



BIO soc. Agricola Srl

Viale Camillo Benso Conte di Cavour, 136 - Siena - 53100

P.IVA 01483240527 pec biosrlsocagr@pec.it

amministratore FAUSTO Francesco cf: FSTFNC95E31C309K

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DELLA POTENZA DI 45,594 MWp DENOMINATO "MAREMMA" COMUNI DI CAMPAGNATICO E ROCCALBEGNA PROVINCIA DI GROSSETO

**PROCEDIMENTO UNICO IN MATERIA AMBIENTALE
(Art. 27 del D. Lgs. 152/2006)**



Codice Elaborato BIO-MAR-DOCTEC006	RELAZIONE AGRONOMICA	scala A4
Revisione 00		consegna 30.09.2023

Sviluppatore:

UNICABLE SRL

Viale Camillo Benso Conte di Cavour 136 Siena 53100
p.IVA 00944150523 pec unicablesrl@pec.it
amministratore FAUSTO Americo cf: FSTMRC57T31E330P

Progettista:

Ing. Fernando FAUSTO

C.F: FSTFNN57T31E330F
presso UNICABLE srl via delle Genziane 12 Cast.ne del lago (PG)
tel 0756976354 cell 3382721657
mail: fernando@unicableimpianti.it
pec: unicablesrl@pec.it
iscrizione ordine ingegneri Provincia di Perugia A859

*Tecnico incaricato per gli aspetti autorizzativi e per
il coordinamento delle prestazioni specialistiche:*

Ing. Alessandra UGOLINI

C.F: GLNLSN85H54E202V
presso EWS Engineering srl via Oberdan 33/b Grosseto (GR)
tel 05641793952 cell 3388111674
mail: a.ugolini@ewsenengineering.it
pec: ewsenengineering@pec.it
iscrizione ordine ingegneri Provincia di Grosseto A844



Tecnico incaricato per l'elaborato specifico:

Dott. Agr. Francesco FUNARO

C.F: FNRFNC60C30D086I
Via F. Alunni Pierucci, 39 - 06132 Perugia (PG)
cell 3334941143
mail: francesco.funaro@gmail.com
pec: domenicofalini@pec.it
iscrizione Albo Dott. Agronomi - Forestali Provincia di Perugia n.450

SOMMARIO

SOMMARIO.....	1
1. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	2
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	5
3. EFFETTI MICROCLIMATICI SULLE PIANTE NEL SISTEMA AGRI-VOLTAICO	7
4. RADIAZIONE SOLARE.....	7
5. EVAPOTRASPIRAZIONE	10
6. ESPERIENZA DI COLTIVAZIONE IN CONDIZIONE DI OMBREGGIAMENTO	11
7. STATO ATTUALE DELLA SUPERFICIE AGRICOLA INTERESSATA DALL’IMPIANTO AGRIVOLTAICO	12
8. COLTIVAZIONE FUTURA	12
9. COLTIVAZIONE DEL PRATO POLIFITA PERMANENTE	13
10. INTEGRAZIONE COLTURA-FOTOVOLTAICO	15
11. SOSTENIBILITÀ ECONOMICA DELL’ATTIVITÀ AGRICOLA	16
12. ANALISI MULTICRITERIO	19
13. COLTIVAZIONE ATTUALE COLTIVAZIONE FUTURA.....	19
14. GESTIONE IDRAULICA E IRRIGUA	23
15. REALIZZAZIONE DEL PRATO POLIFITA E MECCANIZZAZIONE DELLA RACCOLTA.....	23
16. SVILUPPO AZIENDALE FUTURO.....	25
17. CONCLUSIONE.....	25
18. BIBLIOGRAFIA.....	27

1. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

La superficie interessata dal progetto agri-voltaico è un terreno agricolo situato nei comuni di Campagnatico e Roccalbegna in provincia di Grosseto che si estenderà su una superficie di circa 78,25 ettari attualmente destinata a colture estensive di prato naturale e pascolo.

I riferimenti catastali sono comuni di Campagnatico e Roccalbegna (GR) dei rispettivi NCT.

Superfici considerate

SUPERFICIE AZIENDALE LORDA	231,35 ha
SUPERFICIE COLTIVABILE	182,00 ha
SUPERFICIE RECINTATA	78,25 ha
SUPERFICIE RECINTATA UTILE AGRICOLA	66,56 ha

BIO Soc. Agricola srl

V.le Camillo Benso Conte di Cavour, 136 - Siena (SI)

IMPIANTO AGROVOLTAICO 45594,36 kWRegione Toscana– Provincia Grosseto – Comuni
Campagnatico e Roccalbegna

Foglio	Comune	Particelle	Qualità	Foglio	Comune	Particelle	Qualità
99	Campagnatico	46		1	Roccalbegna	16	SEMINATIVO
100	Campagnatico	33	SEMINATIVO			17	SEMINATIVO
		77	SEMINATIVO			17	PASCOLO- CESPUGLIO
		33	SEMINATIVO			18	SEMINATIVO
		36	SEMINATIVO			19	SEMINATIVO
		36	PASCOLO- CESPUGLIO			22	SEMINATIVO
		38	SEMINATIVO			23	SEMINATIVO
		38	PASCOLO- CESPUGLIO			24	SEMINATIVO
		39	SEMINATIVO			25	SEMINATIVO
		44	SEMINATIVO			25	BOSCO CEDUO
		46	SEMINATIVO			31	SEMINATIVO
		47	SEMINATIVO			31	PASCOLO- CESPUGLIO
		60	SEMINATIVO			32	SEMINATIVO
		60	PASCOLO- CESPUGLIO			33	SEMINATIVO
		65				34	SEMINATIVO-ARBORATO
		65	SEMINATIVO			35	SEMINATIVO
		73	SEMINATIVO			35	PASCOLO- ARBORATO
		75	SEMINATIVO			39	SEMINATIVO
		75	PASCOLO- CESPUGLIO			39	PASCOLO- CESPUGLIO
		76	SEMINATIVO-ARBORATO			40	SEMINATIVO
		139	SEMINATIVO-ARBORATO			41	SEMINATIVO
103	Campagnatico	2	SEMINATIVO			41	PASCOLO- CESPUGLIO
		2	PASCOLO-ARBORATO			47	SEMINATIVO
		6	SEMINATIVO			54	SEMINATIVO
		6	PASCOLO- CESPUGLIO			54	PASCOLO- CESPUGLIO
		7	SEMINATIVO-ARBORATO			36	SEMINATIVO
		8	SEMINATIVO			48	SEMINATIVO
		9	SEMINATIVO			49	SEMINATIVO
		10	SEMINATIVO			50	SEMINATIVO - ARBORATO
		11	SEMINATIVO			50	SEMINATIVO
		12	SEMINATIVO			52	SEMINATIVO
		13	SEMINATIVO			60	SEMINATIVO
		14	SEMINATIVO			60	PASCOLO- CESPUGLIO
		15	SEMINATIVO			61	SEMINATIVO
		16	SEMINATIVO			63	SEMINATIVO
		16	PASCOLO- CESPUGLIO			69	SEMINATIVO
		28	SEMINATIVO-ARBORATO			71	SEMINATIVO
		29	SEMINATIVO-ARBORATO	2	Roccalbegna	7	SEMINATIVO
		31	SEMINATIVO-ARBORATO			8	
		32	SEMINATIVO			9	SEMINATIVO
		32	PASCOLO- CESPUGLIO			13	SEMINATIVO
		35	SEMINATIVO			15	SEMINATIVO
		35	PASCOLO- CESPUGLIO			17	SEMINATIVO
						18	SEMINATIVO
						18	PASCOLO- CESPUGLIO
						19	SEMINATIVO ARBORATO
						29	PASCOLO- CESPUGLIO
						29	SEMINATIVO
						30	SEMINATIVO
						51	SEMINATIVO

C.F.:

