazione annuale per limitare al minimo il fenomeno della stanchezza del terreno. L'impianto del nocciolo, invece, rimarrà stabile fino alla durata produttiva della pianta (30 anni circa).



CICLO: 3 ANNI





Nelle tabelle seguenti sono elencate le possibili soluzioni e alcuni aspetti agronomici.

Soluzioni	Adattabilità con il sistema agrovoltaico	Semina	Esigenze agronomiche	Fabbisogno idrico	Raccolta
 <p><i>Corylus avellana</i> Resa: 2-4 t/ha</p> 	<p>Il nocciolo è una pianta cespugliosa caducifoglie.</p>	<p>La preparazione del terreno prevede un livellamento, una ripuntatura e un'aratura leggera con la quale interrare sostanza organica e concimi fosfo-potassici.</p> <p>La messa a dimora delle plantule va effettuata preferibilmente a inizio novembre, ma in caso di irrigazione anche in primavera.</p> <p>I sestri d'impianto possono andare da 4x4 m a 6x6 m, in base alla forma di allevamento.</p>	<p>Il nocciolo è una pianta rustica che si adatta bene a quasi tutti i terreni, ma preferisce terreni tendenzialmente sciolti, con pH neutro, ma si adatta anche a terreni acidi e alcalini.</p> <p>Nei primi anni dell'impianto necessita di un'unica concimazione primaverile a base azotata; in produzione è indispensabile provvedere a due somministrazioni, una autunnale con concimi organo-minerali NPK (4-8-16) e una primaverile con concimi minerali NPK (15-5-20).</p>	<p>Il ricorso all'irrigazione, nelle zone a scarse precipitazioni, è necessario.</p>	<p>La raccolta del nocciolo avviene tramite macchine raccogliatrici nel periodo settembre-ottobre.</p>

Soluzioni	Adattabilità con il sistema agrovoltaico	Semina	Esigenze agronomiche	Fabbisogno idrico	Raccolta
 <p><i>Vicia faba var. minor</i> Resa: 20-30 q/ha</p> 	<p>Il favino è una pianta erbacea annua con asse eretto allungato, spesso privo di foglie che può arrivare al metro di altezza.</p>	<p>Il favino si semina direttamente in pieno campo a file, con una densità di 50-60 piante/mq, quindi 160-220 kg/ha.</p> <p>Il periodo di semina è in ottobre al Nord Italia e la prima quindicina di Novembre al centro Sud.</p>	<p>Il favino si adatta a tutti i tipi di terreno, purchè non siccitoso. Tuttavia, predilige terreni di medio impasto, argilloso-calcarei, profondi, freschi, nei quali non si verificano prolungati ristagni d'acqua. Il pH che più conviene al favino è quello subalcalino. Evitare la concimazione organica in pre-semina.</p> <p>La concimazione minerale, invece, va basata principalmente sul fosforo. Possono essere utili le pratiche di sarchiatura, rincalzatura e cimatura.</p>	<p>L'irrigazione risulta essere superficiale.</p>	<p>L'epoca di raccolta va da metà giugno a metà luglio e si esegue con una mietitrebbia da grano.</p>

Soluzioni	Adattabilità con il sistema agrovoltaico	Semina	Esigenze agronomiche	Fabbisogno idrico	Raccolta
 <p>Triticum durum Resa: 2,5-4,5 t/ha</p> 	Il frumento duro è una pianta erbacea annuale, con altezza inferiore al metro.	La semina si effettua dalla seconda metà di ottobre fino all'inizio di dicembre, nel caso del meridione. La dose di seme è di circa 400 semi/mq ad una profondità di 4-5 cm.	Il frumento duro predilige terreni piuttosto argillosi e di buona capacità idrica mentre rifugge da quelli tendenti allo sciolto. È adatto ad ambienti aridi e caldi e soffre avversità come il freddo, l'umidità eccessiva e l'allettamento. Importanti sono le concimazioni azotate, fosfatiche e potassiche, nelle dosi rispettivamente di 110 kg/ha, 50 kg/ha e 70 kg/ha.	Le irrigazioni risultano essere superflue.	La raccolta va da fine maggio-inizio giugno (meridione) alla seconda metà di giugno-inizio luglio (centro). La raccolta avviene per mezzo di una mietitrebbia.

Soluzioni	Adattabilità con il sistema agrovoltaico	Semina	Esigenze agronomiche	Fabbisogno idrico	Raccolta
 <p>Trifolium incarnatum Resa: 25-30 t/ha foraggio fresco; 8-10 q/ha di seme</p> 	Il trifoglio incarnato è una pianta erbacea annuale, con portamento eretto e poco ramificato. Ha un'altezza di circa 30-70 cm.	Il trifoglio incarnato, in coltura pura, si semina ai primi di ottobre con circa 25-45 kg/ha di seme, in file distanti 18-20 cm.	Il trifoglio incarnato è adatto a terreni da sciolti ad argillosi, asciutti, freschi, poveri di calcare e subacidi. In quanto leguminosa, non necessita di concimazioni azotate.	Le irrigazioni risultano essere superflue.	La raccolta viene effettuata in fioritura (giugno) per la produzione di foraggio e in post-fioritura per la produzione di seme.

6. Sperimentazione

6.1. Progettazione delle soluzioni e sperimentazioni

	<p><i>Corylus avellana</i> L.</p>	
<p>Descrizione botanica</p>	<p>Ordine: <i>Fagales</i> Famiglia: <i>Betulaceae</i> Genere: <i>Corylus</i> Specie: <i>C. avellana</i></p>	
<p>Il nocciolo è una pianta caducifoglie, pollonifera, a portamento cespuglioso. La forma biologica è una fanerofita cespugliosa (P caesp). Si tratta di una pianta legnosa con portamento cespuglioso. L'apparato radicale è superficiale. Il fusto è sottile e slanciato, con corteccia di colore marrone grigio, precocemente glabra, con solcature longitudinali e sparse lenticelle chiare. Le foglie sono semplici, bifacciali, obovate, cuoriformi alla base, acuminate all'apice e a margine dentato. I fiori sono riuniti in infiorescenze unisessuali. Le maschili sono amenti penduli che si formano in autunno e si trovano all'estremità o all'ascella delle foglie dei rami dell'anno precedente; le femminili somigliano a gemme di piccole dimensioni. Il frutto è un diclesio costituito da un pericarpo secco e legnoso tipo achenio (nocciola) di 1,5-2 cm, bruno-rossiccio, subgloboso od ovoide, ricoperto interamente o quasi da due brattee fiorali accrescenti, pubescenti e sfrangiate, di colore verde chiaro, poi brunastre a maturazione. È un'entità indigena con distribuzione altitudinale da 0 a 1.500 m s.l.m..</p>		
<p>Finalità della produzione</p>	<p>Alimentare-Ambientale</p>	
<p>La suddetta specie è stata selezionata per la sua idoneità dell'<i>habitus</i> all'impianto fotovoltaico, per la sua adattabilità all'areale, nonché per la sua importanza nel settore agro-industriale.</p>		
<p>Meccanizzazione</p>		
<p>La macchina utilizzabile per la raccolta di questa specie potrebbe essere una raccogliitrice meccanica trainata SUPERNOVA (Souto). Velocità di lavoro fino a 5 km/h, altezza scarico 2,45 m, larghezza max 2 m, larghezza raccogliitore 1 m. Trasmissione principale: albero cardanico, trasmissione organi: meccanica a cinghie e catena, sollevamento macchina: idraulico.</p>		
		
<p>Le <i>cultivar</i> da utilizzare per l'impianto sono quelle più adatte all'areale.</p>		



Vicia faba var. minor L.

Descrizione botanica	Ordine: Fabales Famiglia: Fabaceae Genere: <i>Vicia</i> Specie: <i>V. faba var. minor</i>
-----------------------------	--

Il favino è una pianta annuale, a rapido sviluppo, con portamento eretto. La forma biologica è una terofita scaposa (Ch scap). Si tratta di una pianta annua con asse fiorale allungato, spesso privo di foglie. L'apparato radicale è fittonante, con numerose ramificazioni laterali di struttura reniforme che ospitano specifici batteri azotofissatori. Il fusto ha sezione quadrangolare, cavo, ramificato alla base, con accrescimento indeterminato, alto da 70 a 100 cm. Le foglie sono alterne, paripennate, composte da due o tre paia di foglioline sessili ellittiche intere, con la fogliolina terminale trasformata in un'appendice poco appariscente, ma riconducibile al cirro delle *Vicieae*. Le infiorescenze sono formate da fiori raccolti in racemi che si sviluppano all'ascella delle foglie a partire dal settimo nodo. Ogni racemo porta da 1 a 6 fiori. I fiori hanno una lunghezza di 25 mm, con vessillo ondulato, di colore bianco striato di nero e ali bianco-violacee macchiate di nero. La fioritura va da marzo a maggio. Il frutto è un legume allungato, contenente da 2 a 10 semi con ilo evidente, inizialmente verdi e di colore più scuro (dal nocciola al bruno) a maturità. È un'entità archeofita casuale con distribuzione altitudinale da 0 a 1.400 m s.l.m..

