



COMUNE DI  
LOREO



REGIONE DEL VENETO



PROVINCIA DI  
ROVIGO



## IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO COMPOSTO DA DUE SEZIONI DI PRODUZIONE E SISTEMA DI ACCUMULO (STORAGE SYSTEM)

ALLEGATO		TITOLO			SCALA
REL. P		<b>RELAZIONE AGRONOMICA (DAFNE - UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA)</b>			---
Data	Rev.	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione
30/09/2022	00	EMISSIONE	A.B.	A.B.	E.C.

IL COMMITTENTE



**Eridano S.r.l.** - Via Vittorio Veneto n° 137  
45100 ROVIGO p.lva 01620970291

PROGETTAZIONE  
ed integrazione attività tecniche specialistiche  
**Arch. Enrico CAVALLARO**

ATTIVITA' TECNICHE SPECIALISTICHE  
**Studio agronomico:**  
DAFNAE Università degli Studi di Padova  
**Prof. Dott. Antonio BERTI**

# Valutazione delle potenzialità agronomiche di un sistema agro-fotovoltaico da realizzare nel Comune di Loreo (RO)

<b>Situazione attuale dell'area oggetto di intervento</b> .....	2
<b>Potenzialità produttiva post-intervento</b> .....	3
<b>Effetto dell'ombreggiamento sulle colture</b> .....	3
<b>Effetto dell'ombreggiamento sul tasso di Evapotraspirazione ed efficienza d'uso dell'acqua</b> ....	6
<b>Potenzialità produttiva all'interno del sistema agri-voltaico in esame</b> .....	7
<b>Potenziali effetti microclimatici del sistema agri-voltaico in esame</b> .....	9
<b>Sostenibilità economica della coltivazione nel sistema agri-voltaico</b> .....	11
<b>Impatti del sistema sul consumo di suolo e servizi ecosistemici</b> .....	12
<b>Effetti sul consumo di suolo</b> .....	13
<b>Qualità del suolo</b> .....	14
<b>Effetto sui servizi ecosistemici</b> .....	15
<i>Produzione di biomassa:</i> .....	15
<i>Contenimento delle emissioni di gas serra (GHG) e sequestro di Carbonio (C)</i> .....	15
<i>Conservazione della biodiversità</i> .....	16
<i>Impatto sulla fruibilità del territorio</i> .....	16
<b>Descrizione delle specie proposte</b> .....	24
<b>Conclusioni</b> .....	27
<b>Bibliografia</b> .....	29

## Situazione attuale dell'area oggetto di intervento

L'area interessata all'impianto si trova nel Comune di Loreo, in area di pianura, all'interno dell'A.I.A., ossia di un'area prevalentemente destinata ad attività produttive. (Fig. 1).

Il piano di campagna è posto al di sotto del medio mare (tra -2 e -4 m s.l.m).

Il terreno è di tipo argilloso-limoso, con presenza di fasce più sabbiose in corrispondenza di alcuni paleoalvei, ed è caratterizzato da una buona capacità di campo (indicativamente al 35% v/v) e una discreta riserva idrica utilizzabile ( $R_u \gg 20\%$  v/v). La densità apparente è medio-elevata (circa 1.38 t/m<sup>3</sup>) e, a causa della prevalenza di componenti fini nella tessitura, la permeabilità idraulica è ridotta.

La situazione attuale è a larga ferrarese, con appezzamenti larghi tra 50 e 60 m.

L'area è attualmente utilizzata per la coltivazione di classiche colture cerealicolo-industriali di pieno campo (frumento, soia, mais). Dal punto di vista produttivo, le limitazioni principali consistono nel rischio di ristagno superficiale e sotto-superficiale, in relazione al tipo di tessitura e alla giacitura degli appezzamenti, attualmente controllato solo in parte dal tipo di sistemazione adottata.

Fig 1: Situazione attuale dell'area oggetto di intervento



## Potenzialità produttiva post-intervento

L'impianto agri-voltaico è stato progettato in modo che la sua installazione lasci ampio spazio alla coltivazione dell'area occupata.

Considerando una distanza di 8,5 m tra le file di pannelli ad inseguimento, le fasce coltivabili hanno un'ampiezza di circa 6 m, consentendo di mantenere in coltivazione circa 3/4 della superficie complessiva impegnata dall'impianto.

Nella parte coltivabile, la crescita delle piante è influenzata da diversi fattori, ed in particolare:

- 1) Riduzione della radiazione incidente per intercettazione da parte dei pannelli fotovoltaici;
- 2) Influenza dell'impianto fotovoltaico sulla ventosità a livello della coltura.

Questi due fattori principali influenzano poi la crescita delle colture regolando:

- a) Il tasso di fotosintesi delle piante;
- b) La temperatura, sia a livello fogliare che del terreno;
- c) L'evapotraspirazione della coltura e, quindi, il suo fabbisogno idrico.

### Effetto dell'ombreggiamento sulle colture

Il principale fattore che influenza la resa sotto un impianto agri-voltaico è comunque la disponibilità di radiazione a livello delle piante. Per gran parte delle colture erbacee ci sono limitate informazioni sulla tolleranza all'ombreggiamento, mentre si conoscono bene gli effetti positivi sulla qualità delle produzioni per le colture arboree, che vengono normalmente coltivate sotto vari tipi di reti ombreggianti e/o antigrandine.

Nel caso dell'impianto in esame va tenuto presente che l'ampia interfila tra i pannelli (8,5 m) e l'altezza dei pannelli stessi dal suolo (circa 3 m in posizione orizzontale) consentono di limitare l'effetto di ombreggiamento. Va inoltre considerato che le piante potranno beneficiare di una quota di radiazione riflessa che compensa almeno in parte la riduzione della radiazione diretta.

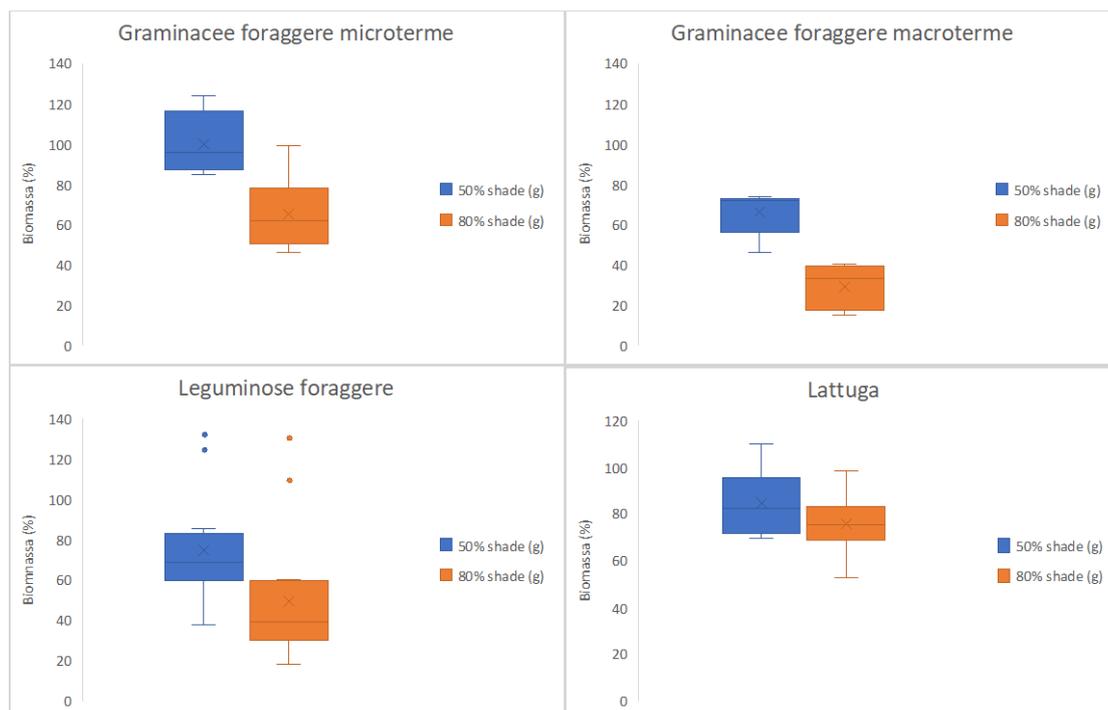
In colture come il mais, l'ombreggiamento determina consistenti riduzioni dell'altezza delle piante, nel diametro del fusto, nel tasso di fotosintesi netta, nell'accumulazione di biomassa aerea e nel numero di carioidi per spiga (Dupraz *et al.*, 2011). In altre colture gli effetti possono essere anche molto differenti: il fagiolo, ad esempio, tollera piuttosto bene l'ombreggiamento, come l'erba medica, che può essere coltivata tra fasce boscate senza apprezzabili effetti sulla produzione

(McGraw *et al.*, 2008). Rispondono abbastanza bene anche colture estive come lattughe e il cetriolo, e le colture autunno vernine, come il frumento. Tutte queste colture si adattano bene all'ombreggiamento, fornendo rese simili a quelle in aria libera sotto impianti fotovoltaici che coprono il 50% della superficie del terreno (Marrou, Guilioni, Dufour, Dupraz, & Wéry, 2013; Marrou, Wéry, Dufour, & Dupraz, 2013).

