



RESFARM

Il primo ingegnere agrivoltaico

Relazione agronomica

EPSILON TORO S.R.L. – Agivoltaico 26,13 MWp – Vigarano (FE)

<i>Cliente Client</i>	EPSILON TORO S.R.L.
<i>Rif. Cliente Ref. Client</i>	Roberto Grigoletto
<i>Fornitore Supplier</i>	ResFarm Srl
<i>Rif. Fornitore Ref. Supplier</i>	Alessio Pinzone – alessio.pinzone@resfarm.it
<i>Affare n. Deal n.</i>	RF25_063
<i>Revisione Revision</i>	00
<i>Data Date</i>	30/09/2025
<i>Preparata da Prepared by</i>	Fernando Di Benigno
<i>Revisionata da Reviewed by</i>	Riccardo Rossi
<i>Autorizzata da Authorized by</i>	Alessio Pinzone

Sommario

1	Executive summary	5
2	Matrice dei valori	8
3	Introduzione	10
3.1	<i>Inquadramento territoriale</i>	10
3.2	<i>Orografia del terreno</i>	11
3.3	<i>Analisi del contesto</i>	12
4	Stato di fatto	14
4.1	<i>Coltivazioni presenti</i>	14
4.2	<i>Analisi dei punti di prelievo dell'acqua</i>	15
5	Analisi territoriale e climatica	16
5.1	<i>Clima e fitoclima</i>	16
5.2	<i>Pedogenesi</i>	18
5.3	<i>Capacità d'uso del suolo</i>	18
5.4	<i>Zone di vulnerabilità ai nitrati</i>	19
6	Progetto agronomico	20
6.1	<i>Layout dell'impianto</i>	20
6.2	<i>Definizione del piano colturale</i>	21
6.3	<i>Valutazione delle caratteristiche ambientali</i>	21
6.4	<i>Obiettivi agronomici e ambientali</i>	22
6.5	<i>Scelta delle specie vegetali</i>	22
6.6	<i>Descrizione delle specie e delle cure colturali</i>	23
6.7	<i>Sovrapposizione impianto fotovoltaico e attività agricola</i>	25
6.8	<i>Fascia di mitigazione</i>	27
6.9	<i>Layout della fascia di mitigazione</i>	31
7	Quadro economico di progetto	33
7.1	<i>Calcolo della PLV</i>	33
7.2	<i>Analisi dei costi</i>	34
7.3	<i>Analisi delle U.L.U.</i>	35
8	Linee guida in materia di impianti agrivoltaici	36

8.1	<i>Requisito A</i>	37
8.2	<i>Requisito B</i>	38
8.3	<i>Requisito C</i>	38
8.4	<i>Requisito D ed E</i>	39
9	Conclusioni	41
10	Bibliografia	42

Issue and Revision Record

Revision	Date	Originator	Checker	Approver	Narrative
00	30/09/2025	FDB	RRS	APZ	Primo invio

I Executive summary

NOVA s.r.l. (il “Cliente”) ha incaricato la società ResFarm Srl (“ResFarm” o il “Consulente”) per redigere un progetto agronomico per un progetto agrivoltaico della potenza di 26,13 MWp nel Comune di Vigarano (FE) in un’area agricola attualmente dedicata a coltivazioni foraggere

Il seguente report è stato redatto in base alle specifiche tecniche del Cliente e alle linee guida del MITE e regionali con l’obiettivo di realizzare un’attività agricola sostenibile e integrata nel territorio in simbiosi con la produzione di energia elettrica rinnovabile.

Stato di fatto

Il fondo agricolo interessato dal progetto agrivoltaico è attualmente destinato a produzioni foraggere, in linea con le caratteristiche pedoclimatiche della zona e con la tradizionale vocazione agricola dell’area. Nell’ultima annata agraria sono state coltivate superfici erbacee, principalmente cereali ed erba medica (*Medicago sativa*), destinati alla produzione di fieno per l’alimentazione zootecnica.

Si tratta di un sistema agricolo estensivo tipico della pianura padana orientale, basato sull’alternanza tra colture a ciclo annuale e foraggere pluriennali. Tale modello garantisce il mantenimento della fertilità del suolo, la riduzione dei costi produttivi e l’approvvigionamento di biomassa per gli allevamenti locali. L’erba medica, in particolare, contribuisce alla sostenibilità agronomica grazie alla capacità di fissare azoto atmosferico, riducendo il ricorso a concimi azotati di sintesi.

L’attuale assetto produttivo costituisce quindi una base solida per definire un piano colturale compatibile con l’impianto agrivoltaico, orientato a rotazioni con foraggere adatte al parziale ombreggiamento e a basso fabbisogno di input, in coerenza con i principi dell’agricoltura rigenerativa e multifunzionale indicati dalle linee guida nazionali.

Proposta progettuale

Il progetto agrivoltaico “Vigarano Mainarda” prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico con strutture a tracker monoassiale orientato est-ovest. I moduli saranno installati a un’altezza minima da terra di 212 cm, in conformità con le Linee Guida nazionali per l’agrivoltaico standard (MASE 2022). Questa configurazione consente la coesistenza tra produzione agricola ed energia rinnovabile, valorizzando al contempo il potenziale produttivo e ambientale dell’area.

L’analisi agronomica ha individuato colture erbacee a indirizzo foraggero, in continuità con la tradizione locale. È previsto un modello agricolo integrato basato sulla coltivazione di erbai annuali e poliennali per la produzione di foraggio fresco ed essiccato (in particolare erba medica e miscugli cereale-leguminosa), accompagnato da interventi di riqualificazione ambientale e tutela della biodiversità.

Tra le azioni previste rientra la creazione di una fascia perimetrale di mitigazione paesaggistica, composta da specie arboree e arbustive autoctone a valenza mellifera, con funzione ecologica ed estetico-paesaggistica.

Figura 1: Area di impianto



Rispetto alla conduzione agricola precedente, l'intervento introdurrà alcune migliorie significative. In primo luogo, la presenza costante di colture erbacee garantirà una copertura permanente del suolo, con benefici in termini di riduzione dell'erosione superficiale e miglioramento della struttura del terreno.

In secondo luogo, l'impiego di leguminose e la riduzione delle lavorazioni meccaniche favoriranno un progressivo incremento della fertilità, stimolando la rigenerazione della sostanza organica e la stabilità degli equilibri biologici del sistema agrario.

Le colture selezionate avranno un valore economico concreto e saranno inserite in una filiera produttiva locale, con possibili ricadute positive anche sul comparto zootecnico. La gestione agricola sarà inoltre integrata con le esigenze operative e manutentive dell'impianto fotovoltaico, senza interferenze significative, grazie alla configurazione progettuale che prevede interfilari di 4 metri e carreggiate di 3,20 metri, idonee al passaggio di mezzi meccanici.

Tabella 1: Caratteristiche tecniche impianto agrivoltaico

Tematica	Dettagli	Informazioni
Potenza di picco dell'impianto		26,13 MWp
Altezza minima modulo da terra		2,12 m
Altezza media		2,66 m
Altezza massima		3,20 m
Area totale di impianto		51,80 ha

Aree di servizio (strade, cabine etc.)		8,47 ha
Tipologie di culture previste	Fascia perimetrale:	2,54 ha
	Area interna impianto (foraggiere in miscuglio, Erba medica, Sulla, Trifoglio)	40,77 ha

Sistema di monitoraggio

Il monitoraggio del microclima locale sarà garantito dall'installazione di stazioni meteorologiche multiparametriche, progettate per registrare in continuo i principali parametri ambientali utili alla gestione agronomica del sito. Le stazioni saranno equipaggiate con sensori per la rilevazione di temperatura dell'aria, umidità relativa, radiazione solare globale, quantità e intensità delle precipitazioni, velocità e direzione del vento, oltre all'umidità del suolo misurata a diverse profondità. I dati raccolti saranno trasmessi automaticamente tramite connessione GPRS a un sistema centralizzato DSS (Decision Support System).

Il sistema DSS, conforme al requisito D2 del Ministero della Transizione Ecologica (MiTE), permetterà di archiviare e analizzare in tempo reale le informazioni raccolte, fornendo un supporto operativo alla gestione agricola di precisione. In particolare, consentirà di ottimizzare gli apporti irrigui, individuare i periodi più idonei per le lavorazioni e prevenire situazioni di stress ambientale. I dati elaborati saranno messi a disposizione dei tecnici agrari e utilizzati anche per la produzione di report periodici, a supporto del controllo tecnico e amministrativo della coerenza tra le attività agricole svolte e gli obiettivi multifunzionali dell'impianto.

Grazie a questo sistema integrato sarà possibile mantenere un controllo costante delle condizioni pedoclimatiche, aumentare la resilienza delle colture agli eventi meteorologici estremi e migliorare complessivamente la gestione aziendale, secondo criteri di efficienza, adattamento climatico e tutela delle risorse naturali.

Confronto pre e post impianto

Mantenendo invariati sia il piano colturale sia l'indirizzo produttivo a vocazione foraggera e cerealicola, la Produzione Lorda Vendibile (PLV), calcolata su base unitaria, risulterà sostanzialmente invariata nel passaggio dalla conduzione agricola preesistente a quella successiva all'installazione dell'impianto agrivoltaico. Tuttavia, a livello complessivo, non si prevede una diminuzione della PLV proporzionale alla superficie agricola effettivamente disponibile per la coltivazione, in linea con quanto indicato dalle Linee Guida MASE in materia di impianti agrivoltaici standard.

2 Matrice dei valori

Qui di seguito una breve analisi dello stato di fatto del sito e le strategie atte ad integrare l'attività agricola con quella energetica mantenendo inalterate o migliorando la produttività del sito e gli aspetti ambientali. I colori hanno l'obiettivo di indentificare in maniera rapida eventuali criticità sullo stato attuale del sito e il livello di miglioramento della proposta progettuale.

Tabella 2: Matrice dei valori

ID	Stato di fatto	Criticità	Livello di miglioramento	Proposta migliorativa
1	Le macchine operatrici attualmente in uso sono macchine di dimensioni importanti pensate per un'agricoltura in pieno campo	Tali macchine non possono essere utilizzate all'interno di un campo agrivoltaico a causa degli spazi ridotti di manovra e dei raggi di curvatura.	Alto	Si prevede l'impiego di meccanizzazione con macchine di dimensione minore, maggiormente adatta agli spazi per tale tipologia di impianto
2	L'area risulta avere un livello basso in termini di biodiversità dell'ecosistema	La reiterata scelta delle stesse specie di colture, seppur in rotazione fra di loro, e l'utilizzo di prodotti fitofarmaci e fertilizzanti hanno portato con il tempo ad un impoverimento della biodiversità.	Alto	Utilizzo di miscugli di semi di specie diverse per la produzione di fieno a fioritura a scalare aumentare la popolazione di pronubi.
3	La coltivazione di cereali porta ad un assorbimento dal terreno di grandi quantità di sostanze nutritive, in particolar modo di azoto	A lungo andare tale cultura porterebbe ad un impoverimento del suolo e scarsa produttività (legata alla stagionalità)	Alto	Tale aspetto viene migliorato attraverso la scelta dell'introduzione di leguminose ed erba medica. Si prevede inoltre lungo la fascia perimetrale la presenza di piante e siepe per incremento biodiversità
4	Le coltivazioni messe in atto sino ad oggi, da diversi anni, sono riconducibili a poche specie.	L'utilizzo delle stesse specie porta ad un impoverimento della biodiversità e ad una stagnazione del reddito	Alto	L' introduzione di un prato polifita porterà ad un aumento della biodiversità.