Finalità della produzione	Alimentare animale
----------------------------------	---------------------------

La suddetta specie è stata selezionata per la sua idoneità dell'*habitus* all'impianto fotovoltaico, per la sua adattabilità all'areale, nonché per i suoi molteplici utilizzi. La *Vicia faba var. minor* è una pianta alimentare che si coltiva per la sua granella ad uso zootenico e, essendo una leguminosa azotofissatrice, viene utilizzata anche come coltura miglioratrice. In conclusione, oltre la produzione di prodotto destinato alla zootecnia, risulta essere importante anche per il risanamento del suolo.

Meccanizzazione	
------------------------	--

Il macchinario utilizzabile per la raccolta di questa essenza potrebbe essere un macchinario simil mietitrebbiatrice Kubota DC-93G da 69.6 kW/2600 rpm, con lunghezza complessiva di 5,43 m, larghezza di 2,42 m e altezza di 2,88 m. La mietitrebbiatrice ha una velocità minima di 0,86 m/s e una massima di 2,10 m/s. La capacità del serbatoio della granella è di 1800 l.



Il favino (var. *minor*) risulta essere una coltura importante per l'alimentazione animale e per il miglioramento del terreno. La cultivar adatta a questo tipo d'impianto risulta essere quella con altezza sotto il metro.



Triticum durum Desf.

Descrizione botanica	Ordine: Poales Famiglia: Poaceae Genere: <i>Triticum</i> Specie: <i>T. durum</i>
-----------------------------	---

Il frumento duro è una pianta erbacea annuale, in particolare un cereale autunno-vernino. La forma biologica è una terofita scaposa (T scap). Si tratta di una pianta annua con asse allungato, spesso privo di foglie. L'apparato radicale è di tipo fascicolato e consta di radici seminali e avventizie. Il fusto è un culmo costituito di nodi e internodi e termina con l'infiorescenza. Ogni foglia è formata da una guaina, che avvolge il culmo, e da una lamina lanceolata. L'infiorescenza è una pannocchia apicale, detta spiga, formata da un asse principale, rachide, che porta a ogni dente una spighetta formata da due glume esterne che racchiudono più fiori non tutti fertili. Il fiore presenta un ovario uniloculare con stilo bifido e stimma piumoso. La fioritura va da maggio a giugno. L'impollinazione è autogama. Il frutto è una cariosside nuda, dorsalmente convessa e solcata ventralmente, di consistenza vitrea. È una archeofita casuale con distribuzione altitudinale da 0 a 600 m s.l.m..

Finalità della produzione	Alimentare
La suddetta specie è stata selezionata per la sua idoneità dell' <i>habitus</i> all'impianto fotovoltaico, per la sua adattabilità all'areale e per la sua elevata produzione alimentare.	

Meccanizzazione	
------------------------	--

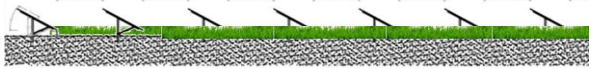


Il macchinario utilizzabile per la raccolta di questa essenza potrebbe essere un macchinario simil mietitrebbiatrice Kubota DC-93G da 69.6 kW/2600 rpm, con lunghezza complessiva di 5,43 m, larghezza di 2,42 m e altezza di 2,88 m. La mietitrebbiatrice ha una velocità minima di 0,86 m/s e una massima di 2,10 m/s. La capacità del serbatoio della granella è di 1800 L.



Il frumento duro risulta essere una coltura ad elevata valenza alimentare per il settore agro-industriale. La varietà da impiegare deve essere adatta all'areale di produzione.



Trifolium incarnatum L.

<p align="center">Descrizione botanica</p>	<p align="center">Ordine: Fabales Famiglia: Fabaceae Genere: <i>Trifolium</i> Specie: <i>T. incarnatum</i></p>
<p>Il trifoglio incarnato è una pianta erbacea annuale, eretta che può arrivare fino a 70 cm, poco ramificata e pubescente. La forma biologica è una terofita scaposa (T scap). Si tratta di una pianta annua con asse fiorale allungato, spesso privo di foglie. L'apparato radicale è fittonante, con radice robusta e ricca di tubercoli radicali dovuti al simbionte <i>Rhizobium</i>. Il fusto è eretto e ramificato. Le foglie sono alterne e tripartite. Le 3 foglioline sono sub-ovate, denticolate all'apice ed articolate sullo stesso punto. Le infiorescenze sono capolini spiciformi posti all'apice del fusto. I fiori sono di colore rosso, ermafroditi, con calice attinomorfo. La fioritura va da marzo a giugno. Il frutto è un diclesio, una camara indeiscente inclusa nel calice, con pericarpo membranoso e con 1 seme di 1,5-2,3 mm, liscio, bruno-giallastro. È un'entità indigena con distribuzione altitudinale da 0 a 1.800 m s.l.m..</p>	
<p align="center">Finalità della produzione</p>	<p align="center">Alimentare animale-Apistica</p>
<p>La suddetta specie è stata selezionata per la sua idoneità dell'<i>habitus</i> all'impianto fotovoltaico, per la sua adattabilità all'areale, nonché per i suoi molteplici utilizzi. Il <i>Trifolium incarnatum</i> è una pianta ideale per il foraggio. È una leguminosa azotofissatrice, quindi viene utilizzata come coltura da rinnovo e la sua buona classe nettarifera (4, su una scala da 1 a 6) indica una buona potenzialità di produzione di chilogrammi di nettare ad ettaro. In conclusione, oltre la produzione di prodotto fresco per la vendita di foraggio, la produzione di seme, risulta essere importante anche per la produzione apistica e per il risanamento del suolo.</p>	
<p align="center">Meccanizzazione</p>	
<p>Il macchinario utilizzabile per la raccolta di questa essenza potrebbe essere un macchinario simil mietitrebbiatrice Kubota DC-93G da 69.6 kW/2600 rpm, con lunghezza complessiva di 5,43 m, larghezza di 2,42 m e altezza di 2,88 m. La mietitrebbiatrice ha una velocità minima di 0,86 m/s e una massima di 2,10 m/s. La capacità del serbatoio della granella è di 1800 l.</p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Il trifoglio risulta essere una coltura importante per l'alimentazione animale e per l'allevamento delle api. Inoltre, essendo una leguminosa, comporta un miglioramento del terreno. Le cultivar adatte a questo tipo d'impianto risultano essere quelle con altezza sotto il metro.</p>	

6.2. Progettazione delle soluzioni irrigue

Date le colture scelte e la piovosità media dell'areale, non si ritiene necessario adottare un sistema d'irrigazione stabile per le colture erbacee. La coltura del nocciolo, nei primi anni d'impianto presenta delle esigenze idriche che possono essere soddisfatte dalla piovosità media dell'areale, tuttavia, entro i prossimi due anni, si prevederà la realizzazione di un sistema di irrigazione a goccia a supporto della coltura.

Coltura	Fabbisogno idrico (mm/anno/ha)	Ciclo colturale	Piovosità media (mm/anno)
FAVINO	450-550	nov.-lug.	487
FRUMENTO DURO	400-500	nov.-lug.	487
TRIFOGLIO	400-500	ott.-lug.	526
NOCCILO	800-1000	nov.-ott.	652

7. Design sperimentale

7.1. Descrizione della sperimentazione per parcelle

Nel campo agrivoltaico possono essere utilizzate specie erbacee con limitata crescita verticale: favino, frumento duro e trifoglio (Figura 4). Nelle aree 1, 3, 4, 5, 6 e 7, progettate con pannelli di minori dimensioni, si può utilizzare una specie ad *habitus* arbustivo come il nocciolo (Figura 5).

Le specifiche dei singoli sestri d'impianto sono riportate nelle Figure 4-8.

- **Favino:** durata impianto 1 anno;
- **Frumento duro:** durata impianto 1 anno;
- **Trifoglio incarnato:** durata impianto 1 anno;
- **Nocciolo:** durata impianto 30 anni circa.

Gli impianti dei seminativi saranno stabili per un anno. Dopo il primo ciclo colturale, quindi alla fine del primo anno, verrà predisposto l'**avvicendamento** tra **favino, frumento e trifoglio** (Figura 6).

Nelle Figure 7 e 8 vengono riportati i prospetti frontali delle colture agrarie inserite all'interno dell'impianto agrivoltaico. Come è possibile desumere dall'immagine, dati i sestri e le altezze dei *trackers*, è consentita la meccanizzazione delle varie operazioni colturali.