Un'analisi approfondita sulla potenzialità produttiva in risposta all'ombreggiamento è stata effettuata da Lin *et al.* (1998) in Missouri (USA) con condizioni climatiche relativamente simili a quelle del Nord-Italia. Questi autori hanno analizzato la produzione di 30 specie foraggere allevate in piena luce o con ombreggiamenti crescenti. In Fig. 2 è riportato un riassunto dei risultati ottenuti con ombreggiamenti del 50 e dell'80% (valori in % della produzione in piena luce).

I risultati hanno evidenziato come la maggioranza delle piante a ciclo estivo tendono a ridurre la resa in condizioni ombreggiate. L'effetto è particolarmente sensibile per le piante C4 mentre è generalmente più limitato nelle C3. Considerando le principali colture dell'areale Veneto, colture come il Mais (C4) sarebbero quindi fortemente influenzate dall'ombreggiamento mentre colture C3, come Bietola e Erba medica, possono più facilmente adattarsi alla riduzione di radiazione.

Fig. 2: resa relativa di varie specie foraggere e di lattuga sottoposte ad ombreggiamenti del 50% e dell'80%. Dati espressi come % della resa delle colture in piena luce. Rielaborato da Lin *et al.* (1998), Marrou *et al.* (2013), Elamri *et al.* (2018).



Nelle piante a ciclo autunno-vernino, gli Autori più sopra citati hanno trovato un'ampia gamma di comportamenti diversi, con alcune specie foraggere in grado addirittura di avvantaggiarsi in condizioni di ombreggiamento. La resa mediana con un ombreggiamento del 50% è comunque risultata superiore al 75% del potenziale e, nel 18% dei casi studiati, la produzione di biomassa è risultata pari o superiore a quella dei testimoni.

Su tipiche colture di pieno campo come il frumento, Dupraz *et al.* (2011) hanno stimato a Montpellier (F) riduzioni del 29% della biomassa aerea del frumento e del 19% della produzione di granella sotto un impianto a elevata densità, mentre sotto un sistema con densità di pannelli simile a quella dell'impianto qui proposto, le riduzioni si sono limitate all'11% per la biomassa e al 8% per la granella. È da sottolineare come l'effetto dell'ombreggiamento sia più marcato per lo sviluppo vegetativo della pianta, mentre la produzione di seme è meno influenzata dalla presenza dei pannelli fotovoltaici.

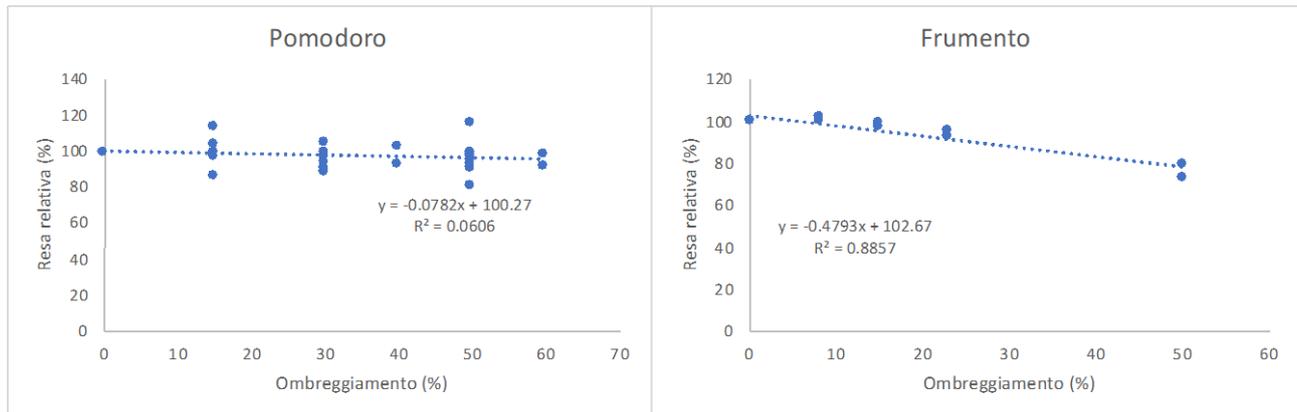
In condizioni ambientali simili a quelle dell'impianto progettato, Amaducci *et al.* (2018) hanno simulato a Piacenza la resa del frumento sotto un impianto agri-voltaico con densità simile a quella dell'impianto proposto, considerando l'andamento meteo osservato nel periodo 1976-2014. Il risultato apparentemente sorprendente è che le rese sotto l'impianto non si sono ridotte rispetto alla coltivazione in aria libera e che, anzi, in diverse annate la resa simulata in assenza di pannelli fotovoltaici poteva addirittura essere inferiore.

L'incremento di resa del frumento può essere spiegato considerando che la presenza dei pannelli fotovoltaici, riducendo la radiazione al suolo, limita il tasso di evapotraspirazione e i picchi di temperatura nelle ore più calde del giorno. La presenza dei pannelli riduce inoltre la ventosità a livello delle piante, concorrendo a limitare l'evapotraspirazione e riducendo il rischio di fenomeni avversi, come l'allettamento delle colture.

Nel caso di specie orticole come il pomodoro, l'ombreggiamento parziale è una normale pratica di coltivazione che consente di ottimizzare la qualità dei frutti. Questa coltura risente relativamente poco dell'ombreggiamento e, in condizioni di radiazione contenuta, accumula maggiori quantità di antiossidanti ed è meno soggetto a lesioni superficiali del frutto (Gent, 2007).

La seguente Fig. 3 riporta la resa relativa di frumento e pomodoro, ricavata da sperimentazioni in cui la coltura di pieno campo era comparata con vari livelli di ombreggiamento. Tutti i dati di resa sono espressi in % del testimone non ombreggiato.

Fig. 3: resa relativa di pomodoro e frumento sottoposti a diversi livelli di ombreggiamento. Modificato da Li *et al.* (2010); Savin e Slafer (1991), Callejón-Ferre *et al.* (2009), Gent (2007).



Come si può notare, la produzione del pomodoro non viene influenzata dall'ombreggiamento anche in condizioni in cui la radiazione incidente si riduce al di sotto del 50% di quella in aria libera. Nel frumento, l'effetto dell'ombreggiamento è leggermente più evidente ma, comunque, la potenzialità di resa della coltura si mantiene su livelli elevati anche con ombreggiamenti consistenti

### Effetto dell'ombreggiamento sul tasso di Evapotraspirazione ed efficienza d'uso dell'acqua

Al di sotto di un sistema agrivoltaico il tasso evapotraspirativo è influenzato dalla minore quantità di radiazione incidente, che determina anche una riduzione della temperatura, e dalla ventosità, che viene ridotta rispetto alle condizioni di aria libera. L'effetto principale è comunque legato alla riduzione della radiazione incidente; i dati di Elamri *et al.* (2018) e Marrou, Dufour, & Wery (2013) indicano riduzioni dell'evapo-traspirazione comprese tra il 14 ed il 32% con ombreggiamenti compresi tra il 25% e il 50% della superficie coltivata. Considerando che il fabbisogno idrico delle principali colture varia tra i 2000 ed i 6000 m<sup>3</sup>/ha a seconda del periodo di coltivazione e delle caratteristiche intrinseche della specie, le colture allevate all'interno del sistema agri-voltaico possono permettere risparmi idrici compresi tra circa 300 e 1900 m<sup>3</sup>/ha/anno rispetto a colture di pieno campo.

Va inoltre sottolineato che le sperimentazioni effettuate indicano che l'ombreggiamento riduce il flusso di calore latente e incrementa i flussi di CO<sub>2</sub> in confronto all'assenza di ombreggiamento. In queste condizioni, l'efficienza d'uso dell'acqua (rapporto tra il carbonio assimilato e l'acqua persa per traspirazione), si incrementa fino al 25%. Tanny (2013) riporta riduzioni del fabbisogno irriguo

del 30% per coltivazioni di banano soggetto a ombreggiamento. In condizioni simili a quelle della pianura padana, Elamri *et al.* (2018) hanno rilevato riduzioni di più del 20% del fabbisogno irriguo in lattuga coltivata in un sistema agri-voltaico.