5	Ad oggi non è prevista nessuna azione di monitoraggio.	La mancata installazione di centraline agrometeorologiche non permette un ottimale posizionamento delle eventuali irrigazioni e dei trattamenti fitofarmaci	Alto	Il sistema di monitoraggio pedoclimatico e della biodiversità permetterà di adottare azioni di correzione e miglioramento a vantaggio della biodiversità e dell'efficienza nell'uso di materie prime.
6	La coltivazione in rotazione non prevede alcuna azione ambientale	Tale approccio porterebbe ad una limitazione della biodiversità dell'areale	Medio	L'introduzione di un prato polifita oltre a fasce arborate/arbustive nei perimetri dell'intervento aumenterebbe la biodiversità locale con un miglioramento anche dell'areale
7	L'indirizzo produttivo attuale rimarrà invariato	Ad oggi l'azienda ha un indirizzo produttivo foraggero	Invariato	L'azienda continuerà ad avere un indirizzo produttivo foraggero

Tabella 3: Legenda

Livello di miglioramento	Descrizione
Alto	La soluzione proposta vede un miglioramento dello stato di fatto che ha un forte impatto sul territorio
Medio	La soluzione proposta prevede un miglioramento on un impatto medio rispetto allo stato di fatto
Invariato	Si prevede di non modificare lo stato di fatto

3 Introduzione

Il presente elaborato ha l'obiettivo di ottimizzare l'integrazione tra produzione di energia rinnovabile e produzione agricola e zootecnica, valorizzando al contempo le potenzialità produttive del sito e il territorio circostante.

Un sistema agrivoltaico è per sua natura complesso, poiché combina aspetti energetici e agronomici. Se non progettato con attenzione, le esigenze del fotovoltaico e quelle delle colture possono entrare in conflitto: soluzioni pensate per massimizzare la captazione solare, ad esempio, possono ridurre la produttività agricola, e viceversa. Rispetto a un impianto fotovoltaico tradizionale a terra, un impianto agrivoltaico presenta quindi una maggiore variabilità nella disposizione dei moduli, nell'altezza da terra, nelle strutture di supporto e nelle tecnologie utilizzate, con l'obiettivo di ottimizzare l'interazione con le attività agricole.

Il concetto di sinergia tra pannelli fotovoltaici e uso agricolo della stessa superficie è stato introdotto già nel 1982 (Goetzberger e Zastrow, 1982) e, negli ultimi cinque anni, si è assistito a una rapida diffusione di impianti commerciali sia in Italia che all'estero (Reasoner et al., 2022).

La presenza dei moduli su suolo agricolo, dunque, non ne preclude l'utilizzo: al contrario, un impianto agrivoltaico ben progettato rappresenta un modello virtuoso capace di coniugare produzione alimentare ed energia da fonti rinnovabili.

3.1 Inquadramento territoriale

L'area interessata dal progetto agrivoltaico si trova nel Comune di Vigarano Mainarda (FE) e si estende per una superficie complessiva di 51,80 ettari. Il compendio fondiario costituisce un unico corpo aziendale, caratterizzato da continuità territoriale che consente una gestione organica e semplificata delle attività agricole anche in presenza dell'infrastruttura fotovoltaica.

Il sito è censito al N.C.T. del Comune di Vigarano Mainarda e si colloca alle coordinate 44°50'41.11" N – 11°27'16.20" E, a un'altitudine media di 8 m s.l.m.

I confini risultano così definiti: a sud con la strada statale 468, a est e a ovest con proprietà differenti, a nord con il canale Cavo Tassone. Sul lato nord sono inoltre presenti tre vasche di laminazione.

Figura 2: Area di impianto



3.2 Orografia del terreno

L'intera superficie è sita ad un'altitudine che va dai 10 m ai 7 m nella sezione N/S e 8 m nella sezione E/O, caratterizzando il sito come pianeggiante.

Figura 1: Sezione altimetrica Sud – Nord

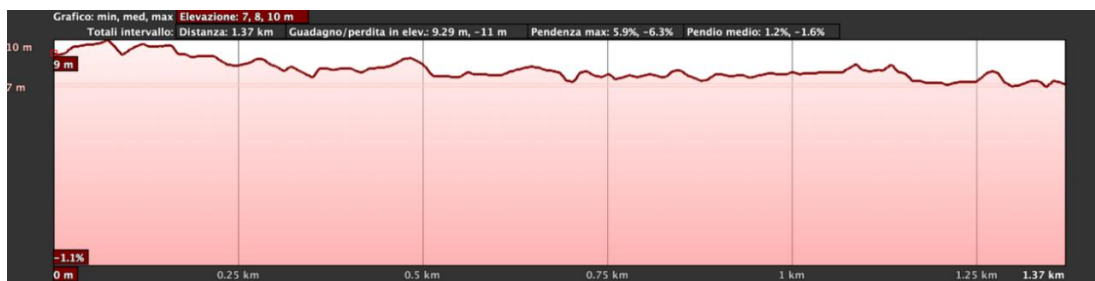
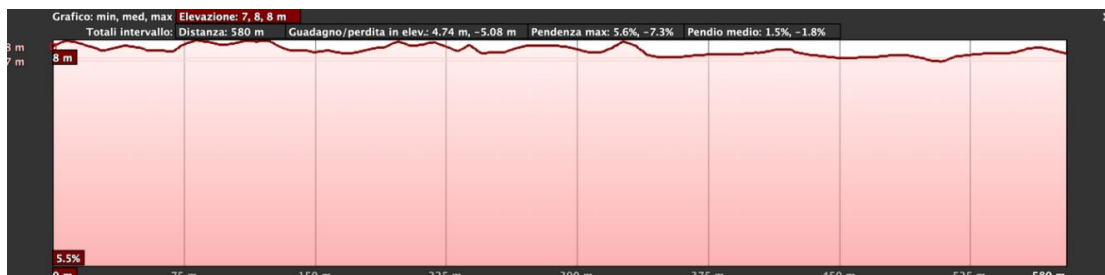


Figura 2: Sezione altimetrica Est - Ovest



3.3 Analisi del contesto

3.3.1 Territorio agrario

Il territorio agricolo di Vigarano Mainarda (FE), situato nella Pianura Padana, è una realtà di rilevante importanza per la zona, caratterizzata da coltivazioni altamente produttive e una forte vocazione verso la cerealicoltura e la coltivazione di foraggi. L'area, nelle vicinanze di Vigarano Pieve, presenta un paesaggio agrario ben organizzato, con suoli alluvionali di buona fertilità e una rete idrica sviluppata, che garantisce adeguata disponibilità d'acqua per le colture.

La cerealicoltura, in particolare frumento tenero e mais (granella e insilato), rappresenta l'attività principale sia per il mercato alimentare sia per l'alimentazione animale. Accanto ai cereali, sono diffuse colture da rotazione come leguminose da granella (soia e pisello proteico) e foraggiere poliennali (erba medica, trifoglio, miscugli da fienagione), nonché colture industriali come barbabietola da zucchero, girasole e colza, e, in misura minore, ortaggi specializzati. Negli ultimi anni si è sviluppata anche la sperimentazione di fruttiferi (melo e pero su portinnesti nanizzanti) in risposta alla diversificazione produttiva.

Il clima è temperato subcontinentale, con inverni freddi e nebbiosi e estati calde, frequenti ondate di calore e siccità. Le precipitazioni, concentrate in autunno e primavera (700–850 mm annui), richiedono irrigazione di soccorso per le colture sensibili. La pianura uniforme e l'assenza di ostacoli morfologici favoriscono un'agricoltura meccanizzata ed efficiente.

Dal punto di vista socioeconomico, l'agricoltura locale è dominata da aziende familiari di medie e grandi dimensioni, altamente specializzate e tecnologicamente avanzate, integrate nella filiera agroindustriale ferrarese (cerealicoltura, zootecnia, lattiero-caseario). La vicinanza ai centri di trasformazione e la rete logistica ben sviluppata consentono una valorizzazione efficiente dei prodotti e un presidio sostenibile del territorio.

Figura 3: Vista dall'alto del comune di Vigarano Mainarda



3.3.2 Il sistema colturale nel Comune di Vigarano Mainarda

La struttura produttiva del comune si colloca nella tradizione agricola della Pianura Padana, con predominanza di seminativi cerealicoli e foraggeri che costituiscono la maggior parte della Superficie Agricola Utilizzata (SAU).

Il frumento tenero è la coltura principale, seguito da mais da granella e insilato, orzo e altre colture cerealicole minori, destinate all'industria molitoria e al comparto zootecnico. L'elevata produttività è garantita dai suoli alluvionali e dall'irrigazione fornita dai consorzi di bonifica e dal Canale Emiliano-Romagnolo.

Accanto ai cereali, la struttura colturale comprende colture industriali e oleaginose (barbabietola da zucchero, girasole, colza, soia) e leguminose da granella (pisello proteico, favino), sia per la produzione sia come colture miglioratrici del terreno. Le colture foraggere includono erba medica, trifoglio violetto, loietto perenne e miscugli polifiti, principalmente per fieno e insilato destinati al settore zootecnico regionale. L'erba medica, per resa, valore nutrizionale e capacità di fissare azoto, costituisce un elemento cardine delle rotazioni colturali.

Le aziende agricole sono mediamente di dimensioni medio-grandi, con buona meccanizzazione e conduzione familiare. La forte specializzazione colturale si integra con l'allevamento bovino da latte, mentre sorgo e mais foraggero supportano la produzione estiva. In misura minore, il territorio ospita pioppeti per la filiera legno-energia, fruttiferi (pero e melo) su portinnesti nanizzanti, e appezzamenti orticoli irrigui per pomodoro da industria, cipolla e zucchini.

Il modello produttivo locale combina elevata produttività, diversificazione colturale e sostenibilità. Le aziende mostrano crescente attenzione alle colture leguminose e foraggere miglioratrici, all'uso efficiente dell'irrigazione e a tecniche agronomiche conservative, in linea con le politiche di sviluppo rurale e la domanda di sostenibilità delle filiere agroalimentari.

Figura 6: Mosaico colturale nei dintorni dell'area di progetto



4 Stato di fatto

L'area è costituita da un unico lotto di forma poligonale ed è regolarmente coltivato a seminativo/foraggiere in rotazione.

4.1 Coltivazioni presenti

L'ordinamento colturale dell'area oggetto di intervento è un sistema convenzionale a indirizzo misto cerealicolo-foraggero, organizzato in rotazioni annuali che alternano colture autunno-vernine e primaverili, finalizzate alla produzione di granella e foraggi.