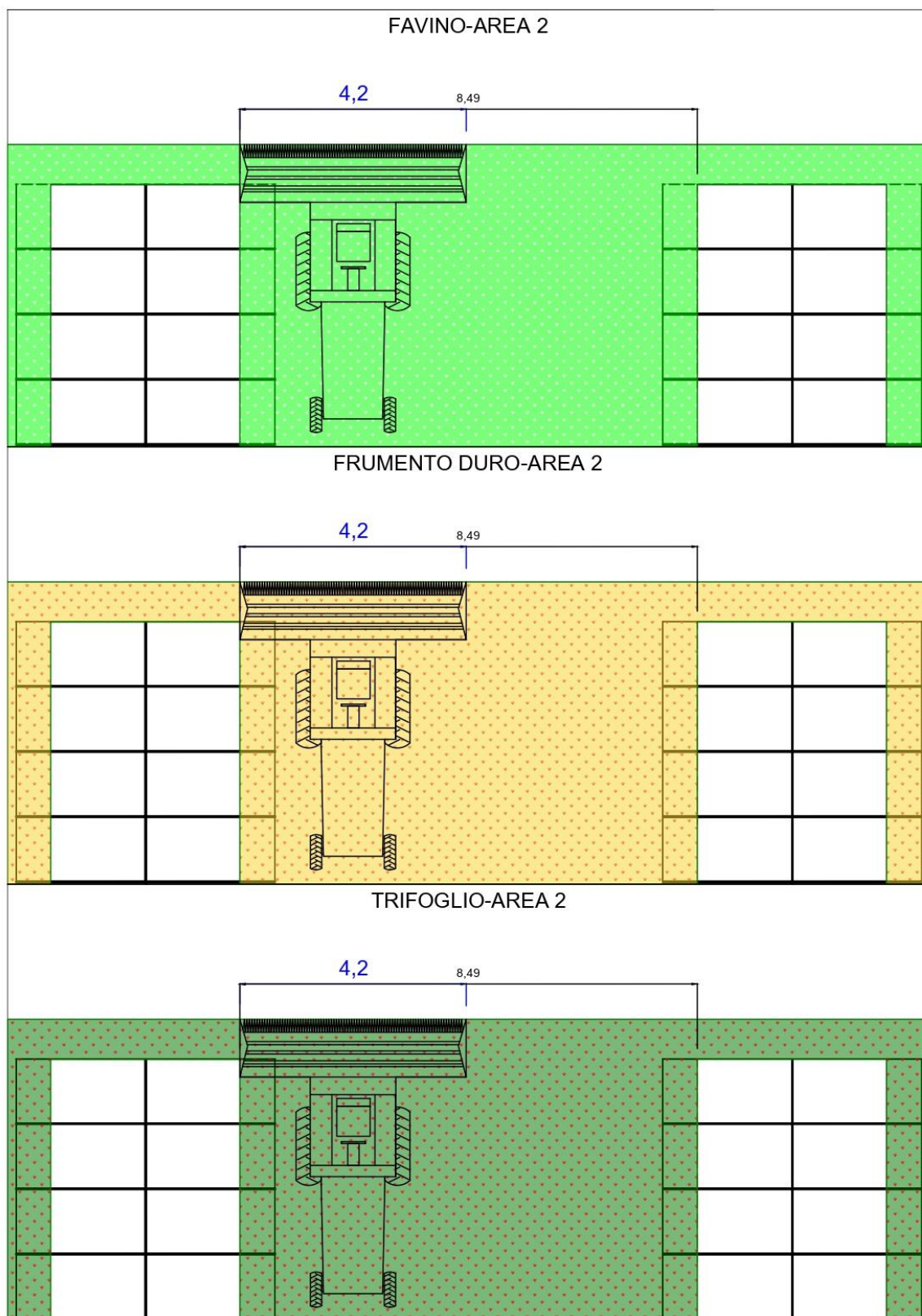


Figura 4. Rappresentazione degli impianti delle colture di favino, frumento duro e trifoglio