P. IVA: 01483240527

e-mail: fernando@unicableimpianti.it

pec: biosrlsocagr@pec.it

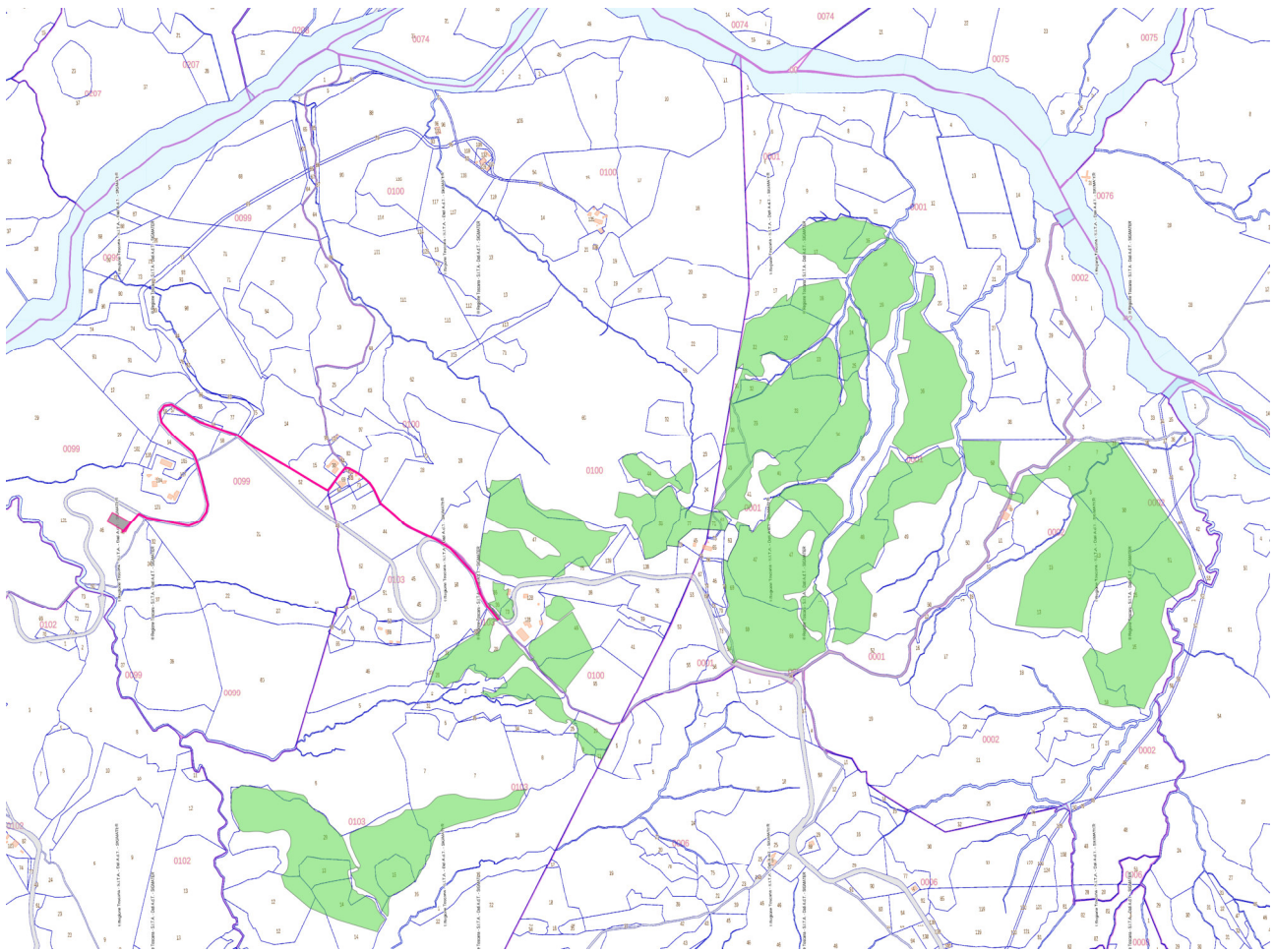


Figura 1 Inquadramento su carta catastale

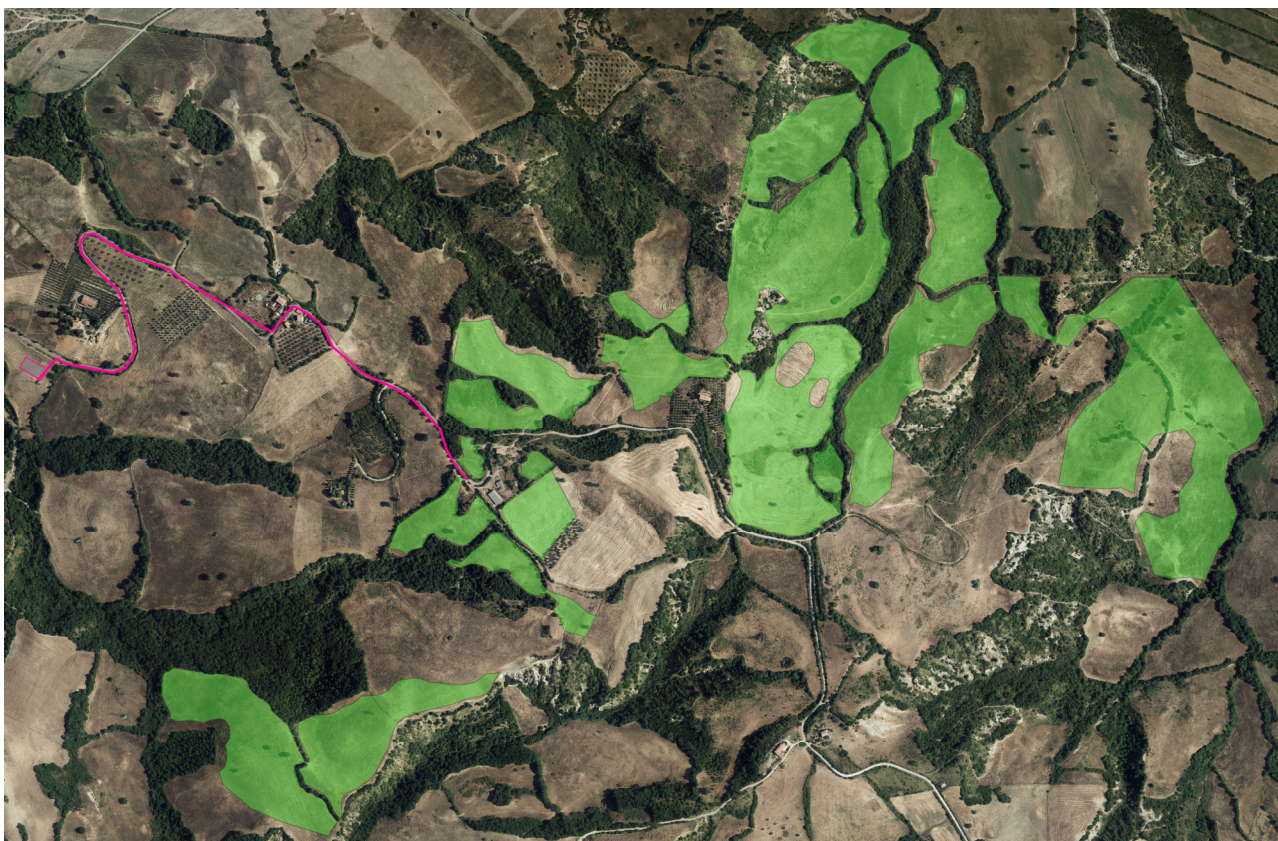


Figura 2 Inquadramento territoriale(Fonte: Google Maps)

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto di riqualificazione aziendale riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra a inseguimento solare, organizzato in filari nord-sud ben distanziati (interfila 8,00-9,00 m) per consentire la coltivazione nell'interfilare. Le ali fotovoltaiche, che presentano movimentazione est-ovest, sono incernierate a 2,0 m di altezza, o più, su piloni semplicemente inseriti nel terreno. Tali piloni sono agevolmente rimovibili a fine vita dell'impianto e non determinano alcun impatto residuo sul terreno agricolo.

Si tratta di un impianto fotovoltaico di ultima generazione che, per le sue caratteristiche costruttive, ha un impatto limitato sul suolo agricolo, consentendo il contemporaneo esercizio conveniente dell'agricoltura e la produzione di energia elettrica rinnovabile. Tale caratteristica permette di classificare l'impianto come agri-voltaico.

Considerati i dati progettuali, la copertura fotovoltaica lascia tra i filari una zona priva di ingombro (in proiezione verticale) di larghezza variabile in funzione dell'orario del giorno, da un minimo di 5,50 m

(mezzogiorno, ora solare) a un massimo di 6,68 m (alba e tramonto), ovvero variabile dal 42,1 % al 0,25% (Fig. 1).

