

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO “FISCAGLIA”
ED OPERE CONNESSE**
Potenza Impianto 178,1 MWp

Proponente

LIO ENERGY ROSSO S.R.L.
VIA ARRIGO BOITO, 8 - 20121 - MILANO (MI)
P.IVA: 13676640967 – PEC: lioenergyrosso@legalmail.it



Progettazione

AREE TECNICHE S.R.L.
VIA G. FRESCOBALDI 8 - 44121
FERRARA (FE) - P.IVA: 02135640387
Tel.: +39 0532 209155
email: info@areetecniche.it



Specialistica

Prof. Dr. Agr. Roberto Mancinelli
Prof. Emanuele Radicetti

Coordinamento progettuale

SOLAR IT S.R.L.
VIA ILARIA ALPI 4 - 46100 - MANTOVA (MN) - P.IVA: 02627240209 - PEC: solarit@lamiappec.it
Tel.: +39 0425 1431056 - email: info@solaritglobal.com



Dati documento

RELAZIONE AGRONOMICA

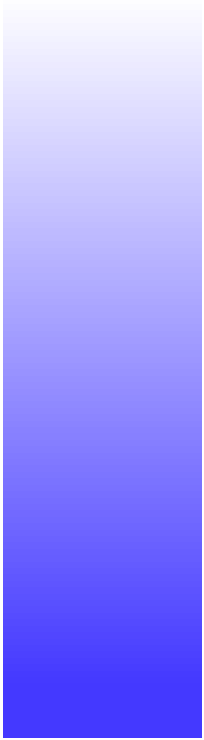
| LIVELLO PROGETTO | NOME ELABORATO | FILE NATIVO | DATA |
|------------------|-----------------|----------------------|------------|
| DEFINITIVO | 22-040-RS-R05_0 | 22-040-RS-R05_0.docx | 28/04/2025 |

Revisioni

| REV | DATA | DESCRIZIONE | ESEGUITO | VERIFICATO | APPROVATO |
|-----|------------|-------------|----------|------------|-----------|
| 0 | 28/04/2025 | PERMITTING | RMA | SOL | LIO |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



RELAZIONE AGRONOMICA



Regione Emilia-Romagna
Provincia di Ferrara
Comune di Fiscaglia

AUTORIZZAZIONE UNICA
PER LA REALIZZAZIONE E L'ESERCIZIO DI UN CAMPO AGRIVOLTAICO
AVANZATO E DELLE OPERE ED INFRASTRUTTURE ACCESSORIE DESTINATO
ALLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE
FOTOVOLTAICA, INTEGRATO CON ATTIVITA' AGRARIA
da ubicare nel comune di Fiscaglia (FE)
e relative opere di connessione