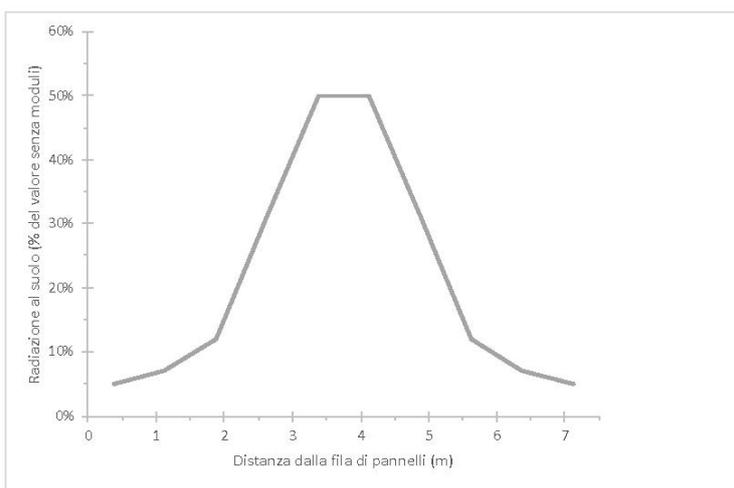
Anche per colture autunno-vernine, normalmente non irrigate, la riduzione del fabbisogno evapotraspirativo può essere di grande importanza. Nella Pianura Padana la potenzialità produttiva del frumento è spesso limitata dalla 'stretta' nella fase finale di maturazione, dovuta ad alte temperature e carenze idriche. Una riduzione del consumo idrico e della temperatura di picco a livello del terreno consente di contenere gli effetti della stretta, incrementando sia la produzione che la qualità tecnologica della granella prodotta.

### **Potenzialità produttiva all'interno del sistema agri-voltaico in esame**

La distribuzione della radiazione all'interno dell'interfila (Fig. 4) presenta un andamento a campana, con valori bassi nelle zone sottostanti ai pannelli e valori pari a circa il 50% della radiazione incidente al centro dell'interfila dei pannelli. Considerando una fascia non coltivata di 1,25 m per lato rispetto alle file di pannelli, la radiazione media disponibile all'interno della fascia coltivabile varia tra il 10% ed il 50% della radiazione in assenza di pannelli.

*Si fa comunque notare che le stime della radiazione disponibile al suolo considerano la radiazione solare diretta incidente sull'impianto. In condizioni reali, la quota di radiazione diffusa, sulla quale l'impianto ha un effetto molto limitato, integra la radiazione diretta, in particolare nelle zone maggiormente ombreggiate. Le stime presentate nella presente relazione vanno quindi interpretate come valori cautelativi sulla base delle informazioni bibliografiche attualmente disponibili.*

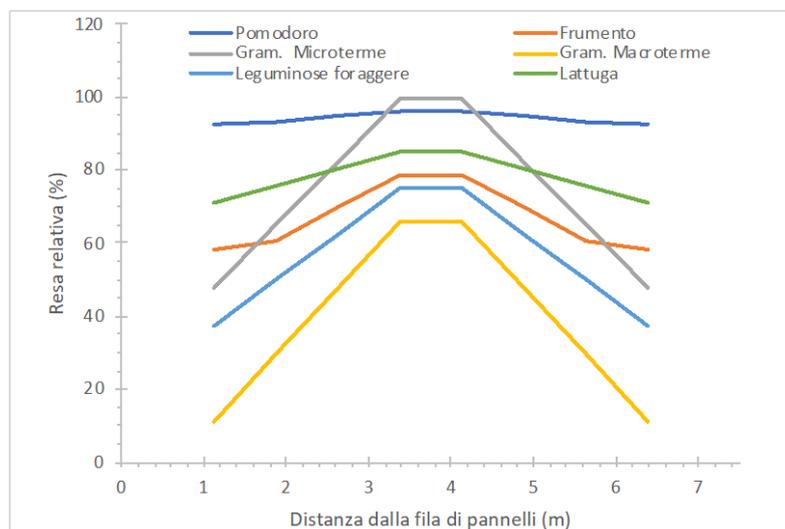
Fig. 4: Livello di ombreggiamento sull'interfila dei pannelli fotovoltaici



Sulla base delle relazioni tra ombreggiamento e resa presentate più sopra, si può stimare la potenzialità produttiva delle colture, in relazione al posizionamento nell'interfila dei pannelli.

Come si può vedere dalla Fig. 5, le colture che meglio si adattano alle condizioni di ombreggiamento sono alcune orticole, come pomodoro e lattuga, ed il frumento. Tra le colture foraggere, si possono ottenere rese interessanti con erbai autunno-vernini, loiessa in particolare, e con leguminose foraggere come l'erba medica. Sono invece sconsigliabili colture estive ad elevate esigenze d'irraggiamento come mais e graminacee foraggere estive.

Fig. 5: Potenzialità produttiva di alcune tipologie di colture in relazione al livello di radiazione diretta disponibile. Valori espressi in % della produzione in assenza di pannelli.



Considerando i risultati delle sperimentazioni fin qui condotte le colture che meglio si adattano alla coltivazione in condizioni di ombreggiamento parziale sono alcune orticole, le colture autunno-vernine, tra cui rivestono particolare interesse per l'ambiente considerato il frumento e l'orzo, e alcune colture foraggere, sia graminacee, come la loiessa, che Leguminose. Altre colture potenzialmente di interesse sono le crucifere a ciclo autunno-vernino, sia da seme come il colza che per produzioni orticole (cavolo, cavolo cappuccio, verze). Tra le colture estive può essere d'interesse la barbabietola da zucchero, che si avvantaggerebbe in notevole misura del contenimento dei picchi di temperatura e radiazione estiva, tutto il gruppo delle leguminose da granella, in particolare pisello e fagiolo e la soia. Tra le graminacee estive da granella è da preferire il sorgo al mais, sia per la minore necessità di irrigazione che per la sua limitata altezza.

Tra le perennanti erbacee da foraggio è di forte interesse l'erba medica, sia per la sua adattabilità alle condizioni di coltivazione che per i positivi effetti sulla qualità del terreno.

## Potenziati effetti microclimatici del sistema agri-voltaico in esame

La tipologia di impianto proposto ha, dal punto di vista micro-meteorologico, un impatto molto più limitato di quello di impianti fotovoltaici senza inseguimento. Marrou *et al.* (2013) e Elamri *et al.* (2018) hanno infatti evidenziato una sostanziale invarianza dei parametri micro-climatici in impianti agro-voltaici ad inseguimento, ad eccezione della radiazione incidente.

In condizioni di lavoro dell'impianto, nel caso di vento forte i pannelli vengono posti in posizione orizzontale. In questa posizione, l'impatto sulla ventosità al suolo è minimo, se non addirittura di limitazione della velocità del vento a livello del terreno. Si ricorda inoltre che l'impianto verrà contornato da una fascia boscata perimetrale, che svolgerà anche una rilevante funzione frangivento. Un filare di alberi riduce la ventosità sotto al 50% del valore iniziale fino a una distanza pari a 10-12 volte la sua altezza. Nel caso del presente impianto, ciò limita notevolmente la possibilità che si crei un flusso preferenziale al di sotto dei pannelli, proteggendo di fatto le colture dagli eccessi di ventosità.

Nelle normali condizioni operative, la presenza dei pannelli inclinati riduce la ventosità proveniente da tutti i punti cardinali, salvo che nel caso di vento con direzione allineata con le file dell'impianto, caso in cui l'impianto non influisce in maniera rilevante, dato che la dimensione dei pannelli non è tale da determinare variazioni significative della ventosità, secondo il cosiddetto effetto canyon.

La presenza dei pannelli potrebbe inoltre determinare una concentrazione dell'acqua di precipitazione nelle zone di terreno immediatamente sottostanti ai bordi dei pannelli. L'effetto è, comunque, da considerare trascurabile: in caso di precipitazioni di particolare intensità, i pannelli si pongono in posizione prossima alla verticale, per ridurre il rischio di danni ai pannelli stessi ma, di fatto, limitando al minimo il loro impatto sulla distribuzione della piovosità alla micro-scala. Nel caso di piovosità non particolarmente intense, i pannelli possono rimanere in posizione di lavoro e ciò potrebbe determinare una concentrazione dell'acqua nella zona sottostante. Si fa però notare che:

- 1) I pannelli si muovono nel corso della giornata e ciò ripartisce la caduta di acqua dai pannelli su una zona più ampia di quella che si avrebbe con pannelli fissi;
- 2) I pannelli hanno una larghezza di circa 4,7 m. Considerando un fronte di 1 m di lunghezza, la quantità di acqua che arriva al suolo per scorrimento sul pannello è pari a 4,7 L/mm di piovosità, ripartiti lungo tutta la durata dell'evento piovoso. Tenendo conto che i pannelli si muovono nel corso della giornata da una posizione prossima alla verticale fino ad un'angolazione dipendente dalla

stagione, in relazione all'altezza massima del sole sull'orizzonte, l'acqua di scorrimento sui pannelli ricadrà all'interno dell'area sottostante, su una superficie che varia tra  $0,9 \text{ m}^2$  e  $2,0 \text{ m}^2$  per m lineare di pannello, a seconda del momento dell'anno e, quindi, della massima altezza sull'orizzonte del sole. Assumendo una ripartizione dell'acqua su una superficie media di  $1,45 \text{ m}^2$ , la quantità di acqua che arriva al suolo nell'area sottostante al bordo dei pannelli è circa pari a  $3,2 \text{ L/m}^2$  per mm di acqua caduta, corrispondenti ad un'altezza d'acqua di 3,2 mm. Anche considerando una permeabilità mediocre del terreno (circa  $10 \text{ mm/h}$ ), la quantità di acqua di caduta dai pannelli può essere assorbita dal terreno senza determinare alcun fenomeno di ristagno fino a intensità di pioggia di 3-4 mm/h. Anche oltre a questa intensità, comunque, l'acqua in eccesso può essere smaltita in breve tempo, senza determinare ristagni idrici. Si sottolinea inoltre che il mantenimento di un cotico erboso nell'area sottostante ai pannelli permette un miglioramento della struttura del terreno e, soprattutto, ostacola la formazione di strati superficiali a bassa permeabilità. L'effetto della copertura prativa rende quindi praticamente nullo il rischio eccessi idrici superficiali causati dalla concentrazione della pioggia caduta sui pannelli.