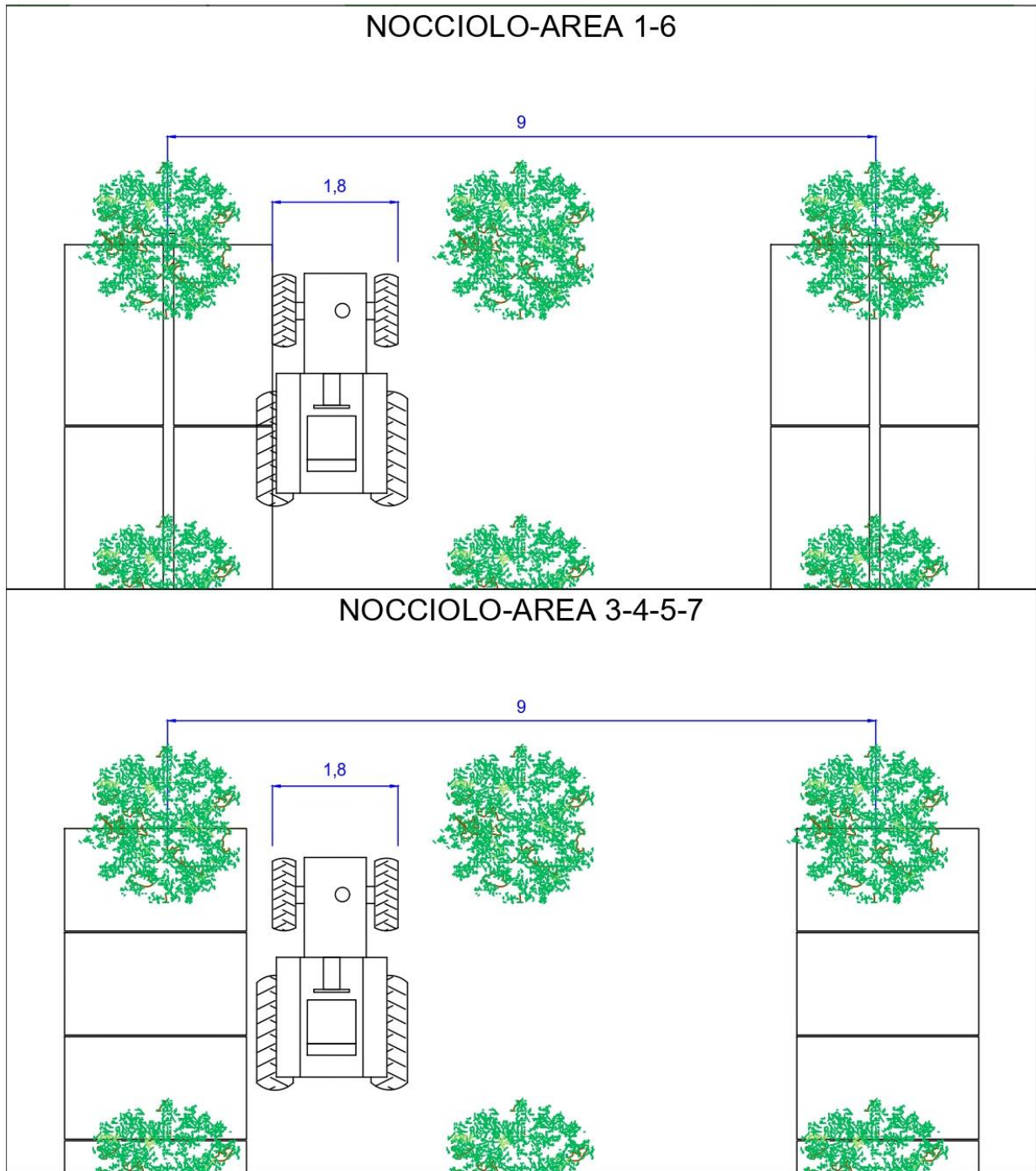


Figura 5. Rappresentazione degli impianti della coltura di nocciolo

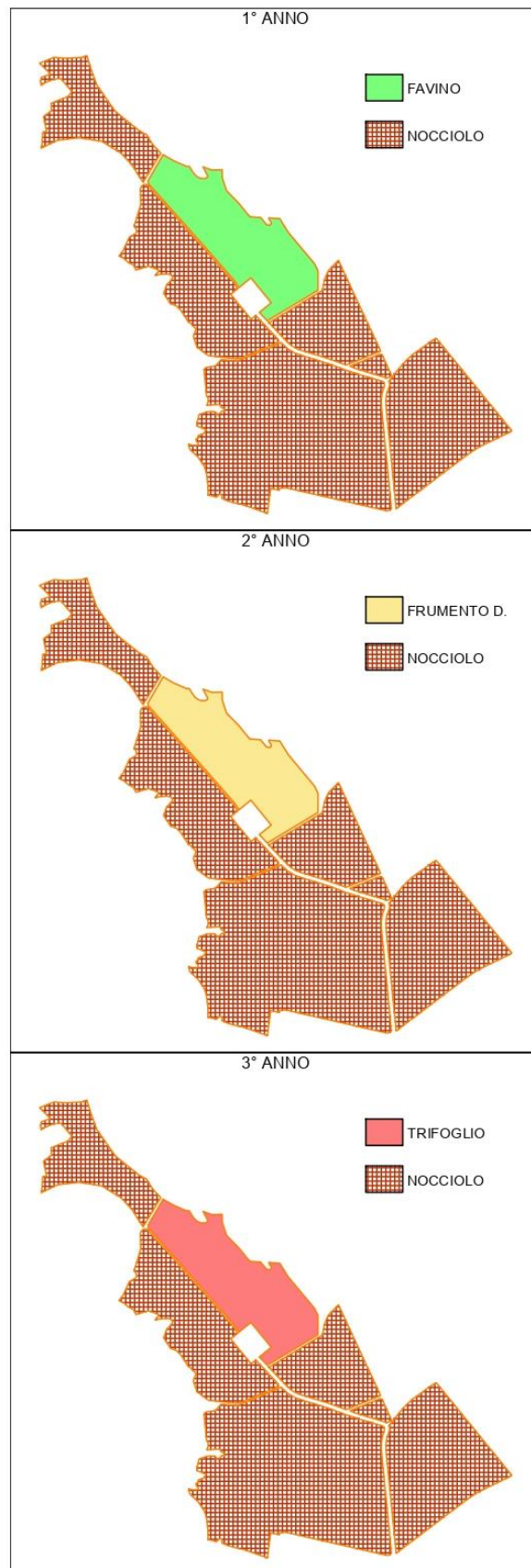


Figura 6. Rappresentazione dell'impianto al 1°-2°-3° anno

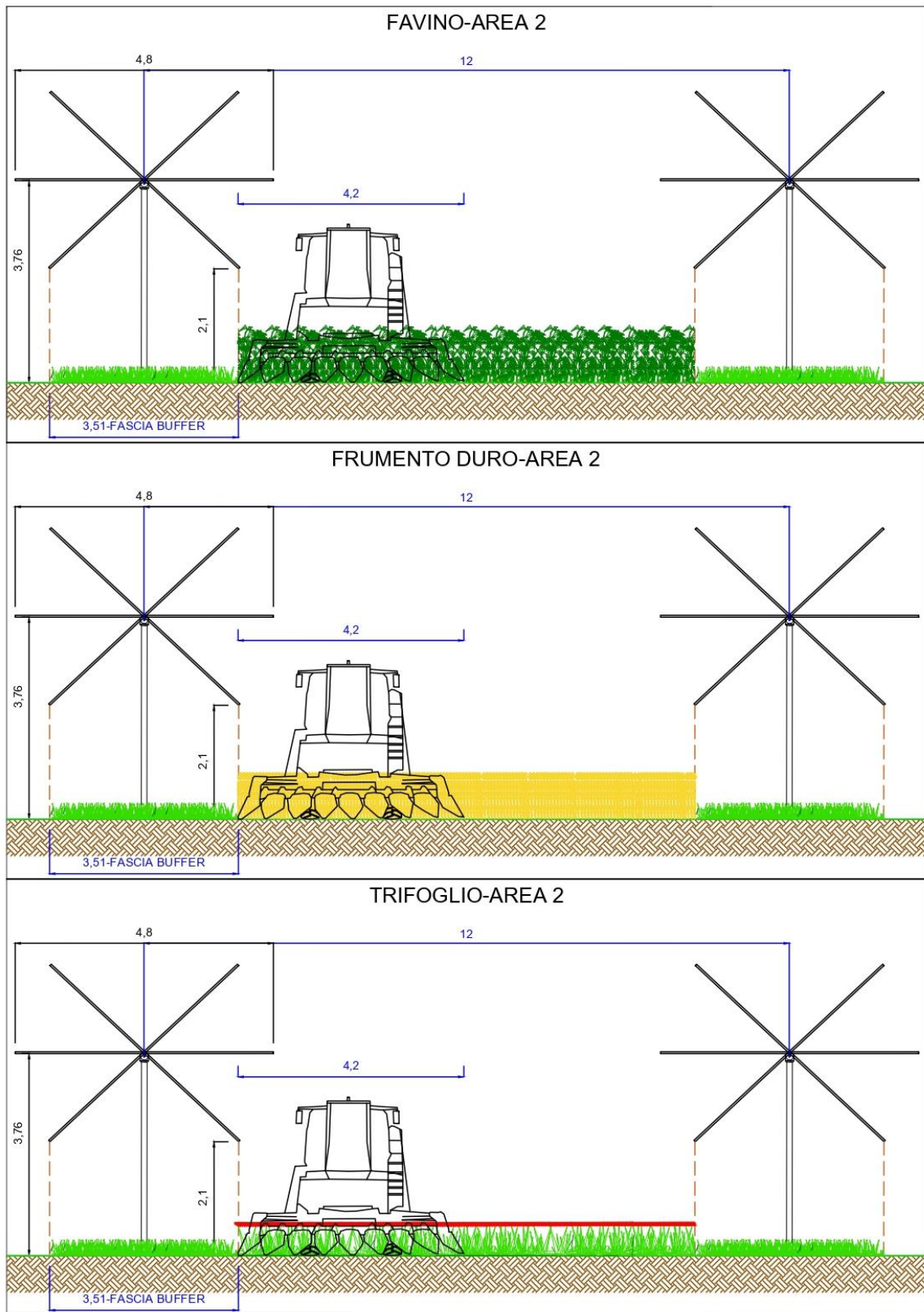


Figura 7. Rappresentazione del prospetto frontale delle colture di favino, frumento duro e trifoglio

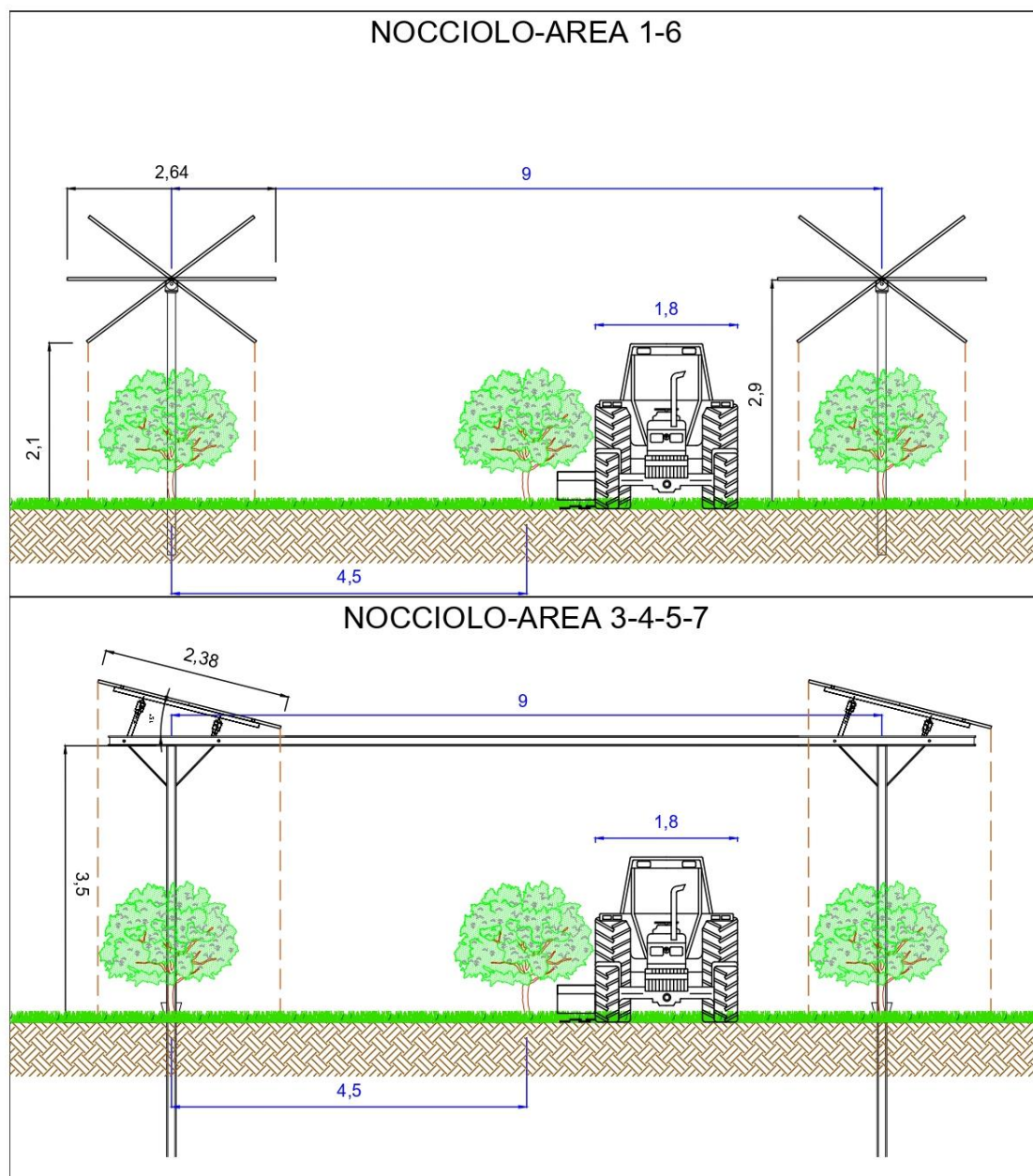


Figura 8. Rappresentazione del prospetto frontale della coltura del nocciolo

7.2. Gestione delle attività e manutenzione

1. Mantenimento di terreni a vocazione agricola.
2. Integrazione del reddito agricolo.
3. Eventi divulgativi e disponibilità per gli Istituti di istruzione scolastica di diverso ordine e grado.
4. Acquisto di attrezzature e macchinari in base alla coltura.
5. Monitoraggio mensile della coltura a supporto del sistema decisionale ai fini di una corretta gestione colturale.

8. Monitoraggio della sperimentazione

8.1. In situ

- Consumo d'acqua
- Consumo energetico per unità di prodotto (applicazione LCA)
- Misurazione dell'albedo
- Valutazione dell'ombreggiatura

8.2. Risultati attesi

- Possibile applicazione della certificazione biologica delle produzioni.
- Tutela colture floristiche e risorse autoctone e/o endemiche, con particolare attenzione all'individuazione degli ecotipi locali che possono costituire in termini di adattamenti morfo-funzionali e presenza di principi attivi, risorsa di grande interesse agronomico, vivaistico e nutraceutico.
- Conservazione di un patrimonio culturale comprendente la storia, i costumi, le tradizioni che costituiscono un insieme di risorse.
- Gestione e manutenzione della riduzione dei costi.
- Valorizzazione economica della superficie libera.
- Maggiore integrazione nel territorio.
- Aumento dei posti di lavoro.
- Diversificazione dei prodotti agricoli.
- Modernizzazione delle metodologie e delle tecnologie.
- Sviluppo sostenibile.
- Basso impatto ambientale.
- Opportunità economica sul territorio.