Relazione Tecnica Agroecologica

Redazione in:
Aprile 2025

Gruppo di Lavoro:
Prof. Dr. Agr. Roberto Mancinelli
Prof. Emanuele Radicetti

Sommario

| | |
|---|-----------|
| 1. PRODUZIONE DI ENERGIA PER ATTIVITÀ ANTROPICHE | 5 |
| 2. AGROECOSISTEMA SOSTENIBILE PER LA PRODUZIONE DI ALIMENTI..... | 11 |
| 2.1. BASI CONCETTUALI DELL'AGROECOSISTEMA SOSTENIBILE | 11 |
| 2.2. PRESUPPOSTI SCIENTIFICI NELLA PROGETTAZIONE E GESTIONE DEGLI AGROECOSISTEMI..... | 11 |
| 2.3. CARATTERISTICHE STRUTTURALI E FUNZIONALI DELL'AGROECOSISTEMA | 13 |
| 2.4. ORGANIZZAZIONE DI AGROECOSISTEMI A COMPATIBILITÀ AMBIENTALE | 16 |
| 2.4.1 - Criteri generali | 16 |
| 2.4.2. Assetto strutturale degli agroecosistemi per regolazione del ciclo dell'acqua e conservazione e mantenimento della fertilità del suolo | 17 |
| 2.4.3. Complicazione strutturale tra i campi coltivati, le siepi | 18 |
| 2.4.4. Sistema di Agroforestry..... | 18 |
| 2.4.5. Complicazione strutturale entro i campi coltivati..... | 19 |
| 3. PRODUZIONE INTEGRATA DI ENERGIA E CIBO | 22 |
| 3.1. PRESUPPOSTI DI BASE SCIENTIFICA DEI SISTEMI COMPLESSI | 22 |
| 3.2. CONCETTUALIZZAZIONE DEL PROCESSO DECISIONALE NELLA PROGETTAZIONE DELL'AGROECOSISTEMA SOSTENIBILE IN UN "SISTEMA CONSOCIATO COMPLESSO" | 23 |
| 3.3. AGROECOSISTEMA COME AGRIVOLTAICO..... | 24 |
| 3.4. INTERAZIONI SPECIFICHE NELL'AGROECOSISTEMA COME AGRIVOLTAICO | 32 |
| 3.4.1. Aspetti generali | 32 |
| 3.4.2. Tecniche agronomiche essenziali da adottare nell'agroecosistema Agrivoltaico | 33 |
| 3.4.3. Aspetti specifici | 36 |
| 4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE ALLA PARTE SCIENTIFICA..... | 43 |
| PRESUPPOSTI DI PROGETTO | 44 |
| 5 IDENTIFICAZIONE DELL'AREA E CARATTERISTICHE PEDO-CLIMATICHE..... | 45 |
| 6 CARATTERISTICHE DEL TERRITORIO | 47 |
| 7 TERRENI AGRARI E CARATTERISTICHE TASSONOMICHE DEI SUOLI | 50 |
| 8 SVILUPPO DELLE ATTIVITA' NELL'AREA | 62 |
| 9 L'AGRICOLTURA NELLA PROVINCIA DI FERRARA..... | 64 |
| 10 INDICAZIONE DELLE SPECIE VEGETALI E ANIMALI AGRARIE DI INTERESSE PER IL SITO IN OGGETTO E QUADRO IPOTETICO DI APPLICAZIONE INNOVATIVA PER LA ZONA IN CUI SI INSERISCE L'OPERA PROPOSTA..... | 69 |
| 10.1 GRUPPO ARBOREE, IPOTETICAMENTE ADOTTABILI IN AREE ESTERNE AI PANNELLI E ANCHE NEL PERIMETRO DELL'AREA..... | 69 |
| - Vite da vino in consociazione con inerbimento controllato..... | 69 |
| - Pero in consociazione con inerbimento controllato | 71 |
| - Alcune piante da frutto (pesco, susino, albicocco) nel perimetro della zona arnie | 73 |