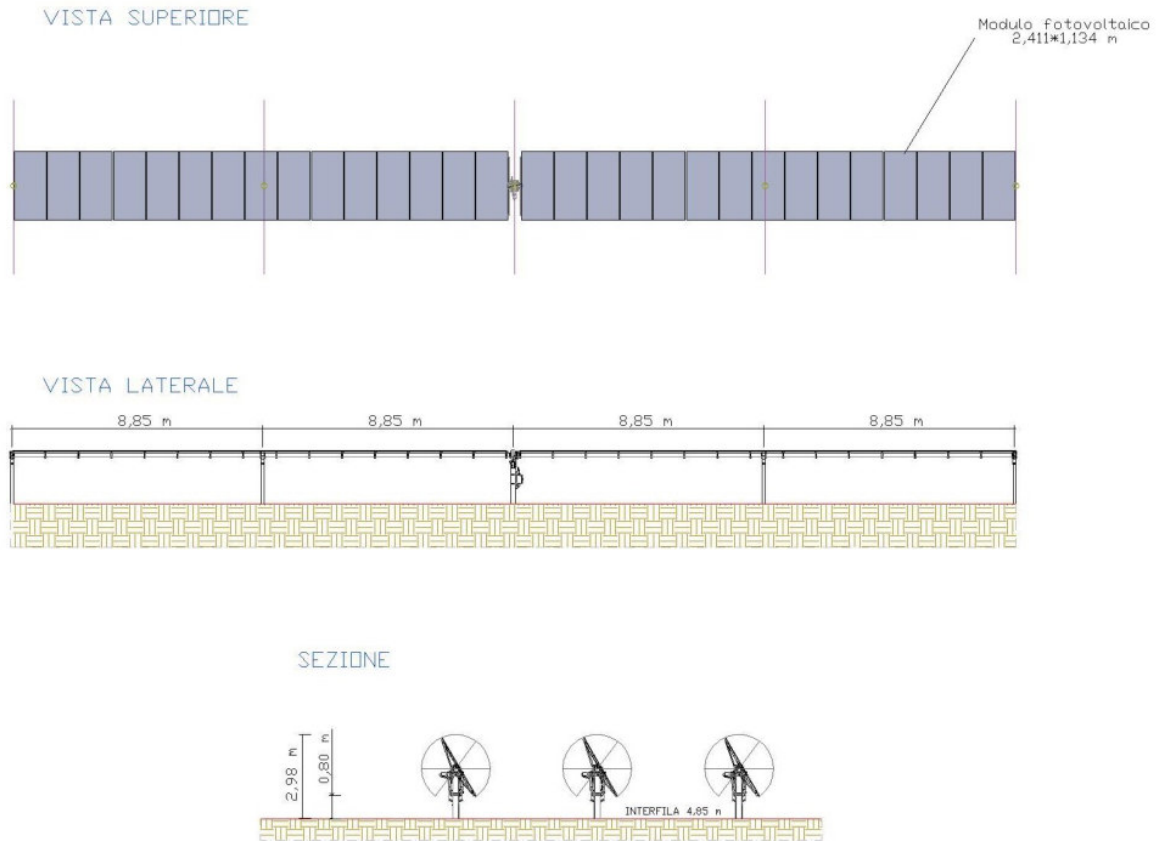


Figura 3 Sezione trasversale dell'impianto agri-voltaico

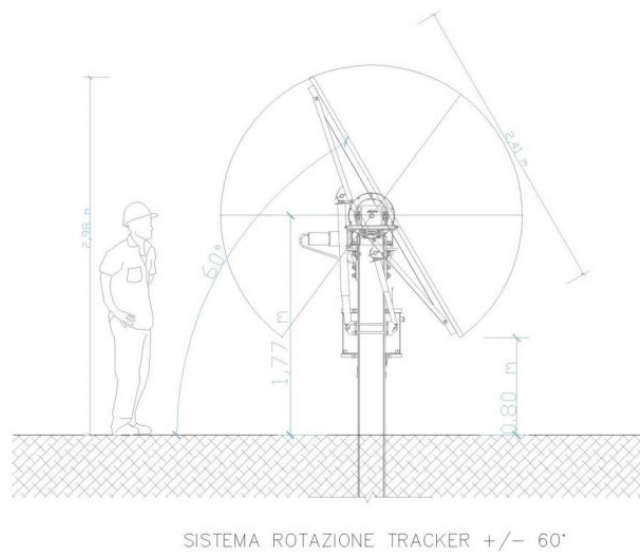


Figura 4 Dettaglio del sistema di rotazione tracker

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

È possibile, tuttavia, la coltivazione dell'intera superficie e la valorizzazione dell'agroecosistema attraverso una opportuna scelta delle colture; il progetto infatti prevede di coltivare tutto il terreno sotto i pannelli fotovoltaici attraverso la realizzazione di un prato polifita permanente, di durata illimitata, che risulterebbe ben adatto alle condizioni microclimatiche che si vengono a realizzare all'interno dell'impianto. Tale scelta, che verrà descritta nel seguito della relazione, ha indubbi vantaggi in termini di conservazione della qualità del suolo (accumulo di sostanza organica), incremento della biodiversità, favorendo lo sviluppo di organismi terricoli (biota), la diffusione e la protezione delle api selvatiche, il popolamento di predatori e antagonisti delle più comuni malattie fungine e parassitarie delle piante coltivate, e della fauna selvatica. La redditività del prato polifita non risulterebbe alterata dalla presenza del fotovoltaico, al contrario si intravede la possibilità di aumentare la marginalità rispetto alle condizioni di pieno sole, e sarebbe possibile la conversione al metodo di coltivazione biologico per il ridotto apporto di input chimici richiesti dal prato.

In ottica di ulteriore sviluppo futuro, la produzione di foraggio dall'impianto agri-voltaico e di cereali nella parte rimanente dell'azienda consentirebbe di equilibrare le produzioni agricole e consentire all'azienda di superare meglio le fasi alternate di mercato.

3. EFFETTI MICROCLIMATICI SULLE PIANTE NEL SISTEMA AGRI-VOLTAICO

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

4. RADIAZIONE SOLARE

La radiazione solare è un fattore essenziale per le piante, garantendo lo svolgimento della fotosintesi clorofilliana, l'accrescimento e la produzione dei prodotti agricoli. Le piante, tuttavia, utilizzano solo una minima parte della radiazione solare, dal 2 al 5%, ed in particolare possono impiegare per la fotosintesi solo la frazione visibile, definita PAR (radiazione fotosinteticamente attiva), compresa tra 400 e 700 nm di lunghezza d'onda, che è pari a circa il 40% della radiazione globale. Le piante peraltro riflettono alla superficie delle foglie il 25% della radiazione globale, pari al 10% della radiazione visibile PAR. Va

sottolineato che, in condizioni normali di pieno sole, la radiazione globale che raggiunge la superficie del terreno si compone per metà di radiazione diretta, e per metà di radiazione diffusa priva di direzione prevalente.

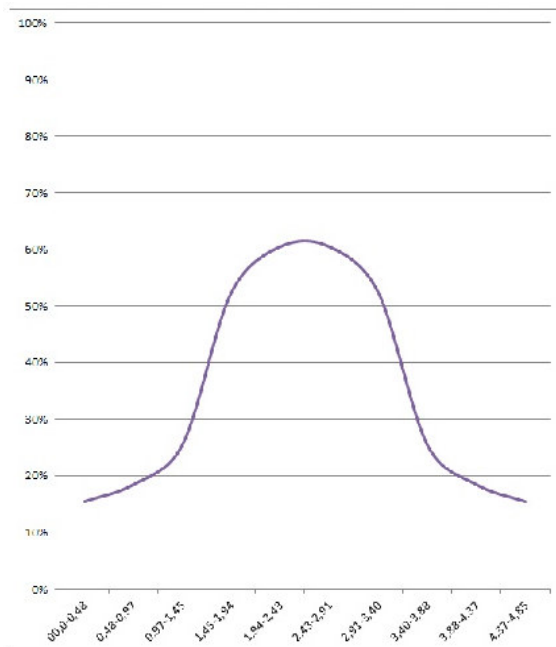


Figura 5 Disponibilità di radiazione solare diretta in funzione della distanza dal filare
(valori medi annui) espressa come percentuale rispetto al pieno sole

La presenza del pannello fotovoltaico riduce la percentuale di radiazione diretta, ovvero quella che raggiunge direttamente il suolo, con intensità variabile in funzione della distanza dal filare fotovoltaico, dal momento del giorno e del periodo dell'anno, mentre si prevede un aumento della quantità di radiazione diffusa.

Nel presente impianto si stima che la riduzione media annua della radiazione diretta sia dell'60% nelle zone immediatamente adiacenti al filare (fino a circa 1 m di distanza), mentre nella zona centrale sia solamente del 25-30%.

In realtà, queste riduzioni devono considerarsi meno marcate nel periodo primaverile - estivo durante il quale si realizza lo sviluppo delle maggior parte delle piante coltivate essendone soddisfatte le esigenze termiche, per effetto del maggior angolo di elevazione solare. Inoltre, la tipologia mobile del pannello fotovoltaico adottata in progetto, per effetto di riflessione consente alle piante coltivate di sfruttare la radiazione sia riflessa che diffusa dai pannelli stessi.

Per quanto riguarda il livello di saturazione per l'intensità luminosa, le piante vengono classificate in eliofile e sciafile. Le prime richiedono una elevata quantità di radiazione, mentre le sciafile soffrono per un eccesso di illuminazione, anche se la maggior parte delle piante coltivate devono essere considerate sciafile facoltative in quanto nelle normali condizioni di coltivazione l'elevata fittezza di semina comporta sempre l'instaurarsi di un ambiente sub-ottimale per l'illuminazione. In generale, si considerano piante con elevate esigenze di intensità di radiazione i cereali, le piante da zucchero, le specie oleaginose, da fiore e da frutto. Sono invece considerate sciafile, con basse esigenze luminose, le specie da fibra, le piante foraggere e alcune piante orticole, nelle quali l'elevata fittezza di semina e l'ombreggiamento sono realizzati agronomicamente per accentuare l'allungamento dei fusti e quindi la produzione di fibra, foraggio e foglie, per effetto della maggiore presenza dell'ormone della crescita (auxina) che è foto-labile. Nell'insalata, ad esempio, un leggero ombreggiamento aumenta lo sviluppo fogliare e riduce lo spessore delle foglie, rendendo il prodotto anche di migliore qualità commerciale.