Nel ciclo autunno-invernale, la coltura principale è il frumento tenero (*Triticum aestivum*), destinato alla produzione di granella per trasformazione molitoria. La coltivazione prevede lavorazioni anticipate del terreno, semina nei tempi ottimali, concimazioni azotate in copertura e diserbo selettivo. Il frumento, a basso fabbisogno idrico, si adatta bene alle condizioni pedoclimatiche locali.

Nel periodo primaverile-estivo, quando è disponibile irrigazione, viene coltivato il mais (*Zea mays*), destinato principalmente a trinciato da insilato per finalità zootecniche. La gestione agronomica include l'impiego di ibridi adatti alla destinazione insilabile, fertilizzazione organo-minerale bilanciata e irrigazione calibrata sulle fasi fenologiche critiche, con l'obiettivo di massimizzare le rese foraggere.

Accanto alle colture cerealicole, l'ordinamento comprende erba medica annuale (*Medicago sativa var. annua*), coltura foraggera da rinnovo per la produzione di fieno. La medica annuale ha elevato valore nutritivo per i ruminanti e contribuisce alla fertilità del suolo tramite fissazione dell'azoto atmosferico. Viene sfalciata più volte durante l'anno, con utilizzo finale come fieno essiccato o insilato.

Nel complesso, l'ordinamento colturale assicura un'alternanza equilibrata tra colture estensive e foraggiere, garantendo stabilità produttiva, miglioramento del bilancio organico del suolo e buona resilienza climatica. Pur secondario rispetto alla cerealicoltura, l'indirizzo foraggero riveste un ruolo importante nell'economia aziendale, contribuendo alla diversificazione colturale e alla sostenibilità delle rotazioni.

Figure 7: Area di progetto – stato di fatto

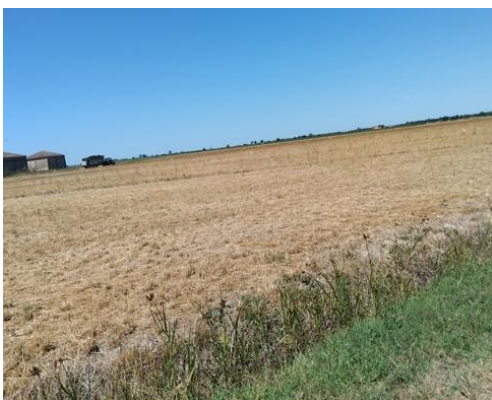


Figure 8: Area di progetto – stato di fatto



Figure 9: Area di progetto – barriere vegetali



Figure 10: Area di progetto – barriere vegetali



4.2 Analisi dei punti di prelievo dell'acqua

Il sito destinato all'intervento agrivoltaico si trova in un'area agricola della pianura ferrarese dotata di un'ampia infrastruttura idraulica. L'area è servita da una fitta rete di canali consortili e fossati di scolo lungo i margini poderali, collegati alla rete gestita dal Consorzio di Bonifica della Pianura di Ferrara, tra cui il canale Cavo Tassone a nord dell'area di progetto.

Questa configurazione consente un facile accesso alla risorsa idrica per l'irrigazione, senza necessità di opere di adduzione particolarmente complesse. Lungo i confini aziendali sono presenti canali secondari e collettori minori che permettono la realizzazione di punti di prelievo, eventualmente supportati da sistemi di pompaggio.

La vicinanza al reticolo di bonifica rappresenta un valore strategico, permettendo di fronteggiare rapidamente eventuali deficit idrici nei mesi estivi, caratterizzati da scarse precipitazioni e alte temperature. La disponibilità d'acqua consente l'attivazione di impianti di irrigazione di soccorso durante annate siccitose e favorisce la coltivazione di specie a maggiore fabbisogno idrico, contribuendo alla resilienza del sistema produttivo. In questo modo, la continuità delle produzioni agricole è assicurata anche in scenari climatici con forte variabilità pluviometrica, rafforzando la stabilità economica e agronomica del territorio.

Figura 11: Canale consortile presente sul sito



Figura 12: Canale consortile presente sul sito



5 Analisi territoriale e climatica

L'analisi del contesto agroambientale territoriale è strettamente legata alle caratteristiche morfo-pedologiche, climatiche e idrologiche dell'area di progetto. Di seguito, si riportano in dettaglio le varie analisi eseguite sui diversi capitoli di interesse, volte a verificare le condizioni pedo-climatiche insistenti nell'area di progetto e darne conseguentemente una caratterizzazione puntuale necessaria per proseguire in un'attenta progettazione della conduzione agronomica.

5.1 Clima e fitoclima

La seguente analisi eseguita a carattere regionale ha la funzione di inquadramento dell'areale oggetto di intervento, evidenziando le principali caratteristiche climatiche, fitoclimatiche e pluviometriche. Nella fattispecie, i dati ottenuti, possono trasferire informazioni fondamentali per la conoscenza delle specie vegetali adattabili all'areale, ed alle caratteristiche climatiche in ottica di gestione di questi fattori per un efficientamento della produzione agricola.

5.1.1 Clima

Il clima di Vigarano Mainarda, nella pianura ferrarese dell'Emilia-Romagna, è temperato subcontinentale, tipico della Pianura Padana orientale, con inverni rigidi e umidi ed estati calde, afose e siccitose. Le medie di gennaio sono tra 2 e 3 °C, con frequenti gelate notturne che possono danneggiare le colture autunno-vernine, mentre in luglio le medie oscillano tra 24 e 26 °C, con picchi fino a 32–34 °C, accompagnati da afa e stress idrico per le colture estive.

Le precipitazioni medie annue sono 700–850 mm, concentrate in primavera e autunno, con estati piovose scarse (25–30 mm mensili), rendendo necessaria l'irrigazione di soccorso per mais, soia, orticole e foraggiere di secondo taglio. L'umidità relativa raggiunge 85–90% in inverno e scende al 50–55% in estate. I giorni piovosi mediamente sono 6–8 al mese in primavera e autunno, 1–3 in estate, spesso associati a temporali brevi. La radiazione solare è buona: 13–14 ore medie giornaliere in luglio e 6–7 ore in inverno, sufficienti per sostenere le colture cerealicole e foraggiere.

In sintesi, il clima consente un'agricoltura intensiva e razionale, basata su seminativi e foraggiere, integrata da irrigazione e rotazioni equilibrate, con radiazione solare estiva e suoli fertili che permettono produzioni elevate.

Figura 13: Tabella climatica Vigarano Mainarda

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	3.7	5.2	9.6	13.8	18.6	23.5	25.9	25.4	20.3	15.4	9.8	4.5
Temperatura minima (°C)	0.2	0.9	4.4	8.5	13	17.6	20.2	19.9	15.6	11.6	6.6	1.4
Temperatura massima (°C)	8.1	10.2	15	19	23.8	28.8	31.2	30.7	25.3	19.9	13.8	8.6
Precipitazioni (mm)	43	57	59	79	79	70	64	67	78	79	82	57
Umidità(%)	84%	77%	71%	69%	64%	59%	55%	58%	66%	75%	82%	85%
Giorni di pioggia (g.)	5	5	5	8	7	7	6	7	7	7	7	6
Ore di sole (ore)	4.6	5.9	7.7	9.4	11.3	12.5	12.5	11.3	9.3	6.2	4.9	4.3

Data: 1991 - 2021 Temperatura minima (°C), Temperatura massima (°C), Precipitazioni (mm), Umidità, Giorni di pioggia. Data: 1999 - 2019: Ore di sole

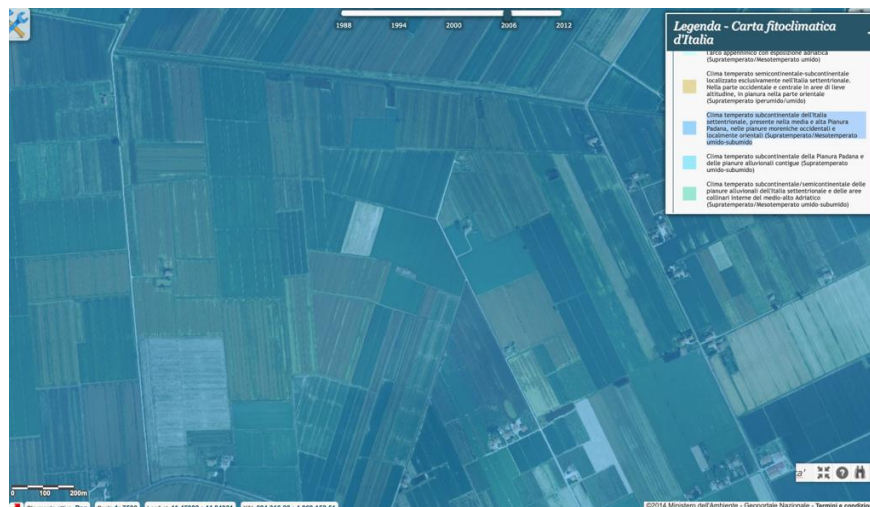
5.1.2 Fitoclima

L'area ricade in un fitoclima temperato subcontinentale della media e alta Pianura Padana, classificato come supratemperato/mesotemperato umido-subumido. Caratterizzato da forti escursioni termiche stagionali, inverni freddi con gelate e nebbie, estati calde e afose, precipitazioni irregolari e buona radiazione estiva. L'influenza mitigatrice del mare è minima, mentre la pianura favorisce inversioni termiche e persistenza del freddo in inverno.

Le temperature medie annuali sono tra 12–14 °C, con minimi sotto 0 °C in gennaio-febbraio e massimi estivi oltre 32–34 °C. Le precipitazioni annue variano tra 700–1.100 mm, con picchi in primavera e autunno; estate e inverno hanno minori apporti pluviometrici. La nebulosità invernale e le nebbie limitano la radiazione disponibile, rallentando lo sviluppo delle colture. L'umidità relativa è generalmente 60–85%, con stress idrico estivo che richiede irrigazione.

Dal punto di vista agronomico, il clima richiede gestione attenta di rotazioni, apporto idrico e lavorazioni del suolo. Colture cerealicole, foraggere e industriali (*frumento, mais, erba medica, soia, barbabietola, girasole, colza*) si adattano bene se gestite con tecniche conservative. Anche le colture arboree (*pero, melo, vite, actinidia*) prosperano, pur essendo sensibili a ritorni di freddo e colpi di calore estivi.