| | |
|---|------------|
| 10.2 GRUPPO AROMATICHE IPOTETICAMENTE ADOTTABILI ANCHE IN AREE PERIMETRALI | 73 |
| - <i>Rosmarino in consociazione con inerbimento controllato</i> | 73 |
| - <i>Salvia in consociazione con inerbimento controllato</i> | 75 |
| - <i>Lavanda [negli elaborati grafici aree L]</i> | 76 |
| 10.3 GRUPPO ERBACEE IN ROTAZIONE TRA LORO IPOTETICAMENTE ADOTTABILI ANCHE IN AREE ESTERNE AI PANNELLI | 77 |
| - <i>Pomodoro da industria</i> | 77 |
| - <i>Peperone</i> | 80 |
| - <i>Carciofo in consociazione con inerbimento controllato</i> | 81 |
| - <i>Zucca da zucchini</i> | 83 |
| - <i>Cavolo</i> | 85 |
| - <i>Finocchio</i> | 87 |
| - <i>Fagiolo e Fagiolino</i> | 88 |
| - <i>Carota</i> | 90 |
| - <i>Aaglio</i> | 91 |
| - <i>Girasole</i> | 92 |
| - <i>Colza</i> | 94 |
| - <i>Fumento</i> | 95 |
| - <i>Orzo</i> | 100 |
| - <i>Riso</i> | 101 |
| 10.4 GRUPPO SPECIE FORAGGERE IN ROTAZIONE TRA LORO IPOTETICAMENTE DA ADOTTARE SIA IN AREE CON PANNELLI SIA IN AREE ESTERNE AI PANNELLI..... | 105 |
| - <i>Medica</i> | 105 |
| - <i>Veccia villosa</i> | 107 |
| - <i>Trifoglio violetto</i> | 108 |
| - <i>Erba mazzolina</i> | 109 |
| - <i>Festuca</i> | 110 |
| - <i>Loietto perenne</i> | 111 |
| - <i>Phacelia tanacetifolia</i> | 111 |
| 10.5 PERIMETRO DEL SISTEMA CONSOCIATO COMPLESSO AGRIVOLTAICO, IPOTETICHE SPECIE ADOTTABILI | 112 |
| - <i>Alloro</i> | 113 |
| - <i>Biancospino</i> | 113 |
| 10.6 REALIZZAZIONE DELL'INERBIMENTO CONTROLLATO NELLE COLTURE ERBACEE E ARBORE | 114 |
| 10.7 ALLEVAMENTO ANIMALI DA ADOTTARE IPOTETICAMENTE SIA IN AREE CON PANNELLI SIA IN AREE ESTERNE AI PANNELLI..... | 115 |
| 11 APPLICAZIONE DI UN IPOTETICO ORDINAMENTO CULTURALE | 117 |
| 11.1 STRUTTURA ORGANIZZATIVA IPOTETICA DEL SISTEMA CONSOCIATO COMPLESSO AGRIVOLTAICO IN PROGETTO | 120 |
| 12 CONTO ECONOMICO..... | 122 |
| 12.1 CONTO ECONOMICO RELATIVO ALLO STATO DI PROGETTO EX ANTE | 122 |
| 12.2 CONTO ECONOMICO RELATIVO ALLO STATO DI PROGETTO EX POST CON ORDINAMENTO CULTURALE IPOTIZZATO | 124 |

| | |
|---|------------|
| 12.3 VALENZA DEL REDDITO IN UN PERIODO DI TEMPO DEL SISTEMA COLTURALE EX ANTE RISPETTO AD UNO STESSO PERIODO DI TEMPO NELLO STATO EX POST | 128 |
| 13 VALIDAZIONE E VALUTAZIONE DEL PROGETTO | 130 |
| 13.1 RICERCA E VALIDAZIONE DEI SISTEMI COLTURALI IN PROGETTO..... | 131 |
| 13.2 MONITORAGGIO PERIODICO DOPO TRE ANNI DALL'AVVIO | 132 |
| 14 CONCLUSIONI RELATIVE ALLA PARTE DI PROGETTO..... | 133 |
| 15 BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI | 134 |

Parte scientifica - Background

1. Produzione di energia per attività antropiche

La condizione climatica globale sta modificandosi sempre più repentinamente con il conseguente effetto di una serie indefinita di rischi sempre più gravi per gli ecosistemi e agro-ecosistemi terrestri, la salute umana e la condizione economica a differenti livelli di scala gerarchica. A livello europeo le recenti valutazioni effettuate da vari organismi e dalla stessa Agenzia Europea per l'Ambiente evidenziano che in tutte le regioni del continente si osservano gli effetti dei cambiamenti del clima come l'innalzamento del livello del mare, gli eventi meteorologici estremi, modificazioni stagionali profonde, ecc. Queste situazioni si verificano in conseguenza delle grandi quantità di gas a effetto serra rilasciate in atmosfera per tutte le attività antropiche sempre più incisive sull'intero pianeta, tra cui principalmente la combustione di combustibili fossili per produrre elettricità, industria, riscaldamento e trasporti, rilasciando anidride carbonica e altri inquinanti in atmosfera che determinano danni seri e spesso irreversibili all'ambiente e alla salute umana.

A livello globale, il consumo di sostanze energetiche fossili rappresenta la principale fonte di emissioni di gas a effetto serra nelle attività antropiche. Circa due terzi delle emissioni globali di gas a effetto serra sono prodotti attraverso la combustione di sostanze energetiche fossili. L'uso di sostanze energetiche fossili per la produzione di energia ha un notevole impatto sul clima determinando significativi e repentini cambiamenti con il conseguente effetto sulle potenziali esigenze antropiche nella generazione e richieste di energia. Ad esempio, le modifiche al ciclo dell'acqua causano un impatto sull'energia idroelettrica e l'innalzamento delle temperature atmosferiche determinano una maggiore domanda di energia per il raffreddamento degli edifici nel periodo estivo. Al fine di sostenere gli accordi sul clima, l'Unione Europea ha proposto obiettivi climatici ed energetici per il 2030 che puntano a ridurre le emissioni dei gas a effetto serra in modo significativo, la produzione di energia proveniente da fonti rinnovabili e il miglioramento dell'efficienza energetica.