In riferimento alla temperatura dell'aria, questa rappresenta la diretta conseguenza della radiazione solare. Sebbene sia lecito attendersi una riduzione dei valori termici dell'atmosfera in zone ombreggiate rispetto alle zone in pieno sole, anche di 3-4 °C, l'ombreggiamento determina generalmente uno sfasamento termico, con un ritardo termico al mattino in fase di riscaldamento dell'atmosfera, e un rallentamento del raffreddamento pomeridiano-serale (Panozzo et al., 2019).

Al di sotto dell'impianto fotovoltaico, inoltre, è lecito attendersi una maggiore umidità relativa dell'aria al mattino, e minore nel tardo pomeriggio-sera rispetto a zone in pieno sole.

L'ombreggiamento delle colture è una pratica agricola molto utilizzata, ad esempio nelle serre per ridurre le temperature nel periodo estivo tramite reti ombreggianti (dal 30 al 50% di ombreggiamento) o pannelli fotovoltaici; l'ombreggiamento riduce la percentuale di nicotina nel tabacco e, nelle serre serve per favorire la colorazione rossa del pomodoro che sarebbe ostacolata da temperature troppo elevate.

Ogni specie vegetale necessita di una specifica temperatura minima per accrescersi, il cosiddetto zero di vegetazione. Oltre questa base termica, l'accrescimento accelera all'aumentare della temperatura fino ad una temperatura ottimale, specifica per ciascun stadio di sviluppo, oltre la quale l'accrescimento rallenta fino ad arrestarsi (temperatura massima). Le elevate temperature estive, oltre la temperatura massima, possono quindi danneggiare l'accrescimento delle piante, condizione che si sta progressivamente accentuando in pieno sole a causa del cambiamento climatico. Per mitigare questi effetti, numerosi studi

scientifici oggi sono concordi nel suggerire l'introduzione nei sistemi agricoli di filari alberati e siepi a distanza regolare, proprio per attenuare l'impatto negativo delle elevate temperature e della carenza idrica estive. Un servizio analogo potrebbe essere offerto dall'impianto agri-voltaico.

In funzione delle esigenze termiche, le piante vengono raggruppate in microterme, generalmente a ciclo autunno-primaverile, aventi modeste esigenze termiche; e macroterme, piante estive che necessitano di temperature mediamente più elevate. I cereali microtermi (frumento, orzo, avena, segale) e molte specie foraggere graminacee (erba mazzolina in particolare, ma anche loiessa, loietto inglese, poa, festuca arundinacea, coda di topo, etc.), che hanno zero di vegetazione molto bassi, vicini a 1-2 °C, trarrebbero vantaggio dalla condizione di parziale ombreggiamento che si realizza in un impianto agri-voltaico (Mercier et al., 2020). Ne sarebbero comunque avvantaggiate anche le specie macroterme per la riduzione dei picchi di temperatura estivi e per la riduzione dell'evapotraspirazione.

Il parziale ombreggiamento del suolo riduce il riscaldamento estivo del suolo stesso con effetti positivi sull'accrescimento delle radici, che possiedono un ottimo di temperatura per l'accrescimento inferiore rispetto alla parte aerea della pianta (16°C in molti cereali autunno-primaverili); in tali condizioni le radici possono accrescersi maggiormente anche grazie alla maggiore umidità e minore tenacità del terreno. Nel periodo invernale, invece, ci si attende che la presenza del fotovoltaico mantenga la temperatura del suolo leggermente più elevata rispetto al pieno sole poiché le ali fotovoltaiche riflettono le radiazioni infrarosse (raggi caloriferi) emesse dalla terra durante il raffreddamento notturno, e questo permette un sensibile accrescimento delle piante microterme anche nei periodi più freddi dell'anno. Ne trarrebbero vantaggio in particolare le piante foraggere microterme.

5. EVAPOTRASPIRAZIONE

L'evapotraspirazione è definita dalla somma delle perdite di acqua per evaporazione dal terreno e di traspirazione fogliare. Delle due, solo la perdita dalla pianta è utile all'accrescimento delle piante poiché mantiene gli stomi aperti, e quindi consente gli scambi gassosi utili alla fotosintesi (ingresso di anidride carbonica nella foglia). In condizioni di ombreggiamento è lecito attendersi una riduzione della traspirazione fogliare, e in modo più marcato, una riduzione dell'evaporazione dal terreno, determinando un aumento dell'efficienza d'uso delle riserve idriche del suolo.

Solo a titolo di esempio lper il frumento è stato stimato che al 50% di ombreggiamento si verifichi una riduzione del 30-35% dell'evapotraspirazione (Marrou et al., 2013a), con un risparmio di circa 200 mm di acqua rispetto ai 600 mm normalmente richiesti dalla coltura in pieno sole nei territori della Pianura Padana. Poiché in Italia, la carenza idrica in fase di riempimento della granella ha conseguenze negative marcate sulla resa e sulla qualità ("stretta del grano"), il parziale ombreggiamento che si realizza nel sistema agri-voltaico deve essere considerato positivamente per questa coltura.

6. ESPERIENZA DI COLTIVAZIONE IN CONDIZIONE DI OMBREGGIAMENTO

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

Le colture meno penalizzate dalla presenza del fotovoltaico sono quelle microterme e sciafile. Il frumento può fornire rese simili o leggermente inferiori (-20% circa; Dupraz et al., 2011) a quelle ottenibili in pieno sole, subendo un ritardo dell'epoca di maturazione (Marrou et al., 2013b); mentre il mais alle normali densità di semina riduce notevolmente lo sviluppo della pianta sia in diametro che in altezza, a discapito della resa (Dupraz et al., 2011).

11

Con una percentuale di riduzione della radiazione del 40%, comparabile a quella che si realizzerà nell'impianto agri-voltaico in oggetto, sono state rilevate produttività uguali o addirittura superiori al pieno sole in specie graminacee foraggere microterme, ed una moderata riduzione, dell'ordine del 20-30%, in specie macroterme foraggere sia graminacee (es. mais, sorgo, panico, setaria, etc.) che leguminose (es. trifoglio bianco, trifoglio violetto, erba medica, etc.), e in lattuga (Lin et al., 1998; Mercier et al., 2020).

Questi risultati sono in linea con gli studi italiani (Amaducci et al., 2018) che hanno simulato in un analogo impianto agri-voltaico a Piacenza, sulla base dei dati climatici storici degli ultimi 40 anni, rese di granella di frumento analoghe o superiori al pieno sole. Tali risultati vanno ascritti alle migliori condizioni microclimatiche nel periodo di maturazione del frumento, tra cui una maggiore umidità del terreno, una minore evapotraspirazione e l'effetto frangivento che riduce l'allettamento della coltura. Va ritenuto interessante anche il parziale effetto antigrandine dovuto alla copertura fotovoltaica.

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

7. STATO ATTUALE DELLA SUPERFICIE AGRICOLA INTERESSATA DALL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Attualmente l'area in progetto è condotta a pascolo e prato naturale spontaneo in forma estensiva facendo ricorso alle tecniche convenzionali di coltivazione. Senza entrare nei dettagli di ogni coltura, variabili da caso a caso, nella sua generalità questo tipo di coltivazione è caratterizzata da:

- Elevata potenzialità produttiva, tipica del territorio della maremma laziale;
- Limitato utilizzo di manodopera, in conseguenza della totale meccanizzazione;
- Ricorso ad aratura profonda (30-40 cm), e lavorazioni meccaniche di erpicatura che, pur se utili a massimizzare la produttività, causano un impoverimento progressivo della sostanza organica del terreno per effetto dell'ossigenazione del terreno;
- Utilizzo di concimi (in particolare azotati), ammendanti e antiparassitari che, dilavati parzialmente dalle piogge, contribuiscono all'inquinamento delle acque superficiali e di falda, e alla contaminazione dei prodotti alimentari;
- Utilizzo abbondante di carburanti fossili per il funzionamento delle trattrici agricole convenzionali.

12

8. COLTIVAZIONE FUTURA

Il sistema agri-voltaico proposto rappresenta un piano di miglioramento e modernizzazione aziendale inquadrabile come Agricoltura 5.0. Il progetto prevede di installare inseguitori solari mono-assiali nei quali, contrariamente a quanto avviene con il fotovoltaico tradizionale (pannelli fissi rivolti verso sud) che presenta una zona d'ombra concentrata in corrispondenza dell'area coperta dai pannelli stessi, vi è una fascia d'ombra che si sposta con gradualità durante il giorno da ovest a est sull'intera superficie del terreno. Come conseguenza non si vengono a creare zone costantemente ombreggiate o costantemente soleggiate.

