



RESFARM

Il primo ingegnere agrivoltaico

Relazione agronomica

Sedna Solar Srl – Agivoltaico | 15 MWp – Bondeno (FE)

<i>Cliente Client</i>	Sedna Solar Srl
<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_375
<i>Revisione Revision</i>	00
<i>Data Date</i>	05/12/2025
<i>Preparata da Prepared by</i>	Carmine De Francesco / Fernando Di Benigno
<i>Revisionata da Reviewed by</i>	Andrea Oliva
<i>Autorizzata da Authorized by</i>	Andrea Oliva

Sommario

1	Executive summary	6
2	Introduzione	11
3	Stato di fatto e analisi territoriale	12
3.1	<i>Orografia del terreno</i>	12
3.2	<i>Analisi del contesto</i>	13
3.3	<i>Stato di fatto</i>	13
3.4	<i>Coltivazioni presenti</i>	14
3.5	<i>Analisi dei punti di prelievo dell'acqua</i>	14
3.6	<i>Clima e Fitoclima</i>	14
3.7	<i>Pedogenesi</i>	16
3.8	<i>Capacità d'uso del suolo</i>	17
3.9	<i>Presenza di colture DOP o IGP</i>	17
3.10	<i>Zone di vulnerabilità ai nitrati</i>	18
4	Matrice dei valori	19
5	Progetto agronomico	22
5.1	<i>Layout dell'impianto</i>	22
5.2	<i>Definizione del piano colturale</i>	23
5.3	<i>Scelta delle specie vegetali</i>	24
5.4	<i>Fascia di mitigazione</i>	27
5.5	<i>Gestione dell'attività agrivoltaica</i>	32
5.6	<i>Sistema di monitoraggio</i>	37
6	Quadro economico di progetto	40
6.1	<i>Calcolo PLV</i>	40
6.2	<i>Analisi dei costi</i>	41
6.3	<i>Analisi delle U.L.U.</i>	43
7	Linee guida in materia di impianti agrivoltaici	45
7.1	<i>Requisito A</i>	46

7.2	Requisito B	46
7.3	Requisito C	48
7.4	Requisito D ed E	48
8	Conclusioni	50
9	BIBLIOGRAFIA	51

LISTA DELLE TABELLE

TABELLA 1: CARATTERISTICHE TECNICHE IMPIANTO AGRIVOLTAICO	7
TABELLA 2: MATRICE DEI VALORI	8
TABELLA 3: LEGENDA DELLA MATRICE DEI VALORI	8
TABELLA 4: CONFRONTO PLV PRE E POST INTERVENTO	9
TABELLA 5: REQUISITI PER IMPIANTI AGRIVOLTAICI AVANZATI	9
TABELLA 6: MATRICE DEI VALORI	20
TABELLA 7: CURE COLTURALI ERBA MEDICA	26
TABELLA 8: SPECIE VEGETALI SELEZIONATE	27
TABELLA 9: CRITERI GEOMETRICI E SESTO DI IMPIANTO	31
TABELLA 10: CRITERI GEOMETRICI	32
TABELLA 11: ESEMPIO DI TRATTORI GOMMATI FRUTTETO	34
TABELLA 12: ESEMPIO DI PARCO MACCHINE COMPATIBILE CON L'IMPIANTO AGRIFV – 5 M	36
TABELLA 13: ESEMPIO DI PARCO MACCHINE COMPATIBILE CON L'IMPIANTO AGRIFV – 3 M	36
TABELLA 14: CALCOLO DELLA PLV PRE INTERVENTO	40
TABELLA 15: CALCOLO DELLA PLV POST INTERVENTO	40
TABELLA 16: DIFFERENZA DELLA PLV PRE E POST	41
TABELLA 17: ANALISI DEI COSTI IN CAMPO APERTO	41
TABELLA 18: ANALISI DEI COSTI FASCIA DI MITIGAZIONE	43
TABELLA 19: ANALISI ULU	44

LISTA DELLE IMMAGINI

IMMAGINE 1: AREA DI PROGETTO	6
IMMAGINE 2: AREA DI PROGETTO	12
IMMAGINE 3: AREA DI PROGETTO – STATO DI FATTO	14
IMMAGINE 4: AREA DI PROGETTO – STATO DI FATTO	14
IMMAGINE 5: TABELLA CLIMATICA	15
IMMAGINE 6: ESTRATTO DELLA CARTA D'USO DEL SUOLO DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA	17
IMMAGINE 7: ESTRATTO DELLA MAPPA DELLE AREE ZVN REGINE EMILIA ROMAGNA	19
IMMAGINE 8: LAYOUT DETTAGLIO DELL'IMPIANTO	23
IMMAGINE 9: ERBA MEDICA	26
IMMAGINE 10: ERBA MEDICA	26
IMMAGINE 11: ESEMPIO GRAFICO DEL LAYOUT DELLA FASCIA DI MITIGAZIONE	29
IMMAGINE 12: VISTA DALL'ALTO	32
IMMAGINE 13: VISTA DI PROFILO	32
IMMAGINE 14: REQUISITO DI – RISPARMIO IDRICO	39
IMMAGINE 15: SISTEMA GESTIONALE PER LA DIGITALIZZAZIONE DELLE INFORMAZIONI AGRONOMICHE	39
IMMAGINE 16: SISTEMA DI MONITORAGGIO DEL MICROCLIMA	39
IMMAGINE 17: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA IOT PER LA STAZIONE METEO E GLI ACCESSORI DISPONIBILI	39
IMMAGINE 18: MONITORAGGIO CON DSS INSETTI	39
IMMAGINE 19: MONITORAGGIO CON IL DSS INSETTI	39

Issue and Revision Record

Revision	Date	Originator	Checker	Approver	Narrative
00	05/12/2025	CDF/FDB	AOL	AOL	Primo invio

I Executive summary

L'area oggetto dell'intervento, situata nel Comune di Bondeno, esattamente nella zona agro a sud della frazione Gavello, è formato da diversi appezzamenti agricoli, attualmente coltivati, come si evince anche dall'analisi dei fascicoli aziendali operanti sul sito di interesse. Trattasi di seminativi con rotazioni colturali di Soia, Colza, Fave, Semi e Granella.

L'area si inserisce in un ambiente prettamente agricolo, con la presenza del centro abitato della frazione di Gavello posizionata a Nord dell'impianto. Non si evince la presenza di strade principali che vanno ad intersecare l'impianto. L'intero impianto è suddiviso in sei sotto aree.

La favorevole morfologia pianeggiante rende il sito ideale per l'evoluzione agricola tramite un impianto agrivoltaico, che potrebbe migliorare una funzionalità agricola e attivare la produzione di energia rinnovabile.

L'intervento, consistente nella realizzazione di un impianto agrivoltaico, consentirebbe quindi il pieno miglioramento agricolo e la valorizzazione del terreno.



Immagine 1: Area di progetto

Proposta progettuale

Il progetto prevede l'installazione di un impianto agrivoltaico avanzato integrato con un sistema agricolo specificamente orientato alla produzione foraggera. La superficie sarà gestita mediante la coltivazione dell'erba medica (*Medicago sativa*) con ciclo pluriennale, alternata a miscugli erbacei annuali composti da

graminacee e leguminose, così da garantire continuità produttiva e una copertura vegetale stabile su tutta l'area.

A margine dell'impianto verrà inoltre predisposta una fascia verde perimetrale con funzione di mitigazione, finalizzata a incrementare la biodiversità locale e a rafforzare la continuità ecologica con il paesaggio rurale.

La componente fotovoltaica sarà costituita da moduli montati su strutture monoassiali orientabili, posizionati a un'altezza tale da lasciare libero lo spazio sottostante e organizzati con ampi corridoi tra le file. Tale configurazione consentirà di mantenere pienamente operativa la gestione agricola e di poter effettuare tutte le lavorazioni con mezzi compatti normalmente impiegati nei contesti viticoli e frutticoli, nel rispetto dei criteri previsti per gli impianti agrivoltaici avanzati.

Il piano agronomico è stato definito per massimizzare la resa foraggera e sostenere la qualità del terreno, ricorrendo a miscugli rustici e specie autoctone caratterizzate da ridotti fabbisogni colturali, con l'obiettivo di mantenere elevata efficienza produttiva e limitare l'uso di input esterni.

Tabella 1: Caratteristiche tecniche impianto agrivoltaico

Tematica	Dettagli	Informazioni
Potenza di picco dell'impianto		115,555 MWp
Tipologia impianto	Agrivoltaico avanzato	
Altezza minima modulo da terra		2,10 m
Area totale di impianto		148,67 ha
Aree di servizio (strade, cabine etc.)		10,32 ha
Tipologie di colture presenti	Seminativo / Foraggere	
Tipologie di colture previste	Fascia perimetrale: Ligustro + specie arbustive autoctone	7,7 ha
	Area interna impianto: Erba medica in rotazione con prati annuali di graminacee e leguminose	119,43 ha

Sistema di monitoraggio

Il monitoraggio della continuità agricola (Requisito D2) e delle condizioni microclimatiche (Requisito E) sarà effettuato annualmente tramite una stazione agrometeorologica in sito, integrata con un sistema DSS per l'elaborazione dei dati su parametri produttivi e ambientali così come previsto dalle linee guida MITE.

Le informazioni raccolte, tra cui rese colturali, operazioni agronomiche, dati climatici e, se presenti, consumi idrici, saranno riportate in una relazione tecnica annuale asseverata da un professionista abilitato, in conformità alle Linee Guida.

Questo sistema assicura trasparenza, tracciabilità e verifica oggettiva dei requisiti per la qualificazione dell'impianto come agrivoltaico avanzato.

Matrice dei valori

Tabella 2: Matrice dei valori

ID	Stato di fatto	Criticità	Proposta migliorativa
1	Il sito ad oggi risulta gestito e coltivato a seminativo / foraggere	Coltivazioni di seminativi estensivi	inerbimento permanente durante tutto l'anno e rotazione con prati annuali
2	Biodiversità impoverita	Insetti pronubi a rischio	una fascia di mitigazione con specie autoctone con fioriture scaglionate nel tempo, che creano delle nicchie ecologiche atte ad aumentare la biodiversità del sito
3	Ad oggi non è prevista nessuna azione di monitoraggio.	operazioni agricole standard	Il sistema di monitoraggio permetterà ottimizzazione agricola
4	Il suolo mostra alcune criticità, soprattutto in presenza di tessiture fini e compattazione.	Cattivo drenaggio e fenomeni di stagnazione	Inerbimento permanente, lavorazioni minime e l'incremento della sostanza organica permetteranno una migliore regimazione delle acque meteoriche
5	Il sito è attualmente condotto in agricoltura convenzionale	Problematiche di eccessivo sporcamento moduli e riduzione micro-ecosistemi	Futura gestione attraverso pratiche Bio
6	Il sito ad oggi non prevede l'uso di acqua.	non è presente alcuna infrastruttura per l'irrigazione	irrigazione di soccorso limitata alla fascia di mitigazione

Tabella 3: Legenda della matrice dei valori

Miglioramento	Descrizione
Alto	miglioramento dello stato di fatto che ha un forte impatto sul territorio
Medio	miglioramento con un impatto medio rispetto allo stato di fatto
Invariato	Si prevede di non modificare lo stato di fatto

Analisi Pre e Post intervento

Il calcolo economico è stato effettuato su base ettaro utilizzando i prezzi ISMEA Marcati-Borsa di Bologna e applicato all'intera superficie aziendale.

La differenza tra la Produzione Lorda Vendibile (“PLV”) pre e post intervento dimostra come l’impianto agrivoltaico migliori la produttiva del fondo, in piena coerenza con le Linee Guida MASE per l’agrivoltaico avanzato.

Tabella 4: Confronto PLV pre e post intervento

PLV pre e post intervento	Valore minimo (€)	Valore massimo (€)
PLV pre intervento	178.400	392.500
PLV post intervento	232.900	451.500
Differenza PLV_{pre}/PLV_{post} %	+ 30%	+ 15%

Verifica dei requisiti GSE per impianti agrivoltaici avanzati PNRR

A seguito delle analisi svolte tutti i requisiti definiti all’interno dalle “Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici” (MiTE,2022) e dal DM – Agrivoltaico del 31 maggio 2024 e le linee guida GSE – CREA e delle linee guida operative del GSE per impianti agrivoltaici di tipo avanzato con incentivi PNRR, risultano rispettati ed in particolare:

Tabella 5: Requisiti per impianti agrivoltaici avanzati

Requisito	Descrizione	Stato
A	valorizzazione del potenziale produttivo agricolo ed energetico	Verificato
A.1	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).	Verificato
A.2	Requisito A2 Il LAOR (Land Area Occupation Ratio), cioè il rapporto tra la superficie totale di ingombro dell’impianto agrivoltaico (Spv) e la superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico (S tot), dev’essere minore o uguale al 40%.	Verificato
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 Zootecnica;	Verificato
B.1	La continuità dell’attività agricola e pastorale sul terreno oggetto dell’intervento.	Verificato
B.2	La producibilità elettrica dell’impianto agrivoltaico, rispetto ad un impianto standard e il mantenimento in efficienza della stessa.	Verificato
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;	Verificato
D	l’azienda deve essere dotata di un adeguato sistema di monitoraggio che consenta di verificare le prestazioni del	Verificato

	sistema agrivoltaico anche in termini di risparmio idrico e di continuità dell'attività agricola.	
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.	Verificato

Considerazioni finali

Nel suo insieme, l'intervento, che combina produzione energetica, gestione agricola e azioni dedicate al rafforzamento della biodiversità, si caratterizza per un elevato livello di sostenibilità, sia dal punto di vista ambientale sia sotto il profilo economico, risultando pienamente allineato alle più recenti strategie green adottate a livello nazionale ed europeo. L'elaborazione del quadro economico relativo alle attività agricole è stata sviluppata assumendo scenari produttivi prudenziali, che tuttavia mostrano una redditività adeguata e coerente con l'obiettivo principale di migliorare la qualità ecologica dell'area e incrementare la ricchezza biologica del territorio.