Figura 14: Estratto della carta del Fitoclima d'Italia



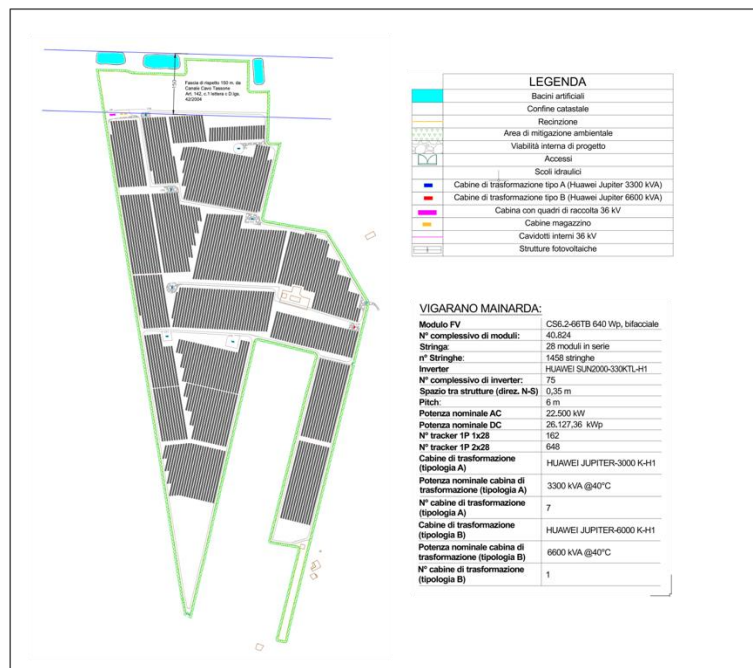
6 Progetto agronomico

Il progetto agronomico si basa sul principio di integrare la produzione di energia elettrica con quella agricola in modo sostenibile per entrambi i sistemi. L'uso di tracker monoassiali consente una maggiore efficienza energetica e, dal punto di vista agricolo, un ombreggiamento ottimale delle colture, riducendo il fabbisogno idrico e migliorando la qualità e quantità della produzione vegetale. Nella scelta delle colture, si è considerata la scarsità di pronubi e la bassa biodiversità presenti sul sito, privilegiando specie in grado di incrementare entrambe.

6.1 Layout dell'impianto

Al fine di dimostrare la piena compatibilità tra la presenza dell'impianto fotovoltaico e lo svolgimento continuativo dell'attività agricola, si riportano di seguito le principali caratteristiche tecnico-strutturali dell'impianto, con particolare attenzione agli spazi di manovra, alle altezze libere dal suolo e alla distanza tra le file dei moduli (pitch), elementi determinanti per la corretta meccanizzazione delle pratiche colturali.

Figura 17: Layout generale dell'impianto



L'impianto agrivoltaico è stato progettato seguendo criteri di integrazione agricola avanzata, in conformità alle Linee Guida MASE. La distanza tra le file (pitch) è pari a 6 metri, corrispondente all'interasse tra due strutture portanti adiacenti. All'interno di questo spazio, l'interfilare utile netto misura 3,60 metri,

costituendo il corridoio minimo praticabile dai mezzi agricoli. Tale configurazione consente il transito agevole di trattori compatte con carreggiata regolabile e attrezzature portate o trainate, senza compromettere la stabilità delle lavorazioni né ostacolare operazioni di sfalcio, semina o raccolta.

L'altezza libera dal suolo alla parte inferiore dei moduli fotovoltaici è di 3,0 metri anche in posizione di tilt 0°, valore sufficiente per consentire l'uso di trattori cabinati e attrezzature a sviluppo verticale contenuto. La carreggiata utile minima, pari a 3,62 metri, si verifica nelle ore centrali della giornata, quando i moduli sono in posizione orizzontale con il sole allo zenit; nel resto della giornata, l'inclinazione dei tracker aumenta lo spazio tra le file fino a 4-4,5 metri. Questo incremento laterale migliora sensibilmente le condizioni operative durante tutte le fasi colturali, soprattutto nelle manovre di inversione o nello svolgimento di attrezzature.

In relazione alla geometria dell'impianto e alle macchine agricole previste, il raggio di sterzata operativo minimo è pari a 4,5 metri, compatibile con i mezzi specializzati e idoneo alla manovrabilità tra le testate e all'interno dei corridoi produttivi. Tutti questi elementi concorrono a definire una struttura impiantistica che permette lo svolgimento continuo e funzionale delle attività agricole, sia per colture erbacee da foraggio sia per eventuali rotazioni cerealicole o colture a basso impatto. La progettazione ha quindi garantito fin dall'inizio l'accessibilità dei mezzi agricoli in ogni fase del ciclo produttivo, evitando interferenze tra le strutture dei pannelli e le operazioni in campo.

6.2 Definizione del piano colturale

Il piano colturale è stato definito considerando sia la resa economica sia i benefici ambientali del sistema agrivoltaico, con particolare attenzione al potenziale nettario per gli insetti impollinatori. L'equilibrio tra produttività agricola ed energetica si realizza mediante fasce perimetrali di piante mellifere e arbusti, affiancate dalla coltivazione di foraggere sotto i pannelli fotovoltaici.

L'impianto, grazie all'altezza dei pannelli e alla larghezza tra le file, permette la conduzione agricola su tutta l'area. Il parziale ombreggiamento riduce l'evapotraspirazione, migliora l'umidità del suolo e protegge le colture dallo stress termico.

L'esposizione solare è fondamentale per la fotosintesi: mentre i pannelli fotovoltaici possono adattare la radiazione assorbita, le piante dipendono dai pigmenti fotosintetici, quindi non modificabili. L'orientamento monoassiale dei moduli mantiene la posizione perpendicolare ai raggi solari, creando ombre variabili che riducono lo stress idrico nei periodi più caldi.

Studi scientifici (Hassanpour Akeh et al., 2018) hanno confermato questi benefici: tramite stazioni microclimatiche e sonde per l'umidità del suolo, si è osservato che le aree sotto i pannelli mantengono maggiore umidità, incrementano la biomassa (+90%) e risultano più efficienti dal punto di vista idrico (+328%).

6.3 Valutazione delle caratteristiche ambientali

La scelta delle colture ha tenuto conto delle seguenti condizioni pedoclimatiche e morfologiche:

- Regolarità topografica e assenza di pendenze significative: il terreno pianeggiante consente lo svolgimento agevole di pratiche agricole meccanizzate;
- Tessitura e profondità del suolo: suoli di tessitura media, con buona profondità utile e discreta dotazione di sostanza organica;
- Disponibilità irrigua costante: garantita sia dalle reti irrigue aziendali sia da quelle comprensoriali;
- Clima temperato subcontinentale: caratterizzato da estati calde e asciutte e precipitazioni concentrate in autunno e primavera, ideale per colture erbacee a ciclo annuale o pluriennale.

6.4 Obiettivi agronomici e ambientali

La coltura da adottare sotto impianto è stata scelta per raggiungere i seguenti obiettivi:

- Contenimento dell'erosione superficiale: attraverso la presenza di una copertura vegetale stabile e continua;
- Miglioramento della fertilità del suolo: mediante specie che contribuiscano al bilancio azotato e alla struttura del terreno;
- Valorizzazione agricola a medio-lungo termine: con colture economicamente sostenibili e compatibili con le filiere locali;
- Compatibilità con l'impianto fotovoltaico: limitando i passaggi meccanici e riducendo le interferenze tra attività agricole e manutenzione impiantistica;
- Minimizzazione degli input tecnici: in particolare fitofarmaci, a favore della sostenibilità complessiva dell'intervento;
- Incremento della biodiversità funzionale: creando habitat favorevoli per insetti impollinatori e altre specie utili.

6.5 Scelta delle specie vegetali

In linea con i criteri tecnici definiti, si è optato per una rotazione colturale basata sull'alternanza tra erba medica (*Medicago sativa* L.) e miscugli foraggeri annuali a base di graminacee e leguminose, modulata secondo la disponibilità idrica del sito. Questa strategia consente di conciliare esigenze agronomiche, ambientali e funzionali, garantendo continuità della copertura del suolo, produttività agricola e compatibilità con l'impianto agrivoltaico.

- Erba medica: specie pluriennale, altamente adattabile anche a parziale ombreggiamento, rappresenta la coltura principale.
- Erbai annuali polifiti: composti da avena, loietto, veccia e trifoglio, svolgono funzioni rigenerative, limitano le infestanti e garantiscono flessibilità nei periodi di transizione colturale.

Sono previste due tipologie di rotazione in funzione della disponibilità idrica:

- Condizioni irrigue: cicli pluriennali di erba medica con 3–4 sfalci annui, intervallati da miscugli annuali a bassa esigenza in input. La rotazione si articola in blocchi quadriennali di medica seguiti

da un anno di miscuglio foraggero, assicurando produttività e continuità per tutta la durata dell'impianto;

- Condizioni non irrigue: cicli più brevi di medica e maggiore ricorso a erbai annuali, alternando fasi produttive brevi (1–2 anni) con colture rigenerative di copertura e ristabilimento della fertilità. L'erba medica viene coltivata in parcelle selezionate su suoli più profondi e strutturati.

Questa doppia impostazione consente una gestione flessibile e sostenibile, adattabile alle variazioni climatiche annuali, favorendo la fertilità del suolo, la riduzione degli input esterni e la promozione della biodiversità agraria. L'alternanza tra colture miglioratrici e coperture annuali preserva la funzionalità ecologica dell'agroecosistema e ottimizza le rese foraggere, anche in presenza di ombreggiamenti parziali dovuti ai pannelli fotovoltaici.

6.6 Descrizione delle specie e delle cure colturali

L'assetto colturale previsto nell'ambito dell'impianto agrivoltaico si fonda sull'alternanza programmata di due gruppi principali di colture erbacee: le leguminose perenni, con particolare riferimento all'erba medica, e i miscugli foraggeri annuali a base di graminacee e leguminose. La scelta di queste specie risponde a criteri di adattabilità pedoclimatica, compatibilità agronomica con le strutture fotovoltaiche, efficienza agraria e sostenibilità ambientale. Entrambe le tipologie contribuiscono alla funzionalità dell'agroecosistema agrivoltaico, assicurando la copertura vegetale permanente, la fertilità dei suoli e la produttività foraggera, con benefici anche sul piano ecologico (incremento della biodiversità, regolazione del microclima, sequestro del carbonio organico).

L'assetto colturale prevede l'alternanza di due principali gruppi di colture erbacee:

- Leguminose perenni: in particolare erba medica, scelta per la capacità di migliorare fertilità, copertura del suolo e compatibilità con l'impianto;
- Miscugli foraggeri annuali: a base di graminacee e leguminose, selezionati per rapidità di crescita, adattabilità e valore foraggero.

Entrambi i gruppi contribuiscono alla funzionalità dell'agroecosistema, garantendo copertura permanente, produttività foraggera e benefici ecologici, come incremento della biodiversità, regolazione microclimatica e sequestro di carbonio organico.

6.6.1 Erba medica (*Medicago sativa* L.)

6.6.1.1 Descrizione botanica

- Leguminosa erbacea perenne della famiglia delle Fabaceae, originaria dell'Asia sud-occidentale e diffusa nei climi temperati;
- Emicriptofita cespitosa, con apparato radicale fittonante che può raggiungere 2–3 m nei suoli sciolti, tollerante alla siccità e capace di rigenerarsi dopo lo sfalcio;
- Fusto eretto o semieretto, 30–90 cm, ramificato apicalmente, spesso pubescente;
- Foglie trifogliate con foglioline obovate e margine dentellato; infiorescenza a racemo con 10–30 fiori papilionacei blu-violetti, talvolta gialli o bianchi; frutto legume spiralato con 1–8 semi;

- Azotofissatrice tramite simbiosi con *Rhizobium meliloti*, migliora il bilancio azotato del suolo; eliofila, tollera ombreggiamenti moderati, adatta a sistemi agrivoltaici.