9. Computo metrico

9.1. Analisi di costi e ricavi dell'attività agrivoltaica

Per ogni operazione di ciascun impianto colturale, è stato analizzato il costo totale ad ettaro, quindi la superficie effettiva ad ettaro utilizzata, escludendo l'impianto APV, e il totale dei costi ad anno. Stessa analisi è stata condotta per il conteggio dei ricavi (Prontuario Reda).

Infine, costi e ricavi sono stati rapportati per ottenere il *business plan* completo di ciascuna attività rapportato al numero di ettari coltivati. I costi e i prezzi di vendita dei prodotti sono stati calcolati in base ai prezzi medi della zona di interesse.

Si riporta di seguito l'alternanza delle tre colture annuali nelle diverse stagioni colturali e la coltura del nocciolo.

AREA					
1°ANNO		2°ANNO		3°ANNO	
SUP.	COLTURA	SUP.	COLTURA	SUP.	COLTURA
13,21	FAVINO	13,21	FRUMENTO DURO	13,21	TRIFOGLIO
96,78	NOCCILOLO	96,78	NOCCILOLO	96,78	NOCCILOLO

Di seguito si riportano i costi e i ricavi su base annua della *Vicia faba minor*.

FAVINO		COSTI	
		1°ANNO	
OPERAZIONE	€/ha	Sup.NETTA (ha)	€/TOT
CONCIMAZIONE DI FONDO	100,00 €	13,21	1.321 €
ERPICATURAx2	160,00 €	13,21	2.113 €
ACQUISTO SEME	200,00 €	13,21	2.642 €
SEMINA	60,00 €	13,21	792 €
RACCOLTA	180,00 €	13,21	2.377 €
TOTALE			9.246 €

FAVINO		RICAVI		
		1° ANNO		
PRODOTTO	Sup.NETTA (ha)	t TOT	€/kg	€/TOT
CEREALE	13,21	26	0,40 €	10.566 €

BUSINESS PLAN-FAVINO			
ANNO	COSTI	PLV	RICAVI NETTI
1°	9.246 €	10.566 €	1.321 €

Di seguito si riportano i costi e i ricavi su base annua del *Triticum durum*.

FRUMENTO DURO		COSTI	
		2° ANNO	
OPERAZIONE	€/ha	Sup.NETTA (ha)	€/TOT
ARATURA	220,00 €	13,21	2.906 €
ERPICATURAx2	160,00 €	13,21	2.113 €
ACQUISTO SEME	220,00 €	13,21	2.906 €
SEMINA	60,00 €	13,21	792 €
CONCIMAZIONE	140,00 €	13,21	1.849 €
RACCOLTA	180,00 €	13,21	2.377 €
TOTALE			12.944 €

FRUMENTO DURO		RICAVI		
		2° ANNO		
PRODOTTO	Sup.NETTA (ha)	t TOT	€/kg	€/TOT
CEREALE	13,21	40	0,38 €	15.057 €

BUSINESS PLAN-FRUMENTO DURO			
ANNO	COSTI	PLV	RICAVI NETTI
2°	12.944 €	15.057 €	2.113 €

Di seguito si riportano i costi e i ricavi su base annuale del *Trifolium incarnatum*.

TRIFOGLIO		COSTI	
		3° ANNO	
OPERAZIONE	€/ha	Sup.NETTA (ha)	€/TOT
ERPICATURAx2	160,00 €	13,21	2.113 €
ACQUISTO SEME	180,00 €	13,21	2.377 €
SEMINA	60,00 €	13,21	792 €
RACCOLTA	180,00 €	13,21	2.377 €
TOTALE			7.661 €

TRIFOGLIO		RICAVI		
		3° ANNO		
PRODOTTO	Sup.NETTA (ha)	t TOT	€/kg	€/TOT
SEME	13,21	5,3	1,60 €	8.453 €

BUSINESS PLAN-TRIFOGLIO			
ANNO	COSTI	PLV	RICAVI NETTI
3°	7.661 €	8.453 €	792 €

Di seguito si riportano i costi e i ricavi su base triennale del *Corylus avellana*.

NOCCIOLO		COSTI	
		1°-3° ANNO	
OPERAZIONE	€/ha	Sup.NETTA (ha)	€/TOT
POTATURA	800,00 €	96,78	77.428 €
SPOLLONATURA			
CONCIMAZIONE + PRODOTTO	260,00 €	96,78	25.164 €
TRINCIATURE (n.4-5)	400,00 €	96,78	38.714 €
TRATTAMENTI FITO (n.3) + PRODOTTO	255,00 €	96,78	24.680 €
RACCOLTA	1.500,00 €	96,78	145.177 €
TOTALE			311.163 €

NOCCIOLO		RICAVI		
		1°-3° ANNO		
PRODOTTO	Sup.NETTA (ha)	t TOT	€/kg	€/TOT
NOCCIOLA	96,78	194	3,00 €	580.709 €

BUSINESS PLAN-NOCCIOLO			
ANNO	COSTI	PLV	RICAVI NETTI
1-3°	311.163 €	580.709 €	269.546 €

Di seguito si riportano i dati relativi ai costi, ricavi e ricavi netti ripartiti in tre anni di ciclo colturale. Come si può osservare, il progetto APV, oltre ad un beneficio economico derivante dalla produzione di energia, riesce a fornire un discreto introito derivante anche dall'attività agricola.

ANNO	BP	FAVINO	FRUMENTO D	TRIFOGLIO	NOCCIOLO	Δ TOTALE
1°	COSTI	9.246 €	-	-	311.163 €	320.409 €
	PLV	10.566 €	-	-	580.709 €	591.275 €
	RICAVI NETTI	1.321 €	-	-	269.546 €	270.866 €
2°	COSTI	-	12.944 €	-	311.163 €	324.107 €
	PLV	-	15.057 €	-	580.709 €	595.766 €
	RICAVI NETTI	-	2.113 €	-	269.546 €	271.659 €
3°	COSTI	-	-	7.661 €	311.163 €	318.824 €
	PLV	-	-	8.453 €	580.709 €	589.162 €
	RICAVI NETTI	-	-	792 €	269.546 €	270.338 €
RICAVI ANNO(media 3 anni) =						270.955 €

10. Analisi delle ricadute ambientali dell'intervento

10.1. Benefici dell'impianto APV

Uno dei maggiori problemi dei classici impianti fotovoltaici a terra è l'uso del suolo, ovvero date le caratteristiche dell'impianto è impossibile la gestione agricola dei terreni. Questi sistemi hanno un grosso impatto in diverse aree del mondo dal punto di vista dello sfruttamento dell'uso dei suoli. Questa problematica riveste un ruolo estremamente importante e attuale dato dal progressivo fenomeno della desertificazione dei terreni, con conseguente perdita di produttività dei suoli. Per questo motivo il sistema APV offre un'importante e valida alternativa rendendo possibile la coltivazione dei terreni e la produzione di energia.

Considerando il presente progetto APV possiamo vedere come l'agricoltura rivesta un ruolo primario in termini di superficie:

- **95,2 % Superficie Coltivata Totale**
- **4,7 % Superficie non Coltivata Totale**
- 4,3 % Fascia buffer moduli
- 0,5 % Cabine

Il presente sistema di APV consente di apportare molteplici benefici, sia in termini economici che ambientali, rispetto al tradizionale sistema di agricoltura impiegato nell'areale di interesse.

Nello specifico i benefici apportati sono:

-Suddivisione del rischio d'impresa impiegando differenti specie agrarie. Questo sistema consente di suddividere il rischio dato da fattori meteorologici e dall'oscillazione dei prezzi delle produzioni agricole, diversamente da quanto può avvenire in un sistema di coltivazione tradizionale locale dove a prevalere è una sola specie colturale, come ad esempio il frumento.

-Impiego di colture facilmente meccanizzabili, con la possibilità dunque di ottimizzazione delle produzioni dal punto di vista qualitativo e quantitativo. Le finestre temporali in cui effettuare la raccolta dei prodotti, in modo da preservare la quantità e la qualità delle produzioni, oggi, a causa dei cambiamenti climatici, si stanno rivelando sempre più ridotte. È per questo motivo che la meccanizzazione delle colture si constata essere sempre più un fattore determinante.

-Contrasto alla desertificazione e alla perdita di fertilità dei suoli grazie all'impiego di *cover crops* (colture di copertura) e all'ombreggiamento dato dai pannelli. Si attenua così l'impatto negativo

dato dalla radiazione solare e dai fenomeni erosivi, determinando una minor perdita di sostanza organica nel terreno.

-Incremento della biodiversità dato dall'impiego di differenti specie agrarie, con conseguente minor pressione da parte dei patogeni.

-Riduzione di input chimici grazie ad un corretto avvicendamento delle colture e all'impiego di colture miglioratrici (leguminose). L'avvicendamento è uno dei fattori che incide maggiormente sul mantenimento e sull'incremento della fertilità dei suoli, consentendo la riduzione e, in alcuni casi, l'eliminazione di fertilizzanti chimici di sintesi. Difatti, la rotazione tra una coltura depauperante e una miglioratrice contrasta il verificarsi del così detto fenomeno della "stanchezza del terreno". Questo fenomeno si verifica generalmente nei terreni dove viene praticata la monocoltura, ovvero la coltivazione della stessa specie per più anni consecutivi sullo stesso appezzamento, determinando così un peggioramento strutturale e nutritivo del terreno.