Pertanto, l'impiego intensivo di forme energetiche dipendenti da combustibili fossili associate al progressivo depauperarsi delle risorse naturali e ai cambiamenti climatici rende necessario la ricerca e l'implementazione di fonti di energia alternative rinnovabili atte a soddisfare la crescente domanda energetica in modo sostenibile e meno dannoso per l'ambiente. Mentre i combustibili fossili sono utilizzati molto più rapidamente di quanto non vengano reintegrati, le energie alternative rinnovabili derivano da risorse rinnovabili, ossia che vengono naturalmente reintegrate su scala temporale umana di breve periodo e comprendono la radiazione solare, il vento, la pioggia, le maree, le onde, il calore geotermico, le biomasse. Sebbene per definizione la maggior parte delle fonti di energia rinnovabili siano sostenibili, in alcuni casi non sussiste la caratteristica di sostenibilità, come ad esempio alcune fonti di biomassa prodotte in agricoltura intensiva con elevati input energetici.

La maggior parte delle energie rinnovabili proviene direttamente o indirettamente dal sole. La radiazione solare può essere utilizzata direttamente per il riscaldamento e l'illuminazione di edifici, per la generazione di elettricità e per il riscaldamento dell'acqua, il raffreddamento solare e una varietà di usi commerciali e industriali. Il calore del sole influenza anche i venti, la cui energia viene catturata con le turbine eoliche. Quindi, i venti e il calore del sole fanno evaporare l'acqua che si trasforma in pioggia o neve e scorre a valle in fiumi o torrenti e l'energia può essere catturata utilizzando l'energia idroelettrica. La radiazione solare in combinazione con i fattori del clima fa sviluppare gli organismi viventi determinando l'incremento di sostanza organica. La sostanza organica degli organismi vegetali è nota come biomassa che può essere utilizzata per produrre elettricità, carburanti per il trasporto o sostanze chimiche. Ovviamente quando la produzione di biomasse deriva dalle attività agrarie il bilancio energetico positivo del processo produttivo è sostanziale per poterla definire sostenibile.

La radiazione solare (o risorsa solare o luce solare) è un termine generico riferito alla radiazione elettromagnetica emessa dal sole. La radiazione solare può essere intercettata, catturata e trasformata in differenti forme di energia, come calore ed elettricità, utilizzando differenti tecnologie. Tuttavia, l'applicabilità e il funzionamento di tali tecnologie in ogni specifico luogo dipendono dalla risorsa

solare disponibile. Infatti, la quantità di radiazione solare che raggiunge ogni punto della superficie terrestre varia in base a posizione geografica, ora del giorno, stagione, paesaggio locale, meteo locale. Per lo sfruttamento dell'energia solare sono state sviluppate differenti tecnologie, tra queste vi sono i sistemi fotovoltaici (producono elettricità direttamente dalla luce solare) e acqua calda solare (per riscaldamento dell'acqua con energia solare). I sistemi fotovoltaici sono realizzati attraverso dei pannelli solari che convertono la luce solare in energia solare utilizzabile. Questo processo di conversione della luce (fotoni) in elettricità (tensione) è chiamato effetto fotovoltaico. Attualmente i pannelli solari convertono la maggior parte dello spettro della luce visibile e circa la metà dello spettro della luce ultravioletta e infrarossa in energia solare utilizzabile.