Date le premesse su esposte in merito alla risposta delle piante all'ombreggiamento, nell'impianto agri-voltaico in oggetto si prevede di coltivare un prato polifita permanente destinato alla produzione di foraggio. Tale scelta, incontra un elevato livello di naturalità e di rispetto ambientale per effetto del

limitatissimo impiego di input chimici e colturali, consente di attirare e dare protezione alla fauna e all'entomofauna selvatica, in particolare le api, e rappresenta la migliore soluzione per coltivare l'intera superficie di terreno e ottenere produzioni analoghe a quelle che si raggiungerebbero in pieno sole. Va evidenziato, infatti, che negli impianti agri-voltaici ad inseguimento solare esistenti viene coltivato solamente la fascia centrale, corrispondente al 70% della superficie, mentre vengono mantenute inerbite le fasce di rispetto immediatamente adiacenti al filare.

9. COLTIVAZIONE DEL PRATO POLIFITA PERMANENTE

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

La produzione foraggera può essere realizzata in vario modo, con prati monofiti (formati da una sola essenza foraggera), prati oligofiti (formati da due o tre foraggere) e prati polifiti, che prevedono la coltivazione contemporanea di molte specie foraggere. In base alla durata si distinguono: erbai, di durata inferiore all'anno; prati avvicendati, di durata pluriennale, solitamente 2-4 anni; permanenti, di durata di alcuni decenni o illimitata. Per garantirne una durata prolungata, la stabilità della composizione floristica e una elevata produttività, i prati permanenti possono essere periodicamente traseminati nel periodo autunnale senza alcun intervento di lavorazione del terreno (semina diretta).

Il prato polifita permanente, ritenuto la miglior scelta per l'impianto agri-voltaico, si caratterizza per la presenza sinergica di molte specie foraggere, generalmente appartenenti alle due famiglie botaniche più importanti, graminacee e leguminose, permettendo così la massima espressione di biodiversità vegetale, a cui si unisce la biodiversità microbica e della mesofauna del terreno, e quella della fauna selvatica che trova rifugio nel prato (anitre, fagiani, lepri, etc.). Molte leguminose foraggere, come il trifoglio pratense, il trifoglio bianco ed il trifoglio incarnato, ed il ginestrino, sono anche piante mellifere, potendo fornire un ambiente edafico e di protezione idoneo alle api selvatiche e all'ape domestica. In merito al potere mellifero, il trifoglio pratense è classificato come specie di classe III, mentre il ginestrino di classe II, potendo fornire rispettivamente da 51 a 100 kg miele e da 25 a 50 kg di miele per ettaro.

Il prato polifita permanente non necessita di alcuna rotazione e quindi non deve essere annualmente lavorato come avviene negli altri seminativi, condizione che favorisce la stabilità del biota e la conservazione/aumento della sostanza organica del terreno, e allo stesso tempo la produzione e la raccolta del foraggio. Diversamente da quello che si potrebbe pensare, questa condizione mantiene un ecosistema strutturato e solido del cotico erboso con conseguente arricchimento sia in termini di biodiversità che di quantità della biofase del terreno. Il cotico erboso permanente consente anche un agevole passaggio dei

mezzi meccanici utilizzati per la pulizia periodica dei pannelli fotovoltaici anche con terreno in condizioni di elevata umidità.

Le piante che costituiscono il prato permanente variano in base al tipo di terreno e alle condizioni climatiche e saranno individuate dopo un'accurata analisi pedologica e biochimica. In generale, si può dire che verrà impiegato un miscuglio di graminacee e di leguminose:

- le graminacee, a rapido accrescimento dopo lo sfalcio, sono ricche di energia e di fibra;
- le leguminose sono molto importanti perché fissano l'azoto atmosferico, in parte cedendolo alle graminacee e fornendo una ottimale concimazione azotata del terreno, e offrono un foraggio di elevato valore nutritivo grazie alla abbondante presenza di proteine.

Per massimizzare la produzione e l'adattamento del prato alle condizioni di parziale ombreggiamento sarà opportuno impiegare due diversi miscugli, uno per la zona centrale dell'interfilare e uno, più adatto alla maggior riduzione di radiazione solare, per le fasce adiacenti il filare fotovoltaico. Pur tuttavia, l'impiego di un unico miscuglio con un elevato numero di specie favorirà la selezione naturale di quelle più adatte a diverse distanze dal filare fotovoltaico in funzione del gradiente di soleggiamento/ombreggiamento.

I prati stabili di pianura gestiti in regime non irriguo possono fornire 2-3 sfalci all'anno con produzioni medie pari a 8-10 tonnellate per ettaro di fieno, derivanti principalmente dal primo sfalcio, e fino a 3 sfalci.

Tradizionalmente gli sfalci vengono denominati, in ordine cronologico, maggengo, agostano, terzuolo e (eventualmente) quartiolo. Il maggengo, come detto, è il primo e viene ottenuto nella prima metà del mese di maggio. Gli altri cadono a intervallo variabile dai 35-40 giorni per i prati irrigui e fino a 50-60 giorni per quelli asciutti, anche in funzione dell'andamento pluviometrico. Il primo e l'ultimo sfalcio forniscono un foraggio ricco di graminacee (microterme), mentre le leguminose (macroterme) prevalgono nei mesi estivi.

Il fieno ricavato verrà utilizzato prevalentemente per l'alimentazione dei ovini e bovini, ma potrà essere usato anche in allevamenti equini e cunicoli. Date le parziali condizioni di ombreggiamento, per accelerare il processo di essiccazione del foraggio si prevede di utilizzare la fienagione in due tempi, con appassimento dell'erba in campo e completamento dell'essiccazione in fienile. Tale sistema riduce notevolmente le perdite meccaniche durante le operazioni di rivoltamento e di raccolta e fornisce un prodotto di qualità superiore, in particolare più ricco di proteine per effetto della limitata perdita di foglie, rispetto alla fienagione tradizionale.

I prati stabili presentano una varietà di specie molto più elevata rispetto ai prati avvicendati, nei quali in genere si coltiva erba medica, i trifogli e il loietto. Per questo motivo, in alcune regioni italiane, i prati stabili

sono diventati e divengono oggetto di tutela normativa dopo 5 anni di permanenza continuativa, allo scopo di proteggerne la biodiversità floristica e faunistica.

10. INTEGRAZIONE COLTURA-FOTOVOLTAICO

L'impianto di pannelli fotovoltaici si integra perfettamente nella coltivazione del prato stabile come sopra evidenziato, potendo far aumentare la resa in foraggio grazie agli effetti di schermo e protezione con parziale ombreggiamento nelle ore più assolate delle giornate estive ed il mantenimento di condizioni ottimali di umidità del terreno per un tempo più prolungato. Questa condizione è particolarmente interessante dopo lo sfalcio, quando l'assenza di copertura vegetale causerebbe un rapido essiccamento del terreno nel periodo estivo, a discapito della capacità di ricaccio delle essenze foraggere.

L'interasse tra i filari fotovoltaici di 9,00-8,50 m, consente l'accesso a qualsiasi tipo di mezzo meccanico comunemente impiegato nella fienagione, che consistono in trattrici di potenza medio-bassa, e piccole e medie attrezzature agricole (barre falcianti, spandi-voltafieno, giro-andanatori, rotoimballatrici).

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

15

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

- È prevista la posizione di blocco dei pannelli in totale rotazione ovest o est, in questo modo è agevole lavorare il terreno per la semina del prato fino a ridosso dei sostegni;
- L'assenza di elettrodotti interrati (con esclusione di quelli concentrati sulla viabilità interna, consente eventuali lavorazioni di ripuntatura/scarificazione, e arieggiamento del terreno;
- I supporti sono costituiti da pali in acciaio infissi nel terreno e di facile rimozione a fine vita operativa;
- Il prato polifita permanente arricchisce progressivamente di sostanza organica e di biodiversità il terreno, mantiene un ecosistema strutturato e solido del cotico erboso, le leguminose presenti nel miscuglio fissano l'azoto atmosferico fornendo una ottimale concimazione azotata del terreno, e offrono un foraggio di elevato valore nutritivo ricco di proteine;
- A fine vita operativa, ad impianto dismesso, il suolo così rigenerato sarà ideale anche per coltivazioni agricole di pregio (es. orticole, frutteto, vigneto).

L'impatto del sistema fotovoltaico sul suolo è ritenuto minimo, in quanto non interessato in modo significativo da infrastrutture inamovibili:

- I pali dei Tracker sono semplicemente infissi nel terreno per battitura e possono essere rimossi con facilità per semplice estrazione;
- I cavidotti sono minimi e saranno localizzati unicamente ai margini, in vicinanza della recinzione, e anch'essi sono facilmente rimovibili a fine vita operativa dell'impianto fotovoltaico;
- le linee di bassa tensione in corrente continua saranno posate su canaline esterne, fissate alle strutture stesse dei tracker, senza interessare il terreno con numerosi cavidotti.