La progettazione è stata orientata sin dalle prime fasi a valorizzare la sinergia tra agricoltura e produzione fotovoltaica, garantendo la totale compatibilità tra le strutture dell'impianto e le pratiche colturali programmate. Tale approccio consente non solo di assicurare la continuità delle attività agricole all'interno dell'area agrivoltaica, ma anche di contribuire in modo significativo al sostegno dell'economia rurale locale, promuovendo un modello di sviluppo equilibrato, resiliente e duraturo nel tempo.

2 Introduzione

Il presente lavoro si propone di ottimizzare l'integrazione tra la produzione di energia rinnovabile e le attività agricole e zootecniche, incrementando il potenziale produttivo del sito e valorizzando il territorio. Un sistema agrivoltaico costituisce, infatti, una soluzione complessa, poiché combina aspetti energetici e agronomici. Se non progettato con attenzione, il rendimento del fotovoltaico e quello delle coltivazioni o dell'allevamento possono risultare difficilmente conciliabili, arrivando persino a confliggere: le strategie finalizzate a massimizzare la cattura solare dei pannelli potrebbero creare condizioni sfavorevoli per l'agricoltura e viceversa.

Il concetto di sinergia tra pannelli fotovoltaici e attività agricole sulla stessa superficie è stato introdotto già nel 1982 (Goetzberger e Zastrow, 1982) e, oggi, sia in Italia sia a livello internazionale, si stanno diffondendo impianti commerciali basati su questa tecnologia, con una crescita significativa negli ultimi cinque anni (Reasoner et al., 2022).

La presenza di moduli fotovoltaici su terreni agricoli non impedisce, quindi, l'uso produttivo del suolo; al contrario, un progetto agrivoltaico ben concepito può rappresentare un modello efficace per conciliare la produzione alimentare con quella di energia da fonti rinnovabili.

3 Stato di fatto e analisi territoriale

Il sito oggetto del presente progetto si trova in area agricola nel territorio comunale di Bondeno (FE), posizionato a sud della strada comunale della frazione Gavello. L'area di intervento adiacente la frazione, dista circa 8 km dal centro abitato e si inserisce in un contesto territoriale eterogeneo, caratterizzato da un mosaico di superfici principalmente a destinazione agronomica intensiva, con presenza anche di parte residenziale, come illustrato in figura 1.



Immagine 2: Area di progetto

In particolare, si evidenzia la presenza di terreni agricoli destinati prevalentemente a seminativi, con la presenza di serre e tunnel agricoli.

L'analisi del contesto agroambientale a livello regionale ha lo scopo di inquadrare l'area oggetto del progetto, evidenziandone le principali caratteristiche climatiche, fitoclimatiche, pluviometriche, morfopedologiche e idrologiche. Queste informazioni sono fondamentali per una corretta definizione delle condizioni agronomiche del sito e per valutare la compatibilità delle specie vegetali con l'ambiente locale.

I dati raccolti permettono di costruire un quadro conoscitivo integrato, utile per gestire in modo efficiente le risorse naturali e per individuare strategie volte a ottimizzare la produttività agricola. Nei capitoli successivi vengono illustrati nel dettaglio i risultati delle analisi condotte sui diversi ambiti di interesse, con l'obiettivo di descrivere le condizioni pedo-climatiche presenti e fornire una caratterizzazione precisa, indispensabile per le successive fasi di progettazione e gestione agronomica.

3.1 Orografia del terreno

L'intera superficie è collocata totalmente in un contesto pianeggiante. Presenta fossi e canali per regimazione delle acque, data la natura del sito. Per la sicurezza degli operatori e del territorio dovranno essere mantenuti i deflussi principali e secondari per evitare fenomeni di allagamento o eccessivo ristagno idrico.

3.2 Analisi del contesto

Il territorio agricolo oggetto del progetto, si colloca nella parte centro-orientale della pianura padana ferrarese, caratterizzata da una fitta maglia agraria regolare e da una consolidata vocazione agricola. L'areale di interesse si inserisce in un paesaggio rurale ordinato e fortemente antropizzato, dove la presenza di case coloniche, strade poderali e canali di bonifica testimonia la storica opera di sistemazione idraulica e agraria della pianura.

I suoli presentano tessiture prevalentemente franco-limose e limoso-argillose, originate dai depositi alluvionali del fiume Po e dei corsi d'acqua minori dell'area, caratterizzandosi per una buona fertilità naturale e una discreta capacità di ritenzione idrica. La morfologia favorevole consente la meccanizzazione delle operazioni agricole e l'adozione di ordinamenti produttivi intensivi. Le pratiche irrigue, diffuse soprattutto nei mesi estivi, si basano su canali consortili e sistemi di distribuzione aziendale, assicurando la coltivazione di colture a maggiore fabbisogno idrico.

L'ordinamento colturale locale vede la predominanza di cereali autunno-vernini, come frumento tenero e duro, mais e orzo, spesso inseriti in rotazioni con soia e altre leguminose da granella, affiancati da foraggiere annuali e poliennali quali medica, loietto e trifoglio, destinate all'allevamento bovino e suino, tradizionalmente diffuso nell'area ferrarese. In alcune porzioni irrigue sono presenti anche coltivazioni orticole a ciclo primaverile-estivo, rivolti prevalentemente al mercato locale e alla filiera agroindustriale regionale.

Il paesaggio agrario si presenta come un mosaico regolare di grandi appezzamenti coltivati, interrotti da filari di pioppi e salici lungo i canali di scolo e da macchie di vegetazione arbustiva residuale, che svolgono funzioni ecologiche e paesaggistiche. L'assenza di rilievi e la maglia poderale rettilinea conferiscono all'area un aspetto tipicamente padano, caratterizzato dall'ampiezza visiva e dalla razionalità degli impianti agricoli.

Negli ultimi anni si osserva una crescente attenzione verso pratiche agricole sostenibili e diversificate, con l'introduzione di tecniche di agricoltura di precisione e sistemi di agricoltura integrata e biologica. Alcune aziende hanno avviato percorsi di multifunzionalità, orientandosi verso la produzione di energia rinnovabile da biomasse agricole e impianti fotovoltaici integrati, coerenti con le politiche di sostenibilità ambientale promosse a livello regionale.

3.3 Stato di fatto

L'area si presenta, al momento del sopralluogo, in fase di raccolta crescita delle diverse colture praticate quali grano, colza e mais.



Immagine 3: Area di progetto – stato di fatto



Immagine 4: Area di progetto – stato di fatto

La presenza di fossi principali e secondari oltre a canalette, soggette a periodiche operazioni di ripulitura e rimozione delle essenze, sono essenziali per la regimazione delle acque piovane. Tale assetto rappresenta una caratteristica ricorrente del paesaggio agrario locale.

Le informazioni relative alle colture e agli elementi di infrastrutturazione agraria sono state acquisite mediante analisi di immagini satellitari e telerilevamento, integrate e verificate attraverso un sopralluogo, che ha consentito di accertare sul campo le condizioni effettive del territorio e la distribuzione delle coltivazioni e delle componenti vegetali.

3.4 Coltivazioni presenti

Dal punto di vista agronomico, l'appezzamento risulta attualmente coltivato. Le superfici interessate, come confermato anche dalla consultazione dei fascicoli aziendali, ricadono principalmente all'interno di appezzamenti a seminativo, le colture principali, anche dall'analisi dei fascicoli aziendali storici, sono grano, mais, colza.

3.5 Analisi dei punti di prelievo dell'acqua

Nell'area prevista per l'impianto non sono presenti punti di approvvigionamento idrico, ad eccezione della rete di canali primari e secondari dedicati alla regimazione delle acque, elemento fondamentale in un territorio caratterizzato da pendenze molto ridotte.

3.6 Clima e Fitoclima

L'area oggetto dell'intervento, ricade all'interno della media e alta Pianura Padana e presenta un fitoclima riconducibile al clima temperato subcontinentale dell'Italia settentrionale. Secondo la classificazione il contesto rientra nelle fasce Supratemperata e Mesotemperata umido-subumida, tipiche della pianura padana centrale, delle pianure moreniche occidentali e, in parte, di quelle orientali.

Questo assetto climatico favorisce lo sviluppo di una vegetazione mesofila, caratterizzata da specie caducifoglie igrofile e mesofile, comuni negli ambienti planiziali dell'Italia settentrionale e ben adattate sia alle basse temperature invernali sia alle marcate escursioni termiche stagionali. Il clima locale si distingue

per estati calde e spesso afose, talvolta soggette a periodi di siccità, e inverni freddi, con frequente presenza di nebbie e gelate.

Le precipitazioni risultano distribuite in maniera relativamente uniforme durante l'anno, con massimi nei mesi primaverili ed autunnali, e minimi relativi in estate e in inverno. Le temperature medie annue si attestano intorno ai 11-15 °C, con minime invernali che possono scendere frequentemente sotto lo zero e massime estive che superano abitualmente i 30 °C nei mesi di luglio e agosto. Le precipitazioni medie annue variano generalmente tra gli 800 e i 1.200 mm, con un regime pluviometrico caratterizzato da un'elevata variabilità interannuale.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	3.7 °C (38.7) °F	5.2 °C (41.4) °F	9.6 °C (49.2) °F	13.8 °C (56.8) °F	18.6 °C (65.4) °F	23.4 °C (74.2) °F	25.8 °C (78.5) °F	25.3 °C (77.5) °F	20.3 °C (68.5) °F	15.4 °C (59.8) °F	9.9 °C (49.8) °F	4.6 °C (40.3) °F
Min. Temperature °C (°F)	0.3 °C (32.5) °F	1 °C (33.7) °F	4.5 °C (40) °F	8.5 °C (47.2) °F	13 °C (55.4) °F	17.6 °C (63.8) °F	20.2 °C (68.3) °F	19.9 °C (67.8) °F	15.6 °C (60) °F	11.6 °C (52.8) °F	6.6 °C (43.9) °F	1.4 °C (34.5) °F
Max. Temperature °C (°F)	8.1 °C (46.6) °F	10.2 °C (50.4) °F	14.9 °C (58.9) °F	18.9 °C (66.1) °F	23.7 °C (74.7) °F	28.8 °C (83.8) °F	31.1 °C (88) °F	30.6 °C (87) °F	25.1 °C (77.3) °F	19.9 °C (67.8) °F	13.9 °C (57) °F	8.7 °C (47.6) °F
Precipitation / Rainfall mm (in)	43 (1)	57 (2)	59 (2)	79 (3)	79 (3)	70 (2)	64 (2)	67 (2)	78 (3)	79 (3)	82 (3)	57 (2)
Humidity(%)	84%	78%	71%	69%	64%	59%	55%	59%	67%	75%	82%	85%
Rainy days (d)	5	5	5	8	7	7	6	7	7	7	7	6
avg. Sun hours (hours)	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 Min. Temperature °C (°F), Max. Temperature °C (°F), Precipitation / Rainfall mm (in), Humidity, Rainy days. Data: 1999 - 2019: avg. Sun hours

Immagine 5: Tabella climatica

Il regime pluviometrico presenta una distribuzione regolare durante tutto l'anno, con precipitazioni più abbondanti nei periodi autunnali, invernali e primaverili, ma comunque caratterizzate da una buona continuità stagionale. Tale regolarità, combinata con la presenza di suoli profondi, fertili e localmente soggetti a episodi di ristagno idrico, crea condizioni favorevoli allo sviluppo di formazioni vegetali mesofile e mesoigrofile tipiche della pianura padana.

L'alternanza tra fasi di elevata disponibilità idrica e i fisiologici cali estivi dovuti alle temperature elevate e all'intensa evapotraspirazione può rendere necessarie pratiche irrigue mirate, soprattutto per le colture con maggior fabbisogno idrico. La gestione dell'acqua resta quindi un elemento chiave per garantire la continuità produttiva e contenere gli stress climatici stagionali.

Dal punto di vista agroclimatico, l'area risulta particolarmente vocata alla coltivazione di cereali autunno-vernini, mais da granella e da insilato, soia, girasole, colza e foraggiere poliennali, che beneficiano della buona fertilità dei suoli e della disponibilità irrigua fornita dalla rete consortile. Accanto alle colture erbacee, nel paesaggio agricolo sono presenti anche impianti arboricoltura e orticoltura specializzata, che riflettono la capacità dell'agricoltura locale di adattarsi alle caratteristiche climatiche.

Il clima temperato subcontinentale della zona, con un soleggiamento annuo compreso tra 1.900 e 2.500 ore e un'elevata radiazione solare, rende il territorio idoneo anche all'integrazione con impianti fotovoltaici in ottica di multifunzionalità aziendale. Il regime dei venti è generalmente debole, con prevalenza di brezze locali e occasionali correnti da nord o da est che favoriscono il ricambio d'aria, pur potendo accentuare i rischi di gelate nei mesi più freddi. L'elevata umidità dell'aria nelle stagioni intermedie, unita alla regolarità

delle precipitazioni, può tuttavia incrementare l'incidenza di patologie fungine, come oidio e ruggini nei cereali o peronospora in frutteti e orticole.

Nel periodo estivo, nonostante la presenza di alcune piogge, il combinarsi di alte temperature ed elevata evapotraspirazione può determinare condizioni di deficit idrico temporaneo. In questo contesto risultano fondamentali tecniche agronomiche orientate alla conservazione della risorsa idrica e al mantenimento della fertilità del suolo: gestione dell'inerbimento, utilizzo di pacciamature organiche, irrigazione di supporto e rotazioni colturali diversificate.

Nel complesso, l'interazione tra clima, caratteristiche pedologiche e disponibilità irrigua conferma la forte vocazione agricola del territorio di Bondeno, che si presta a un'agricoltura intensiva e specializzata, pienamente compatibile con la produzione di energia rinnovabile e orientata a modelli resilienti e sostenibili.

3.7 Pedogenesi

L'evoluzione dei suoli riflette i caratteri tipici della pianura alluvionale emiliano-romagnola, modellata nel tempo da depositi fluviali e palustri di età recente. I materiali parentali sono costituiti prevalentemente da sedimenti fini di origine alluvionale; argille, limi e frazioni sabbiose molto modeste, che hanno determinato processi pedogenetici distintivi rispetto alle aree limitrofe dell'Alta Pianura.