Per quanto riguarda la potenzialità produttiva delle colture sotto l'impianto agrivoltaico, si ricorda ancora che le stime della radiazione disponibile al suolo considerano la radiazione solare diretta incidente sull'impianto e che, in condizioni reali, la radiazione diffusa può incrementare in maniera rilevante la disponibilità di energia al suolo.

Gli studi attualmente disponibili sullo sviluppo di colture al di sotto di impianti agri-voltaici indicano comunque effetti molto limitati sulla morfologia delle piante, e, in particolare, l'assenza di fenomeni di eziolatura delle piante. Va sottolineato che, in ambienti caldi e con elevata radiazione come quelli del Sud-Europa, molte colture vengono comunemente realizzate con apprestamenti protettivi che riducono la radiazione al suolo, ottenendo comunque produzioni di elevato valore, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. Per le colture orticole, come ad esempio pomodori, lattughe ed altre specie da taglio, la produzione in ambienti semi-controllati (es. tunnel) o la schermatura con reti ombreggianti è una pratica comune, che non solo non determina problemi alle piante, ma, anzi, consente di evitare eccessi radiativi con danni alle produzioni e limita le richieste idriche delle colture stesse (Ezzaeri *et al.*, 2018; Hesham *et al.*, 2016; Tanny, 2013; Callejon-Ferre *et al.*, 2009; Gent, 2007).

## **Sostenibilità economica della coltivazione nel sistema agri-voltaico**

Per valutare le potenzialità economiche e tecniche del sistema, si può considerare una rotazione sessennale frumento – soia - frumento – medica - medica – medica, adottando la tecnica della minima lavorazione del terreno.

La scelta delle colture è stata effettuata considerando delle specie di taglia limitata, per non interferire con la funzionalità della parte fotovoltaica del sistema e, per le colture a ciclo di crescita primaverile estivo, per l'elevata capacità di recupero dell'acqua disponibile nel suolo. Con queste colture, la potenzialità produttiva è principalmente limitata dalla riduzione della radiazione disponibile. Sulla base delle informazioni bibliografiche, non ci si aspettano effetti rilevanti sulla resa del Frumento mentre, per le colture estive, si potrebbe avere una riduzione di resa del 20-25%. Nei successivi calcoli, la riduzione di resa media sull'intera fascia coltivabile viene cautelativamente stimata al 25% del potenziale in condizioni di campo aperto.

I costi ed i ricavi presumibili di questa rotazione sono riassunti in Tab. 1.

Si sottolinea che, a causa dell'attuale congiuntura internazionale e della forte volatilità dei prezzi, è estremamente difficile stimare i costi all'attualità e, soprattutto, fornire stime che possano rappresentare la situazione che si verificherà nel caso i mercati si stabilizzino. Nella Tab. 1 si è fatto riferimento ai costi per le operazioni colturali e gli input esterni (concimi, antiparassitari, ecc.) di primavera 2022 e i prezzi all'attualità (Settembre 2022) dei prodotti agricoli.

La rotazione presenta dei margini positivi che, nella media del quinquennio, sono di circa 400 €/ha, in linea con quanto ottenibile in campo aperto con colture erbacee di pieno campo.

Si sottolinea che i conti colturali sono stati effettuati senza considerare l'eventuale contributo PAC, che può essere riconosciuto ove la coltivazione venga realizzata da un agricoltore attivo avente diritto sul terreno.

Va sottolineato che le rese sono state stimate in assenza di irrigazione. Nell'ambiente considerato è presumibile un apprezzabile apporto dalla falda per la coltura di medica e, in misura leggermente minore, per la soia. In presenza di irrigazione, comunque, è prevedibile un sensibile aumento delle rese medie delle colture estive. Per colture sarchiate come la soia, l'irrigazione potrebbe essere realizzata con un impianto localizzato a manichette, che non interferisce con la funzionalità del sistema fotovoltaico e consente un notevole risparmio idrico rispetto a sistemi irrigui a pioggia.

Tab. 1: Costi, ricavi e margine lordo della rotazione sorgo-frumento medica-medica medica all'interno del sistema agrivoltaico, al netto di eventuali contributi PAC.

		Frumento	Soia	Frumento	Medica			Media triennio
					1° anno	2° anno	3° anno	
Lavorazioni terreno	€/ha	200	330	200	230	0	0	77
Concimazione	€/ha	440	370	440	370	0	0	123
Seme e semina	€/ha	310	315	310	310	0	0	103
Agrofarmaci	€/ha	240	240	240	96	96	96	96
Raccolta e trasporto	€/ha	450	340	450	500	1000	1000	833
Costi totali	€/ha	1640	1595	1640	1506	1096	1096	1233
Produzione	t/ha	7.5	4.5	7.5	5.0	10.0	10.0	8.3
Produzione in agrivoltaico	%	75	75	75				75
Prezzo	€/t	365	680	365				245
Ricavo totale	€/ha	2053	2295	2053				1531
Reddito lordo	€/ha	413	700	413				299
Media rotazione		404	€/ha					

La rotazione considerata già fornisce, al netto di contributi, un reddito positivo, pur con un numero limitato di interventi colturali (tra 5 e 7, a seconda delle colture), tali da non impattare negativamente sulla parte fotovoltaica del sistema.

Va sottolineato che la redditività media per unità di superficie potrebbe essere notevolmente incrementata, come indicato in precedenza, utilizzando parte del sistema per produzioni orticole, realizzando delle zone di intensificazione colturale. Queste zone potrebbero essere realizzate nelle aree perimetrali dell'impianto, vista la maggiore necessità di interventi colturali su queste colture e l'opportunità di non interferire con la coltivazione delle specie più estensive, come quelle indicate in precedenza.

Va inoltre ricordato che l'utilizzazione agricola dell'area richiede la strutturazione di un'azienda agraria che, come tale, può accedere ai contributi comunitari, migliorando in maniera decisiva la redditività economica del sistema nel suo complesso.

## Impatti del sistema sul consumo di suolo e servizi ecosistemici

Il sistema agri-voltaico in progetto presenta vari aspetti di potenziale valenza ambientale che, se ben sfruttati, possono rendere il sistema un esempio virtuoso per il territorio.

Va innanzitutto ricordato che l'impianto verrà circondato da una struttura mista arborea e di cespugli che, oltre a mascherare visivamente l'impianto, consente di creare una zona di passaggio e di stanziamento di selvatici in un areale in cui sono presenti pochi elementi naturalistici. La selezione delle specie vegetali da impiantare andrà fatta selezionando piante tipiche dell'areale, tali da garantire un positivo impatto visivo e il ripristino di aree naturalizzate in un ambiente fortemente antropizzato. Le fasce boscate, nella fase di sviluppo, sono inoltre in grado di garantire il sequestro di CO<sub>2</sub> atmosferica sia per l'incorporazione nella biomassa che per l'incremento del tenore di sostanza organica rispetto alle attuali condizioni di lavorazione del terreno. Nell'area di pertinenza del sistema agri-voltaico, inoltre, le zone lungo le file dei pannelli potranno essere mantenute con inerbimento controllato. Ciò permetterà di migliorare la struttura del suolo e di aumentare il contenuto di sostanza organica del terreno, contribuendo al positivo effetto del sistema sul contenimento delle emissioni di gas serra.

All'interno dell'area dell'impianto, inoltre, sono previste delle vasche di laminazione delle acque in uscita dall'impianto, che, nel complesso, coprono una superficie di circa 1 ha. In tali aree si può prevedere l'installazione di elementi flottanti di sostegno a vegetazione ripariale, che consentono sia di ridurre la presenza di fitonutrienti in uscita dall'impianto che di costituire ulteriori elementi di paesaggio e nidificazione, in particolare per uccelli.