Relativamente all'impatto paesaggistico e la gestione del sistema agri-voltaico, si evidenziano i seguenti punti di forza del sistema agri-voltaico:

- Il prato permanente è una coltura pluriennale la cui durata è dell'ordine di decenni e più e, offrendo una copertura vegetale verde costante, anche nel periodo invernale, mitiga efficacemente l'impatto paesaggistico del sistema fotovoltaico;
- Le attività di impianto del prato polifita, che consistono in aratura, erpicatura e semina, non interferiscono con il Fotovoltaico in quanto sono attività una-tantum con terreno asciutto.
- L'attività di manutenzione del fotovoltaico, che consiste in sostanza solo in controlli preventivi e riparazioni, avviene con mezzi leggeri che non arrecano danno al prato, al contrario, vi è un impatto positivo del prato sulla transitabilità del terreno;
- Le attività di manutenzione delle siepi perimetrali presenti, assimilabili per tipologia alle attività agricole, rappresenteranno un'importante integrazione al reddito del personale impiegato, e attenuano l'impatto visivo dell'intero impianto.

11. SOSTENIBILITÀ ECONOMICA DELL'ATTIVITÀ AGRICOLA

Per verificare la sostenibilità economica dell'attività agricola nell'impianto fotovoltaico si è fatto riferimento ai dati di sintesi, medi valutati nella zona di riferimento.

La comparazione tra le diverse coltivazioni viene fatta in termini di MARGINE LORDO unitario (per ettaro), ricavabile da ciascuna tipologia di coltivazione, calcolato con la seguente formula:

$$\text{Margine Lordo (ML, espresso in €/ha)} = \text{PLT} - \text{CV}$$

Dove:

- PLT = produzione lorda totale come sommatoria della produzione lorda vendibile (PLV) e della produzione reimpiegata e/o trasformata in azienda;
- CV = costi variabili = SS (spese dirette) + ASP (Altre spese) + RA (Reimpioghi).

I CV possono essere calcolati anche come somma delle seguenti voci: anticipazioni, acqua, assicurazioni, energia, concimi, conto-terzismo, commercializzazione, difesa, sementi, altri costi, reimpioghi.

Facendo riferimento alle sole colture erbacee, e confrontando il prato polifita con le colture attualmente presenti nei terreni oggetto del progetto di riqualificazione aziendale, che peraltro sarebbero solo parzialmente compatibili con il fotovoltaico, si osserva che il risultato economico è sostanzialmente equivalente: il margine lordo del prato polifita (anno 2016) è infatti più elevato di quello del frumento tenero (592 €/ha vs. 472 €/ha), di poco inferiore a quello del mais (824 €/ha) ed è all'incirca equivalente a quello della soia (545 €/ha). Il prato polifita risulterebbe anche più conveniente del mais in annate siccitose come quella del 2015 (Tabella 1). L'erba medica, che potrebbe rappresentare una alternativa economicamente valida, avrebbe come controindicazione la necessità di reimpiantare la coltura ogni 3-4 anni.

17

Coltura	2015			2016		
	PLT (€/ha)	CV (€/ha)	ML (€/ha)	PLT (€/ha)	CV (€/ha)	ML (€/ha)
mais granella	1.353	755	598	1.573	749	824
frumento tenero	1.288	669	619	1.108	636	472
Soia	1.049	545	504	1.089	544	545
Bietola	2.103	1.161	942	2.075	1.159	916
erba medica	984	192	792	984	190	794
Patata	7.381	1.922	5.459	7.714	1.947	5.767
Pomodoro	4.479	2.732	1.747	5.144	2.731	2.413
Melo	7.954	1.693	6.261	7.214	1.687	5.527
Pero	7.926	1.525	6.401	9.392	1.510	7.882
Pesco	6.837	1.326	5.511	7.443	1.330	6.113
vite doc	10.119	1.761	8.358	10.595	1.753	8.842
prato polifita	823	183	640	770	178	592
prato pascolo	388	42	346	404	41	363

Tabella Produzione lorda totale, costi variabili e margine lordo delle diverse colture in centro Italia in due diverse annate (2015 e 2016).

Raffrontando questi dati si arriva a conclusioni simili, con un margine lordo del prato polifita solo leggermente inferiore a quello delle coltivazioni cerealicole e oleaginose. Va tuttavia evidenziato che la

minore adattabilità di queste ultime alle condizioni di parziale ombreggiamento del sistema agri-voltaico, ne ridurrebbe significativamente il margine lordo, rendendole economicamente simili (es. mais) o meno convenienti (soia, frumento) rispetto al prato polifita.

Specie vegetale	PLT	PLV	Costi variabili	Margine lordo
Frumento duro	1.378	1.376	541	837
Frumento tenero	1.365	1.229	543	822
Mais ibrido	1.938	1.549	778	1.159
Orzo	1.077	756	480	597
Riso	2.643	2.643	513	2.130
Sorgo	1.345	1.231	603	742
Soia	1.385	1.319	559	825
Girasole	938	938	495	443
Barbabietola da zucchero	2.029	2.029	1.228	801
Melone o popone	12.992	12.992	6.086	6.906
Radicchio	9.849	9.838	2.260	7.589
Altre ortive	41.196	41.196	2.116	39.079
Erba medica	1.371	491	338	1.034
Mais a maturazione cerosa	1.985	938	950	1.034
Erbaio di loglio italico	957	0	668	289
Erbaio di loglio italico	834	258	330	504
Pascolo	101	0	21	80
Prato pascolo	683	553	119	564
Prati e pascoli permanenti	624	87	149	475
Ciliegio	8.536	8.536	1.133	7.403
Melo	13.934	13.934	2.738	11.196
Pero	4.763	4.763	1.471	3.293
Pesco	7.052	7.052	1.195	5.857
Actinidia (Kiwi)	10.356	10.356	492	9.865
Vite per vino di qualità	13.748	9.184	2.380	11.368
Vite per vino comune	14.769	9.572	2.594	12.175
Olivo per olive da olio	2.046	258	588	1.458
Prato polifita	951	265	232	719

Tabella Produzione lorda totale (PLT), produzione lorda vendibile (PLV)

(al netto dei reimpieghi aziendali) e margine lordo per le diverse colture.

12. ANALISI MULTICRITERIO

Quando la scelta di una opzione progettuale interessa più criteri di valutazione (es. economico, ambientale, sociale, etc.), e non solo quelli economici, è opportuno utilizzare una metodologia di analisi multicriterio (AMC). L'analisi multicriterio prevede che il confronto fra le alternative di intervento venga effettuato tramite l'utilizzo della cosiddetta matrice di valutazione: una matrice in cui ogni alternativa è messa a confronto per una serie di criteri di valutazione, che possono essere obiettivi del progetto o dei portatori di interesse, criteri tecnici, sociali, etc. Le alternative vengono elencate nelle colonne della matrice, mentre i criteri di valutazione sono descritti nelle righe. Il grado di raggiungimento di ogni obiettivo (o di soddisfacimento del criterio di valutazione) da parte delle alternative considerate è indicato tramite un indice che, che ad esempio può variare tra 0 (obiettivo non raggiunto o criterio non soddisfatto) e 5 (obiettivo raggiunto), passando per valori intermedi che indicano un obiettivo raggiunto parzialmente. Nel caso di criteri che possono avere un significato negativo o positivo (ad esempio gli impatti ambientali) si può ricorrere anche a valori indice che variano da negativi (impatto negativo) a positivi (impatto completamente positivo), ove 0 assume il significato di impatto nullo.

Ad ogni criterio di valutazione viene assegnato un peso (valore compreso tra 0 e 1) moltiplicativo degli indici assegnati ad ogni criterio. Tale peso viene in genere assegnato tenendo conto anche di quanto espresso dai portatori di interesse. I valori degli indici per ogni alternativa (moltiplicati per i pesi) vengono sommati, cosicché ad ogni alternativa di intervento corrisponda un punteggio totale, confrontabile con quello delle diverse opzioni/alternative. Può essere inoltre condotta un'analisi di sensibilità dei punteggi finali ai valori dei pesi, così da verificare quanto robusta sia la scelta della soluzione migliore.

L'AMC viene utilizzata per arrivare alla scelta della soluzione preferibile, in quanto permette di tener conto di tutti i benefici e gli impatti, inclusi quelli di difficile quantificazione (per esempio alcuni impatti ambientali e sociali) e permette, inoltre, di coinvolgere i portatori di interesse mostrando in maniera trasparente il processo decisore.

13. COLTIVAZIONE ATTUALE COLTIVAZIONE FUTURA

(Prato Polifita Permanente) vs (Cerealicola estensiva)

Per un'analisi oggettiva tra le due coltivazioni a confronto (agri-voltaico con prato polifita permanente vs. colture cerealicole e oleaginose attuali a destinazione energetica), si è costruita una matrice che assegna punteggi compresi tra -5 (minimo) e +5 (massimo) ad alcuni indicatori socioeconomici ed ambientali (Tabella 3).

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

La matrice AMC evidenzia un punteggio significativamente maggiore del prato polifita permanente combinato all'impianto fotovoltaico, rispetto alle colture cerealicole estensive attualmente praticate.

Con questa soluzione il terreno agricolo oggetto di intervento, che non è utilizzabile per colture specializzate e protette, garantirà un reddito netto aggiuntivo al reddito caratteristico della sola produzione agricola storica.