I suoli dell'area di progetto mostrano infatti una tendenza marcata verso tessiture fini: le analisi regionali riportano valori medi di argilla prossimi al 58–59%, limo tra il 35 e il 40% e sabbia generalmente inferiore al 6%. Tali caratteristiche collocano il sito all'interno delle classi argillosa (A) e argilloso-limosa (AL), con una struttura fisica che favorisce fenomeni di compattazione superficiale ma, allo stesso tempo, una buona capacità di trattenere l'acqua utile per le colture.

Dal punto di vista chimico, i suoli presentano reazione alcalina, con pH compreso tra 7,5 e 8,5, e risultano non salini, come indicato dagli indici di conducibilità elettrica, caratteristica che permette un'ampia adattabilità colturale e riduce i rischi di stress salino nei periodi più siccitosi. L'elevato contenuto in carbonati, tipico dei depositi fluviali stabilizzati, testimonia inoltre condizioni di moderata alcalinità e una lenta evoluzione pedogenetica degli orizzonti più profondi.

Nelle porzioni centrali e meridionali dell'area prevalgono suoli appartenenti all'unità 2Ab, classificati come "suoli molto profondi, a tessitura fine, calcarei, moderatamente o fortemente alcalini", sviluppati su sedimenti fluviali e palustri a granulometria fine. Questi profili, caratterizzati da una disponibilità di ossigeno moderata o imperfetta, possono manifestare in alcune stagioni condizioni localizzate di ristagno idrico, evidenziate da screziature e fenomeni idromorfici puntuali.

Nella parte più settentrionale, verso Gavello, compaiono invece suoli della serie 3Ba, formati su sedimenti fluviali a tessitura media. Qui gli orizzonti risultano più arieggiati, con una buona disponibilità di ossigeno e una reazione moderatamente alcalina, che conferisce al terreno migliori proprietà fisiche e maggior facilità di lavorazione rispetto alle porzioni più argillose a sud.

Il clima temperato subcontinentale dell'area, caratterizzato da precipitazioni regolari durante tutto l'anno contribuito nel tempo a determinare cicli alternati di imbibizione ed essiccamento del suolo. Questi processi hanno favorito la formazione di strutture poliedriche e prismatiche negli orizzonti profondi, tipiche dei suoli a elevato contenuto argilloso, e un'evoluzione pedogenetica moderata, coerente con la morfologia pianeggiante del territorio.

La gestione agronomica vede come colture principe i principali seminativi ma deve considerare la tendenza alla compattazione superficiale e ai ristagni temporanei, soprattutto nei terreni più fini, adottando pratiche conservative come lavorazioni ridotte, incremento della sostanza organica, inerbimento controllato e rotazioni diversificate.

In un'ottica di sostenibilità e adattamento climatico, tali tecniche risultano fondamentali per preservare la struttura del suolo, migliorare la porosità e garantire una buona efficienza idrica, soprattutto in un contesto in cui gli episodi di siccità estiva tendono a intensificarsi.

3.8 Capacità d'uso del suolo

Dall'analisi della Carta dell'Uso del Suolo regionale, la maggior parte dell'area si colloca in **classe III** presentano limitazioni significative che condizionano le scelte colturali e richiedono tecniche agronomiche più attente. Le restrizioni riguardano soprattutto la permeabilità lenta dei substrati fini, il rischio di ristagno idrico dopo le piogge e la necessità di evitare le lavorazioni in condizioni troppo umide. Le colture sono possibili, ma con una scelta più limitata e con rese influenzate dai vincoli pedologici e climatici. In queste condizioni è spesso necessario adottare drenaggi migliorativi, apporti di sostanza organica e sistemi colturali conservativi per mantenere la struttura del suolo. I terreni possono comunque ospitare non solo colture erbacee, ma anche prati, boschetti e aree ecologiche di supporto alla fauna.

Nella porzione a nord vi è la presenza di una piccola porzione in **classe II**, che non va a modificare la valutazione complessiva del sito, data la poca rilevanza.

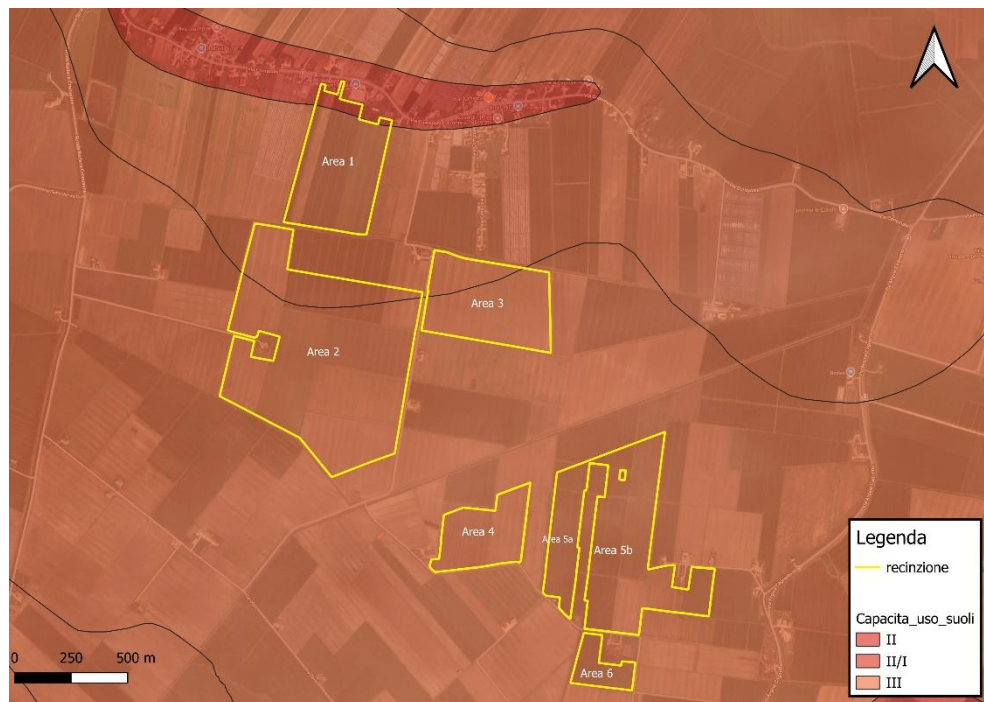


Immagine 6: Estratto della Carta d'uso del suolo della Regione Emilia Romagna

3.9 Presenza di colture DOP o IGP

L'area agricola oggetto dell'intervento, ubicata nel territorio comunale di Bondeno, si colloca in un contesto fortemente agricolo e da una forte integrazione con le reti irrigue consorziali che sostengono le principali produzioni locali. Le verifiche condotte sull'areale non evidenziano la presenza di filiere DOP o

IGP direttamente coinvolte, ma il territorio mantiene una consolidata tradizione cerealicola e foraggera, con un sistema produttivo stabile e orientato alla continuità aziendale.

Attualmente i terreni sono gestiti a seminativo semplice, con rotazioni, senza particolari vincoli legati a disciplinari di qualità. In vista dell'installazione dell'impianto agrivoltaico, e in conformità ai criteri delle Linee Guida MASE — in particolare il parametro B.I relativo alla “continuità dell'attività agricola” — il progetto prevede il mantenimento dell'indirizzo produttivo esistente, integrato con colture a maggiore resilienza nei confronti delle condizioni climatiche locali e compatibili con la presenza delle strutture fotovoltaiche.

L'inserimento di specie erbacee a basso fabbisogno idrico e la possibilità di adottare rotazioni più diversificate permetteranno di coniugare produttività agricola e produzione energetica, assicurando la piena operatività dell'azienda agricola anche in fase post-realizzazione dell'impianto. Tale approccio garantisce non solo la continuità economica delle attività preesistenti, ma anche un miglioramento della sostenibilità complessiva del sistema agrario locale, in linea con le caratteristiche e la vocazione del territorio di Bondeno.

3.10 Zone di vulnerabilità ai nitrati

A seguito dell'entrata in vigore del D.Lgs. 152/2006 (Direttiva Nitrati) e delle sue successive modifiche, il territorio di Bondeno è interamente ricompreso nelle Zone Vulnerabili da Nitrati (ZVN), in base alle delimitazioni definite dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) e dal Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione Emilia-Romagna.

In quanto parte di una ZVN, l'azienda agraria dell'area agrivoltaica è soggetta a vincoli obbligatori: deve redigere un Piano di Utilizzazione Agronomica (PUA) per gestire agronomicamente la distribuzione di effluenti zootecnici, digestato e concimi azotati secondo il fabbisogno delle colture.

Inoltre, il Regolamento regionale n. 2/2024 stabilisce limiti rigorosi sull'uso di fertilizzanti azotati: sono previsti periodi di divieto di spandimento (in particolare tra novembre e febbraio), dettati in parte dal Bollettino Nitrati emesso da ARPAE, che calcola la possibilità di distribuire in base a meteo, tipi di fertilizzante, condizioni del suolo e vulnerabilità della zona.

Il regolamento disciplina anche le modalità di stoccaggio degli effluenti, imponendo strutture idonee per evitare perdite e garantire che il materiale venga utilizzato nei momenti agronomicamente più opportuni.



Immagine 7: Estratto della mappa delle aree ZVN Regine Emilia Romagna

Per migliorare la protezione delle acque superficiali e sotterranee, l'uso dei fertilizzanti deve essere bilanciato: l'azoto apportato non può eccedere il fabbisogno delle colture, al fine di ridurre al minimo il rischio di dispersione di nitrati.

Nel contesto dell'impianto agrivoltaico, queste prescrizioni obbligatorie si integrano con una gestione agronomica responsabile: saranno adottate buone pratiche agronomiche volte a minimizzare l'impatto ambientale, ottimizzare l'uso di azoto e proteggere la qualità delle acque.

Inoltre, saranno rispettati integralmente tutti gli obblighi di legge previsti dalla normativa vigente, inclusi i vincoli relativi alle pratiche di fertilizzazione e gestione agronomica del suolo.

La concimazione, principalmente fosfo-potassica, sarà limitata alla fase di preimpianto dell'erba medica (*Medicago sativa* L.), mediante una concimazione di fondo calibrata in funzione dei risultati dell'analisi chimico-fisica del terreno, che si allegano al presente documento, al fine di favorire l'attecchimento iniziale della coltura e lo sviluppo dell'apparato radicale. Successivamente, non saranno effettuati ulteriori apporti di fertilizzanti chimici, in quanto la leguminosa, grazie alla simbiosi rizobica con *Rhizobium meliloti*, è in grado di fissare naturalmente l'azoto atmosferico, contribuendo al mantenimento della fertilità del suolo.

L'adozione di queste tecniche agronomiche è pienamente coerente con i principi dell'agroecologia e della gestione conservativa del suolo, in quanto riduce l'impronta chimica della coltivazione, valorizza la biodiversità funzionale e contribuisce al sequestro di carbonio, assicurando nel lungo periodo la compatibilità ecologica dell'impianto agrivoltaico con il paesaggio agricolo di Bondeno.

4 Matrice dei valori

Qui di seguito una breve analisi delle 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 6: Matrice dei valori

ID	Stato di fatto	Criticità	Proposta migliorativa
1	Il sito ad oggi risulta gestito e coltivato a seminativo / foraggiere	Coltivazioni di seminativi estensivi	L'intervento attraverso il mantenimento dell'indirizzo generale ma con miglioramento del sito attraverso un inerbimento permanente durante tutto l'anno di erba medica e rotazione con prati annuali.
2	La biodiversità nell'areale è limitata anche a causa delle attività agricole monocolturali nell'intorno dove 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	La profilazione e lo sviluppo di insetti pronubi potrebbero essere a rischio	Al fine di aumentare la biodiversità dell'area con un evidente miglioramento di tutto l'areale si prevede una fascia di mitigazione con specie autoctone con fioriture scaglionate nel tempo, che potrebbero creare delle nicchie ecologiche.
3	Ad oggi non è prevista nessuna azione di monitoraggio.	La mancata installazione di centraline agrometeorologiche non permette un ottimale posizionamento delle operazioni agricole anche in un'ottica futura dell'area	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.
4	Il suolo mostra alcune criticità, soprattutto in presenza di tessiture fini e compattazione.	Limitazione della capacità di drenaggio e favorire fenomeni di stagnazione superficiale in determinati periodi dell'anno.	Per garantire una gestione sostenibile di questi suoli verranno adottate pratiche conservative, quali l'inerbimento permanente tra i filari con erba medica, l'impiego di lavorazioni minime e l'incremento della sostanza organica attraverso

			occasionali sovesci, al fine di mantenere la struttura del suolo e preservarne la fertilità nel lungo periodo. Tali accorgimenti risultano ancor più rilevanti in un'ottica di resilienza ai cambiamenti climatici e di riconversione agroecologica dei sistemi agricoli locali.
5	Il sito ad oggi non prevede l'uso di acqua.	Ad oggi sull'area non è prevista alcuna infrastruttura per l'irrigazione	Le coltivazioni previste nel piano colturale saranno condotte in asciutta fatta eccezione per un'irrigazione di soccorso limitata alla fascia di mitigazione
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	
Peggiorativo		La soluzione proposta prevede un peggioramento rispetto allo stato di fatto	

5 Progetto agronomico

L'impostazione agronomica prevista per il sito di Bondeno si fonda sull'integrazione equilibrata tra produzione elettrica da fotovoltaico e attività agricola, in un modello di coesistenza che valorizza entrambi i comparti. La presenza dei moduli montati su tracker garantisce un'elevata efficienza energetica e, allo stesso tempo, crea un regime di ombreggiamento dinamico che riduce la domanda irrigua delle colture. Questa modulazione della radiazione, già documentata da diversi studi recenti, favorisce una migliore qualità delle produzioni erbacee e contribuisce a mitigare gli stress idrici estivi. (Axel W. et al 2021, Omer A. et al 2025).

Nel definire l'indirizzo colturale è stata posta particolare attenzione all'attuale povertà di insetti impollinatori e alla limitata diversità biologica presente nell'area. Le scelte agronomiche puntano dunque su colture e assetti che favoriscano l'aumento della biodiversità funzionale, migliorando habitat e risorse trofiche per pronubi e fauna utile.