I principali effetti che si possono prevedere riguardano

- 1) Il consumo di suolo
- 2) La qualità del suolo
- 3) L'effetto sui servizi ecosistemici
- 4) Gli effetti sulla fruibilità del territorio

Tali aspetti verranno affrontati qui di seguito.

### **Effetti sul consumo di suolo**

Il sistema fotovoltaico in sé non determina effetti permanenti sul suolo, essendo completamente rimovibile al termine della vita produttiva dell'impianto. Il consumo di suolo si può avere solo per le strutture accessorie dell'impianto come le cabine per inverter e trasformatori che, comunque, interessano superfici estremamente limitate. Gli impatti previsti sono quindi estremamente modesti e sostanzialmente trascurabili a fronte dei potenziali vantaggi ambientali del sistema.

## Qualità del suolo

Si precisa che, nella areale in esame, gli effetti erosivi sono tendenzialmente trascurabili per la giacitura in piano. Il sistema agri-voltaico può comunque ridurre i pur limitati rischi erosivi sia per la presenza delle fasce inerbite lungo le file di pannelli (fasce che coprono una larghezza di circa 2,5 m per ogni fila) che per la presenza delle fasce boscate perimetrali dell'impianto. Quest'ultime, in particolare, assicurano il contenimento di fenomeni di trasporto di terreno e fitonutrienti dall'interno dell'area dominata dall'impianto, grazie alla contemporanea presenza delle essenze arboree e dell'inerbimento di tutta la fascia perimetrale. In termini di qualità del suolo, l'effetto diretto dei pannelli è modesto, dato che determinano solo una riduzione della radiazione incidente e, nel caso di eventi piovosi di bassa o media intensità, una leggera concentrazione dell'acqua di caduta in corrispondenza del bordo dei pannelli stessi, con un potenziale rischio di degradazione della struttura del terreno negli strati superficiali. Come precisato in precedenza, questo effetto è comunque limitato e può essere facilmente controllato con l'inerbimento della fascia del filare di pannelli, che garantisce una sostanziale riduzione dell'effetto battente dell'acqua. Dal punto di vista del contenuto di carbonio organico del terreno si possono identificare due aree diversificate all'interno dell'impianto: a) fascia inerbita lungo i filari e b) zona coltivata.

Nella fascia a) si prevede un incremento del contenuto di Carbonio Organico nel medio periodo. In questa fascia la riduzione dell'accrescimento della copertura erbosa a causa dell'ombreggiamento è ampiamente compensata dall'intrinseca capacità di accumulo di C delle strutture prative, dall'assenza di lavorazioni del terreno e dalla riduzione dei fenomeni di compattamento del terreno rispetto all'attuale utilizzazione agricola.

In assenza di ombreggiamento, un sistema prativo permette un accumulo medio di 0.4 t C/ha/anno per un periodo di almeno 20 anni (Morari *et al.*, 2006). Con l'ombreggiamento determinato dall'impianto fotovoltaico, l'accrescimento delle essenze prative è ridotto, e quindi si riduce anche la quantità di C immesso annualmente nel suolo. Anche assumendo uno sviluppo pari al 25% di quello che si avrebbe senza ombreggiamento, l'accumulo di C rimane comunque di almeno 0.1 t C/ha/anno, valore superiore a quello che si può osservare in normali condizioni di campo con, ad esempio, l'interramento dei residui colturali (Morari *et al.*, 2006)

L'incremento di C organico del terreno potrà essere massimizzato con l'impianto di specie erbacee tendenzialmente sciafile e con il mantenimento in loco dell'erba tagliata, previa trinciatura della stessa (mulching).

Nella fascia b) si ripropone la situazione di coltivazione attuale. Con la sistemazione dei pannelli si riduce la radiazione al suolo e ciò porta ad una riduzione dell'input di C organico al terreno, grossomodo equivalente all'attesa riduzione di resa delle colture rispetto a condizioni di campo aperto. Questo effetto negativo può essere compensato adottando delle misure di mitigazione che consistono in:

i) introduzione di specie leguminose foraggere, come l'erba medica, caratterizzate da apparati radicali estesi e profondi, in grado di massimizzare l'input di C organico rispetto a colture con apparati radicali meno sviluppati come i cereali autunno-vernini. Durante il ciclo della coltura, inoltre, vengono sostanzialmente ridotta la lavorazione del terreno, effettuata solo all'impianto, e il calpestamento del terreno.

ii) adozione di tecniche di minima lavorazione per le altre colture in rotazione. La minima lavorazione consente di ridurre le perdite di sostanza organica del terreno rispetto alle lavorazioni convenzionali profonde e di ridurre la diluizione della frazione organica lungo il profilo lavorato. I terreni condotti con lavorazioni ridotte presentano inoltre una maggiore biodiversità, sia a livello microbiologico che per la microfauna del terreno e ciò incrementa la sostenibilità a medio-lungo termine dell'impianto proposto.

### **Effetto sui servizi ecosistemici**

#### *Produzione di biomassa:*

Come precisato in precedenza, ci si attende una limitazione della produzione di biomassa vegetale per unità di superficie a causa della riduzione della radiazione incidente. Questo effetto negativo è comunque limitato data la tipologia dell'impianto a pannelli mobili e l'ampia interfila tra i pannelli. I pannelli mobili consentono di rendere notevolmente più omogenea la distribuzione della radiazione diretta non intercettata e della radiazione diffusa rispetto ad un tradizionale impianto a pannelli fissi, mentre la distanza particolarmente ampia tra le file di pannelli (8.5 m), che garantisce condizioni di coltivazione equivalenti a quelle del pieno campo, consentendo di ottimizzare gli interventi e limitare al minimo le riduzioni di resa areica.

#### *Contenimento delle emissioni di gas serra (GHG) e sequestro di Carbonio (C)*

Il sistema proposto presenta evidenti effetti positivi per la produzione di energia rinnovabile, consente di ridurre le emissioni di GHG del settore energetico. A questo effetto si aggiunge il potenziale di sequestro di C, dovuto alle fasce inerbite sulle file dei pannelli e aree perimetrali

(circa 1/3 della superficie dominata dall'impianto) ma anche, con un'opportuna gestione, nelle fasce coltivate, come precisato precedentemente.

In particolare, la possibilità di ridurre l'intensità delle lavorazioni permette da una parte di limitare l'input energetico e, dall'altra, di incrementare lo stoccaggio di C nel suolo.

Si può quindi concludere che il bilancio del sistema in termini energetici e di bilancio di GHG è notevolmente positivo.

#### *Conservazione della biodiversità*

Va innanzitutto precisato che l'impianto in progetto non determina impatti diretti negativi rispetto all'utilizzazione attuale. In prospettiva, anzi, il mantenimento delle fasce inerbite lungo le file del sistema fotovoltaico crea delle condizioni favorevoli per il mantenimento della biodiversità della microfauna e, in particolare predatori degli insetti ed altri artropodi dannosi per le colture.

L'impatto più significativo è comunque quello dato dalla fascia di isolamento dell'impianto prevista dal progetto e delle adiacenti aree inerbite. La fascia boscata, per le caratteristiche e la varietà delle essenze impiegate si configura come un'area di nidificazione per uccelli e fornisce spazi adeguati al transito di mammiferi di piccola e media taglia. Va notato che, al momento, l'area interessata all'impianto è un'area agricola completamente priva di alberature e siepi; la struttura boscata perimetrale introduce un elemento di paesaggio, rivestendo quindi una grande importanza anche dal punto di vista ecologico per tutta l'area circostante. Un'ulteriore impatto positivo si potrà ottenere con un'opportuna gestione delle vasche di laminazione, prevedendo, come precisato in precedenza, delle strutture vegetate flottanti che consentono di abbattere eventuali carichi di fitonutrienti in uscita dall'area agricola e rappresentano aree di sosta per uccelli acquatici.

Nel complesso, quindi, l'impianto, se gestito opportunamente, è in grado di fornire un positivo impatto sui servizi ecosistemici.

#### *Impatto sulla fruibilità del territorio*

Anche dal punto di vista della fruizione turistico-ambientale dell'area, si attende un impatto positivo, dato che le capezzagne inerbite esterne alla fascia permettono il transito e la fruizione delle aree perimetrali. Queste vie di transito risulteranno di particolare validità estetico-funzionale, essendo separate dall'impianto agri-voltaico dalla bordura alberata, che garantisce la schermatura estetica e crea un ambiente altamente diversificato, data la presenza di un insieme di specie arboree diverse, tutte caratteristiche dell'ambiente Polesano, alternate in maniera da creare un

effetto di movimento, di diversità e varietà della fascia boscata perimetrale. Va sottolineato che, al momento, nell'area in cui si inserirebbe l'impianto è presente la SS434 Transpolesana e un impianto di stoccaggio di cereali con silos di notevole altezza, entrambi elementi ad elevato impatto estetico. Non sono invece presenti strutture alberate e/o percorsi fruibili. L'inserimento della fascia di bordura dell'impianto potrebbe quindi rappresentare un interessante elemento paesaggistico, movimentando un paesaggio altrimenti monotono e schermato, almeno in parte, la Strada Statale e l'impianto di stoccaggio cereali.