Figura 18: Erba medica



Figura 19: Erba medica



6.6.1.2 Cure colturali

- Preparazione del terreno: lavorazione profonda (30–40 cm) e affinamento superficiale per ridurre la zollosità;
- Semina: autunno (settembre) o primavera (marzo-aprile), 20–30 kg/ha, a file ravvicinate o pieno campo;
- Controllo infestanti: sfalci anticipati nel primo anno, diserbo meccanico tra le file, eventuale erbicidio selettivo in pre-emergenza;
- Irrigazione: localizzata o a scorrimento in periodi di siccità, con priorità a germinazione e primo ricaccio;
- Sfalcio: 2–4 tagli annui, stadio gemmazione/inizio fioritura, influenzano qualità foraggera e durata cotico;
- Durata ciclo: 2–4 anni, con calo produttivo oltre il terzo anno.

6.6.2 Miscugli foraggeri annuali (graminacee + leguminose)

6.6.2.1 Descrizione botanica

Combinazione di Poaceae e Fabaceae selezionate per rapidità di accrescimento, rusticità, adattabilità al suolo e valore foraggero;

- Graminacee: *Avena sativa*, *Lolium multiflorum*, *Hordeum vulgare*, *Sorghum bicolor*;
- Leguminose: *Vicia sativa*, *Trifolium incarnatum*, *Pisum sativum* var. *arvense*, *Vicia faba* var. *minor*.

6.6.2.2 Cure colturali

- Preparazione del terreno: minima lavorazione o affinamento leggero, mantenendo l'umidità alla semina;
- Semina: autunno (settembre-ottobre) per erbai invernali, primavera (marzo-aprile) per erbai estivi, 100–130 kg/ha;
- Concimazione: limitata o assente per le leguminose, possibile apporto di fosforo e potassio, azoto escluso;
- Irrigazione: gestite prevalentemente in asciutta, irrigazioni possibili in accrescimento rapido se compatibili;
- Sfalcio: unico o doppio, allo stadio di inizio fioritura delle graminacee;
- Destinazione agronomica: fieno, insilato, sovescio o rigenerazione del cotico erboso.

I miscugli annuali rappresentano una componente dinamica e adattabile del piano colturale, favorendo rigenerazione del suolo, gestione delle infestanti, apporto organico e diversificazione botanica, contribuendo al mantenimento della fertilità chimica e microbiologica e alla resilienza complessiva del sistema agrivoltaico.

6.7 Sovrapposizione impianto fotovoltaico e attività agricola

L'impianto agrivoltaico presenta un'altezza minima da terra di 3,0 metri e interfilari di 4,0 metri. La progettazione ha previsto un'attenta valutazione della meccanizzazione delle operazioni agricole, considerando i vincoli imposti dai moduli su tracker monoassiali.

In posizione neutra (tilt 0°, pannelli paralleli al terreno), la carreggiata libera misura 3,20 metri, sufficiente per il passaggio delle macchine agricole, soprattutto nelle ore centrali della giornata, quando le ombre sono minime. Durante il resto della giornata, l'angolo dei pannelli aumenta lo spazio tra le file fino a 4–4,5 metri, migliorando la praticabilità e la sicurezza delle lavorazioni.

Questa flessibilità dimensionale consente una gestione efficiente delle colture foraggere poliennali e da fienagione, come Medicago sativa e miscugli graminaceo-leguminosi. La scelta delle attrezzature è stata quindi orientata a criteri di compattezza, maneggevolezza e polivalenza, garantendo la piena operatività dell'area anche in presenza dei pannelli fotovoltaici.

6.7.1 Tipologia di trattore agricolo adottato

Per le operazioni colturali previste nell'area agrivoltaica si prevede l'impiego di trattori agricoli compatti a carreggiata ridotta, appartenenti alla categoria dei trattori specializzati di gamma media (100–135 CV), caratterizzati da:

- Cabina ribassata con altezza complessiva inferiore a 2,60 metri, compatibile con il franco disponibile sotto ai moduli fotovoltaici;

- Carreggiata regolabile tra 1,70 e 2,10 metri, adattabile a seconda dell'attrezzatura impiegata;
- Predisposizione per guida assistita GPS/RTK, al fine di ottimizzare i passaggi e ridurre i calpestamenti del terreno;
- Raggio di sterzata contenuto e articolazioni compatte, per operare agevolmente anche in aree con limitato spazio di manovra;
- Sollevatore anteriore e posteriore con distributori idraulici multipli, per consentire l'uso simultaneo di attrezzature frontali e retroportate.

Questa tipologia di trattore è stata selezionata per la sua versatilità, la piena compatibilità con l'ambiente dell'impianto agrivoltaico e la capacità di operare con precisione in spazi condizionati, minimizzando il rischio di urto con le strutture portanti del sistema fotovoltaico.

6.7.2 Attrezzature agricole e larghezze operative

Le attrezzature destinate alla gestione del cotico erboso, delle fienagioni e delle eventuali risemine autunnali o primaverili sono state scelte per garantire:

- Larghezza operativa massima pari a 4,0 metri, coerente con la geometria dei filari;
- Sistema di chiusura idraulico, utile per il trasporto su strada e per le manovre tra i moduli;
- Peso contenuto, per limitare il compattamento del suolo, particolarmente importante nelle zone ombreggiate, dove l'attività biologica del terreno può risultare rallentata.

Le operazioni di taglio del foraggio verranno eseguite con falciatrici trainate o portate, a dischi o a tamburo, mentre per l'andatura e la ranghinatura si utilizzeranno girelli a larghezza ridotta o voltatori rotanti in versione compatta.

6.7.3 Raccolta e logistica

Per la raccolta e lo stoccaggio del foraggio si prevede l'utilizzo di rotoballe di diametro contenuto, comprese tra 1,30 e 1,50 metri, un compromesso ideale tra:

- Efficienza logistica, consentendo maggiore quantità di prodotto per unità di trasporto;
- Facilità di movimentazione con carrelli a basso profilo;
- Compatibilità con lo spazio disponibile sotto le strutture fotovoltaiche;
- Minore compattamento del terreno, grazie a tempi di transito più rapidi e a un numero ridotto di passaggi.

Le rotoballe verranno stoccate temporaneamente in punti di raccolta laterali, al di fuori dell'area ombreggiata, per poi essere trasferite mediante carrelli a pianale ribassato compatibili con le dimensioni del campo fotovoltaico.

Tabella 4: Esempio di parco macchine compatibile con l'impianto AgriFV

Fase colturale	Attrezzatura	Marca / Modello	Larghezza utile	Note operative
Tutte	Trattore compatto ad alte prestazioni	Fendt 211 Vario Profi+	1,70 – 2,10 m	Ideale per spazi ristretti, trasmissione continua, guida automatica, cabina comfort
Semina	Seminatrice pneumatica a righe larghe	Gaspardo Aliante 400 Special	4,0 m	Adatta a foraggiere; semina uniforme; predisposta per tramline
Sfalcio del foraggio	Barra rotativa con condizionatore	Kuhn FC 3160 TLD (regolata)	4,0 m	Barra trainata con condizionamento a rulli; altezza di lavoro regolabile
Andanatura	Andanatore a rotore doppio, andana centrale	Fella Juras 7850 (regolato)	4,0 m	Regolabile in larghezza, adattabile a quantità di prodotto e larghezza passaggi
Imballaggio	Rotopressa compatta a camera variabile	CLAAS Rollant 455 Uniwrap	–	Produzione rotoballe da 1,25–1,35 m Ø, film+rete, compatta per passaggi stretti
Movimentazione balle	Caricatore frontale + rimorchio a pianale stretto	Stoll FZ 10.1 + Pronar T022	–	Carico agevole sotto i pannelli, altezza operativa ridotta, massima maneggevolezza

6.8 Fascia di mitigazione

La fascia di mitigazione prevede la messa a dimora di una siepe continua di Ligustro (*Ligustrum vulgare* L.), scelta per la rapida crescita, il fogliame persistente e la capacità di costituire una barriera visiva efficace durante tutto l'anno.

Sul lato esterno, rivolto verso l'ambiente circostante, saranno collocati arbusti autoctoni di varie tipologie, selezionati tra le specie tipiche della vegetazione locale. Questo intervento favorisce la biodiversità, richiama l'identità vegetazionale del paesaggio e migliora l'inserimento ambientale dell'impianto. La progettazione risponde quindi a un duplice obiettivo: garantire una schermatura immediata e continua grazie al ligustro, e promuovere un'integrazione ecologica e visiva mediante arbusti autoctoni, creando al contempo habitat favorevoli alla fauna locale e migliorando la qualità ecologica dell'area.

Di seguito vengono illustrate le specie selezionate, insieme alle cure colturali e alle pratiche di gestione e mantenimento.

6.8.1 Ligustro (*Ligustrum vulgare* L.)

Il *Ligustrum vulgare* L., o ligustro europeo, appartiene alla famiglia delle Oleaceae. È un arbusto rustico, semi sempreverde o deciduo a seconda delle condizioni climatiche, diffuso in tutta Europa dal livello del mare fino a quote collinari e montane. In Italia è presente in quasi tutte le regioni, ai margini di boschi, in siepi naturali o ambienti agricoli, ed è largamente utilizzato per siepi rustiche, schermature e barriere verdi.

Tabella 5: Caratteristiche tecniche Ligustro

Tematica	Descrizione
Habitus e portamento	Il ligustro si presenta come un arbusto a crescita rapida, molto ramificato, con portamento eretto e compatto, in grado di raggiungere i 3–4 metri di altezza e circa 2–3 metri di larghezza. La ramificazione è fitta e tendenzialmente basale, condizione che lo rende particolarmente adatto alla formazione di siepi dense. In assenza di potatura, tende ad assumere un portamento più espanso e naturale, mentre con regolari interventi di contenimento mantiene un profilo definito e ordinato.
Foglie	Le foglie del <i>Ligustrum vulgare</i> sono semplici, opposte, lanceolate od ovato-lanceolate, con margine intero, lunghe tra 2 e 6 cm e larghe circa 1–2 cm. La superficie è liscia, glabra e di colore verde scuro nella pagina superiore, più chiara in quella inferiore. In climi miti la pianta mantiene parte del fogliame anche in inverno, assumendo comportamento semi sempreverde.
Fiori	La fioritura avviene tra maggio e luglio. I fiori, piccoli (3–5 mm), bianchi e profumati, sono riuniti in pannocchie terminali piramidali lunghe 3–6 cm. La fioritura, pur modesta dal punto di vista ornamentale, è molto gradita agli insetti impollinatori, in particolare api e sirfidi, grazie alla produzione di nettare. I fiori sono ermafroditi e impollinati principalmente da insetti (entomofilia) garantendo quindi un miglioramento della biodiversità nell'areale.
Frutti e semi	I frutti sono drupe nere lucide, rotondeggianti, di circa 6–8 mm di diametro, che maturano in autunno e persistono a lungo sulla pianta, anche durante l'inverno. Contengono generalmente due semi. I frutti non sono commestibili per l'uomo ma rappresentano una fonte alimentare per la fauna selvatica, in particolare uccelli passeriformi, che contribuiscono alla disseminazione.
Apparato radicale	Il <i>Ligustrum vulgare</i> sviluppa un apparato radicale fittonante nei primi anni di vita, che evolve successivamente in un sistema più espanso e superficiale, particolarmente adattabile a suoli compatti o di medio impasto. Mostra buona tolleranza al calpestio, alla competizione radicale e agli stress idrici, purché non si tratti di ristagni idrici prolungati.
Adattabilità al clima locale	Il ligustro è una delle specie arbustive più adatte al contesto climatico della pianura padana emiliana, inclusa l'area di Vigarano Mainarda, dove è in grado di tollerare escursioni termiche marcate, frequenti gelate invernali (fino a –15 °C) e periodi di siccità estiva. Predilige esposizioni soleggiate o a mezz'ombra, ma si adatta anche a situazioni più ombreggiate, mantenendo una discreta vigoria vegetativa. I suoli ideali sono di medio impasto, ben drenati, con pH neutro o subalcalino, ma la specie si adatta anche a substrati argillosi, calcarei o moderatamente

Tematica	Descrizione
	compattati. Tollerante alla salinità e all'inquinamento atmosferico, è frequentemente impiegato anche in contesti suburbani o lungo infrastrutture viarie. A differenza dell'alloro, non teme le gelate prolungate ed è quindi più adatto come pianta strutturale nelle fasce di mitigazione agrarie in ambito padano.