La produzione di energia attraverso lo sviluppo di impianti fotovoltaici rappresenta un'attività di produzione energetica attraverso l'intercettamento della radiazione solare come fonte energetica rinnovabile e ampiamente adottata. Grazie ad un'intensa attività di ricerca e investimenti commerciali, negli ultimi anni, il costo per l'installazione dei sistemi solari è diminuito notevolmente. Dati gli alti livelli di energia solare che raggiungono il suolo, esiste un potenziale significativo per l'espansione dell'energia fotovoltaica. Infatti, l'energia solare ha il maggiore potenziale tecnico tra le varie tecnologie di utilizzazione dell'energia rinnovabile (Jacobson, 2009; Ellabban et al., 2014). Infatti, le tecnologie di sfruttamento della risorsa nativa, quale la radiazione solare, attraverso il fotovoltaico sono state tra quelle di produzione energetica in più rapido sviluppo ed espansione negli ultimi anni grazie ai progressi tecnologici e alle politiche governative favorevoli (Breyer et al., 2017). Sebbene l'uso della radiazione solare attraverso il fotovoltaico per la produzione di energia elettrica abbia molti vantaggi, tra cui bassi tassi di emissione, l'implementazione di infrastrutture solari fotovoltaiche su larga scala, essa può talvolta avere impatti negativi sui servizi ecologici degli ecosistemi e agroecosistemi (Ravi et al., 2014; Hernandez et al., 2019). Un recente studio condotto in Italia centrale nella provincia di Viterbo ha evidenziato che seppur gli impianti solari fotovoltaici installati a terra rappresentano una chiave per mitigare il cambiamento climatico globale e le emissioni di gas serra, potrebbero rappresentare una fonte emergente di consumo di suolo, che impedisce l'uso dei suoli a fini agricoli e può influire su servizi ecosistemici cruciali (Moscatelli et al., 2022). Lo studio condotto da Moscatelli e colleghi era inteso a valutare i cambiamenti delle proprietà fisiche, chimiche e biochimiche del suolo sette anni dopo l'installazione dei pannelli fotovoltaici a terra. I risultati principali hanno mostrato che sette anni di copertura del suolo hanno modificato la fertilità del suolo con una significativa riduzione della capacità di ritenzione idrica e della temperatura del suolo, mentre la conduttività elettrica (EC) e il pH sono aumentati. Inoltre, sotto i pannelli la sostanza organica del suolo è stata drasticamente ridotta (61% e 50% per TOC e TN) inducendo una parallela diminuzione dell'attività microbica valutata come attività respiratoria o enzimatica. Per quanto riguarda l'effetto del cambiamento di uso del suolo, l'installazione della centrale ha indotto cambiamenti significativi nelle proprietà fisiche, chimiche e biochimiche dei suoli creando un motivo a strisce che potrebbe richiedere del tempo per recuperare la necessaria omogeneità delle proprietà del suolo. Pertanto, anche in questo studio, come in altri, viene evidenziato il fatto che lo sfruttamento della radiazione solare per la produzione di energia elettrica attraverso il sistema fotovoltaico può comportare l'impegno di spazi altrimenti destinati alla produzione di cibo.

La copertura e occupazione del suolo attraverso i materiali e l'attività antropica determina l'impermeabilizzazione del suolo, che insieme all'erosione e la riduzione della sostanza organica rappresentano per la Commissione Europea i più importanti processi di degradazione del suolo ai quali tutti i Paesi dell'Unione Europea dovrebbero concentrare i propri sforzi al fine ridurre ed evitare i problemi annessi, in considerazione della loro rilevanza economica e ambientale. L'impermeabilizzazione del suolo è considerato il processo più dannoso di degrado del suolo, poiché spesso implica la completa perdita delle funzioni biologiche, è quasi irreversibile, e minaccia una vasta quantità di suoli, in particolare quelli più fertili (Costantini e Lorenzetti, 2013). A livello nazionale il territorio occupato dagli insediamenti in Italia è passato dal 2,7% negli anni '50 al 7,0% nel 2015 (ISPRA, 2016) con una crescita percentuale del 159% (1,2% ulteriore tra il 2013 e il 2015). In termini assoluti, si stima che il consumo di suolo abbia intaccato ormai circa 21.100 chilometri quadrati del nostro territorio. Nel 2015, in 15 regioni viene superato il 5% di suolo consumato, con il

valore percentuale più elevato in Lombardia e in Veneto (oltre il 10%) e in Campania, Puglia, Emilia Romagna, Lazio, Piemonte, Sicilia e Liguria dove troviamo valori compresi tra il 7 e il 10% (Tabella 1).