È quindi evidente come l'obiettivo di coniugare la coltivazione agricola con un razionale e conveniente uso del terreno, sia pienamente raggiunto con il sistema agri-voltaico.

Voce	Coltivazione attuale (Cerealicola estensiva)	Coltivazione futura (Prato Polifita Permanente)
1. <i>Occupazione (impiego di personale)</i>	(+1) Limitato, in conseguenza della totale meccanizzazione.	(+3) Medio, per le operazioni di sfalcio e raccolta del foraggio ripetute 3-5 volte. Impiego addizionale di maestranze agricole per la manutenzione delle siepi perimetrali di inserimento ambientale. Voce a parte è rappresentata dall'impiego dei tecnici specializzati impiegati nella costruzione e manutenzione dell'impianto foto-voltaico.
2. <i>Fertilità agronomica dei terreni (contenuto di sostanza organica)</i>	(-2) L'aratura profonda annuale comporta l'impoverimento progressivo per ossidazione della matrice organica del terreno.	(+3) L'aratura è necessaria solo nel primo anno di impianto del prato polifita. Le specie leguminose presenti nel miscuglio fissano l'azoto atmosferico, fornendo una naturale concimazione del terreno, e le piante arricchiscono di sostanza organica il terreno.
3. <i>Effetti sul sistema idrico (consumo di acqua e qualità)</i>	(+1) Elevate necessità di acqua di irrigazione. Elevato utilizzo di concimi, ammendanti e antiparassitari che contribuiscono all'inquinamento delle acque superficiali e di falda.	(+3) Moderate necessità di acqua di irrigazione. Limitato utilizzo di concimi. Nessun utilizzo di antiparassitari.
4. <i>Utilizzo di carburanti fossili per le macchine agricole</i>	(+2) L'aratura profonda richiede mezzi potenti ed un elevato consumo di carburante.	(+3) La coltivazione richiede l'uso di mezzi agricoli leggeri e consumi ridotti di carburante.
5. <i>Biodiversità floristica e faunistica</i>	(0) La coltivazione è solitamente condotta in monocoltura (una sola specie coltivata), con minima biodiversità.	(+3) I miscugli polifiti generalmente prevedono la coltivazione di numerose specie foraggere contemporaneamente (6-10 specie). Molte specie attraggono insetti impollinatori (api), ed il prato crea rifugio per fauna selvatica e nemici naturali (parassitoidi) dei parassiti delle piante.
6. <i>Margine lordo (valore economico del prodotto agricolo)</i>	(+2) La coltivazione di cereali ha marginalità media rispetto a colture orticole o frutticole a più alto reddito.	(+2) Il prato polifita produce una marginalità molto simile a quella delle coltivazioni cerealicole.
7. <i>Produzione di Energia Rinnovabile</i>	(+1) La produzione dei cereali in sito è solo in minima parte destinata all'alimentazione umana e animale. La maggior parte è utilizzata per la produzione di energia elettrica in impianti di biogas con una produzione annua per ettaro di circa 17^(*) MWh/ha (*) valore medio caratteristico calcolato considerando i rendimenti tipici delle colture e l'efficienza caratteristica del Biogas	(+5) La produzione dell'associato impianto fotovoltaico raggiunge annualmente per ogni ettaro di superficie circa: 800 MWh/ha L'intera produzione di foraggio è inoltre destinata all'alimentazione animale per la produzione di alimenti per l'uomo.
PUNTEGGIO TOTALE	5	22

Voce	Coltivazione attuale (Cerealicola estensiva)	Coltivazione futura (Prato Polifita Permanente)
1. <i>Occupazione (impiego di personale)</i>	(+1) Limitato, in conseguenza della totale meccanizzazione.	(+3) Medio, per le operazioni di sfalcio e raccolta del foraggio ripetute 3-5 volte. Impiego addizionale di maestranze agricole per la manutenzione delle siepi perimetrali di inserimento ambientale. Voce a parte è rappresentata dall'impiego dei tecnici specializzati impiegati nella costruzione e manutenzione dell'impianto foto-voltaico.
2. <i>Fertilità agronomica dei terreni (contenuto di sostanza organica)</i>	(-2) L'aratura profonda annuale comporta l'impoverimento progressivo per ossidazione della matrice organica del terreno.	(+3) L'aratura è necessaria solo nel primo anno di impianto del prato polifita. Le specie leguminose presenti nel miscuglio fissano l'azoto atmosferico, fornendo una naturale concimazione del terreno, e le piante arricchiscono di sostanza organica il terreno.
3. <i>Effetti sul sistema idrico (consumo di acqua e qualità)</i>	(+1) Elevate necessità di acqua di irrigazione. Elevato utilizzo di concimi, ammendanti e antiparassitari che contribuiscono all'inquinamento delle acque superficiali e di falda.	(+3) Moderate necessità di acqua di irrigazione. Limitato utilizzo di concimi. Nessun utilizzo di antiparassitari.
4. <i>Utilizzo di carburanti fossili per le macchine agricole</i>	(+2) L'aratura profonda richiede mezzi potenti ed un elevato consumo di carburante.	(+3) La coltivazione richiede l'uso di mezzi agricoli leggeri e consumi ridotti di carburante.
5. <i>Biodiversità floristica e faunistica</i>	(0) La coltivazione è solitamente condotta in monocoltura (una sola specie coltivata), con minima biodiversità.	(+3) I miscugli polifiti generalmente prevedono la coltivazione di numerose specie foraggere contemporaneamente (6-10 specie). Molte specie attraggono insetti impollinatori (api), ed il prato crea rifugio per fauna selvatica e nemici naturali (parassitoidi) dei parassiti delle piante.
6. <i>Margine lordo (valore economico del prodotto agricolo)</i>	(+2) La coltivazione di cereali ha marginalità media rispetto a colture orticole o frutticole a più alto reddito.	(+2) Il prato polifita produce una marginalità molto simile a quella delle coltivazioni cerealicole.
7. <i>Produzione di Energia Rinnovabile</i>	(+1) La produzione dei cereali in sito è solo in minima parte destinata all'alimentazione umana e animale. La maggior parte è utilizzata per la produzione di energia elettrica in impianti di biogas con una produzione annua per ettaro di circa 17^(*) MWh/ha (*) valore medio caratteristico calcolato considerando i rendimenti tipici delle colture e l'efficienza caratteristica del Biogas	(+5) La produzione dell'associato impianto fotovoltaico raggiunge annualmente per ogni ettaro di superficie circa: 800 MWh/ha L'intera produzione di foraggio è inoltre destinata all'alimentazione animale per la produzione di alimenti per l'uomo.
PUNTEGGIO TOTALE	5	22

Tabella Matrice dei principali effetti socio-economici e ambientali delle coltivazioni a confronto

14. GESTIONE IDRAULICA E IRRIGUA

Il terreno aziendale si caratterizza per una prevalenza di tessitura sabbiosa-limosa avendo una frazione di 45-50% di sabbia agglomerata, 42-46% di limo e 3-10% di argilla, pur se pur in alcuni punti si può rilevare una riduzione di limo a valori di 15-24% e un aumento della sabbia al 55-65%, potendosi così definire una tessitura medio-sabbiosa. Principalmente il terreno viene definito a base 'tufo' con larghe placche di argilla agglomerata sotto crosta.

Il terreno presenta una sistemazione alla Larga (definita anche Ferrarese), con lunghi canali superficiali di scolo inerbiti di profondità limitata (fino a 20 cm massimo) funzionali al miglioramento dell'efficienza d'uso delle macchine agricole. Queste leggere scoline hanno principalmente direzione all'incirca nord-ovest/sud-est.

Lo sviluppo del progetto agri-voltaico prevede di mantenere inalterata la baulatura e profilo degli appezzamenti inserendo a profondità variabile i pali porta pannelli fotovoltaici per ottenere una quota costante della superficie di intercettazione solare. Le piccole scoline verranno ugualmente mantenute e anche integrate all'occorrenza nella loro funzione con un più efficiente sistema di scolo delle acque con canalizzazioni aggiuntive superficiali.

Relativamente all'irrigazione del prato polifita, va considerato che la produzione del foraggio e' in seccagna cioè in assenza di irrigazione. Questo fatto non obbliga a scoline profonde e diffuse, in quanto difficilmente avremo fenomeni erosivi da acqua meteorica, in presenza di prato.