L'area si presta all'introduzione di un ordinamento produttivo basato su foraggiere idonee ai sistemi agrivoltaici e coerenti con le condizioni pedoclimatiche locali. Il progetto prevede una rotazione pluriennale fra erba medica e miscugli annuali di leguminose e graminacee, scelta che assicura una copertura stabile del suolo, un buon equilibrio nutrizionale del terreno e una gestione colturale compatibile con le strutture fotovoltaiche. Questa soluzione consente di mantenere attiva la produzione agricola in maniera continuativa, limitare i processi erosivi e favorire la rigenerazione degli apparati radicali nel lungo periodo.

A completamento del sistema produttivo è prevista la realizzazione di una fascia perimetrale di mitigazione, composta da specie arbustive autoctone – tra cui ligustro ed elementi della flora locale – in grado di incrementare la funzionalità ecologica del sito e di integrarsi nel paesaggio circostante. Per garantire un adeguato attecchimento di queste essenze, sarà effettuata un'irrigazione di soccorso limitata ai primi anni, utilizzando acqua trasportata sul posto tramite autobotti, così da evitare la posa di reti fisse o ulteriori infrastrutture idriche.

Le colture foraggiere interne all'impianto saranno invece gestite prevalentemente in asciutta, secondo una conduzione estensiva rispettosa delle condizioni pedologiche della pianura di Bondeno. Solo in caso di situazioni climatiche particolarmente critiche o qualora si volesse incrementare la produzione in specifiche annate, potranno essere previste irrigazioni di emergenza o integrazioni mirate, mantenendo comunque un approccio conservativo e sostenibile.

5.1 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 il layout di dettaglio al fine di visualizzare 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.

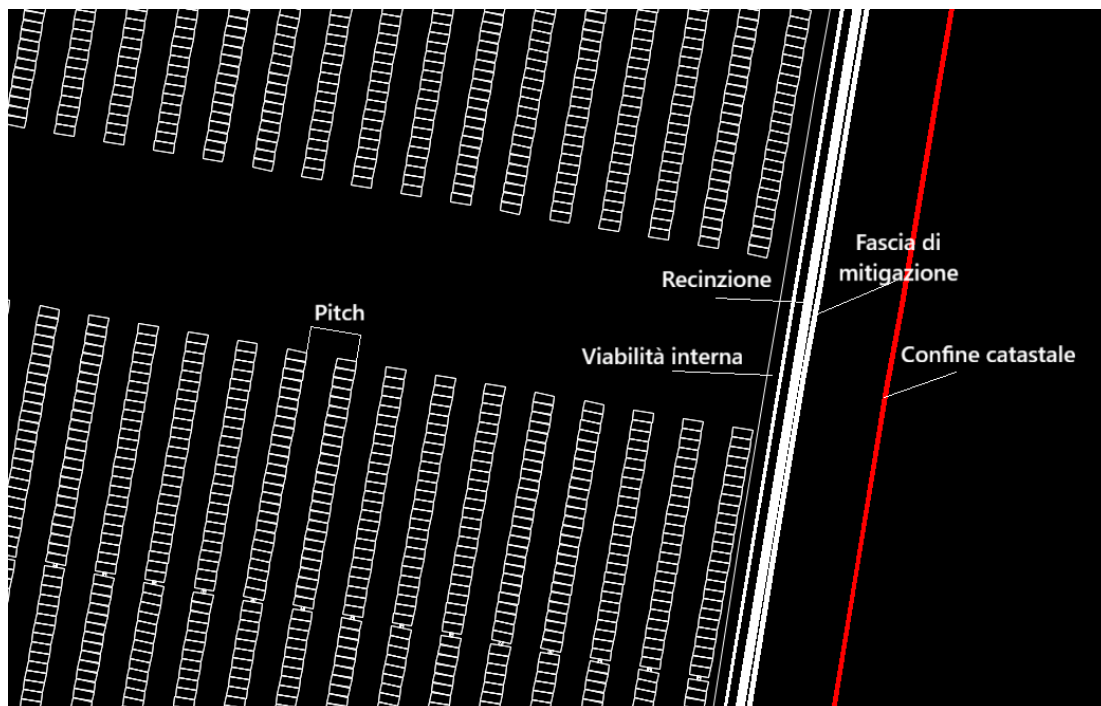


Immagine 8: Layout dettaglio dell'impianto

Si evidenzia che la maggior parte delle operazioni colturali verrà svolta con posizionamento dei traker tali da permettere passaggi più agevoli per i mezzi, in particolare nelle operazioni che richiedono manovre di inversione o svolgimento di attrezzature.

5.2 Definizione del piano colturale

Per l'ordinamento colturale dell'area, è stata individuata l'erba medica (*Medicago sativa* L.) come coltura principale. La scelta è in linea con le attitudini pedoclimatiche dell'areale di Bondeno, dove la medica è tradizionalmente diffusa e garantisce produzioni stabili anche in contesti di gestione estensiva. La specie, grazie alle sue caratteristiche agronomiche, risulta particolarmente adatta a un sistema agrivoltaico avanzato: la buona capacità di tollerare condizioni di ombreggiamento moderato, la longevità della coltura e la capacità di fissare azoto atmosferico contribuiscono infatti a mantenere elevata la fertilità del suolo senza ricorrere a interventi fertilizzanti significativi.

La coltura verrà gestita come erbaio stabile con ciclo pluriennale di 4–5 anni, al termine del quale si procederà all'avvicendamento con miscugli foraggeri o con cereali/graminacee annuali, così da evitare il ripetersi prolungato della medica sullo stesso appezzamento. Tale rotazione è fondamentale non solo per la gestione della fertilità, ma anche per mitigare l'insorgenza di patologie tipiche dei medical coltivati continuamente, come antracnosi (*Colletotrichum trifolii*), la maculatura fogliare (*Pseudopeziza medicaginis*), i marciumi radicali causati da *Fusarium spp.* e *Verticillium spp.*, e l'avvizzimento batterico (*Corynebacterium insidiosum*). L'alternanza programmata delle colture consente inoltre di ristabilire la biodiversità microbica del suolo e preservarne la struttura fisica.

La gestione del medicaio prevede interventi di sfalcio regolari finalizzati alla produzione di foraggio di qualità. I residui vegetali eventualmente non conferibili al sistema di raccolta saranno trinciati e redistribuiti sul terreno, contribuendo all'accumulo di sostanza organica e rafforzando i processi di miglioramento

strutturale del suolo. Tale pratica, oltre a favorire un incremento dello stock di carbonio nel suolo, permette di limitare l'erosione superficiale e di mantenere un buon livello di umidità nei periodi siccitosi.

L'impianto fotovoltaico in progetto prevede l'uso di moduli a inseguimento monoassiale opportunamente sopraelevati e disposti con interfilari tali da non ostacolare le operazioni meccanizzate, garantendo l'accesso e la coltivabilità dell'intera superficie destinata alla produzione foraggera. La disposizione dei pannelli, abbinata al movimento dei tracker, genera un ombreggiamento variabile e armonizzato che contribuisce a mitigare gli stress termici estivi e a ridurre la perdita di umidità dal terreno, condizioni particolarmente favorevoli per le colture foraggere, come confermato dalle più recenti evidenze scientifiche nel campo dell'agrovoltaico.

Il modello gestionale adottato rispecchia i principi dell'agricoltura conservativa: suolo sempre coperto, riduzione al minimo degli interventi invasivi e ottimizzazione dell'impiego delle risorse. Tale approccio consente di coniugare stabilità produttiva, tutela dell'ambiente e compatibilità con la presenza dell'impianto fotovoltaico, configurando il sito di Bondeno come un sistema agrivoltaico evoluto, capace di generare benefici simultanei in termini agricoli, energetici ed ecosistemici.

5.3 Scelta delle specie vegetali

La definizione della coltura da introdurre all'interno dell'area destinata all'impianto agrivoltaico di Bondeno è stata elaborata attraverso un'analisi approfondita delle condizioni ambientali, delle esigenze agronomiche e delle caratteristiche operative del sistema fotovoltaico previsto. L'obiettivo principale è quello di garantire una piena integrazione tra componente agricola e infrastruttura energetica, in linea con i principi dell'agrovoltaico avanzato e con i criteri di sostenibilità e multifunzionalità richiesti dal progetto.

Tenendo conto della consolidata tradizione foraggera della pianura ferrarese, della buona disponibilità di terreni profondi e strutturalmente idonei alla lavorazione meccanica, nonché del contesto climatico tipico dell'Emilia nord-orientale, la coltura individuata come più adatta è l'erba medica (*Medicago sativa* L.), gestita come erbaio pluriennale destinato alla produzione di foraggio, in rotazione con miscugli foraggeri annuali, per evitare problematiche fitopatogene dell'erba medica se coltivata in maniera continua sullo stesso appezzamento per diverso.

La scelta colturale è stata calibrata considerando in particolare le condizioni pedoclimatiche e morfologiche tipiche dell'area di Bondeno, tra cui:

- La morfologia perfettamente pianeggiante, che permette un agevole svolgimento delle operazioni di sfalcio, trinciatura e movimentazione meccanizzata del prodotto;
- La tessitura a prevalenza franco-limoso con buona profondità utile, che assicura ottima ritenzione idrica e consente lo sviluppo efficace dell'apparato radicale della medica;
- Il clima temperato della pianura emiliana, caratterizzato da estati calde, inverni freddi e un regime pluviometrico concentrato in autunno e primavera, condizioni particolarmente favorevoli alle colture foraggere poliennali gestite in asciutta.

L'insieme di questi elementi rende l'erba medica la coltura più idonea per assicurare compatibilità tra gestione agricola, continuità produttiva e funzionalità dell'impianto agrivoltaico previsto a Bondeno.

La scelta della coltura da adottare all'interno dell'area destinata all'impianto agrivoltaico di Bondeno è stata definita con l'obiettivo di contribuire anche alla riqualificazione dell'area agricola e dell'ambiente

circostante. L'analisi condotta ha mirato a soddisfare una serie di obiettivi strategici, pienamente coerenti con i principi di sostenibilità ambientale e con le azioni di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici. In particolare, sono stati perseguiti i seguenti traguardi:

- Riduzione dei fenomeni erosivi attraverso l'impiego di colture capaci di garantire una copertura permanente del terreno. L'apparato radicale profondo e strutturante delle specie foraggere perenni, come la medica, consente di stabilizzare il suolo, favorendo al tempo stesso la formazione di macro- e microporosità utili allo scambio idrico e gassoso;
- Incremento della fertilità biologica e chimica del terreno, mediante l'inserimento di specie leguminose in grado di fissare naturalmente l'azoto atmosferico e di migliorare la dotazione di sostanza organica, contribuendo così alla rigenerazione della struttura pedologica e alla riduzione del ricorso ai fertilizzanti di sintesi;
- Consolidamento della produttività agricola nel medio-lungo periodo, puntando su colture stabili, economicamente sostenibili e integrabili con le principali filiere agro-zootecniche del territorio ferrarese, favorendo al contempo la diversificazione produttiva dell'azienda;
- Armonizzazione tra gestione agricola e funzionamento dell'impianto fotovoltaico, selezionando colture e pratiche colturali che richiedano un numero limitato di interventi meccanici, che risultino compatibili con i layout degli inseguitori solari e che non interferiscano con le attività di manutenzione elettrica e strutturale;
- Riduzione degli input tecnici e degli impatti ambientali, privilegiando colture poco esigenti in termini di trattamenti fitosanitari e lavorazioni, così da limitare pressioni sul suolo, sulle acque e sulla biodiversità locale, contribuendo alla sostenibilità complessiva del sistema agrivoltaico.

5.3.1 Erba Medica (*Medicago sativa* L.)

5.3.1.1 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.



Immagine 9: Erba medica



Immagine 10: Erba medica

5.3.1.2 Cure colturali

Tabella 7: Cure colturali Erba medica

Azione	Descrizione
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;
Concimazione	sfalci anticipati nel primo anno, diserbo meccanico tra le file, eventuale erbicidi selettivi in pre-emergenza;
Irrigazione	Eventuale irrigazione di soccorso o irrigazioni programmate per incrementare la resa;
Gestione del cotico	Sfalcio: 2–4 tagli annui, stadio gemmazione/inizio fioritura, influenzano qualità foraggera e durata cotico;
Rinnovo del miscuglio	Durata ciclo: 2–4 anni, con calo produttivo oltre il terzo anno.

5.3.2 Miscugli foraggeri annuali (graminacee + leguminose)

5.3.2.1 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*.
- 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.

Tabella 8: Specie vegetali selezionate

Specie selezionata	Motivo della scelta
<i>Lolium multiflorum</i> (Loietto italiano)	Graminacea annuale a rapido sviluppo, ottima per la produzione di foraggio e copertura invernale; migliora la struttura del suolo e compete bene con le infestanti.
<i>Avena sativa</i> (Avena comune)	Coltura rustica e produttiva, adatta ai terreni limoso-argillosi di pianura; fornisce foraggio di buona qualità e svolge azione miglioratrice sulla struttura del terreno.
<i>Trifolium incarnatum</i> (Trifoglio incarnato)	leguminosa annuale, con infiorescenza rossa ricca di nettare, anche utile al miglioramento del suolo.
<i>Trifolium resupinatum</i> (Trifoglio persiano)	Leguminosa annuale da rinnovo, resistente al freddo e alle condizioni di ristagno temporaneo; utile per rotazioni brevi e come copertura del suolo.
<i>Vicia sativa</i> (Veccia comune)	Leguminosa da foraggio molto produttiva e miglioratrice, con elevato contenuto proteico; ideale nei miscugli con graminacee per bilanciare il rapporto C/N.
<i>Hordeum vulgare</i> (Orzo foraggero)	Graminacea annuale a ciclo breve, adatta ai suoli fertili e ben drenati; garantisce produzione precoce e ottimo comportamento in consociazione con leguminose.
<i>Silybum marianum</i> (Cardo mariano)	Leguminosa annuale con alta resa e capacità azotofissatrice; migliora la fertilità e fornisce foraggio di elevato valore nutritivo.

5.4 Fascia di mitigazione

Per assicurare un adeguato inserimento paesaggistico dell'impianto agrivoltaico previsto nel territorio di Bondeno, è stata progettata una fascia verde perimetrale finalizzata a ridurre l'impatto visivo delle strutture e a ristabilire una continuità vegetazionale con il paesaggio agricolo circostante.