6.8.1.1 Cure colturali nei primi anni di impianto

Per garantire un corretto attecchimento e sviluppo iniziale del ligustro, si raccomandano le seguenti pratiche:

- Preparazione del terreno: lavorazione profonda (30–40 cm) con affinamento superficiale e apporto di compost maturo o stallatico per favorire l'attecchimento iniziale.
- Sesto d'impianto: distanze di 60–70 cm tra piante su una singola fila, o 70–90 cm tra file alternate in impianti a doppia fila, per ottenere una siepe compatta.
- Irrigazione: nei primi due anni irrigazioni regolari nei mesi più caldi, con frequenza settimanale o bisettimanale in funzione del clima.
- Controllo delle infestanti: pacciamatura con cippato, paglia o teli biodegradabili per ridurre la competizione radicale.
- Concimazione: apporto annuale a fine inverno di compost o concime organico pellettato, eventualmente integrato con fosforo e potassio per stimolare l'apparato radicale.

6.8.1.2 Gestione e mantenimento delle siepi alte 3 metri

Per la gestione delle siepi mature, è fondamentale curare potatura, concimazione e irrigazione:

- Potatura di formazione (primi 3 anni): leggere cimature a fine inverno per stimolare la ramificazione e l'infoltimento della base.
- Potatura di mantenimento: una volta raggiunta l'altezza di 2,5–3 metri, potatura annuale a fine inverno per contenere lo sviluppo verticale e mantenere la forma compatta, accompagnata da una cimatura estiva (luglio) per limitare i ricacci.
- Concimazione di mantenimento: apporto organico annuale integrato da fertilizzanti a lenta cessione (300–400 g/pianta) per favorire la persistenza vegetativa.
- Irrigazione in età adulta: generalmente non necessaria, salvo estati molto siccitose o su suoli poveri o sabbiosi.

6.8.2 Arbusti

Per una mitigazione paesaggistica efficace e duratura nella pianura emiliana orientale, la fascia perimetrale sarà arricchita con arbusti autoctoni e naturalizzati. Le specie sono selezionate per la loro adattabilità ai suoli alluvionali di medio impasto, la resistenza agli stress climatici (siccità estiva, gelate invernali) e la compatibilità con un sistema a bassa manutenzione. Tutte le specie individuate sono presenti o naturalizzate nel bacino padano e sono incluse nell'elenco fornito dal comune di Vigarano Mainarda. Questi arbusti

contribuiscono a valore ecologico, rusticità, funzioni ornamentali stagionali e integrazione paesaggistica con la siepe principale di ligustro.

Tra le specie individuate figurano:

Tabella 6: Caratteristiche tecniche degli arbusti selezionati

Specie	Descrizione
Prunus spinosa	Comunemente noto come prugnolo, arbusto spinoso tipico delle siepi agrarie tradizionali, capace di raggiungere i 3–4 metri di altezza. Produce in primavera una fioritura abbondante di piccoli fiori bianchi, molto graditi agli insetti impollinatori, seguita da drupe scure utilizzate dalla fauna selvatica e, in parte, anche dall'uomo in ambito tradizionale (liquori, conserve). La sua rusticità e capacità di sviluppare fitte barriere lo rendono ideale per funzioni di rifugio e protezione faunistica.
Corylus avellana,	Chiamato anche nocciolo comune è un arbusto vigoroso che può assumere anche forma arborea, caratterizzato da rami flessibili e da una fioritura precoce con amenti gialli tra fine inverno e inizio primavera. Oltre al valore paesaggistico, il nocciolo contribuisce alla biodiversità con la produzione di nocciole, fonte alimentare per numerose specie di uccelli e piccoli mammiferi.
Cornus mas	Nota come corniolo maschio, arbusto o piccolo albero che raggiunge i 3–4 metri di altezza, caratterizzato da fioriture gialle molto precoci (tra fine inverno e inizio primavera) e da drupe rosse commestibili in estate, apprezzate sia dalla fauna sia in ambito alimentare tradizionale. La resistenza a freddo e siccità lo rende particolarmente adatto ai contesti agricoli della pianura.
Rhamnus cathartica	Detto anche spincervino, arbusto spinoso che si inserisce perfettamente nelle siepi miste grazie alla sua rusticità. Fiorisce tra maggio e giugno con piccoli fiori verdastri melliferi e produce drupe scure gradite alla fauna selvatica. La sua presenza contribuisce a incrementare l'eterogeneità strutturale della fascia e ad arricchire le opportunità trofiche e di rifugio.
Viburnum opulus	Comunemente chiamato pallon di maggio, arbusto ornamentale e spontaneo nei contesti umidi della pianura padana, capace di offrire valore estetico grazie alle infiorescenze bianche globose primaverili e alle bacche rosse autunnali, molto apprezzate dall'avifauna. Le foglie assumono inoltre tonalità accese in autunno, arricchendo la varietà cromatica della fascia di mitigazione.

Figura 20: Rappresentazione grafica della fascia di mitigazione



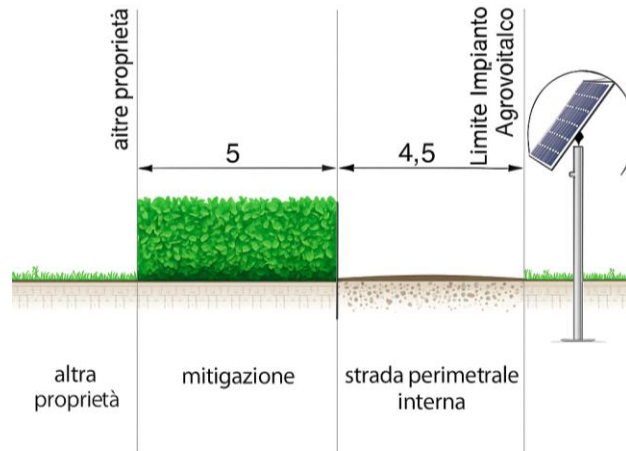
6.9 Layout della fascia di mitigazione

Secondo la planimetria progettuale, la fascia di mitigazione si colloca tra il limite catastale della proprietà e la recinzione dell'impianto, con una larghezza complessiva di 5 metri. La fascia sarà strutturata su due strati vegetazionali: una siepe arbustiva principale verticale e una fascia arbustiva secondaria, più libera e naturaliforme.

Nella porzione interna, adiacente alla recinzione, sarà realizzata una siepe continua di *Ligustrum vulgare*, rustica e adatta al clima continentale padano, in grado di raggiungere circa 3 metri di altezza, tollerante al freddo e resistente alla siccità estiva. Il sesto d'impianto previsto è di 70–80 cm tra le piante lungo la fila, configurazione monofilare, che consente di ottenere una barriera vegetale compatta in 2–3 anni e facilita gli interventi di potatura e mantenimento.

Nella fascia esterna, verso il confine catastale, saranno inseriti arbusti autoctoni e naturalizzati tipici delle siepi agrarie dell'Emilia-Romagna, tra cui: *Prunus spinosa*, *Corylus avellana*, *Cornus mas*, *Rhamnus cathartica* e *Viburnum opulus*. Il sesto d'impianto per questi arbusti varia tra 1,2 e 1,5 metri, con disposizione irregolare o su file sfalsate. Questo schema riproduce la struttura delle siepi spontanee padane, favorendo alternanza di forme, volumi e fioriture, incrementando così la biodiversità funzionale.

Figura 21: Layout della fascia di mitigazione



Nel complesso, la fascia vegetale così concepita svolgerà una duplice funzione: da un lato contenere l'impatto visivo dell'impianto, tramite l'azione schermante del ligustro, e dall'altro favorire l'integrazione ecologica, promuovendo la connessione con le reti ecologiche locali, migliorando la qualità ambientale dell'area e arricchendo la struttura del paesaggio agrario circostante.

7 Quadro economico di progetto

Il quadro economico del progetto è stato costruito partendo da un'analisi dettagliata di tutte le attività agronomiche previste e delle infrastrutture descritte nella relazione agronomica. La stima dei costi è stata realizzata considerando i prezzi correnti di mercato, in modo da ottenere un'inquadratura economica coerente con il contesto territoriale e con la normativa locale.

Per quantificare il fabbisogno di manodopera, è stato effettuato il calcolo delle Unità Lavorative Uomo (U.L.U.), seguendo i parametri standard delle tabelle RICA. Queste ultime permettono di stimare il lavoro necessario per ciascuna coltura e tipologia di gestione, considerando anche l'effetto della parziale ombreggiatura generata dall'impianto fotovoltaico e la necessità di utilizzare mezzi agricoli compatibili con gli spazi disponibili.

Poiché l'ordinamento produttivo del fondo rimane invariato e non sono previste modifiche sostanziali al piano colturale, il calcolo economico prima e dopo l'intervento risulta sostanzialmente invariato. Ciò conferma la piena continuità dell'attività agricola e la compatibilità dell'impianto agrivoltaico con le pratiche produttive preesistenti. Per questi motivi, è stato effettuato un unico calcolo economico rappresentativo, considerato sufficiente per descrivere l'equilibrio economico dell'azienda anche in fase post-realizzazione.

7.1 Calcolo della PLV

La Produzione Lorda Vendibile (PLV) è stata stimata considerando una resa media di 10 tonnellate di sostanza secca per ettaro. Basandosi sui prezzi unitari rilevati presso la Borsa Merci della CCIAA di Milano, il valore minimo stimato per ettaro è pari a 2.730 €, mentre quello massimo raggiunge i 2.850 €.