### **Selezione delle specie adatte per l'isolamento dell'impianto e il mantenimento della funzionalità ecologica dell'area**

La struttura di mascheramento e protezione dell'area dell'impianto può essere strutturata in maniera da poter svolgere una serie di funzioni diversificate. Innanzitutto essa deve garantire un'adeguata schermatura al fine di attenuare l'interferenza visiva dell'impianto, in particolare rispetto ai punti di vista più esposti (alzate arginali), ma dall'altra deve inserirsi un sistema ecologico, garantendo transito e permanenza di selvatici di varia taglia, contribuendo alla connessione degli elementi della rete ecologica prevista dagli strumenti urbanistici (PTCP e PAT), rispondendo nel contempo alle indicazioni provenienti dal PTCP (frammentazione).

Si sottolinea che l'impianto nel suo complesso non determina impatti significativi per quanto riguarda il consumo del suolo. Il sistema fotovoltaico può infatti essere smantellato a fine ciclo di vita ripristinando la funzionalità agricola dei terreni interessati, mentre la superficie destinata a strutture accessorie è estremamente limitata. La fascia perimetrale è comunque un'area ripristinata a superficie naturale e seminaturale ai sensi della LR 14/2017, art. 2, compensando ampiamente le aree sottratte all'utilizzo agricolo per la realizzazione di sottosistemi dell'impianto in esame. Le strutture arboree e arbustive adottabili possono essere suddivise in due tipologie principali:

- a) Sistemi di schermatura visiva rispetto alle alzate arginali;
- b) Sistemi di schermatura visiva, delimitazione e protezione perimetrale dell'impianto.

La tipologia a) interessa principalmente la zona a sud dell'impianto, prossima all'argine del Canal Bianco. Su questo tratto è ipotizzabile una schermatura visiva per i coni visivi dalle alzate arginali, sia del Canal Bianco che del Po. La soluzione proposta è in questo caso un doppio filare di Pioppi, con un eventuale allargamento nella zona ovest dell'impianto, non occupata dalla vasca di

laminazione. I Pioppi ben si inseriscono nell'ambiente Polesano e possono fornire un'adeguata schermatura dell'impianto da punti di vista rialzati rispetto al piano di campagna. La relativa omogeneità della struttura lineare monospecifica verrà poi compensata dalla più complessa articolazione della fascia perimetrale, che presenta un elevato grado di differenziazione sia per la disposizione spaziale delle piante che per la varietà delle specie impiegate.

La tipologia b) deve fornire un'adeguata schermatura all'impianto da punti di vista a livello suolo, ma deve contemporaneamente fornire funzioni paesaggistiche e naturalistiche, consentendo il passaggio e l'insediamento di selvatici e deve consentire la transitabilità nelle aree perimetrali, sia per la manutenzione che per la transitabilità da parte di utenti esterni.

Si ritiene quindi che la fascia boscata debba essere strutturata come una serie di aree nucleo collegate da sistemi lineari, con funzione di corridoi ecologici, che costeggino l'impianto agrivoltaico. Quest'ultimi devono garantire sia un adeguato movimento che la stanzialità di vari livelli di selvatici.

In linea di principio, la migliore funzionalità si può raggiungere con una strutturazione di elementi base dei corridoi che vedano l'alternanza di specie di II grandezza, o comunque ceduibili, con una serie di alberelli ed arbusti. Ciò garantisce la continuità della struttura e la produzione di fiori e frutti in grado di supportare le popolazioni naturali, dalle api ed altri insetti ai mammiferi. Le fasi di passaggio dovranno poi sboccare in aree nucleo dove la struttura boscata si amplia, fornendo zone di stanziamento e sosta dei selvatici.

Le aree circostanti agli elementi arborati andranno adeguatamente inerbite, per proteggere e stabilizzare ulteriormente i fossi perimetrali dell'impianto e per garantire la mobilità sia dei selvatici che per la manutenzione della struttura boscata.

Le specie impiegate dovranno essere scelte incrociando le indicazioni del Piano di Area del Delta del Po con l'adattabilità delle specie all'ambiente in cui verrà realizzato l'impianto. Il terreno è infatti di tipo argilloso-limoso, all'attualità scarsamente drenato, anche se, con la realizzazione dell'impianto di drenaggio tubolare sotterraneo previsto, ci si possono attendere dei miglioramenti sostanziali per quanto riguarda la permeabilità del terreno ed il rischio di ristagno. Sulla scorta delle indicazioni del Piano d'Area del Delta Po, le specie previste per i nuovi impianti sono quelle riportate in Tab. 1.

Considerando le due tipologie di fasce, si prevede l'impianto di circa 3600 piante, suddivise in circa 600 Pioppi nella parte sub-arginale e circa 3000 piante di varia tipologia nella fascia di delimitazione dell'impianto.

Tabella 2: Specie previste dal Piano d'area del Delta PO e adattabilità alle condizioni pedo-climatiche dell'area di pertinenza dell'impianto agri-voltaico in esame.

Tipo di specie	Nome scientifico	Nome comune	Dimensione	Adattabilità a terreni medio-pesanti di pianura
Autoctona	<i>Acer campestre L.</i>	Acero campestre	Il grandezza	+/-
Autoctona	<i>Alnus glutinosa (L.) Gaertner</i>	Ontano nero	Il grandezza	++
Autoctona	<i>Carpinus betulus L.</i>	Carpino bianco	Il grandezza	++
Autoctona	<i>Carpinus orientalis L. Miller</i>	Carpino orientale	Il grandezza	++
Autoctona	<i>Cornus sanguinea L.</i>	Sanguinella	Alberello	-
Autoctona	<i>Corylus avellana L.</i>	Nocciolo	Arbusto	-
Autoctona	<i>Crataegus monogyna Jacq.</i>	Biancospino	Alberello	++
Autoctona	<i>Crataegus oxyacantha L.</i>	Biancospino	Alberello	++
Autoctona	<i>Euonymus europaeus L.</i>	Fusaaggine	Arbusto	++
Autoctona	<i>Fraxinus angustifolia Auct.</i>	Frassino meridionale	Il grandezza	+
Autoctona	<i>Fraxinus ornus L.</i>	Orniello	Alberello	-
Autoctona	<i>Hippophae rhamnoides L.</i>	Olivello spinoso	Alberello	-
Autoctona	<i>Laurus nobilis L.</i>	Alloro	Alberello	+
Autoctona	<i>Ligustrum vulgare L.</i>	Ligustro	Arbusto	++
Autoctona	<i>Juniperus communis L.</i>	Ginepro comune	Alberello	-
Autoctona	<i>Malus sylvestris Miller</i>	Melastro	Alberello	+/-
Autoctona	<i>Mespilus germanica L.</i>	Nespolo	Alberello	+/-
Autoctona	<i>Morus alba L.</i>	Gelso bianco	Il grandezza	+
Autoctona	<i>Morus nigra L.</i>	Gelso nero	Il grandezza	+
Autoctona	<i>Pinus Pinaster</i>	Pino marittimo	I grandezza	-
Autoctona	<i>Populus nigra L. (esclusi cloni ibridi)</i>	Pioppo nero	I grandezza	+
Autoctona	<i>Prunus avium L.</i>	Ciliegio selvatico	I grandezza	+/-
Autoctona	<i>Prunus cerasus L.</i>	Ciliegio selvatico	I grandezza	+/-
Autoctona	<i>Prunus domestica L.</i>	Susino	Alberello	+/-
Autoctona	<i>Prunus spinosa L.</i>	Prugnolo selvatico	Alberello	+/-
Autoctona	<i>Pyrus pyraster Burgsd.</i>	Perastro	Il grandezza	+/-
Autoctona	<i>Quercus ilex L.</i>	Leccio	I grandezza	+/-
Autoctona	<i>Quercus pubescens Willd.</i>	Roverella	Il grandezza	+/-