La fascia sarà realizzata lungo tutto il confine dell'area d'intervento, in aderenza alla proprietà ed esterna al perimetro di recinzione, con uno sviluppo trasversale pari a 5 metri, così da garantire uno spazio sufficiente sia alla crescita delle specie vegetali sia alla loro corretta manutenzione.

L'elemento principale della schermatura sarà costituito da un'alberatura formata da *Ligustrum vulgare* (Ligustro), specie caratterizzata da elevata rusticità, rapido accrescimento e capacità di mantenere una cortina vegetale densa e stabile durante l'intero arco dell'anno, assicurando quindi un efficace schermo naturale verso l'esterno.

Sul fronte esterno del ligustro, verso la campagna aperta, verranno collocate diverse specie arbustive tipiche della flora spontanea dell'area bondenese, tra cui *Cornus sanguinea* (Sanguinella), *Crataegus monogyna* (Biancospino) ed *Euonymus europaeus* (Fusaggine o Beretta del prete).

La scelta di queste essenze, tutte autoctone e ben adattate alle condizioni pedoclimatiche locali, ha lo scopo di:

- incrementare la biodiversità floristica e faunistica,
- riprodurre la tipica composizione arbustiva dei margini agricoli della pianura ferrarese,
- migliorare l'integrazione ecologica e percettiva del progetto nel suo contesto territoriale.

Nel complesso, la fascia vegetale prevista fungerà sia da elemento schermante, sia da corridoio ecologico, contribuendo alla ricomposizione ambientale dell'area e al rafforzamento delle funzioni ecosistemiche del territorio rurale di Bondeno.

Adattabilità al clima locale

Le specie individuate sono particolarmente adatte al clima della pianura ferrarese, caratterizzato da inverni freddi con gelate e da estati calde e siccitose. Tollerano bene ampie escursioni termiche e condizioni di mezz'ombra o ombra, mantenendo comunque una buona vigoria vegetativa. Mostrano inoltre un'elevata adattabilità ai suoli limoso-argillosi tipici di Bondeno, anche in presenza di moderata compattazione o contenuti livelli di salinità. La loro resistenza a stress ambientali e inquinanti le rende idonee a contesti agricoli e periurbani. Queste caratteristiche garantiscono un rapido attecchimento e un efficace contributo alla mitigazione paesaggistica e alla biodiversità dell'area.

5.4.1 Fronte interno – Ligustro

Il *Ligustrum vulgare* L., comunemente conosciuto come ligustro europeo, è una specie appartenente alla famiglia delle Oleaceae. È un arbusto rustico, semisempreverde o deciduo a seconda delle condizioni climatiche, ampiamente diffuso in tutta Europa, dal livello del mare fino a quote collinari e montane. In Italia è presente in quasi tutte le regioni, soprattutto ai margini di boschi, in siepi naturali o in ambienti agricoli, e viene largamente impiegato in ambito ornamentale e agronomico per la formazione di siepi rustiche, schermature e barriere verdi.

5.4.2 Fronte esterno – arbusti autoctoni

Nella fascia esterna rispetto alla siepe di ligustro, si prevede l'inserimento di arbusti autoctoni e naturalizzati adatti al contesto climatico e pedologico della pianura emiliana. Le specie sono state selezionate per la loro adattabilità ai suoli di medio impasto a tendenza argillosa, per la resistenza ai fattori climatici tipici del territorio (estati calde, inverni freddi, escursioni termiche marcate) e per il loro contributo in termini di valore ecologico, funzionalità paesaggistica e bassa manutenzione.

Tra le specie individuate figura *Cornus sanguinea*, comunemente nota come sanguinella, arbusto caducifoglio con portamento cespuglioso e rami giovani di colore rosso-bruno particolarmente ornamentali nel periodo invernale. La specie, tipica delle siepi di margine e delle formazioni ripariali padane, tollera bene i suoli argillosi e moderatamente umidi. La fioritura, che si presenta tra maggio e giugno, è bianca e mellifera, seguita dalla formazione di bacche nere molto gradite alla fauna avicola. In autunno, il fogliame si colora di toni accesi che conferiscono varietà cromatica alla fascia vegetata.

Altrettanto importante è la presenza del *Crataegus monogyna*, o biancospino, arbusto o piccolo alberello spinoso, caducifoglio, con altezza variabile tra i 3 e i 5 metri. Si caratterizza per la fioritura primaverile abbondante, con piccoli fiori bianchi molto profumati, e per la produzione autunnale di piccoli pomi rossi, eduli per la fauna. Il biancospino è particolarmente adatto ai suoli argillosi e calcarei, si adatta bene a interventi di potatura, ed è tollerante alla siccità estiva e alle gelate invernali, configurandosi come una delle specie più rustiche per l'ambiente padano.

La selezione comprende anche *Euonymus europaeus*, noto come fusaggine o berretta del prete, arbusto caducifoglio alto fino a 2,5–3 metri, noto per i suoi frutti molto decorativi, capsule rosa che in autunno si aprono mostrando semi aranciati. Le foglie, verdi in estate, assumono colorazioni porpora o arancio in autunno, contribuendo all'interesse estetico della fascia nei mesi freddi. È una specie rustica



Immagine 11: Esempio grafico del layout della fascia di mitigazione

5.4.3 Cure colturali nei primi anni di impianto

- **Preparazione del terreno:** si consiglia una lavorazione profonda (30–40 cm) con affinamento superficiale e apporto di compost maturo o stallatico, utile a garantire un buon attecchimento iniziale.

- **Sesto d'impianto:** per una siepe compatta si adottano distanze di 60–70 cm tra le piante su una singola fila, o 70–90 cm tra file alternate in impianti a doppia fila.
- **Irrigazione:** nei primi due anni sono necessarie irrigazioni regolari nei mesi più caldi, con frequenza settimanale o bisettimanale in funzione dell'andamento climatico.
- **Controllo delle infestanti:** utile la pacciamatura con cippato, paglia o teli biodegradabili per limitare la competizione radicale.
- **Concimazione:** a fine inverno può essere utile un apporto annuale di compost o concime organico pellettato, eventualmente integrato con fosforo e potassio per stimolare l'apparato radicale.
- **Potatura di formazione (primi 3 anni):** si effettuano leggere cimature a fine inverno per stimolare la ramificazione e favorire l'infoltimento della base.
- **Potatura di mantenimento:** una volta raggiunta l'altezza di 2,5–3 metri, si consiglia una potatura annuale a fine inverno per contenere lo sviluppo verticale e mantenere la forma compatta, accompagnata da una potatura estiva (luglio) per contenere i ricacci.
- **Concimazione di mantenimento:** un apporto organico annuale, integrato da fertilizzanti a lenta cessione (300–400 g/pianta), favorisce la persistenza vegetativa.
- **Irrigazione in età adulta:** generalmente non necessaria, salvo estati molto siccitose o su suoli particolarmente poveri o sabbiosi.

5.4.4 Layout della fascia di mitigazione

Nella fascia perimetrale dell'area oggetto di intervento, è prevista la realizzazione di una fascia di mitigazione paesaggistica avente lo scopo di attenuare l'impatto visivo dell'impianto agrivoltaico e favorirne l'inserimento armonico nel paesaggio agricolo della pianura ferrarese. Come indicato nella planimetria progettuale, tale fascia si colloca tra il limite catastale della proprietà e la recinzione dell'impianto, sviluppandosi per una larghezza complessiva pari a 5 metri.

La fascia sarà strutturata secondo uno schema vegetazionale a due strati, con la presenza di una siepe arbustiva principale a sviluppo verticale e di una fascia arbustiva secondaria a disposizione più libera e naturaliforme. Nella porzione interna, in adiacenza alla recinzione, verrà realizzata un'alberatura di *Ligustrum vulgare*, selezionata per la sua capacità di raggiungere altezze di circa 3 metri, per la tolleranza al freddo e per la buona resistenza alla siccità estiva.

Il sesto di impianto previsto per il *Ligustrum vulgare* è pari a 1 m tra le piante lungo la fila, con configurazione monofilare. Tale disposizione consente la formazione di una barriera vegetale compatta nel giro di 2–3 anni, facilitando al tempo stesso gli interventi di potatura e contenimento necessari al mantenimento dell'altezza target e alla densità della siepe.

Nella fascia più esterna, verso il confine catastale, la composizione arbustiva comprenderà specie come *Cornus sanguinea* (sanguinella), *Euonymus europaeus* (berretta del prete), *Crataegus monogyna* (biancospino). Il sesto d'impianto previsto per la fascia arbustiva è variabile tra 1 e 1,5 metri tra le piante, con disposizione irregolare o su file sfalsate. Questa impostazione consente di riprodurre la struttura delle siepi spontanee tipiche del paesaggio agrario padano, favorendo l'alternanza di forme, volumi e periodi di fioritura, e incrementando la biodiversità funzionale.

Tabella 9: Criteri geometrici e sesto di impianto

A	distanza impianto della fascia di mitigazione dalla recinzione	20 cm	Distanza minima al fine di evitare fenomeni di aggrovigliamento della vegetazione alla rete perimetrale per anche facilitarne la manutenzione
B	Distanza tra filari paralleli delle specie in fascia di mitigazione	1 – 1,5 m	Consente la crescita idonea della vegetazione nei primi anni di impianto facendo giungere ad ogni singolo individuo il corretto quantitativo di irraggiamento.
C	Distanza dall'ultima fila delle vegetazione sino al limite della proprietà	N.D.	Variabile, si consiglia di non impiantare specie al ridosso del limite catastale, per facilitarne manutenzione.
D	Sesto di impianto filare di Ligustro	1 – 1,5 m	Distanza tra due individui consecutivi sulla stessa fila
E	Sesto di impianto filare di cespugli autoctoni	1 – 1,5 m	Distanza tra due individui consecutivi sulla stessa fila
F	Distanza proiezione singole piante	50 – 75 cm	Consente di garantire un impianto sfalsato per facilitare l'effetto di mitigazione visiva ocludendo tutti gli spazi a impianto avviato

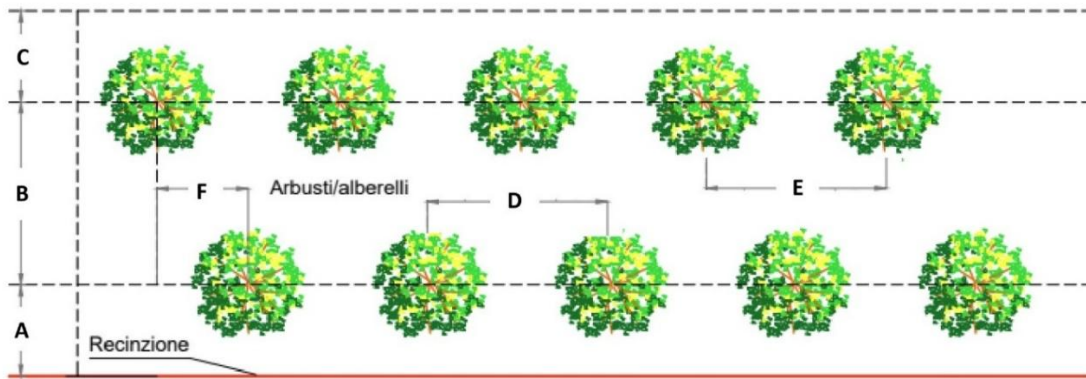


Immagine 12: Vista dall'alto

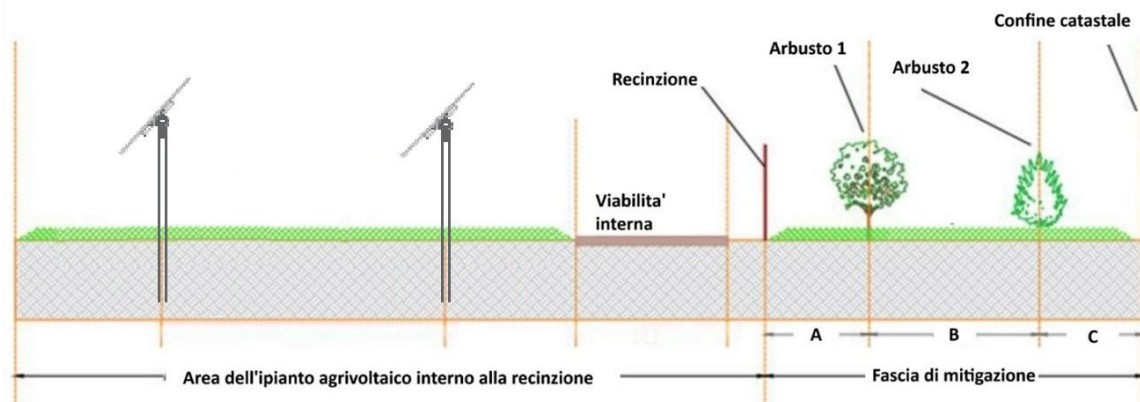


Immagine 13: vista di profilo

5.5 Gestione dell'attività agrivoltaica

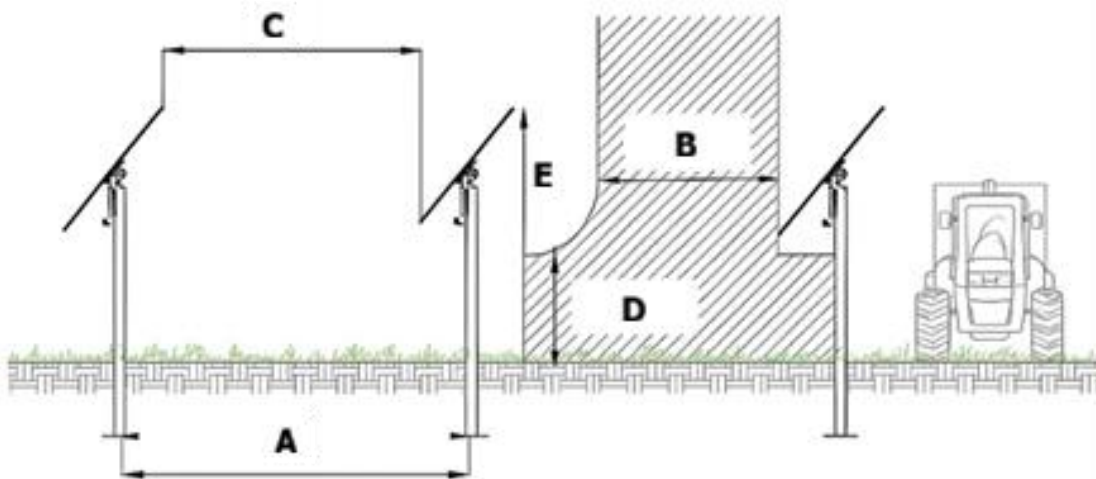
Nel contesto dell'impianto agrivoltaico, caratterizzato da una configurazione strutturale con altezza minima libera da terra pari a 2,10 metri e pitch complessivo di 6 metri, è stata condotta un'attenta valutazione della meccanizzazione delle operazioni agricole alla luce dei vincoli spaziali imposti dalla presenza dei moduli fotovoltaici montati su tracker monoassiali.