Considerando la superficie agricola complessiva di 40,77 ettari, la PLV totale si colloca tra 111.302 € e 116.561 €. Questo intervallo fornisce un riferimento attendibile del potenziale reddito lordo complessivo, utile per valutare la sostenibilità economica della coltura nell'ambito del progetto agrivoltaico.

Tabella 7: Calcolo della PLV (Rilievo prezzi Borsa merci CCIAA Milano)

Voce	Unità	Valore minimo per ettaro	Valore massimo per ettaro	Sup. agr. ha	Totale PLV min	Totale PLV max
Prezzo*	€/ha	2.730 €	2.850 €	40,77	111.302€	116.561€

*Si considera una produzione media di 10 tonnellate di s.s. per ettaro

7.2 Analisi dei costi

Nell'analisi economica dell'erba medica da imballaggio, il prospetto prende in considerazione esclusivamente i costi diretti legati a materie prime e operazioni colturali, escludendo costi fissi, ammortamenti e servizi generali. I dati si riferiscono a coltivazioni in pianura irriguo-mesofila, coerenti con la zona di Vigarano Mainarda, e si basano su fonti CREA, CRPA e informazioni aggiornate da agronomi esperti, calcolati per ettaro.

Tabella 8: Analisi dei costi

Voce di costo	Quantità	Costo unitario (€)	Totale ha (€)
MATERIE PRIME			
Seme di erba medica (25–30 kg/ha)	1 ql	150–170 €/q	160
Concime fosfo-potassico	2 ql	60–80 €/ql	140
Diserbante pre/post emergenza	1 intervento	40–60 €/ha	50
Trattamento antiparassitario (*)	1 intervento (eventuale)	20–30 €/ha	25
Totale materie prime			375
OPERAZIONI COLTURALI			
Lavorazioni pre-semina (aratura + erpicatura)	2 passaggi	80–100 €/ha	90
Semina	1 passaggio	50–70 €/ha	60
Trattamenti fitosanitari (diserbo + antiparassitari)	2 interventi	35 €/intervento	70
Sfalciante + andanatore + pressatura (3 tagli)	3 cicli	100–120 €/ciclo	330
Raccolta e trasporto fieno	3 cicli	30–40 €/ciclo	105
Totale operazioni colturali			655
TOTALE GENERALE			1.030 €/ha

Note tecniche:

- I valori sono indicativi e non comprendono i costi fissi aziendali (ammortamenti, manodopera, carburante, IRAP, ecc.).
- Il costo delle operazioni è calcolato considerando il ricorso a contoterzisti, con tre tagli/anno (in zone irrigue si può salire a 4).
- La voce “antiparassitari” è opzionale, in funzione della pressione entomopatogena.
- Non è inclusa l’irrigazione: se necessaria, può incidere tra 150–300 €/ha a seconda del sistema.

7.3 Analisi delle U.L.U.

Le Unità Lavorative Uomo (ULU) rappresentano un’unità di misura standard per quantificare il lavoro umano impiegato in azienda agricola. Una ULU corrisponde all’attività di una persona occupata a tempo pieno per un anno lavorativo, generalmente pari a circa 1.800 ore. Questo indicatore è fondamentale per valutare la sostenibilità occupazionale dell’azienda e per confrontare la domanda di lavoro tra diverse colture o ordinamenti produttivi.

Nel caso specifico del piano colturale agrivoltaico, il fabbisogno di manodopera è stato stimato utilizzando le tabelle regionali che riportano le ore lavorative per coltura, considerando caratteristiche pedoclimatiche e grado di meccanizzazione tipici del territorio emiliano.

Queste tabelle rappresentano uno strumento tecnico essenziale per la pianificazione aziendale, poiché permettono di stimare con precisione le ore necessarie per tutte le operazioni colturali, dalle lavorazioni del terreno alla semina, dai trattamenti all’irrigazione e alla raccolta. La conoscenza di questi valori consente all’azienda di programmare in modo efficace l’impiego della forza lavoro lungo tutto l’anno agrario, ottimizzando tempi, risorse e costi.

Tabella 9: Analisi delle U.L.U. – erba medica

Coltivazione	Superficie (ha)	Ore/ha/anno (standard)	Totale ore/anno	Giornate lavorative (8 h/g)	Superficie ha	Totale Giornate lavorative
Erba medica (fieno)	1	50 ore/ha	50 ore	6,25 gg/anno	40,77	255

Note tecniche:

- Le 50 ore/ha includono tutte le operazioni colturali tipiche: lavorazioni del terreno, semina, trattamenti, sfalcio multiplo, pressatura, rimozione, senza distinguere per numero di tagli.
- In un contesto come quello di Vigarano Mainarda, fortemente meccanizzato, questo valore risulta adeguato e coerente con l’efficienza gestionale dell’azienda agricola.

La conversione in giornate lavorative è effettuata sulla base del parametro standard di 8 ore/giorno.

8 Linee guida in materia di impianti agrivoltaici

Nel quadro normativo vigente della Regione Emilia-Romagna, l'impianto agrivoltaico oggetto della presente relazione è stato configurato come agrivoltaico avanzato, in conformità ai requisiti previsti per gli impianti agrivoltaici localizzati al di fuori delle aree considerate idonee. Questa scelta progettuale risponde puntualmente alle disposizioni contenute nella D.G.R. n. 2260 del 27 dicembre 2022, che disciplina le condizioni di realizzazione degli impianti agrivoltaici sul territorio regionale, e alle indicazioni tecniche fornite dalle Linee Guida MASE a livello nazionale.

Il riconoscimento dell'impianto come agrivoltaico avanzato comporta l'adozione di soluzioni progettuali finalizzate a garantire un'integrazione reale tra produzione agricola e produzione energetica, rispettando pienamente la destinazione agricola del suolo. In concreto, ciò significa progettare un sistema produttivo multifunzionale, nel quale la componente fotovoltaica non sostituisce l'attività agricola, ma le si affianca, valorizzandone la continuità nel tempo. L'impianto non si configura quindi come una semplice infrastruttura energetica sovrapposta al territorio rurale, bensì come una soluzione agroenergetica strutturata, in cui la sostenibilità ambientale, la funzionalità agricola e la compatibilità paesaggistica rappresentano obiettivi progettuali integrati.

Proprio per questa ragione, pur non ricadendo in area idonea, l'intervento rispetta tutti i requisiti richiesti per gli impianti agrivoltaici avanzati, dimostrando l'impegno del proponente nell'adozione di un modello operativo conforme ai più elevati standard normativi e tecnici attualmente previsti per gli impianti fotovoltaici in ambito agricolo. Il rispetto di tali requisiti assicura la piena compatibilità dell'intervento con la pianificazione regionale e con le politiche volte alla valorizzazione del paesaggio agrario, del suolo e delle risorse produttive locali.

Nei paragrafi successivi vengono illustrati in dettaglio i singoli elementi di conformità del progetto rispetto alle Linee Guida nazionali e regionali, a supporto della qualificazione dell'impianto come agrivoltaico avanzato.

Nel contesto normativo della Regione Emilia-Romagna, l'impianto previsto a Vigarano Mainarda (FE) è stato classificato come impianto agrivoltaico avanzato, secondo i criteri stabiliti dalle Linee Guida MASE del 2022 e recepiti dalla D.G.R. n. 2260/2022, relativamente agli impianti situati al di fuori delle aree ritenute idonee. Questa classificazione è fondamentale per la sua ammissibilità, poiché vincola la realizzazione al rispetto rigoroso di requisiti tecnici e gestionali volti a garantire una reale integrazione tra agricoltura ed energia rinnovabile, senza compromettere la destinazione agricola dei suoli.

L'impianto non rappresenta dunque una semplice sovrapposizione di infrastrutture energetiche sul paesaggio rurale, ma costituisce una soluzione agroenergetica integrata, orientata alla sostenibilità ambientale, alla tutela delle risorse produttive e alla valorizzazione della multifunzionalità agricola. Per queste ragioni, il progetto soddisfa tutti i requisiti richiesti dalle Linee Guida nazionali per essere qualificato come agrivoltaico avanzato, come di seguito specificato:

- **REQUISITO A:** Il sistema è progettato e realizzato adottando una configurazione spaziale e scelte tecnologiche tali da consentire l'integrazione fra attività agricola e produzione elettrica, valorizzando 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, senza compromettere la continuità dell'attività agricola e zootecnica;
- **REQUISITO C:** L'impianto agrivoltaico adotta soluzioni integrate e innovative con moduli elevati da terra, ottimizzando le prestazioni del sistema sia in termini energetici sia agricoli;
- **REQUISITO D:** L'azienda è dotata di un adeguato sistema di monitoraggio per verificare le prestazioni del sistema agrivoltaico, compresi il risparmio idrico e la continuità dell'attività agricola;
- **REQUISITO E:** Il sistema agrivoltaico dispone di un monitoraggio che, oltre a soddisfare il requisito D, consente di verificare il recupero della fertilità del suolo, le condizioni microclimatiche e la resilienza ai cambiamenti climatici.

8.1 Requisito A

Il requisito A prevede che il sistema sia progettato e realizzato con una configurazione spaziale e scelte tecnologiche tali da permettere l'integrazione tra attività agricola e produzione elettrica, valorizzando il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi. L'impianto rientra pienamente nella definizione di agrivoltaico, essendo progettato in modo da non compromettere la continuità dell'attività primaria e, al contempo, garantire la sinergia con la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

Il requisito A risulta verificato.

8.1.1 Requisito A1

Requisito A1 la Superficie minima coltivata (S agricola), intesa come superficie minima dedicata alla coltivazione, dev'essere maggiore o uguale al 70% della Superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico (S tot).

La superficie agricola è di 40,77 Ha su 51,80 Ha di superficie totale.

La superficie agricola rappresenta il 78,71% della superficie totale.

Il requisito A1 risulta verificato.

8.1.2 Requisito A2

Requisito A2 Il LAOR (Land Area Occupation Ratio), cioè il rapporto tra la superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (S_{pv}) e la superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico (S tot), dev'essere minore o uguale al 40%.

Il LAOR è pari a 20,25%. La superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (S_{pv}) è pari a 4,08 ettari e la superficie totale del sistema agrivoltaico è pari a 51,80 ettari.

Il requisito A2 risulta verificato.

8.2 Requisito B

Il requisito B richiede che il sistema agrivoltaico sia esercito, nel corso della sua vita tecnica, in modo da garantire la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli, senza compromettere la continuità dell'attività agricola e pastorale. L'impianto, come più volte descritto, è progettato per assicurare questa integrazione, massimizzando il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi.

Il requisito B risulta verificato.

8.2.1 Requisito B1

Requisito B1 La continuità dell'attività agricola e pastorale sul terreno oggetto dell'intervento. Gli elementi da valutare nel corso dell'esercizio dell'impianto, volti a comprovare la continuità dell'attività agricola, sono:

- a) L'esistenza e la resa della coltivazione;
- b) Il mantenimento dell'indirizzo produttivo.