10.2. Impatti ambientali

L'area di interesse per l'impianto APV, mostra già i segni del fenomeno dello "*sprawl*", ovvero un modello insediativo diffuso dove il consumo di quantità di territorio da parte degli insediamenti e delle infrastrutture extraurbane avviene oramai a velocità vertiginosa. Inoltre, il territorio vede già la coesistenza di altri impianti fotovoltaici ed eolici con i quali quello del progetto si pone in relazione, tale da inserirsi in un polo energetico consolidato ormai da anni.

L'area del progetto, sotto il profilo paesaggistico, si caratterizza per un discreto livello di antropizzazione. L'impatto cumulativo è connesso alle caratteristiche paesaggistiche del sito.

L'impatto più significativo generato da un impianto agrivoltaico è senza dubbio l'impatto visivo. Tuttavia, la struttura, sia per la sua "leggerezza costruttiva", sia per le limitate dimensioni dei pannelli, risulta adeguatamente integrata all'ambiente agricolo e al paesaggio circostante.

In aggiunta, è essenziale evidenziare anche le ricadute positive del progetto:

- Ombreggiamento

La minore radiazione impattante al suolo va a limitare la perdita di sostanza organica del terreno. L'ombreggiamento quindi, proporzionale alla crescita adeguata delle piante, risulta essere una strategia per il contrasto alla desertificazione.

- Leguminose

Le specie leguminose sono definite colture miglioratrici, capaci di migliorare sia la fertilità sia la struttura fisica del terreno. La loro capacità azotofissatrice permette di "catturare" l'azoto

atmosferico a livello radicale rilasciandolo nel terreno a disposizione della coltura successiva, inoltre il profondo apparato radicale svolge un'importante azione fisica nel terreno.

- Fascia Vegetazionale





























Per la mitigazione esterna del parco fotovoltaico è prevista la messa a dimora di una fascia perimetrale di essenze tipiche del luogo di altezza pari alla recinzione perimetrale dell'impianto fotovoltaico. La siepe perimetrale ha lo scopo di schermare l'impianto e contribuire all'inserimento paesaggistico e ambientale dell'opera.

In conclusione, l'opera di progetto non andrà ad incidere in maniera irreversibile né sulla qualità dell'area né sul grado di naturalità dell'area o sull'equilibrio naturalistico presente.

Le soluzioni adottate per il progetto andranno a mitigare le problematiche caratterizzanti la zona, quali desertificazione ed eccessivo sfruttamento del suolo.

11. Cronoprogramma

Di seguito il diagramma di Gantt per il supporto alla gestione del progetto, con l'identificazione delle specie e il loro ciclo agronomico, fenologico, meccanico, ecc.

PRIMO ANNO														
	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE
Vicia faba var. minor FAVINO	Lavorazione primaria/secondaria 		Semina 	Crescita vegetativa 				Raccolta 				Lavorazione 		
Corylus avellana NOCCIOLO	Scasso/Lavorazione primaria/secondaria 		Trapianto/Concimazione  		Crescita vegetativa della pianta/Potatura  						Sarchiature/Fresature 			
SECONDO ANNO														
	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE
Triticum durum FRUMENTO DURO	Lavorazione primaria/secondaria 		Semina/Concimazione  		Crescita vegetativa della pianta 						Raccolta 		Lavorazione 	
Corylus avellana NOCCIOLO	Concimazione 							Sarchiature/Fresature 						
TERZO ANNO														
	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE
Trifolium incarnatum TRIFOGGIO INCARNATO	Lavorazione primaria/secondaria 		Semina/Concimazione  		Crescita vegetativa della pianta 				Raccolta 		Lavorazione 			
Corylus avellana NOCCIOLO	Potatura 					Concimazione 			Sarchiature/Fresature 					

12. Caratteristiche e requisiti degli impianti agrivoltaici

Le Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici, prodotte nell'ambito di un gruppo di lavoro coordinato dal MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA-DIPARTIMENTO PER L'ENERGIA e pubblicate nel mese di giugno 2022, definiscono quali sono le caratteristiche minime e i requisiti che un impianto fotovoltaico dovrebbe possedere per essere definito agrivoltaico. Per impianto "agrivoltaico" si intende un impianto fotovoltaico che consente di preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione, garantendo, al contempo, una buona produzione energetica da fonti rinnovabili.

12.1. REQUISITO A: l'impianto rientra nella definizione "agrivoltaico"

REQUISITO A.1.: Superficie minima per l'attività agricola

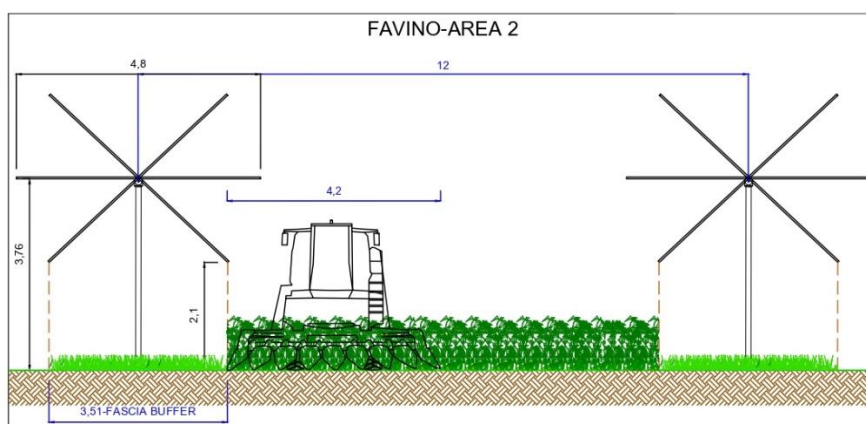
Si deve garantire che almeno il 70% della superficie totale del sistema agrivoltaico sia destinata all'attività agricola, nel rispetto delle Buone Pratiche Agricole (BPA).

Dagli elaborati di progetto risulta:

Superficie del sistema agrivoltaico (S_{tot}) = 115,5799 ha

S.non agr.TOT = S.Fascia buffer + Cabine = 5,5870 ha

Appezamento	Coltura	S.tot	S.agr	S.fascia buffer	Cabine	A1 (S.agr/S.tot)
Campo 1	nocciolo	10,0154	10,0059	-	0,0095	99,9%
Campo 2	seminativo	18,2090	13,2081	4,9879	0,013	72,5%
Campo 3	nocciolo	16,8476	16,8346	-	0,013	99,9%
Campo 4	nocciolo	9,4088	9,4046	-	0,00425	100,0%
Campo 5	nocciolo	0,8138	0,8096	-	0,00425	99,5%
Campo 6	nocciolo	41,3197	41,2997	-	0,02	100,0%
Campo 7	nocciolo	18,9656	18,4305	-	0,5351	97,2%
TOT =		115,5799	109,9929	4,9879	0,5991	95,2%



<i>largh. Colt. (m)</i>					8,49
<i>largh.Fascia buffer (m)</i>					3,51
Campo2					
n.stringhe	lunghezza	Fascia buffer (lungh,x3,51)	n.stringhe	lunghezza	Fascia buffer (lungh,x3,51)
1	13,82	48,5	1	305,53	1072,4
1	46,22	162,2	1	289,32	1015,5
1	78,61	275,9	1	256,91	901,8
1	111,01	389,6	1	240,7	844,9
1	143,44	503,5	1	240,66	844,7
1	175,83	617,2	1	256,83	901,5
1	175,81	617,1	1	273,02	958,3
1	191,99	673,9	2	273,04	1916,7
1	191,91	673,6	2	289,26	2030,6
2	208,08	1460,7	2	386,51	2713,3
2	224,35	1574,9	1	370,31	1299,8
1	240,56	844,4	1	337,89	1186,0
1	224,3	787,3	1	321,67	1129,1
3	240,48	2532,3	1	289,28	1015,4
1	256,75	901,2	1	273,07	958,5
1	272,96	958,1	1	256,85	901,5
1	321,48	1128,4	1	224,41	787,7
2	337,8	2371,4	1	208,09	730,4
1	354,05	1242,7	1	191,87	673,5
1	370,3	1299,8	1	159,64	560,3
1	337,9	1186,0	1	143,45	503,5
1	305,51	1072,3	1	127,25	446,6
1	321,72	1129,2	1	94,84	332,9
1	305,51	1072,3	1	13,83	48,5
2	321,72	2258,5	2	46,24	324,6
Fascia Buffer (ha) =					4,9879

Superficie agricola $S_{agri} = S_{tot} - S_{nn\ agr. tot} = 115,5799 - 5,7251 = 109,8548$ ha

$$S_{agri} / S_{tot} = 109,86 \text{ ha} / 115,58 \text{ ha} = 0,95 \geq 0,70$$

Il requisito A.1. risulta VERIFICATO.