Nella seguente tabella viene riportata l'analisi dei criteri geometrici dell'impianto, utile al transito e manovra dei mezzi agricoli.

Tabella 10: Criteri geometrici

A	distanza tra le file (pitch) pari a 5,50 metri, che rappresenta l'interasse tra due strutture portanti adiacenti.	6m	in conformità alle Linee Guida MASE e le linee guida operative del GSE per impianti agrivoltaici avanzati
B	interfilare minimo utile netto, che costituisce il corridoio praticabile dai mezzi agricoli. si verifica	3,5m	consente il transito agevole di trattori di tipo compatto con carreggiata regolabile e attrezzature agricole portate o trainate, senza compromettere la stabilità delle

	nelle ore centrali della giornata, quando i moduli si trovano in posizione orizzontale (sole allo zenit)		lavorazioni né ostacolare le operazioni di sfalcio, semina o raccolta.
C	interspazio variabile con sole non allo zenit	< 4,5m	consente il transito agevole di trattrici di tipo compatto con carreggiata regolabile e attrezzature agricole portate o trainate, senza compromettere la stabilità delle lavorazioni né ostacolare le operazioni di sfalcio, semina o raccolta
D	L'altezza libera dal suolo alla parte inferiore dei moduli fotovoltaici durante la massima rotazione del tracker	2,1m	permettendo l'utilizzo di trattori cabinati e attrezzature con sviluppo verticale contenuto
E	L'altezza massima dell'impianto durante la massima inclinazione dei trackers	4,1m	Da allineare ad eventuali vincoli ambientali e paesaggistici, se esistenti
	spazio minimo tra l'estremità dei moduli fotovoltaici e la recinzione perimetrale	7m (N-S) 5m (E-W) ¹	garantire ampi margini di manovra alle trattrici e alle attrezzature agricole



¹ Valore definito sulla base dello studio dell'angolo di sterzata e del raggio di rotazione dei mezzi agricoli che verranno impiegati per la gestione colturale, assicurando così la piena funzionalità operativa dell'impianto agrivoltaico.

Tutti questi elementi concorrono a definire una struttura impiantistica in grado di ospitare in modo continuativo e funzionale l'attività agricola, sia per colture erbacee da foraggio sia, eventualmente, per rotazioni cerealicole o colture a basso impatto.

La progettazione ha infatti tenuto conto fin dall'inizio della necessità di garantire la piena accessibilità dei mezzi agricoli in ogni fase del ciclo produttivo, evitando interferenze tra le strutture fisse dei pannelli e le attività di campo come verrà di seguito illustrato.

5.5.1 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 5,0 metri, coerente con la geometria dei filari;
- Apparecchiature con altezza inferiore ai 2,10 metri;
- 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.

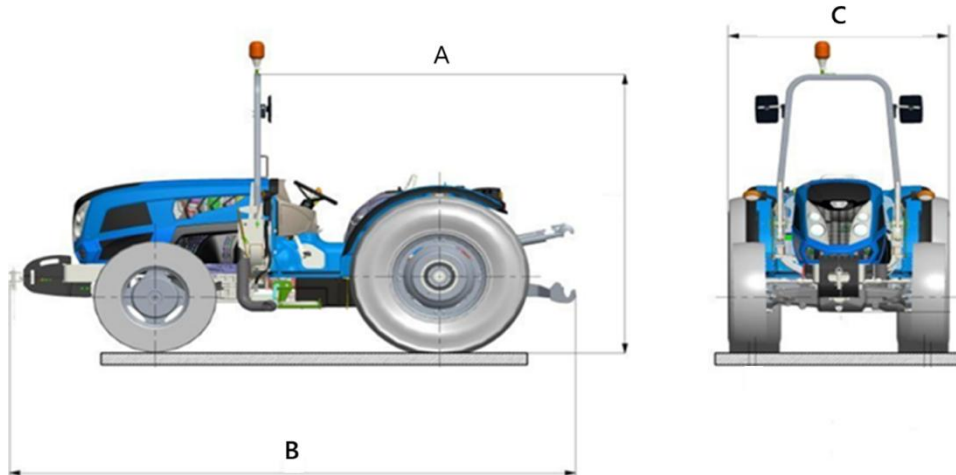
Le operazioni di taglio del foraggio verranno eseguite con falciatrici trainate o portate, a dischi o a tamburo, mentre per l'andanatura e la ranghinatura si utilizzeranno girelli a larghezza ridotta o voltatori rotanti in versione compatta.

5.5.2 Tipologia di trattore agricolo adottato

Per l'esecuzione delle operazioni colturali nell'ambito dell'impianto agrivoltaico si prevede l'impiego di trattori agricoli compatti a carreggiata ridotta, appartenenti alla categoria dei trattori del tipo vigneto o frutteto (ES. Fendt 211 Vario Profi+) appositamente selezionati per garantire operatività in condizioni di spazi limitati e altezza libera vincolata dalla struttura fotovoltaica.

Tabella 11: Esempio di trattori gommati frutteto

A	Altezza del mezzo dal suolo sino al punto estremo	1,80m	Consente il transito anche al di sotto dei moduli sia a tilt zero ma anche a massima inclinazione
B	Lunghezza mezzo da estremità capo a estremità coda	< 5m	consente il transito agevole tra i filari dei moduli fotovoltaici e spazi di manovra adeguati all'uscita del filare stesso. Si intende come lunghezza di sola trattore, alla quale sarà sommata un'ulteriore ampiezza dell'attrezzatura portatile applicata, indicativamente da restare al di sotto degli 8 metri.
C	Ampiezza mezzo	< 2,5m	consente il transito agevole di trattori di tipo compatto con carreggiata regolabile e attrezzature agricole portate o trainate, senza intaccare stringhe fotovoltaiche



Le caratteristiche tecniche richieste e da tenere in considerazione per la compatibilità con il layout impiantistico includono:

- Altezza complessiva inferiore a 1,80 metri, per garantire il passaggio agevole sotto i moduli anche nelle condizioni di tilt massimo e sotto le aste di connessione con i motori elettrici dei tracker, in alternativa, per la sola trattrice, l'altezza può superare i 2.10 m purché lavori esclusivamente nell'interfila a cielo aperto;
- Carreggiata regolabile tra 1,70 e 2,50 metri, in funzione del tipo di attrezzatura portata o trainata, mantenendo margini di sicurezza rispetto alla carreggiata utile di 3,5 metri;
- Trasmissione a variazione continua (CVT) per assicurare fluidità e precisione durante le lavorazioni, anche in presenza di spazi ristretti e necessità di velocità controllata;
- Predisposizione per guida assistita con sistemi GPS/RTK, finalizzata all'ottimizzazione dei passaggi, alla riduzione dei calpestamenti e al miglioramento dell'efficienza operativa complessiva;
- Raggio di sterzata contenuto e architettura compatta, per facilitare le manovre nelle testate e nelle zone in prossimità dei pilastri di sostegno dei tracker;
- Sollevatore anteriore e posteriore, dotato di distributori idraulici multipli, per l'impiego combinato di attrezzature frontali e retroportate (trinciatrici, spandiconcime, seminatrici, diserbo meccanico, ecc.).

Questa tipologia di trattore rappresenta una soluzione ottimale per la gestione meccanizzata del medicaio, compatibile con le condizioni strutturali dell'impianto fotovoltaico e in grado di garantire precisione, sicurezza e versatilità durante tutto il ciclo colturale. L'adozione di mezzi specializzati a basso profilo consente di mantenere elevati standard agronomici, ridurre i tempi di lavorazione e minimizzare i rischi di danneggiamento delle infrastrutture fotovoltaiche.

Di seguito si riporta un esempio pratico di macchine compatibili con la carreggiata individuata, suddivisa in due scenari, uno impostato per lavorare in un unico passaggio ma che necessita di più accortezze in lavorazione (scenario a 5m), il secondo che lavora in doppio passaggio sulla stessa interfila, il che raddoppia i costi di lavorazione (scenario a 3m).

Tabella 12: Esempio di parco macchine compatibile con l'impianto AgriFV – 5 m

Fase colturale	Attrezzatura	Marca / Modello	Larghezza utile	Note operative
	Trattore base compatto ad alte prestazioni	John Deere Serie 5R, modello 5135R da 135 CV	2,25m	Trasmissione continua, guida automatica, cabina comfort, altezza mezzo 2,7m
Semina	Seminatrice pneumatica a righe larghe	Gaspardo Aliante 500	5,0 m	Adatta a foraggiere; semina uniforme; predisposta per tramline
Sfalcio del foraggio	Barra rotativa con condizionatore	John Deere R500R Rotary Platform	5,0 m	Barra trainata con condizionamento a rulli; altezza di lavoro regolabile
Andanatura	Andanatore a rotore doppio, andana centrale	Kuhn GA 7501+ (regolato a 5 m)	5,0 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

Tabella 13: Esempio di parco macchine compatibile con l'impianto AgriFV – 3 m

Fase colturale	Attrezzatura	Marca / Modello	Larghezza utile	Note operative
----------------	--------------	-----------------	-----------------	----------------

	Trattore base 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	Maschio Nina 300 Special	3,0 m	Adatta a foraggiere; semina uniforme; predisposta per tramline
Sfalcio del foraggio	Barra rotativa con condizionatore	Fella SM 310 TL-KC	3,0 m	Barra trainata con condizionamento a rulli; altezza di lavoro regolabile
Andanatura	Andanatore a rotore doppio, andana centrale	Krone Swadro 38	3,0 m	Regolabile in larghezza, adattabile a quantità di prodotto e larghezza passaggi
Imballaggio	Rotopressa compatta a camera variabile	New Holland BR 6090 Combi	–	Produzione rotoballe da 1,25–1,35 m Ø, film+rete, compatta per passaggi stretti
Movimentazione balle	Caricatore frontale + rimorchio a pianale stretto	Stoll CompactLine + Pronar T022M	–	Carico agevole sotto i pannelli, altezza operativa ridotta, massima maneggevolezza

5.6 Sistema di monitoraggio

Nel contesto del progetto agrivoltaico, le attività di monitoraggio ambientale e climatico rivestono un ruolo centrale per la gestione integrata dell'ecosistema agroenergetico e per la verifica continuativa dell'efficacia agronomica delle soluzioni adottate. A tal fine, si prevede l'installazione di stazioni meteorologiche multiparametriche all'interno dell'area agricola interessata dall'impianto, posizionate in punti strategici al fine di garantire una rilevazione rappresentativa delle condizioni microclimatiche locali.

Le stazioni meteorologiche saranno dotate di una serie di sensori ad alta precisione, progettati per acquisire in tempo reale i principali parametri atmosferici e del suolo che influenzano lo sviluppo delle colture e le dinamiche del suolo. In particolare, verranno monitorati:

- la temperatura dell'aria (minima, massima e media giornaliera),

- l'umidità relativa,
- la radiazione solare globale (fondamentale per valutare la fotosintesi e l'effetto ombreggiante dell'impianto fotovoltaico),
- la quantità e l'intensità delle precipitazioni,
- la velocità e direzione del vento,
- nonché l'umidità del suolo, rilevata a differenti profondità al fine di monitorare l'evoluzione dell'umidità residua disponibile per le piante e di ottimizzare l'eventuale gestione irrigua.

Le stazioni saranno connesse a una rete dati GPRS che garantirà la trasmissione automatica e continua dei dati ad un sistema centralizzato di gestione e supporto decisionale, noto come DSS – Decision Support System.

Tale sistema informativo, conforme al requisito D2 delle Linee Guida MASE per gli impianti agrivoltaici, rappresenta uno strumento fondamentale per l'elaborazione, l'analisi e l'interpretazione dei dati ambientali raccolti sul campo.

Il sistema DSS sarà strutturato in modo da archiviare ed elaborare le informazioni in tempo reale, consentendo di generare indicatori agronomici e climatici fondamentali per una gestione agricola sostenibile, efficiente e adattiva. I dati elaborati saranno accessibili ai tecnici agrari e agli operatori coinvolti nella conduzione aziendale, che potranno utilizzarli per prendere decisioni colturali informate, quali:

- la programmazione delle lavorazioni del suolo in funzione delle condizioni di umidità,
- la pianificazione di interventi irrigui di soccorso,
- la gestione fitosanitaria con trattamenti mirati in base a modelli previsionali,
- e il monitoraggio dello stress idrico o termico delle colture in momenti critici del ciclo vegetativo.

Inoltre, il sistema sarà in grado di produrre report periodici di monitoraggio, comprendenti serie storiche, grafici comparativi e dati sintetici, che costituiranno parte integrante della documentazione tecnica dell'impianto. Tali report saranno utili non solo per verificare la coerenza con gli obiettivi agronomici e ambientali del progetto, ma anche come strumento di rendicontazione tecnica verso gli enti autorizzativi, conformemente agli obblighi previsti dalla normativa vigente.

Questo sistema integrato di monitoraggio climatico e gestionale riveste dunque un valore strategico per la buona riuscita dell'intervento agrivoltaico, in quanto permette di adattare tempestivamente le scelte agronomiche alle reali condizioni del campo, incrementando la resilienza delle colture agli eventi meteorologici estremi – sempre più frequenti a causa del cambiamento climatico – e contribuendo al miglioramento della gestione aziendale secondo criteri di efficienza, circolarità e tutela delle risorse naturali.

Nel complesso, l'infrastruttura di monitoraggio proposta costituisce un esempio concreto di agricoltura di precisione applicata all'agrivoltaico, capace di coniugare innovazione tecnologica, sostenibilità ambientale e valorizzazione produttiva del territorio.