15. REALIZZAZIONE DEL PRATO POLIFITA E MECCANIZZAZIONE DELLA RACCOLTA

Il prato polifita verrà seminato in autunno (settembre-ottobre) al termine della messa in opera dell'impianto fotovoltaico, comprensivo di piloni e ali fotovoltaiche, previa ripuntatura del terreno ed erpicatura. La semina verrà realizzata con seminatrici a file o a spaglio al dosaggio di 35-40 kg/ha di semente con miscugli costituiti da 8-12 specie e varietà di foraggere graminacee e leguminose. Si adotterà una elevata biodiversità nella realizzazione del miscuglio, utilizzando le seguenti specie graminacee (loietto italico e loietto inglese, erba fienarola, festuca, erba mazzolina, fleolo) e leguminose (trifoglio pratense, trifoglio bianco, trifoglio incarnato, ginestrino). Le operazioni meccaniche di fienagione saranno realizzate con trattori di medio-bassa potenza (40-60 CV) di piccole dimensioni facilmente manovrabili all'interno degli interfilari. Le operazioni di sfalcio con barre falcianti frontali o laterali consentiranno di svolgere le operazioni fino a ridosso del filare fotovoltaico. Le successive fasi di rivoltamento e andatura del

foraggio, da svolgere rispettivamente con macchine spandivoltafieno e andanatori sono agevolate dalla modesta altezza di tali attrezzature (massimo 75-80 cm), che possono compiere il lavoro anche sotto i pannelli fotovoltaici. La permanenza del foraggio in campo e il numero di rivoltamenti sarà contenuto, in quanto si intende valorizzare la qualità del foraggio attraverso la fienagione in due tempi in sostituzione della fienagione tradizionale, con pre-appassimento in campo e successivo completamento dell'essiccazione nel centro aziendale attraverso idoneo impianto. Il foraggio ottenuto sarà di maggiore quantità per effetto della minimizzazione delle perdite meccaniche, e di migliore qualità (contenuto proteico) potendo preservare da rotture e perdite soprattutto le parti più nobili e ricche di proteine del foraggio (foglie).

Le macchine per la raccolta, essenzialmente rotoimballatrici, sono comunemente di larghezza e dimensioni contenute, compatibili con la movimentazione in campo rispetto ai dati progettuali dell'impianto fotovoltaico (larghezza interfila, altezza delle ali fotovoltaiche e loro rotazione). Va tenuto comunque in considerazione che eventuali particolari necessità di movimentazione di attrezzature di dimensioni maggiori, ivi compreso il sistema di carico e trasporto delle rotoballe di fieno, è possibile attraverso il bloccaggio delle ali fotovoltaiche in posizione completamente a est o ad ovest.

Nello sviluppo del piano aziendale verrà considerata inoltre l'opportunità di sostituire i trattori diesel con trattori ad alimentazione elettrica per il miglioramento della sostenibilità ambientale dell'intero sistema produttivo, soluzione ingegneristica oggi disponibile soprattutto per le piccole e medie potenze. Si assumono le seguenti caratteristiche delle rotoballe di fieno: 160 cm diametro x 120 cm altezza, peso 0,32 t circa (rotoballe a cuore/nocciolo tenero).

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

- Produzione minima di foraggio: $9 \text{ t/ha} = 28 \text{ rotoballe/ha} \times 182 \text{ ha} = 5096 \text{ rotoballe}$
- Produzione massima di foraggio: $13 \text{ t/ha} = 40 \text{ rotoballe/ha} \times 182 \text{ ha} = 7280 \text{ rotoballe}$
- Produzione media di foraggio: $11 \text{ t/ha} = 34 \text{ rotoballe/ha} \times 182 \text{ ha} = 6188 \text{ rotoballe (668 t)}$

Si prevede che produzione complessive di 668 t annue (valore medio) di foraggio sia temporalmente distribuita come segue:

- 1° sfalcio: 50%, ovvero rotoballe, in media 3094 rotoballe
- 2° sfalcio: 25%, ovvero rotoballe, in media 1547 rotoballe
- 3° sfalcio: 12,5%, ovvero rotoballe, in media 773 rotoballe;
- 4° sfalcio: 12,5%, ovvero rotoballe, in media 773 rotoballe.

16. SVILUPPO AZIENDALE FUTURO

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

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

17. CONCLUSIONE

L'esigenza di produrre energia rinnovabile è oggi quanto mai sentita per ridurre gli effetti negativi dell'inquinamento e del cambiamento climatico legati all'utilizzo di energie fossili. L'associazione tra impianto fotovoltaico di nuova generazione (ad inseguimento solare) e l'attività agricola rappresenta una soluzione innovativa dell'impiego del territorio che trova giustificazione nel maggiore output energetico (LER, Land Equivalent Ratio) complessivamente ottenuto dai due sistemi combinati rispetto alla loro realizzazione individuale.

Attraverso la scelta di una idonea coltura, tollerante al parziale ombreggiamento generato dai pannelli fotovoltaici, è possibile migliorare la produttività agricola e la conseguente marginalità e sfruttare tutta la superficie del suolo sotto ai pannelli solari per scopi agricoli. A differenza delle coltivazioni cerealicole, e di cereali microtermi in particolare (es. frumento), che sono possibili solo nella zona centrale dell'interfilare fotovoltaico, la scelta di coltivare specie foraggere all'interno di un miscuglio di prato polifita consente di sfruttare l'intera superficie del terreno. La presenza, inoltre, di molte specie nel miscuglio foraggero, garantisce un perfetto equilibrio e adattamento del prato alle specifiche e variabili condizioni di illuminamento, favorendo l'una o l'altra essenza foraggera in funzione delle variabili condizioni microclimatiche che si vengono a realizzare a diverse distanze dal filare fotovoltaico.

Sebbene siano diverse le colture realizzabili all'interno di un impianto agri-voltaico, e con marginalità spesso comparabile, come frumento, orzo, insalata, pomodoro, pisello, etc., la scelta del prato polifita permanente consente di raggiungere contemporaneamente più obiettivi, oltre alla convenienza economica: conservazione della qualità dei corpi idrici, aumento della sostanza organica dei terreni, minor inquinamento ambientale da fitofarmaci, minor consumo di carburanti fossili, aumento della biodiversità vegetale e animale, creando, in particolare, un ambiente idoneo alla protezione delle api, raggiungendosi così il massimo dei benefici, come indicato dall'analisi costi-benefici multicriterio.

La maggior parte dei terreni coltivati del grossetano sta progressivamente perdendo di fertilità a causa della coltivazione intensiva e della frequenza e profondità delle lavorazioni. È frequente rilevare valori di sostanza organica del terreno inferiori a 1,5% e in molti casi anche inferiori all'1%, condizione che agronomicamente viene definita di terreno "povero" poiché inferiore alla soglia ideale del 2%. La situazione viene efficacemente migliorata dai prati permanenti, poiché in questi è frequente rilevare contenuti di sostanza organica ben superiori, pari al 3-4% e più. A tale riguardo, il terreno è considerato uno dei sink di carbonio più importanti per la sua fissazione, dopo le foreste e gli oceani, e riveste quindi un ruolo fondamentale nella mitigazione climatica.

Durante il periodo estivo l'impianto fotovoltaico offre protezione dal vento, contro l'allettamento delle colture, riduce il consumo di acqua e riduce gli eccessi di calore sempre più frequenti in un contesto di cambiamento climatico, agendo da moderno sistema di ombreggiamento, analogamente a quanto svolto dalle siepi e dalle alberature. Presso la stazione meteorologica di Grosseto aeroporto negli ultimi 30 anni sono stati documentati incrementi termici di circa 2 °C, condizione che aumenta le condizioni di stress da caldo e di carenza idrica e accelera il ciclo colturale, a discapito di resa e qualità dei prodotti. Nello specifico, l'applicazione del sistema fotovoltaico alla coltivazione di specie foraggere è documentato possa aumentarne la produttività, facilitare il ricaccio dopo lo sfalcio e ridurre gli apporti idrici artificiali. Dal punto di vista paesaggistico, la superficie a prato mitiga efficacemente la presenza dell'impianto fotovoltaico anche nel periodo invernale, fornendo una superficie stabilmente verde.

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



Francesco Funaro
dottore agronomo

18. BIBLIOGRAFIA

Amaducci S., Xinyou, Colauzzi M., 2018. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy* 220: 545-561.

Callejón-Ferre A.J., Manzano-Agugliaro F., Díaz-Pérez, Carreño-Ortega A., Pérez_Alonso J., 2009. Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 7: 41-49.

Dupraz C., Marrou H., Talbot G., Dufur L., Nogier A., Ferard Y., 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* 36: 2725-2732.

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

Marrou H., Dufur L., Wery J., 2013b. How does a shelter of solar paners influence water flows in a soil-crop system? *European Journal of Agronomy* 50: 38-51.

Marrou H., Guilioni L., Dufur L., Dupraz C., Wery J., 2013a. Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural & Forest Meteorology* 177: 117-132.

Mercier KM, Teutsch CD, Fike JH, Munsell JF, Tracy BF, Strahm BD., 2020. Impact of increasing shade levels on the dry-matter yield and botanical composition of multispecies forage stands. *Grass Forage Science*, 00: 1-12.

Panozzo A., Bernazeau B., Dal Cortivo C., Desclaux D., Vameralli T., 2019. Microclimate modification and yield responses of different varieties of durum wheat within an olive orchard agroforestry system. *Società Italiana di Agronomia, Atti del XLVIII Convegno Nazionale "Evoluzione e adattamento dei sistemi culturali"*, Perugia 18-20 Settembre 2019: 72-73.