Recentemente ad utilizzare i suoli agricoli in Italia ha iniziato a contribuire anche l'installazione di dispositivi fotovoltaici industriali per la produzione di energia elettrica che occupano terreni agrari di diverse dimensioni, molto spesso a più elevato valore produttivo, poiché sono situati per lo più in aree di pianura o fondovalle. Sebbene non siano disponibili stime sul numero di ettari coperti o sulla tipologia dei suoli interessati, il numero totale degli impianti fornisce un'indicazione di quanto sia diffuso il loro utilizzo. A fine 2009 gli impianti fotovoltaici in Italia erano 71.284 per una capacità produttiva di 1142,4 MW (Dazzi & Lo Papa, 2013).

Tabella 1 - Stima di suolo consumato a livello regionale al 2015 e incremento rispetto al 2012. (Fonte: ISPRA, 2016).

| <i>Regione</i> | <i>2015</i> | <i>Incr. % rispetto al 2012</i> | <i>Regione</i> | <i>2015</i> | <i>Incr. % rispetto al 2012</i> | <i>Regione</i> | <i>2015</i> | <i>Incr. % rispetto al 2012</i> |
|-----------------------|-------------|---|----------------|-------------|---|----------------|-------------|---|
| Piemonte | 8,2 | 0,3 | Emilia Romagna | 9,6 | 0,5 | Campania | 10,7 | 0,6 |
| Valle d'Aosta | 2,9 | 0,7 | Toscana | 7,0 | 0,3 | Puglia | 8,2 | 0,9 |
| Lombardia | 12,8 | 0,6 | Umbria | 5,4 | 1,0 | Basilicata | 3,4 | 1,4 |
| Trentino-Alto Adige | 4,4 | 0,7 | Marche | 7,0 | 0,9 | Calabria | 4,9 | 0,9 |
| Veneto | 12,2 | 0,6 | Lazio | 8,2 | 0,8 | Sicilia | 6,9 | 0,9 |
| Friuli-Venezia Giulia | 8,8 | 0,7 | Abruzzo | 4,8 | 0,8 | Sardegna | 3,6 | 0,7 |
| Liguria | 8,2 | 0,3 | Molise | 3,8 | 0,7 | Italia | 7,6 | 0,7 |

La realizzazione di centrali solari fotovoltaiche industriali può causare effetti di modifica del paesaggio e alterazione degli equilibri di ecosistemi e agroecosistemi attraverso i processi di preparazione dei siti (rimozione di vegetazione, alterazione delle caratteristiche dei suoli, riduzione della biodiversità, ecc.) (Hernandez *et al.*, 2014). Tali interventi effettuati con approccio riduzionistico e a carattere industriale possono determinare alterazioni sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei suoli, con effetti negativi sulla capacità di ritenzione idrica e ciclo dei nutrienti e sulle caratteristiche e funzioni della componente microbiologica. A ciò consegue, ovviamente, un depauperamento e riduzione significativa della qualità del suolo con la conseguente perdita di capacità a sostenere la produzione primaria ed eseguire tutti i processi e funzioni ecologiche associate. Pertanto, recentemente le attività di ricerca scientifica focalizzate verso la soluzione di adeguate strategie per mitigare i possibili impatti negativi determinati dall'installazione di centrali solari fotovoltaiche industriali sulle funzioni di ecosistemi e agroecosistemi dal livello gerarchico di appezzamento al livello di paesaggio sono state molteplici e di interesse a livello internazionale (Turney & Fthenakis, 2011; Hernandez *et al.*, 2014, 2015; Armstrong *et al.*, 2016). Una soluzione che può essere ritenuta promettente consiste nell'integrare gli altri tipi di copertura del suolo (pannelli fotovoltaici) con la vegetazione nativa e/o coltivata nell'intera area investita per la produzione energetica da radiazione solare. Con tale approccio, la progettazione, realizzazione e gestione di sistemi consociati complessi, si può ovviare al problema degli impatti negativi e al contempo si può aumentare la capacità di supportare i servizi ecosistemici come l'impollinazione, il sequestro del carbonio, ecc. (Dupraz *et al.*, 2011; Macknick *et al.*, 2013; Hernandez *et al.*, 2014; Ravi, 2015; Walston *et al.*, 2018). L'approccio olistico per la progettazione, realizzazione e gestione di sistemi consociati complessi in cui sono coinvolti produzione di energia da radiazione solare e produzione di cibo con attività agraria è stato proposto per la prima volta da Goetzberger e Zastrow (1982).