Tab. 2 (continua)				
Autoctona	<i>Quercus robur L.</i>	Farnia	I grandezza	+
Autoctona	<i>Rhamnus catharticus L.</i>	Spincervino	Arbusto	++
Autoctona	<i>Rhamnus frangula</i>	Frangola	Arbusto	+
Autoctona	<i>Rosa canina L.</i>	Rosa canina	Arbusto	+/-
Autoctona	<i>Sambucus nigra L.</i>	Sambuco	Arbusto	++
Autoctona	<i>Salix alba L.</i>	Salice bianco	II grandezza	+/-
Autoctona	<i>Salix caprea L.</i>	Salicone	II grandezza	+/-
Autoctona	<i>Salix cinerea L.</i>	Salice grigio	II grandezza	+/-
Autoctona	<i>Salix eleagnos Scop.</i>	Salice ripaiolo	II grandezza	+/-
Autoctona	<i>Salix purpurea L.</i>	Salice rosso	II grandezza	+/-
Autoctona	<i>Salix trianda L.</i>	Salice da ceste	II grandezza	+/-
Autoctona	<i>Salix viminalis L.</i>	Salice viminale	II grandezza	+/-
Autoctona	<i>Sorbus domestica L.</i>	Sorbo domestico	Alberello	+
Autoctona	<i>Ulmus minor Miller</i>	Olmo campestre	II grandezza	+
Autoctona	<i>Viburnum lantana L.</i>	Lantana	Arbusto	+/-
Autoctona	<i>Viburnum opulus L.</i>	Pallon di maggio	Arbusto	++
Naturalizzata	<i>Alnus cordata (Loisel.) Desf.</i>	Ontano napoletano	II grandezza	++
Naturalizzata	<i>Celtis australis L.</i>	Bagolaro	I grandezza	-
Naturalizzata	<i>Eleagnus angustifolia L.</i>	Olivo di Boemia	Alberello	+/-
Naturalizzata	<i>Juglans nigra L.</i>	Noce nero	I grandezza	+
Naturalizzata	<i>Juglans regia L.</i>	Noce bianco	I grandezza	+
Naturalizzata	<i>Pinus Pinea</i>	Pino domestic	II grandezza	-
Naturalizzata	<i>Platanus acerifolia (Aiton) Willd.</i>	Platano comune	I grandezza	+
Naturalizzata	<i>Prunus cerasifera Ebrh.</i>	Amolo	Alberello	+
Naturalizzata	<i>Robinia pseudoacacia L.</i>	Robinia	I grandezza	+
Naturalizzata	<i>Tamarix gallica L.</i>	Tamerice	Arbusto	+/-
Naturalizzata	<i>Ulmus laevis Pallas</i>	Olmo bianco	II grandezza	++

I grandezza: Albero con altezza tra 25 e 40 m

II grandezza: Albero con altezza tra 12 e 25 m Alberello:

Albero con altezza tra 7 e 12 m

Arbusto: Cespugli o piccoli alberi fino a 5 m di altezza

Tenendo conto sia delle indicazioni del Piano che delle caratteristiche idrologiche e pedologiche, si ritiene che le specie più adatte siano quelle riportate in Tab. 3, di cui si darà una descrizione sintetica di seguito.

Tab. 3 Specie vegetali utilizzabili per l'area di rispetto e confinamento dell'impianto.

Tipologia	Nome scientifico	Nome comune	Tipologia	Nome scientifico	Nome comune
Alberi di II grandezza (altezza tra 12 e 25 m):	<i>Carpinus betulus</i> L.	Carpino bianco	Arbusti (altezza < 5m)	<i>Euonymus europaeus</i> L.	Fusaggine
	<i>Carpinus orientalis</i> L. Miller	Carpino orientale		<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	Olivello spinoso
	<i>Alnus cordata</i> (Loisel.) Desf.	Ontano napoletano		<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Ligustro
	<i>Ulmus laevis</i> Pallas	Olmo bianco		<i>Rhamnus catharticus</i> L.	Spincervino
Alberelli (altezza tra 5 e 12 m)	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Biancospino	<i>Rhamnus frangula</i> L.	Frangola	
	<i>Crataegus oxyacantha</i> L.	Biancospino	<i>Sambucus nigra</i> L.	Sambuco	
	<i>Prunus cerasifera</i> Ebrh.	Amolo	<i>Viburnum opulus</i> L.	Pallon di maggio	

### Struttura delle fasce boscate Perimetrali

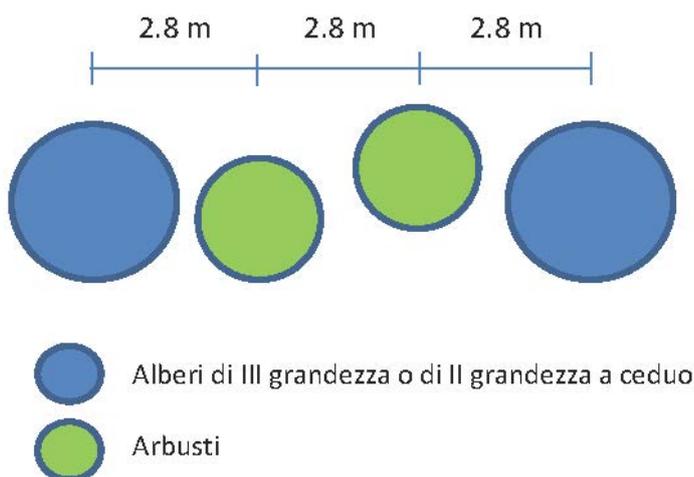
Gli Elementi lineari che costituiscono la base del sistema perimetrale dell'impianto sono ottenuti alternando alberi di 3° grandezza o di 2° grandezza gestiti a ceduo con arbusti che garantiscano sia una valenza estetica che funzionale, legata al mantenimento di aree di passaggio, la nidificazione e il sostentamento dei selvatici.

Nel complesso la fascia occupa circa 10 m dalla recinzione dell'impianto. L'intera superficie va inerbita, in modo da incrementare la sua valenza ecologica e, soprattutto, per garantire condizioni di transitabilità e di portanza del terreno anche con terreni umidi e stabilizzare la zona prossima al fosso collettore.

La fascia boscata va posizionata in prossimità della recinzione dell'impianto, creando verso il fosso collettore una capezzagna inerbita di circa 3 m per consentire il movimento dei mezzi per la manutenzione dell'impianto drenante e della fascia boscata. La struttura arborea occupa circa 4- 6 m, prevedendo un passaggio di manutenzione dal lato recinzione.

L'elemento base dei sistemi lineari è schematizzato nella seguente (Fig. 6)

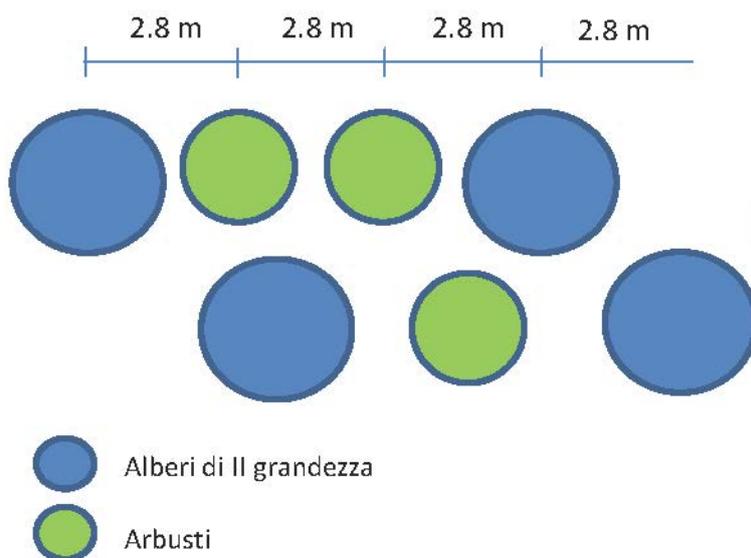
Fig. 6: Schematizzazione dell'elemento base dei sistemi lineari perimetrali. L'elemento si ripete variando le specie impiegate sia per gli alberi (in blu) che per gli arbusti (in verde).



La piantumazione va effettuata garantendo un minimo di movimento della struttura boscata, sia per conferirle maggiore naturalità che per consentire un migliore sviluppo, in particolare degli arbusti. Le specie impiegate vanno diversificate, alternando nelle varie posizioni le specie indicate in Tab. 3, in modo da garantire la valenza estetica ed ecologica della struttura.

Le Aree a nucleo vengono ottenute combinando alberi di 2 grandezza ed arbusti, collocati in modo da garantire un'adeguata schermatura e la presenza di passaggi all'interno della fascia. Sulla base degli elementi lineari, viene realizzato un raddoppio della fascia, con alternanza di specie a dimensione e portamento diverso (Fig. 7).

Fig. 7: Schematizzazione dell'elemento base delle aree a nucleo. Come per gli elementi lineari, la struttura si ripete variando le specie impiegate sia per gli alberi (in blu) che per gli arbusti (in verde).



La larghezza della struttura vegetata e la presenza di vari strati di vegetazione permettono sia il transito che lo stanziamento di selvatici di vario tipo. Alternando per ogni categoria di piante le specie indicate in precedenza, si ottengono strutture ben diversificate, ad alta valenza sia ecologica che estetica.

## Descrizione delle specie proposte

### Alberi di II grandezza:

*Carpinus betulus* L.