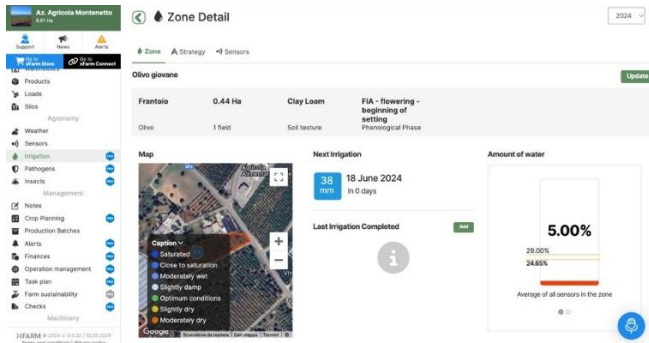


Immagine I4: Requisito DI – risparmio idrico



Immagine I5: sistema gestionale per la digitalizzazione delle informazioni agronomiche

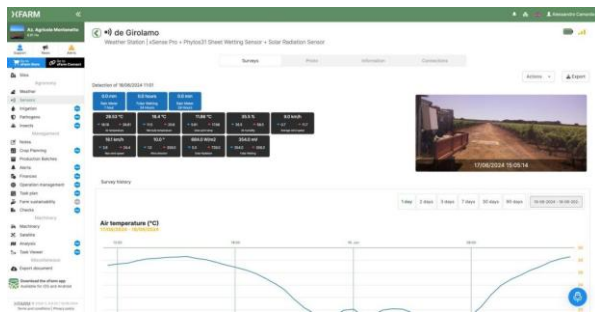


Immagine I6: sistema di monitoraggio del microclima

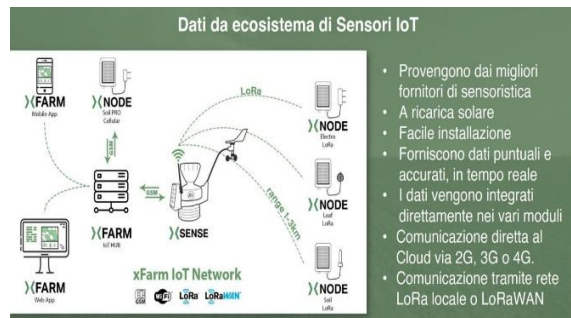


Immagine I7: schema di funzionamento del sistema IoT per la stazione meteo e gli accessori disponibili

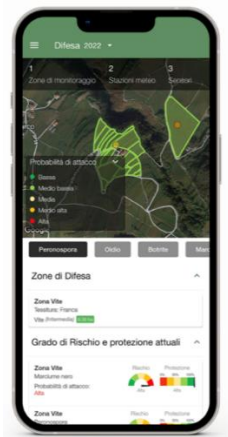


Immagine I8: monitoraggio con DSS insetti

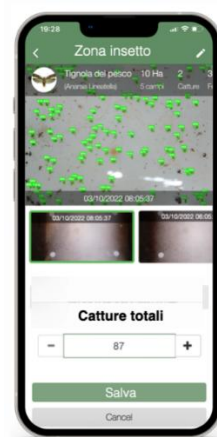


Immagine I9: monitoraggio con il DSS insetti

6 Quadro economico di progetto

Il quadro economico del progetto è stato definito partendo da una valutazione puntuale di tutte le operazioni agronomiche previste e delle infrastrutture indicate nella relazione agronomica. La stima dei costi è stata elaborata utilizzando i prezzi medi correnti di mercato, così da garantire una rappresentazione economica coerente con il contesto territoriale e con il quadro normativo di riferimento.

Il fabbisogno di lavoro, espresso in Unità Lavorative Uomo (U.L.U.), è stato quantificato applicando i parametri riportati nelle tabelle RICA, che stimano il carico di manodopera per ciascuna coltura e tipologia di gestione, considerando anche gli effetti della parziale ombreggiatura prodotta dall'impianto fotovoltaico e l'impiego di mezzi agricoli adeguati agli spazi operativi.

Poiché l'indirizzo colturale del fondo rimane seminativo/foraggero e non si registrano variazioni significative nell'ordinamento produttivo, l'analisi economica risulta invariata tra la fase ante e post intervento. Ciò conferma la continuità dell'attività agricola e la piena compatibilità dell'impianto agrivoltaico con la gestione preesistente. È stato quindi redatto un unico modello economico rappresentativo, ritenuto idoneo a descrivere l'equilibrio economico aziendale anche dopo l'entrata in esercizio dell'impianto.

6.1 Calcolo PLV

Per comodità e facilità di lettura, si è proceduto al calcolo economico su base ettaro (Rilievo prezzi ISMEA Marcati-Borsa di Bologna), riferito alla data di stima. Il valore complessivo, esteso all'intera superficie aziendale interessata dall'impianto, è riportato nel paragrafo dedicato all'applicazione delle Linee Guida, a cui si rimanda per una visione completa dei dati.

Nella tabella 15 è riportata la nuova superficie agricola, il cui calcolo è stato illustrato in modo dettagliato nel Capitolo 7.1.1, al quale si rimanda per ogni ulteriore chiarimento.

Tabella 14: Calcolo della PLV pre intervento

Voce	Unità	Valore minimo	Valore massimo
Frumento tenero (seminativo)			
Prezzo €/t	€/ton	240 €/t	264 €/t
Produzione per ettaro	Ton s.s./ha	5	10
PLV per ettaro	€/ha	1.200	2.640
PLV totale (148,67 ha)	€	178.400	392.500

Tabella 15: Calcolo della PLV post intervento

Voce	Unità	Valore minimo	Valore massimo
Fieno di Erba medica (foraggiere)			
Prezzo €/t	€/ton	195 €/t	252 €/t
Produzione per ettaro	Ton s.s./ha	10	15
PLV per ettaro	€/ha	1.950	3.780
PLV totale (119,43 ha)	€	232.900	451.500

Tabella 16: Differenza della PLV pre e post

Voce	Unità	Valore minimo	Valore massimo
PLV per ettaro pre	€	178.400	392.500
PLV per ettaro post	€	232.900	451.500
Differenza PLV	%	+ 30%	+ 15%

Non si riscontra riduzione della Produzione Lorda Vendibile (PLV a seguito dell'installazione dell'impianto agrivoltaico, quindi pienamente coerente con quanto previsto dalle Linee Guida MASE in materia di agrivoltaico.

Nel caso specifico, la differenza di PLV è del 15%, come riportato nella Tabella 16, riflette esattamente l'ottimo valore aggiunto anche con la percentuale di superficie non più direttamente coltivabile per effetto della presenza delle infrastrutture fotovoltaiche.

6.2 Analisi dei costi

Nell'analisi economica dell'erba medica destinata all'imballaggio, il prospetto prende in considerazione unicamente i costi variabili legati a sementi, fertilizzanti e lavorazioni colturali, escludendo voci come costi fissi, ammortamenti o spese generali aziendali. I dati sono riferiti a coltivazioni in pianura ferrarese, in condizioni di suolo irriguo-mesofilo tipiche dell'area di Bondeno, e derivano da fonti aggiornate quali CREA, CRPA e rilevazioni agronomiche locali. La valutazione economica riguarda esclusivamente le operazioni in campo aperto, senza considerare infrastrutture o attività accessorie, e si concentra sulla gestione operativa e produttiva della coltura.

6.2.1 Costi di impianto dell'erba medica e prati annuali di graminacee e leguminose

Tali valori potrebbero essere oggetto di modifica ed in particolar modo di sensibile aumento per alcune lavorazioni in campo considerando la complessità di lavorare in un ambiente con delle restrizioni sugli spazi di manovra. Tale analisi sarà quindi affinata a seguito della redazione del progetto esecutivo. Questa valutazione può essere applicata anche ai prati annuali, poiché l'unica voce soggetta a variazione riguarda la tipologia di sementi, il cui costo risulta comunque in linea con quello dell'erba medica. Inoltre, nella gestione dei prati annuali, molte delle pratiche agricole elencate non vengono normalmente eseguite, rendendo quindi questa analisi una stima cautelativa. Di conseguenza, la tabella riportata rappresenta la condizione più onerosa, ma può essere adottata prudentemente anche per i prati annuali.

Tabella 17: Analisi dei costi in campo aperto

Voce di costo	Quantità	Costo unitario	Totale ² (€/ha)
MATERIE PRIME			
Seme di erba medica	30kg/ha	150-170 €/ql	50
Concime fosfo-potassico	2 ql/ha	60-80 €/ql	140
Diserbante pre/post emergenza	1 intervento	40-60 €/ha	50

² Con riferimento al caso tipico

Trattamento antiparassitario (*)	1 intervento (eventuale)	20-30 €/ha	25
Totale materie prime			265
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
Irrigazione con rotolone (eventuale)	2 interventi	400-700 €/ha	550
Totale operazioni colturali			1205
TOTALE per ettaro			1.470 €
TOTALE generale		1.580 € x 119,43 ha	188.700 €

Note:

- 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.
- I valori delle operazioni colturali si riferiscono ad un solo passaggio per la lavorazione nell’interfila, nel caso in cui si opti per lo scenario di meccanizzazione più ridotto, tali costi devono essere raddoppiati.

6.2.2 Costi di impianto della fascia di mitigazione

La tabella seguente riporta la stima dei costi relativi alla realizzazione e manutenzione della fascia di mitigazione paesaggistica prevista lungo il perimetro dell’impianto agrivoltaico.

Essa è stata elaborata sulla base delle specifiche progettuali del layout vegetazionale, comprendente una siepe interna monofilare di *Ligustrum vulgare* e una fascia esterna arbustiva composta da *Cornus sanguinea*, *Euonymus europaeus* e *Crataegus monogyna*.

Tabella 18: Analisi dei costi fascia di mitigazione

Voce di costo	Quantità ha	Costo unitario (€)	Totale (€/ha)
MATERIE PRIME			
Ligustrum vulgare	2000 pz	1,80 – 2,20 €/pianta	4.000
Cornus sanguinea	700 pz	2,00 – 2,50 €/pianta	1.575
Euonymus europaeus	700 pz	2,50 – 3,00 €/pianta	1.925
Crataegus monogyna	700 pz	2,00 – 2,50 €/pianta	1.575
Totale materie prime			9.000
OPERAZIONI COLTURALI			
Lavorazione superficiale (fresatura/affinamento terreno)	1 intervento	200–250 €/ha	220
Apertura buche e messa a dimora piante	4.100 buche/ha	0,60 – 0,80 €/pz	2.870
Pacciamatura biodegradabile e ancoraggi (striscia siepe)	2.000 m lineari	1,20 – 1,50 €/m	2.700
Irrigazione di soccorso primo 3-4 anni	3 interventi	200 €/intervento	1.200
Concimazione di avviamento (organico-minerale)	1 intervento	100–120 €/ha	120
Manutenzione annuale (potature, sarchiature, controllo infestanti)	1 interventi	500-1000 €/ha	750
Totale operazioni colturali			7.900
TOTALE per ettaro			17.000 €
TOTALE generale		17.000 € x 7,7 ha	130.900 €

6.3 Analisi delle U.L.U.

Le ULU (Unità Lavorative Uomo) costituiscono uno standard adottato in ambito agricolo per quantificare il lavoro umano richiesto in un'azienda. Una ULU corrisponde al lavoro di una persona impegnata a tempo pieno per un anno intero, generalmente pari a circa 1.800 ore annue. Questo indicatore è essenziale per valutare la sostenibilità occupazionale e per confrontare il fabbisogno di lavoro tra differenti colture o sistemi produttivi. Va sottolineato che le ULU servono esclusivamente a stimare l'impegno operativo e temporale, mentre i costi della manodopera sono già considerati nelle analisi economiche precedenti.

Per il piano colturale agrivoltaico dell'azienda situata nel territorio di Bondeno, il calcolo delle ULU è stato effettuato facendo riferimento alle tabelle regionali che riportano le ore lavorative standard per coltura,

adattate alle condizioni pedoclimatiche locali e al livello di meccanizzazione tipico della pianura ferrarese. Queste tabelle rappresentano uno strumento tecnico fondamentale per la gestione aziendale, poiché permettono di stimare con precisione le ore necessarie per tutte le operazioni colturali, dalla preparazione del terreno alla semina, dai trattamenti fitosanitari e alla raccolta. La conoscenza dettagliata del fabbisogno di lavoro consente all'azienda di pianificare in modo efficiente la distribuzione della forza lavoro durante l'anno agrario, ottimizzando tempi, risorse e costi complessivi.

Tabella 19: Analisi ULU

Scenario	Lavoro annuale per ettaro (h/ha/anno)	Lavoro annuale (h/anno)	Lavoro annuale (gg/anno)
Erba medica (Fieno) & colture da rinnovo	50	5970	746 (ogni x anno)
Prati annuali graminacee e leguminose	50	5970	746 (ogni x anno)
Fascia mitigazione anno 1 (impianto)	470	3620	453 (anno 1)
Fascia mitigazione anno 2-3 (consolidamento)	160	1.230	154 (anni 2-3)
Fascia mitigazione dal 4-5 anno (manutenzione ordinaria)	100	770	96 (da anno 4-5)

Note:

- 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 Bondeno, fortemente meccanizzato, questo valore risulta adeguato e coerente con l'efficienza gestionale dell'azienda agricola.
- Per la fascia di mitigazione è stata fatta una divisione in base allo stadio evolutivo dell'impianto, a regime, l'impegno temporale, come si evince dalla tabella e nettamente ridotto rispetto alla fase di impianto.
- La conversione in giornate lavorative è effettuata sulla base del parametro standard di 8 ore/giorno.

7 Linee guida in materia di impianti agrivoltaici

Nel quadro normativo vigente della Regione Emilia-Romagna, l'impianto previsto nel Comune di Bondeno (FE) è stato configurato come agrivoltaico avanzato, in conformità ai criteri stabiliti dalle Linee Guida MASE del 2022 e recepiti dalla D.G.R. n. 2260 del 27 dicembre 2022, che regolamentano la realizzazione di impianti agrivoltaici localizzati al di fuori delle aree considerate idonee.