Conseguentemente, sono stati effettuati studi scientifici sulla fattibilità e applicabilità tecnologica, economica e ambientale attraverso una serie di modelli (Dupraz *et al.*, 2011; Ravi *et al.*, 2016) e attraverso studi sul campo (Marrou *et al.*, 2013a, 2013b; Beatty *et al.*, 2017; Barron-Gafford *et al.*, 2019).

Le zone dell'Italia centro meridionale e insulare sono tra le migliori posizioni in Europa per sviluppare la produzione di energia rinnovabile attraverso il sistema fotovoltaico grazie dell'abbondante radiazione solare. L'aumento della temperatura atmosferica può ridurre il potenziale della fonte di energia rinnovabile a causa della sensibilità del pannello fotovoltaico all'aumento termico e la copertura più elevata di pannelli può causare l'effetto "isola di calore" che riscalda ulteriormente l'area all'interno dell'impianto, creando un feedback negativo di riscaldamento aggiuntivo. Come nel caso dell'effetto isola di calore in ambiente urbano, la modifica del sistema da una struttura dominata dalla vegetazione a una caratterizzata da una miscela di strutture abiotiche (costruite) e biotiche (vegetazione coltivata) altera il bilancio energetico di assorbimento, accumulo e rilascio di radiazioni a onde corte e lunghe. L'energia solare in entrata viene riflessa nell'atmosfera oppure assorbita, immagazzinata e successivamente irradiata nuovamente sotto forma di calore latente o sensibile (Barron-Gafford *et al.*, 2019). All'interno degli agroecosistemi, la vegetazione coltivata e nativa riduce l'accumulo di calore e l'accumulo di calore nei suoli con l'ombreggiamento superficiale, sebbene il grado di ombreggiamento vari tra i tipi di piante (Fig. 1A). Molti impianti fotovoltaici industriali convenzionali non presentano copertura vegetale del terreno hanno pochi o nessun mezzo di dissipazione dell'energia attraverso lo scambio di calore latente (Fig. 1B) sono soggetti a un calore più sensibile. Con l'approccio olistico, la progettazione e realizzazione di sistemi consociati complessi consente di rafforzare la resilienza delle fonti di energia rinnovabile e la sicurezza della produzione alimentare (Fig. 1C).

Quindi, allo stato attuale della conoscenza scientifica la realizzazione di sistemi fotovoltaici consociati a specie vegetali coltivate e native al fine di realizzare una produzione soddisfacente di energia e di cibo sulla stessa superficie di suolo è da ritenere una potenziale opportunità concreta. Tuttavia, di caso in caso e quindi di sito in sito le valutazioni di tutte le possibili componenti biotiche e abiotiche coinvolte devono essere prese accuratamente in considerazione, poiché con il ricorso a questa tipologia di sistemi complessi può sussistere una accentuata competizione per la risorsa nativa radiazione solare tra la componente abiotica che produce elettricità e la componente biotica indirizzata alla produzione di cibo. Ciò può potenzialmente comportare anche uno spostamento del bilancio radiativo a vantaggio della componente produttiva di energia elettrica che, conseguentemente potrebbe determinare svantaggio sulla componente agraria traducendosi in una riduzione nella produzione di cibo.