In merito ai requisiti di cui sopra si evidenzia che:

- a) Il valore della produzione agricola rimane invariato in quanto l'indirizzo produttivo rimarrà lo stesso
- b) L'indirizzo produttivo rimarrà invariato, ovvero "Foraggero"

Il requisito B1 risulta verificato.

8.2.2 Requisito B2

Requisito B2 La producibilità elettrica dell'impianto agrivoltaico, rispetto ad un impianto standard e il mantenimento in efficienza della stessa. In particolare, è richiesto che la produzione elettrica specifica di un impianto agrivoltaico (FVagri in GWh/ha/anno) correttamente progettato, paragonata alla producibilità elettrica specifica di riferimento di un impianto fotovoltaico standard (FV standard in GWh/ha/anno), non sia inferiore al 60% di quest'ultima.

Dai calcoli eseguiti risulta:

FV agri [kWh/ha/anno] = 80.936.413

FV standard [kWh/ha/anno] = 47.699.313

FV agri / FV standard = 0,6 \geq 0,6

Il requisito B2 risulta verificato.

8.3 Requisito C

Il requisito C richiede che l'impianto adotti soluzioni integrate e innovative con moduli elevati da terra, ottimizzando le prestazioni sia energetiche sia agricole. L'area coltivata o destinata a zootecnia può

coincidere con tutta l'area del sistema agrivoltaico oppure essere parziale, a seconda delle scelte progettuali di configurazione spaziale.

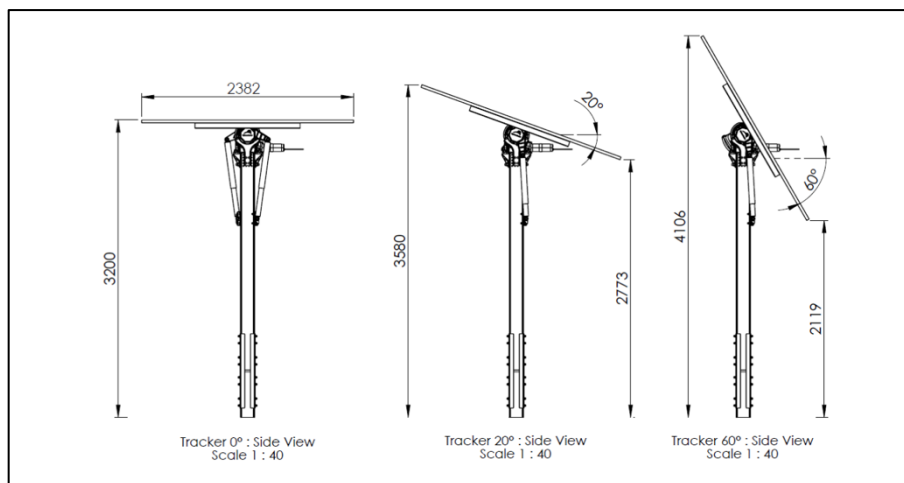
Si distinguono tre condizioni possibili:

- Tipo 1: l'altezza minima dei moduli consente la continuità delle attività agricole o zootecniche sotto i moduli, permettendo un doppio uso del suolo e un'integrazione massima;
- Tipo 2: l'altezza dei moduli non consente lo svolgimento delle attività agricole sotto di essi, con un grado minimo di integrazione;
- Tipo 3: moduli disposti in verticale, con impatto limitato sulla coltivazione, ma potenziali vincoli per il passaggio degli animali.

L'impianto rientra nella condizione Tipo 1, con un'altezza minima dei pannelli da terra pari a 2,12 m, garantendo così la continuità delle attività agricole sotto i moduli e un'integrazione ottimale.

Il requisito C risulta verificato.

Figura 22: Vista laterale dei pannelli a diverse inclinazioni



8.4 Requisito D ed E

Requisito D: il sistema agrivoltaico è dotato di un monitoraggio che consente di valutare l'impatto sulle colture, il risparmio idrico, la produttività agricola per diverse tipologie di colture e la continuità delle attività aziendali. Il requisito D è soddisfatto se l'impianto monitora:

D.1) il risparmio idrico;

D.2) la continuità dell'attività agricola, considerando impatto sulle colture, produttività e continuità aziendale.

Requisito E: il sistema agrivoltaico dispone di un monitoraggio specifico per la fertilità del suolo, le condizioni microclimatiche e la resilienza ai cambiamenti climatici.

Il monitoraggio delle attività agricole (D2) e delle condizioni microclimatiche (E) sarà effettuato annualmente mediante una stazione agrometeorologica in sito, integrata con un Decision Support System (DSS) per l'elaborazione dei dati. Questo permetterà di raccogliere informazioni oggettive e continuative su temperatura, umidità del suolo, radiazione solare, bagnatura fogliare e altri parametri agronomicamente rilevanti per valutare l'efficienza produttiva e ambientale del sistema.

I dati raccolti saranno sintetizzati in una relazione tecnica annuale asseverata, redatta da un professionista abilitato (perito agrario, agronomo o agrotecnico), come previsto dalle Linee Guida. La relazione includerà:

- l'analisi delle rese colturali per ettaro;
- il dettaglio completo delle operazioni colturali effettuate;
- il fascicolo aziendale aggiornato;
- i dati climatici e agrometeorologici rilevati;
- in caso di coltivazioni irrigue, i consumi idrici, a supporto del monitoraggio dell'efficienza e delle pratiche agronomiche sostenibili.

Questo sistema di controllo rappresenta uno degli elementi centrali per la qualificazione dell'impianto come agrivoltaico avanzato, garantendo la trasparenza e la tracciabilità dell'attività agricola e consentendo alle autorità competenti di verificare in modo oggettivo il rispetto dei requisiti imposti dalla normativa vigente.

Il requisito D ed E risultano verificati.

9 Conclusioni

Il progetto agrivoltaico “Vigarano Mainarda” costituisce un esempio avanzato di integrazione tra produzione agricola e generazione di energia da fonti rinnovabili, assicurando piena compatibilità tra le attività agricole tradizionali e l'impianto fotovoltaico. L'intervento proposto rispetta tutti i requisiti tecnici stabiliti dalle Linee Guida nazionali e regionali per gli impianti agrivoltaici avanzati, garantendo la continuità dell'attività agricola e migliorando le condizioni produttive grazie a un sistema multifunzionale.

La configurazione dell'impianto è studiata per ottimizzare simultaneamente la produzione energetica e quella agricola, con un'altezza minima dei moduli che permette la coesistenza delle colture erbacee sotto i pannelli senza compromettere la produttività agricola. La scelta delle colture foraggere, tra cui erba medica e miscugli graminaceo-leguminosi, è stata effettuata considerando la loro adattabilità al parziale ombreggiamento e la necessità di ridurre l'impatto idrico.

Oltre alla produzione di energia rinnovabile, il sistema agrivoltaico favorisce la biodiversità mediante fasce di mitigazione paesaggistica e l'adozione di tecniche agronomiche sostenibili. Il monitoraggio continuo delle condizioni microclimatiche, dell'efficienza idrica e della produttività agricola, supportato da stazioni meteorologiche integrate in un sistema DSS, permette una gestione puntuale e adattata alle variabili ambientali, facilitando decisioni operative basate su dati reali e aggiornati.

L'analisi economica conferma la sostenibilità finanziaria dell'intervento, evidenziando come la produzione di energia si integri senza soluzione di continuità con l'attività agricola, senza ridurre la PLV preesistente.

In sintesi, il progetto “Vigarano Mainarda” non solo rispetta le normative vigenti, ma dimostra concretamente la fattibilità e l'efficacia di un modello di agricoltura integrata con energia rinnovabile, contribuendo alla creazione di un sistema produttivo più resiliente, sostenibile e funzionale per il territorio.

Pescara, li 30 settembre 2025

In fede



10 Bibliografia

Normativa e atti ufficiali

Direttiva 91/676/CEE del Consiglio, del 12 dicembre 1991, “Protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”.

D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i., “Norme in materia ambientale” (Parte III – tutela delle acque).

Regione Emilia-Romagna, D.G.R. n. 2260 del 27/12/2022, “Indirizzi per l’individuazione degli impianti agrivoltaici avanzati e criteri localizzativi regionali”.

Regione Emilia-Romagna, D.G.R. n. 309 del 31/03/2021, “Aggiornamento delle Zone Vulnerabili ai Nitrati (ZVN)”.

Regione Emilia-Romagna, Reg. Reg. n. 3/2017 e Reg. Reg. n. 2/2024 (aggiornamento), “Disciplina dell’utilizzazione agronomica degli effluenti e dei fertilizzanti azotati”.

MASE – Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica (2022), “Linee guida nazionali per i sistemi agrivoltaici (standard e avanzati)”, Requisiti A–E.

Linee guida tecniche e manuali

Rete Rurale Nazionale (2022), Progettazione di siepi agrarie e fasce tampone multifunzionali in contesti agricoli collinari – Linee operative per l’uso di specie autoctone.

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2019), Frutti dimenticati e biodiversità recuperata. Specie e varietà locali per la rete ecologica agraria.

CREA – Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria, Tabelle dei costi colturali e Produzioni Standard (PS/ha), edizioni varie.

CRPA – Centro Ricerche Produzioni Animali, Costi e tecniche delle fienagioni in Pianura Padana, rapporti tecnici edizioni varie.

RICA/CREA – Metodologia per il calcolo delle ULU e fabbisogni di lavoro per coltura, manuali e tabelle standard.

Dati, prezzi e cartografie

CCIAA Milano – Borsa Merci, *Listini prezzi foraggi e paglie* (serie storiche utilizzate per il calcolo PLV).

Regione Emilia-Romagna – Cartografia tematica: Carta dell’Uso del Suolo (ultimo aggiornamento disponibile).

Regione Emilia-Romagna – Cartografia ZVN: Aree vulnerabili ai nitrati da fonti agricole (coerente con D.G.R. 309/2021).

Consorzi di Bonifica della Pianura Ferrarese, Rete scolante e infrastrutture irrigue – elaborati tecnici di piano(per inquadramento idraulico locale).

Blasi C. et al. (a cura di), *Carta del Fitoclima d'Italia e note illustrative* (ultimo ed. disponibile).

Letteratura scientifica sull'agrivoltaico e microclima

Goetzberger, A., & Zastrow, A. (1982). *On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation*. International Journal of Solar Energy, 1(1), 55–69.

Hassanpour Adeh, E., Selker, J. S., & Higgins, C. W. (2018). *Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency*. PNAS, 115(48), 11819–11824.

Dupraz, C. et al. (2011). *Combining solar panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes*. Renewable Energy, 36(10), 2725–2732.

Marrou, H., Wéry, J., Dufour, L., & Dupraz, C. (2013). *Microclimate under agrivoltaic systems*. Agricultural and Forest Meteorology, 177, 117–132.

Barron-Gafford, G. A. et al. (2019). *Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus*. Nature Sustainability, 2, 848–855.

Buone pratiche e strumenti operativi

MiPAAF/ISMEA – *Prezzi e tendenze dei prodotti agricoli* (serie informative per contesto di mercato).

FAO (2017), *Manuale di buone pratiche per le colture foraggere in climi temperati* (riferimenti agronomici generali).