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

Il progetto prevede una Superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (S_{pv}) = 30,50 ha

Il LAOR (Land Area Occupation Ratio) è il rapporto tra la superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (S_{pv}), e la superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico (S_{tot}). Il suo valore è dunque, per l'impianto in oggetto:

$$LAOR = 30,50 \text{ ha} / 115,58 \text{ ha} = 26,4\% < 40\%$$

Il requisito A.2. risulta VERIFICATO

12.2. **REQUISITO B:** il sistema agrivoltaico è esercito, nel corso della vita tecnica dell'impianto, in maniera da garantire la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli

REQUISITO B.1. Continuità dell'attività agricola

- **REQUISITO B.1.a:** Esistenza e resa della coltivazione

Al fine di valutare la continuità dell'attività agricola, verrà predisposta una zona di controllo per il monitoraggio della biomassa prodotta sia nell'area a pieno campo sia nell'area ombreggiata. Verranno identificate due aree studio di 4 m², una sulla fascia ombreggiata ed una sulla fascia in pieno campo.

Tali dati verranno elaborati nella relazione agronomica annuale.

VALORI INDIRIZZO PRODUTTIVO ANTE IMPIANTO				
anno	coltura	sup. (ha)	€/ha RICA	€/anno TOT
2023	frumento d	18,209	1.187 €	21.614 €
	nocciolo	97,3709	5.551 €	540.506 €
Media €/ha/anno				3.369 €

valori RICA 2017_Lazio

VALORI INDIRIZZO PRODUTTIVO POST IMPIANTO				
anno	coltura	sup. (ha)	€/ha RICA	€/anno TOT
1° APV	favino	13,2081	1.059 €	13.987 €
	nocciolo	96,6467	5.551 €	536.486 €
Media €/ha/anno				3.305 €

valori RICA 2017_Lazio

Il valore economico dell'indirizzo produttivo, al primo anno di APV, è stato calcolato in base ai valori RICA della Regione Lazio del 2017.

Il modello di coltivazione aziendale attuale prevede l'avvicendamento tra seminativi (cerealicole, foraggere e leguminose) e la coltivazione del nocciolo.

Il nuovo ordinamento colturale andrà a prevedere la coltivazione delle medesime specie erbacee ed arboree, nello specifico: favino, frumento duro, trifoglio e nocciolo.

Come si evince dalla tabella sopra, l'introduzione del sistema APV consente il mantenimento dell'indirizzo produttivo aziendale.

Le coltivazioni, nelle precedenti campagne agrarie, sono state condotte secondo il modello dell'agricoltura integrata. Nelle precedenti campagne agrarie non sono state coltivate colture di pregio a denominazione D.O.P., I.G.P., S.T.G., D.O.C., D.O.C.G.

Dunque, il requisito B1 risulta VERIFICATO.

REQUISITO B.2.: Producibilità elettrica minima

Si confronta la producibilità elettrica dell'impianto agrivoltaico a progetto (FVagri) con la producibilità elettrica di un impianto fotovoltaico di riferimento (FVstandard), caratterizzato da moduli con efficienza 20% su supporti fissi orientati a Sud e inclinati con un angolo pari alla latitudine meno 10 gradi, collocato nello stesso sito dell'impianto agrivoltaico.

FV agri [GWh/ha/anno] = 114,1

FV standard [GWh/ha/anno] = 125,81

$$FV\ agri \geq 0,6 * FV\ standard = 114,1 \geq 75,5$$

Dunque, il requisito B2 risulta VERIFICATO.

12.3. REQUISITO C: l'impianto agrivoltaico adotta soluzioni integrate innovative con moduli elevati da terra

L'impianto è identificabile come di TIPO 1) in quanto l'altezza minima dei moduli è studiata in modo da consentire la continuità delle attività agricole anche sotto ai moduli fotovoltaici. Si configura una condizione nella quale esiste un doppio uso del suolo, ed una integrazione massima tra l'impianto agrivoltaico e la coltura, e cioè i moduli fotovoltaici svolgono una funzione sinergica alla coltura, che si può esplicitare nella prestazione di protezione della coltura (da eccessivo soleggiamento, grandine, etc.) compiuta dai moduli fotovoltaici.

Con un'altezza media dei moduli su strutture mobili superiore ai 2,10 m l'impianto può considerarsi agrivoltaico avanzato rispondente al REQUISITO C.

12.4. REQUISITO D ed E: sistemi di monitoraggio

REQUISITO D.1.: Monitoraggio del risparmio idrico

Il nuovo ordinamento colturale prevede la coltivazione di frumento, orzo e soia, colture che richiedono un limitato apporto idrico data la pluviometria media dell'areale di coltivazione, fatta eccezione per la soia. L'apporto idrico artificiale verrà garantito durante il periodo di massimo deficit idrico (estivo) mediante un sistema di irrigazione a goccia, il cui approvvigionamento verrà garantito

dalla presenza di corpi idrici aziendali. Per l'ottimizzazione degli interventi irrigui si farà ricorso allo studio e modellizzazione dei data set, provenienti dall'installazioni di una centralina meteo provvista di sensoristica utile al monitoraggio di importanti parametri, come: evapotraspirazione, piovosità, temperatura, umidità e temperatura de terreno.

Al fine di monitorare l'uso della risorsa idrica e quindi monitorare il risparmio idrico derivante dall'installazione dei pannelli APV, verranno determinate due aree studio di 4 m², posizionate una sotto la fascia ombreggiata ed una nella fascia di pieno campo. Nelle due aree studio verrà installata la sensoristica necessaria alla determinazione del fabbisogno e deficit idrico della coltura nelle due differenti condizioni di coltivazione.

Le valutazioni agronomiche riguardanti il risparmio idrico derivante dall'installazione di pannelli APV verranno riportate nella relazione agronomica, redatta annualmente.

REQUISITO D.2.: Monitoraggio della continuità dell'attività agricola

- ***Esistenza e la resa della coltivazione***
- ***Mantenimento dell'indirizzo produttivo***

Al fine di monitorare la continuità dell'attività agricola verrà redatta una relazione agronomica annuale recante indicazioni in merito alle specie annualmente coltivate, alla superficie effettivamente destinata alle coltivazioni, alle condizioni di crescita delle piante e alle tecniche di coltivazione (sesto di impianto, densità di semina, impiego di concimi, trattamenti fitosanitari). Parte delle informazioni sopra richiamate verranno fornite tramite Fascicolo Aziendale, come previsto dalla normativa vigente per le imprese agricole che percepiscono contributi comunitari. All'interno di esso si colloca il Piano di coltivazione, che deve contenere la pianificazione dell'uso del suolo dell'intera azienda agricola.

Per verificare e valutare l'impatto dell'impianto APV sulle colture, verrà installata una centralina meteo provvista di sensoristica utile al monitoraggio dei principali parametri agro-meteorologici, sia sotto i moduli che in pieno campo.

I parametri monitorati saranno:

- Temperatura dell'aria → il monitoraggio delle temperature verrà eseguito mediante sensore PT100 posizionato nelle due aree di saggio, sotto i moduli ed in pieno campo.
- Umidità dell'aria → il monitoraggio dell'umidità dell'aria verrà eseguito mediante igrometro/psicrometro posizionato nelle due aree di saggio, sotto i moduli ed in pieno campo.

- Anemometria → il monitoraggio dell'intensità e direzione del vento verrà eseguito mediante anemometro posizionato nelle due aree di saggio, sotto i moduli ed in pieno campo.
- Pluviometria → il monitoraggio dell'intensità e cumulato di pioggia verrà eseguito mediante pluviometro posizionato nelle due aree di saggio, sotto i moduli ed in pieno campo.
- Radiazione solare → il monitoraggio della radiazione solare (visibile, PAR, UV) verrà eseguito mediante solarimetro posizionato nelle due aree di saggio, sotto i moduli ed in pieno campo.
- Conducibilità elettrica del terreno → il monitoraggio della conducibilità elettrica del terreno verrà eseguito mediante analisi con conduttivimetro nelle due aree di saggio, sotto i moduli ed in pieno campo.
- Umidità e Temperatura del terreno → il monitoraggio dell'umidità e temperatura del terreno verrà eseguito mediante appositi sensori installati nelle due aree di saggio, sotto i moduli ed in pieno campo.
- Bagnatura fogliare → il monitoraggio della bagnatura fogliare verrà eseguito mediante foglia elettronica posizionata sia sotto i moduli che in pieno campo.
- Evapotraspirazione di riferimento e della coltura → il monitoraggio dell'evapotraspirazione verrà eseguito mediante vasche evaporimetre posizionate sia sotto i moduli che in pieno campo. Moltiplicando ET_0 per il coefficiente colturale (k_c) si ottiene l'evapotraspirazione della specifica coltura.
- Biomassa (kg/m^2) → il monitoraggio della biomassa prodotta verrà eseguito mediante periodici sfalci delle varie colture, sia sotto i moduli che in pieno campo. Una volta prelevata la biomassa di 4 mq, per ogni singola area di saggio, si procederà alla determinazione del peso della biomassa verde ed essiccata.
- Sostanza Organica → il contenuto in sostanza organica del terreno verrà determinato prelevando ed analizzando campioni di terreno nelle due aree di saggio, sotto i moduli ed in pieno campo. Le analisi verranno compiute a cicli triennali.

Le linee guida MiTE (oggi MASE) redatte in collaborazione con il CREA e il GSE, il D.L. 77/2021 e il recente DL milleproroghe prevedono, tassativamente, che l'impianto agro-fotovoltaico debba prevedere dei sistemi di monitoraggio per poter accedere ai finanziamenti statali. La ratio di tali sistemi è quella di monitorare real time lo stato delle specie colturali poste al di sotto dei pannelli e/o nelle interfila.