Zone di diffusione: ambienti di pianura, alto collinari e submontani freschi.

Terreno: da neutro a subacido, terreni freschi, argillosi

Servizi e prodotti: produttrice di legna da ardere, consolidatrice e miglioratrice dei suoli, utile per la fauna selvatica.



*Carpinus orientalis* L. Miller

Zone di diffusione: ambienti di pianura, alto collinari e submontani freschi.

Terreno: da neutro a subacido, terreni freschi, argillosi e anche calcarei

Servizi e prodotti: produttrice di legna da ardere, consolidatrice e miglioratrice dei suoli, utile per la fauna selvatica.



*Alnus cordata* (Loisel.) Desf.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: si adatta ad un'ampia gamma di pH, predilige terreni freschi ed argillosi

Servizi e prodotti: consolidatrice e miglioratrice dei suoli, produttrice di legna da ardere e legname, utile per la fauna selvatica e per l'apicoltura



*Ulmus laevis* Pallas

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: pH da neutro a subacido, predilige terreni freschi ed argillosi

Servizi e prodotti: produttrice di legna da ardere, consolidatrice e miglioratrice dei suoli, utile per la fauna selvatica



### Alberelli

*Crataegus monogyna* Jacq. e *Crataegus oxyacantha* L.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: si adatta ad un'ampia gamma di pH, predilige terreni freschi

Servizi e prodotti: utile per l'apicoltura, utile per la fauna selvatica, decorativa, specie officinale



*Prunus cerasifera* Ehrh.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi  
Terreno: pH superiore a 7.5, adattabile ad un'ampia gamma di terreni ben drenati

Servizi e prodotti: utile per l'apicoltura, utile per la fauna selvatica, decorativa, produce frutti mangerecci



## Arbusti

*Euonymus europaeus* L.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: adattabile ad un'ampia gamma di terreni; poco esigente per il pH

Servizi e prodotti: utile per la fauna selvatica, decorativa



*Hippophae rhamnoides* L.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi  
Terreno: pH neutro, adattabile ad un'ampia gamma di terreni ben drenati

Servizi e prodotti: utile per la fauna selvatica, consolidatore e miglioratore dei suoli, produce frutti mangerecci



*Ligustrum vulgare* L.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: pH da neutro a subacido, poco esigente per la tessitura del terreno

Servizi e prodotti: utile per la fauna selvatica, l'apicoltura, pianta officinale



*Rhamnus catharticus* L.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: pH da neutro a subacido, si adatta bene anche a terreni pesanti

Servizi e prodotti: utile per la fauna selvatica, specie officinale



*Rhamnus frangula* L.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: pH da neutro a subacido, si adatta bene anche a terreni pesanti

Servizi e prodotti: utile per la fauna selvatica, decorativa



*Sambucus nigra* L.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: pH da neutro a subacido, si adatta bene anche a terreni pesanti

Servizi e prodotti: utile per la fauna selvatica, officinale, produce frutti mangerecci, produce legna da ardere



*Viburnum opulus* L.

Habitat: ambienti di pianura, ambienti alto collinari e submontani freschi

Terreno: pH da neutro a subacido, si adatta bene anche a terreni pesanti

Servizi e prodotti: utile per l'apicoltura, officinale, produce frutti mangerecci, decorativa



## Conclusioni

Gli impianti agri-voltaici hanno un forte interesse per differenziare l'utilizzazione del territorio, mantenendo la potenzialità produttiva agricola ma consentendo, nel contempo, di produrre energia rinnovabile, configurandosi come una modalità di gestione innovativa del territorio, che può permettere notevoli vantaggi anche a livello ambientale.

Questi sistemi hanno un positivo effetto diretto sul bilancio di gas clima-alteranti come l'anidride carbonica, legato alla produzione di energia rinnovabile, ma possono dare un valido contributo, se opportunamente gestiti, anche in termini di sequestro di CO<sub>2</sub> atmosferica nella Sostanza organica del suolo nella superficie coltivata e nelle aree di rispetto all'interno e sul perimetro dell'impianto. Le sperimentazioni in atto presso l'Università di Padova indicano un potenziale di sequestro di carbonio di 0,4 t/ha di C (equivalenti a 1,47 t/ha/anno di CO<sub>2</sub>) con la conversione da terreno lavorato ad inerbito (Morari *et al.*, 2006). Tale tasso sequestro si può mantenere per lunghi periodi di tempo (10-15 anni), compatibili con la vita produttiva del sistema agri-voltaico. Considerando una superficie inerbita pari al 30% della superficie totale, si può stimare un sequestro medio di circa 30 t/anno di CO<sub>2</sub>, che si aggiungono ai risparmi di emissione garantiti dall'energia rinnovabile prodotta. Il sequestro di C nel terreno potrà poi essere ottimizzato con l'adozione di pratiche di minima lavorazione o non lavorazione nella fascia coltivata, incrementando ulteriormente il contributo dell'impianto alla riduzione delle emissioni di gas-serra in atmosfera.

Nel caso del sistema in esame, può essere mantenuta in produzione agricola circa  $\frac{3}{4}$  della superficie complessiva, con una potenzialità produttiva areica prossima a quella ottenibile in campo aperto, se le colture vengono scelte opportunamente. Sono di particolare interesse i cereali autunno-vernini (es. frumento), le colture foraggere, erba medica in particolare ed alcune specie orticole (solanacee come il pomodoro, crucifere come cavoli e verze, leguminose da granella come pisello e fagiolo) e alcune colture ortive, da realizzare su parte della superficie dell'impianto. Tra queste si segnalano in particolare l'Aglio Polesano, l'Asparago e la Patata americana, che possono contribuire validamente alla redditività agraria dell'impianto. Tra le colture estive potrebbe essere valutata anche la Barbabietola da zucchero: per questa coltura non sono disponibili informazioni sull'adattabilità in condizioni di ombreggiamento, ma la sua produttività è frequentemente limitata nei nostri areali dall'eccesso di temperatura associato alla forte irradiazione dei mesi estivi.

Va sottolineato che la presenza del sistema fotovoltaico, per molte di queste colture, diviene vantaggiosa: la presenza dei pannelli riduce l'impatto negativo degli atmosferici, contenendo la ventosità a livello suolo, riducendo l'aggressività della pioggia. L'effetto di ombreggiamento riduce inoltre la richiesta idrica delle colture, in particolare ad inizio estate, con un risparmio idrico che può arrivare anche al 20% del fabbisogno in condizioni di campo momento. Tenendo conto che l'arrivo dei primi caldi a fine primavera-inizio estate rappresenta una fase critica per quasi tutte le colture del nostro territorio, ci si possono attendere degli effetti positivi sia per le colture che per la gestione irrigua di tutto l'areale.

Da ultimo si ricorda che l'impianto sarà circondato da una bordura con essenze arboree di taglia medio-bassa. Scegliendo opportunamente le specie, si potranno avere ulteriori vantaggi sia di carattere ambientale (riduzione dei flussi di fitonutrienti in uscita, mantenimento di corridoi ecologici per i selvatici) che per l'inserimento dell'impianto nel territorio, con la trasformazione di un'area attualmente piatta ed uniforme e interessata da elementi con negativo impatto estetico (superstrada, impianti industriali) in un ambiente fortemente variato dal punto di vista vegetazionale, con un apprezzabile valore paesaggistico.

## Bibliografia

- Amaducci S., Xinyou Yin, M. Colauzzi, (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy* 220 (2018) 545–561.
- ARPAV, 2018. Carta dei suoli della provincia di Rovigo. ISBN: 978-88-7504-168-7
- Callejón-Ferre A. J., F. Manzano-Agugliaro, M. Díaz-Pérez, A. Carreño-Ortega, J. Pérez-Alonso (2009). Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions. *Spanish Journal of Aricultural Research*, 7:41-49
- Dupraz C, Marrou H, Talbot G, Dufour L, Nogier A, Ferard Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renew Energy*; 36(10):2725–32.
- Elamri Y., B. Cheviron, J.-M. Lopez, C. Dejean, G. Belaud, 2018. Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems: Application to irrigated lettuces. *Agricultural Water Management* 208 (2018) 440–453
- Gent M.P.N, (2007). Effect of Degree and Duration of Shade on Quality of Greenhouse Tomato. *HortScience*, 42:514-520.
- Lin CH, McGraw RL, George MF, Garrett HE (1998) Shade Effects on Forage Crops with Potential in Temperate Agroforestry Practices, *Agroforestry Systems*.;44(2,3) 109–19.
- Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., & Wéry, J. (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117–132.
- McGraw RL, Stamps WT, Houx JH, Linit MJ. (2008). Yield, maturation, and forage quality of alfalfa in a black walnut alley-cropping practice. *Agroforestry Systems*; 74:155-61
- Savin R, Slafer G.A., (1991). Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar. *Journal of Agricultural Science*, 116:1-7.
- Tanny J. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114: 26-43.