L'inquadramento dell'intervento come agrivoltaico avanzato risponde alla necessità di garantire una integrazione effettiva tra produzione agricola e produzione energetica, salvaguardando la destinazione agricola dei suoli e assicurando nel contempo la sostenibilità ambientale e paesaggistica dell'intervento. Tale approccio prevede l'adozione di soluzioni progettuali capaci di mantenere attiva e produttiva la superficie agricola, favorendo la coesistenza e la complementarità tra coltivazioni e moduli fotovoltaici.

Il progetto non rappresenta quindi una mera infrastruttura energetica sovrapposta al territorio rurale, ma un sistema agroenergetico multifunzionale orientato alla valorizzazione del paesaggio agrario e delle risorse locali. L'impianto è concepito per assicurare continuità alle pratiche agricole tradizionali, promuovendo modelli di gestione innovativi e compatibili con le esigenze di sostenibilità e resilienza climatica.

In tal modo, pur ricadendo al di fuori delle aree definite idonee, l'intervento rispetta pienamente i requisiti previsti per gli impianti agrivoltaici avanzati, dimostrando la volontà del proponente di aderire agli standard tecnici e gestionali più elevati oggi richiesti per la realizzazione di impianti fotovoltaici in contesto agricolo.

Il rispetto di tali criteri rende il progetto coerente con la pianificazione regionale vigente e con le politiche di tutela e valorizzazione del paesaggio agrario e del suolo, ponendolo come esempio di integrazione virtuosa tra innovazione energetica e continuità produttiva. Nei paragrafi successivi saranno 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.

REQUISITI DI CONFORMITÀ

- **REQUISITO A:** configurazione spaziale e scelte tecnologiche atte a garantire l'integrazione tra attività agricola e produzione elettrica, valorizzando entrambi i sottosistemi;
- **REQUISITO B:** esercizio dell'impianto volto a garantire la produzione sinergica di energia e prodotti agricoli senza compromettere la continuità dell'attività agricola;
- **REQUISITO C:** utilizzo di soluzioni innovative con moduli sollevati da terra, volte a ottimizzare le prestazioni agronomiche ed energetiche;
- **REQUISITO D:** implementazione di un sistema di monitoraggio che consenta di verificare le prestazioni dell'impianto anche in termini di risparmio idrico e continuità delle attività agricole;
- **REQUISITO E:** presenza di un sistema di monitoraggio integrativo, volto a valutare anche la fertilità del suolo, il microclima e la resilienza ai cambiamenti climatici.

7.1 Requisito A

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.

L'impianto rientra nella definizione di Agrivoltaico ed è stato progettato in modo tale da non compromettere la continuità dell'attività primaria, garantendo al contempo una sinergia della stessa con l'attività di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile

Il requisito A risulta verificato.

7.1.1 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}).

Il calcolo ha tenuto in considerazione tutte le superfici non utilizzabili a fini agricoli, in particolare; strade di viabilità e di servizio, area occupata da cabine ed una fascia di 1 metro lungo le stringhe di pannelli, in prossimità del palo di sostegno (50cm per lato), che complessivamente occupano un'area totale di 29,24 ha.

Pertanto sottraendo questo valore alla superficie interna all'impianto, ovvero 1 superficie recintata, pari a 148,67 ha, si ottiene una superficie agricola pari a 119,43 ha

Considerato che tutta la superficie è destinata alla coltivazione proposta: la superficie agricola rappresenta l'80.33% della superficie totale.

Il requisito A1 risulta verificato.

7.1.2 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 31,81%.

La superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (S_{pv}) è pari a 47,29 ettari e la superficie totale del sistema agrivoltaico è pari a 148,67 ettari.

Il requisito A2 risulta verificato.

7.2 Requisito B

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.

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. Come più volte descritto, l'impianto agrivoltaico è stato progettato per perseguire l'obiettivo di realizzare una condizione di integrazione tra il sistema agricolo ed il sistema di produzione di energia elettrica, massimizzando il potenziale produttivo dei due sottosistemi.

Il requisito B risulta verificato.

7.2.1 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:

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

In merito ai requisiti di cui sopra si evidenzia che:

- La continuità agricola viene verificata con il mantenimento di un'attività agricola nell'ambito agrivoltaico in questo specifico contesto;
- L'indirizzo produttivo rimarrà invariato, ovvero "seminativo/foraggero" ed inoltre rispetto alla classica conduzione a seminativo, la gestione ad erba medica risulta essere migliorativa.

Il requisito B1 risulta verificato.

7.2.2 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 e forniti dal cliente risulta:

Producibilità elettrica annua Impianto Standard [kWh/anno]: 240380656

Producibilità elettrica annua Impianto Agrivoltaico [kWh/anno]: = 156062864

Superficie totale sistema agrivoltaico: 148,67 ha

FV agri [GWh/ha/anno] = 1,05

FV standard [GWh/ha/anno] = 1,62

FV agri / FV standard = 0.64 > 0,60

Il requisito B2 risulta verificato.

7.3 Requisito C

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. In sintesi, l'area destinata a coltura oppure ad attività zootecniche può coincidere con l'intera area del sistema agrivoltaico oppure essere ridotta ad una parte di essa, per effetto delle scelte di configurazione spaziale dell'impianto agrivoltaico.

Si possono verificare le seguenti condizioni:

- Tipo 1: l'altezza minima dei moduli è studiata in modo da consentire la continuità delle attività agricole (o zootecniche) 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;
- Tipo 2: l'altezza dei moduli da terra non è progettata in modo da consentire lo svolgimento delle attività agricole al di sotto dei moduli fotovoltaici. Si configura una condizione nella quale non esiste un doppio uso del suolo, pertanto, il grado di integrazione tra l'impianto fotovoltaico e la coltura è minimo;
- Tipo 3: moduli fotovoltaici sono disposti in posizione verticale. L'altezza minima dei moduli da terra non incide significativamente sulle possibilità di coltivazione (se non per l'ombreggiamento in determinate ore del giorno), ma può influenzare il possibile passaggio degli animali, con implicazioni sull'uso dell'area per attività legate alla zootecnia.

L'impianto agrivoltaico rientra nella condizione identificata come "tipo 1" ovvero "l'altezza minima dei moduli è studiata in modo da consentire la continuità delle attività agricole (o zootecniche) anche sotto i 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".

L'altezza minima dei pannelli per sarà di 2,10 m in linea con le linee guida operative GSE.

Il requisito C risulta verificato.

7.4 Requisito D ed E

- **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. Tale requisito è soddisfatto se l'impianto in progetto verifica i seguenti parametri: D.1) il risparmio idrico; D.2) la continuità dell'attività agricola, ovvero: l'impatto sulle colture, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture o allevamenti e la continuità delle attività delle aziende agricole interessate.
- **Requisito E:** Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio

Il monitoraggio della continuità dell'attività agricola (Requisito D2) e delle condizioni microclimatiche (Requisito E) sarà effettuato con cadenza annuale mediante l'installazione e la gestione di una stazione agrometeorologica in sito, integrata con un sistema DSS (Decision Support System) per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati rilevati.

Questo approccio permetterà di raccogliere in modo oggettivo e continuativo informazioni relative alla temperatura, all'umidità del suolo, alla radiazione solare, alla bagnatura fogliare e ad altri parametri agronomicamente rilevanti per valutare l'efficienza del sistema agrivoltaico sia sotto il profilo produttivo che ambientale.

I dati raccolti saranno elaborati e organizzati in una relazione tecnica annuale asseverata, redatta da un professionista abilitato iscritto ad un ordine professionale in materia agraria (perito agrario, agronomo o agrotecnico), come previsto dalle Linee Guida. Tale documento costituirà parte integrante dell'attività di rendicontazione tecnica dell'impianto agrivoltaico avanzato.

In particolare, la relazione agronomica annuale conterrà:

- l'analisi dei dati produttivi, incluse le rese colturali per ettaro;
- il dettaglio completo delle operazioni colturali effettuate nel corso dell'anno;
- il fascicolo aziendale aggiornato;
- i dati climatici e agrometeorologici rilevati in campo;
- in caso di coltivazioni irrigue, anche i dati dei consumi idrici, al fine di monitorare l'efficienza idrica e il rispetto 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.

8 Conclusioni

Il progetto agrivoltaico previsto nel territorio comunale di Bondeno (FE) rappresenta un modello avanzato di integrazione tra attività agricola e produzione energetica rinnovabile, fondato su una gestione multifunzionale e sostenibile delle superfici agricole. L'intervento unisce in maniera equilibrata efficienza produttiva, tutela ambientale e innovazione tecnologica, ponendosi come esempio concreto di sistema agroenergetico perfettamente coerente con le caratteristiche rurali della pianura ferrarese. L'area interessata, oggi caratterizzata da una copertura erbacea spontanea a ridotto valore agronomico, viene destinata a un uso agricolo strutturato attraverso l'introduzione di una rotazione che alterna leguminose perenni (come l'erba medica) e miscugli foraggeri annuali costituiti da graminacee e leguminose, selezionati per la loro adattabilità alle condizioni pedoclimatiche e per la compatibilità con le strutture fotovoltaiche elevate. Tale assetto permette di mantenere una copertura continua del suolo, aumentare l'apporto di sostanza organica e preservare la fertilità del terreno, garantendo nel contempo un utilizzo efficiente delle risorse idriche in regime di asciutta.

La configurazione dell'impianto, basata su moduli fotovoltaici installati su strutture monoassiali rialzate, è stata progettata per assicurare accessibilità completa ai filari agricoli e consentire il passaggio in sicurezza di mezzi agricoli compatti tipici dei sistemi frutticoli o viticoli. Questa disposizione garantisce anche una buona circolazione dell'aria e un microclima equilibrato nelle fasce coltivate, contribuendo a mantenere condizioni favorevoli per le colture e per la stabilità del sistema agrivoltaico.

Dal punto di vista ecologico e paesaggistico, il progetto prevede la realizzazione e conservazione di fasce verdi perimetrali, finalizzate anche all'aumento della biodiversità e alla creazione di habitat seminaturali coerenti con il paesaggio agricolo della pianura ferrarese. Queste aree saranno costituite da specie erbacee e arbustive autoctone, scelte per favorire insetti impollinatori, avifauna e piccola fauna, contribuendo alla funzionalità ecologica complessiva.

L'intervento rispetta pienamente quanto previsto dalle Linee Guida MASE (2022), dal Decreto Agrivoltaico e dalle normative regionali applicabili, incluse le disposizioni della D.G.R. n. 2260/2022, che regolano gli impianti agrivoltaici innovativi. Il progetto prevede inoltre un sistema di monitoraggio continuo delle operazioni colturali e dei parametri ambientali, tramite stazione agrometeorologica e sensori dedicati, integrati in una piattaforma digitale di supporto decisionale (DSS), al fine di garantire trasparenza, tracciabilità e ottimizzazione delle pratiche di gestione.

In sintesi, l'impianto agrivoltaico di Bondeno rappresenta un intervento di riqualificazione produttiva e ambientale del territorio, capace di coniugare innovazione, sostenibilità e valorizzazione dell'attività agricola. Esso permette di recuperare superfici marginali, rafforzare il ruolo dell'agricoltura locale e promuovere un modello operativo resiliente e perfettamente integrato nei processi di transizione ecologica ed energetica.

Milano, lì 11 Novembre 2025

In fede



9 BIBLIOGRAFIA

- CREA (2020). Schede colturali e dati economici RICA: Erba medica e foraggiere. Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Roma.
- CRPA (2021). Costi di produzione e indici tecnici delle principali colture foraggiere. Centro Ricerche Produzioni Animali, Reggio Emilia.
- Regione Emilia-Romagna (2020). Linee guida agronomiche per la gestione delle colture foraggiere e dei prati permanenti. Servizio Territorio Rurale, Bologna.
- Regione Emilia-Romagna (2023). Complemento per lo Sviluppo Rurale (CSR) 2023–2027 – Interventi per la gestione sostenibile delle superfici agricole e la tutela della fertilità del suolo.
- ARPAE Emilia-Romagna (2023). Rapporto sullo stato dell'ambiente e monitoraggi agroclimatici della pianura bolognese.
- Pavari, A. (1916). Lineamenti di classificazione fitoclimatica d'Italia. Firenze.
- Goetzberger, A., Zastrow, A. (1982). "On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation." *International Journal of Solar Energy*, 1(1), pp. 55–69.
- Hassanpour Adeh, E., Selker, J.S., Higgins, C.W. (2018). "Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency." *PLOS One*, 13(11), e0203256.
- Reasoner, M., et al. (2022). *Global Trends in Agrivoltaics*. Springer, Berlin.
- De Francesco, C., Centorame, L., Toscano, G., & Duca, D. (2025). Opportunities, Technological Challenges and Monitoring Approaches in Agrivoltaic Systems for Sustainable Management. *Sustainability*, 17(2), 634.
- Altyeb Ali Abaker Omer, Ming Li, Fangxin Zhang, Mohammed Mun Elseed Hassaan, Wael El Kolaly, Xinyu Zhang, Huayan Lan, Jie Liu, Wen Liu, Impacts of agrivoltaic systems on microclimate, water use efficiency, and crop yield: A systematic review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 221, 2025
- Axel Weselek, Andrea Bauerle, Jens Hartung, Sabine Zikeli, Iris Lewandowski & Petra Högy, Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate, *Agronomy Springer Nature*, 2021
- MASE (2022). Linee guida in materia di impianti agrivoltaici. Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica.
- DM 31 maggio 2024. Decreto attuativo Agrivoltaico avanzato. Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica.
- GSE – CREA (2024). Linee guida per la qualificazione degli impianti agrivoltaici avanzati.

- Regione Emilia-Romagna (2022). Deliberazione della Giunta Regionale n. 2260 del 27 dicembre 2022 – Disposizioni in materia di impianti agrivoltaici e criteri di localizzazione sul territorio regionale.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale. Recepimento Direttiva 91/676/CEE “Direttiva Nitrati.”
- Edagricole (2018). Manuale di coltivazione dell’erba medica: tecniche agronomiche, gestione e qualità del foraggio. Milano.
- Università di Bologna – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari (DISTAL) (2019). Prove varietali e produttive su erba medica in pianura emiliana: risultati pluriennali. Bologna.
- ISPRA (2021). Indicatori agroambientali e gestione sostenibile delle colture foraggere. Roma.