Su quanto descritto l'azienda installerà un innovativo sistema di monitoraggio basato su camere multispettrali, di seguito descritto.

Sistemi di monitoraggio con camere multispettrali

Il monitoraggio tramite camera multispettrale consente di acquisire, tramite l'energia riflessa e assorbita dalle superfici a diverse lunghezze d'onda (visibile e infrarosso), informazioni riguardo lo stato della vegetazione.

Attraverso il comportamento spettrale della vegetazione sono state definite relazioni quantitative tramite molti tipi diversi di indici che permettono di studiare ad esempio stress idrico o stato di salute. Questo è possibile tramite l'elaborazione dei dati ottenuti calcolando indici di vegetazione: ad esempio con gli indici NDVI $((\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED}))$ e NDMI $((\text{NIR}-\text{SWIR})/(\text{NIR}+\text{SWIR}))$ è possibile valutare lo stato di salute della pianta o lo stress idrico.

Di questi esistono varianti che tengono in considerazione aspetti diversi come l'indice SAVI o il WDRVI, entrambi applicano un valore di correzione all'NDVI uno per ridurre l'effetto del suolo nudo e l'altro in modo da risultare efficace anche con vegetazione ben sviluppata. Un indice sensibile prevalentemente allo sviluppo vegetativo è EVI con cui è possibile calcolare il LAI (Leaf Area Index). È possibile inserire una correzione dell'effetto atmosferico utilizzando l'indice ARVI $((\text{NIR}-\text{GREEN})/(\text{NIR}+\text{GREEN}-\text{BLUE}))$. Inoltre, tramite l'indice GNDVI $((\text{NIR}-\text{GREEN})/(\text{NIR}+\text{GREEN}))$ è possibile mostrare il vigore e la differenza tra diverse specie agronomiche e diverse aree della zona oggetto di indagine, è molto utile per determinare la presenza di acqua, umidità e l'assorbimento di azoto. È possibile calcolare anche l'indice NDRE $((\text{NIR}-\text{RE})/(\text{NIR}+\text{RE}))$ per valutare lo stato di salute di un raccolto, ad esempio utilizzato in viticoltura per pianificare l'inizio del raccolto dato che fornisce informazioni sulla maturazione, ma anche sull'infestazione da parassiti. In ultimo, grazie agli indici LCI o CCCI O TCARI è possibile analizzare il contenuto di clorofilla e le minime variazioni.

Architettura del sistema

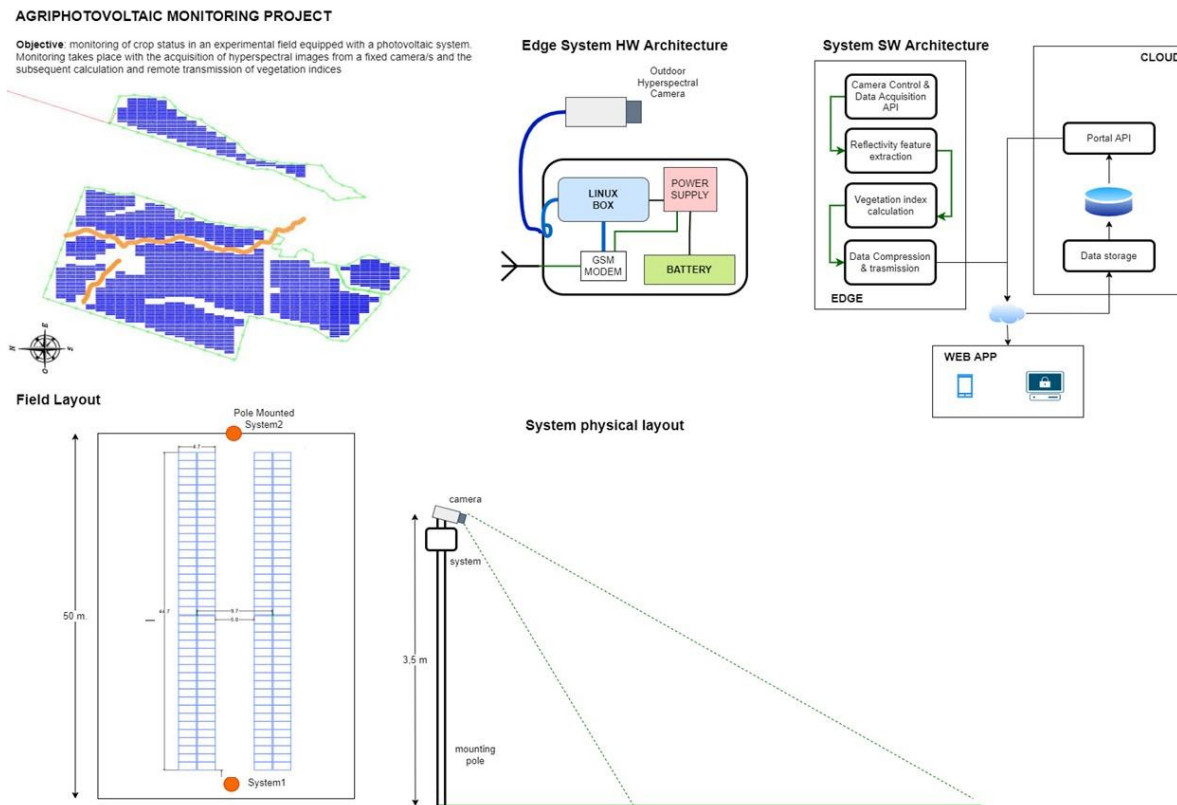


Figura 8. Il sistema di monitoraggio con camere multispettrali per il rispetto del requisito D.1. e D.2

Per aree molto grandi, si prevede l'utilizzo della camera sulle macchine agricole. In alternativa, il rilevamento delle condizioni fitosanitarie e nutrizionali e delle colture tramite telecamera multispettrale è realizzabile anche tramite l'installazione su mezzo agricolo. Il principale mezzo agricolo in questione è il trattore agricolo ed il rilevamento potrebbe essere condotto con l'accoppiamento al trattore di un numero di telecamere multispettrali che va da 1 ad un massimo consigliabile di 3 camere, disponendole frontalmente e lateralmente al mezzo, nella parte superiore, anteriore o laterale. Il rilievo risulterebbe continuo ed attuabile ogni qual volta il mezzo entrerebbe in campo, con una copertura completa del campo agricolo coltivabile. Anche durante una semplice gestione del suolo o del cotico erboso posto al di sotto dell'impianto, sarebbe possibile acquisire utilissime informazioni. Le informazioni ottenute sarebbero dunque elaborate ed utilizzate per creare delle mappe di prescrizione utilizzabili in un secondo momento per una gestione fitosanitaria e/o di concimazione per la coltura, sfruttando strumenti di distribuzione a rateo variabile. Questo sistema di monitoraggio, permette di valutare i seguenti indici:

- il risparmio idrico e l'effettivo assorbimento da parte delle colture;

- l'impatto sulle colture, la produttività agricola per le diverse colture (lo stato di salute della pianta influisce sulla produttività);
- fertilità del suolo.

Il sistema inoltre, sarà interconnesso con l'imprenditore agricolo tramite i principali dispositivi elettronici comunemente utilizzati (smartphone, tablet, pc, ecc.) per un'acquisizione periodica delle immagini in modo da monitorare costantemente gli indicatori sopradescritti e intervenire tempestivamente in caso di compromissione dello stato di salute della coltura.

Dunque, i requisiti D.1 e D.2 risultano VERIFICATI

REQUISITO E.1.: Monitoraggio del recupero della fertilità del suolo

Tra le maggiori problematiche derivanti dal cambiamento climatico si ha la perdita di fertilità dei suoli, questo fenomeno è determinato da diversi fattori, come l'eccessiva radiazione solare ed i fenomeni legati al ruscellamento. L'introduzione dei pannelli APV potrebbe determinare nel corso della durata dell'impianto un'incremento della Sostanza Organica. Il monitoraggio verrà effettuato a cadenza triennale mediante l'analisi chimico-fisica dei campioni di terreno provenienti dalle due aree studio, sotto i pannelli ed in pieno campo.

I parametri analizzati saranno: S.O., Struttura e grado di aggregazione del suolo, Densità apparente, Reazione del suolo, Tessitura, Contenuto in frammenti grossolani e Contenuto in macro e micro nutrienti.

REQUISITO E.2.: Monitoraggio del microclima

Il monitoraggio del microclima verrà eseguito mediante l'installazione di apposita sensoristica: sensori PT100 (T°), anemometri (velocità dell'aria) e igrometri/psicrometri, nelle due aree di saggio. Le valutazioni agronomiche riguardanti il microclima derivante dall'installazione di pannelli APV verranno riportate nella relazione agronomica, redatta annualmente.

13. Conclusioni

Da quanto sopra esposto, il presente impianto fotovoltaico può essere definito come “impianto agrivoltaico avanzato” in quanto vengono rispettati i requisiti A, B, C, D delle Nuove Linee Guida, inoltre l’installazione di sistemi di monitoraggio della fertilità e del microclima consentono il rispetto del requisito E, utile per l’accesso ai contributi del PNRR.