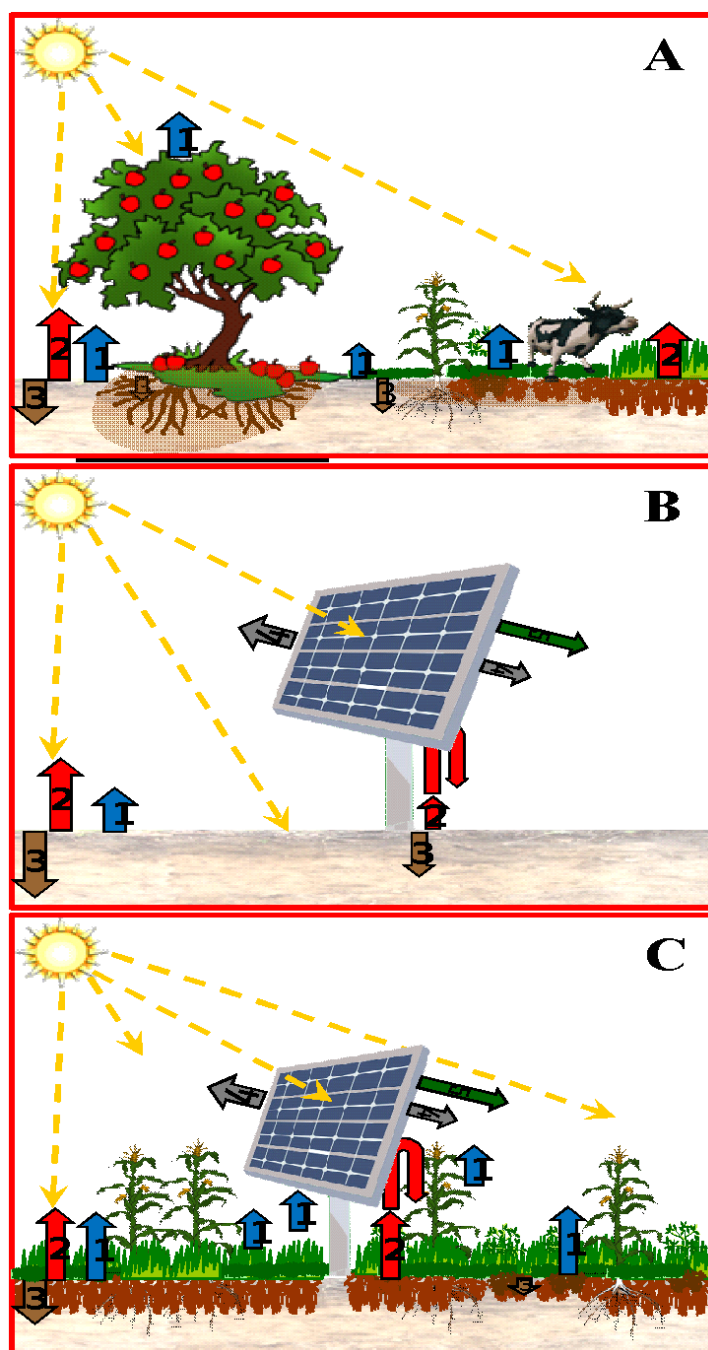


Figura 1 - Variazioni negli scambi energetici a mezzogiorno solare nelle condizioni di agroecosistema, superficie investita con soli pannelli solari fotovoltaici e agroecosistema complesso per la produzione di energia da radiazione solare e produzione di cibo con attività agraria (Agrivoltaico). Supponendo uguali i livelli di input di radiazione solare (freccie gialle a tratti), la trasformazione da agroecosistema (A) a impianto solare fotovoltaico industriale (B) altererà significativamente la dinamica del flusso energetico nel sistema a causa della eliminazione di vegetazione, e quindi i flussi di calore latenti (freccie blu 1). Ciò porta a flussi di calore più sensibili (freccie rosse 2 e marroni 3), che producono temperature localizzate più elevate. La progettazione e realizzazione di un sistema consociato complesso in cui sulla stessa superficie di suolo sono presenti pannelli fotovoltaici e vegetazione nativa e/o coltivata (C) determina il ripristino i flussi di calore latenti che può ridurre le sensibili dispersioni di calore in atmosfera. Vengono inoltre mostrate la irradiazione di energia dai pannelli fotovoltaici (freccie grigie) e l'energia trasferita all'elettricità (freccie verdi). La dimensione e l'abbondanza delle freccie corrisponde all'entità dell'effetto.

Per tali ragioni è assolutamente rilevante che la progettazione, realizzazione e gestione dei sistemi complessi indirizzati alla produzione di energia-cibo sia a elevato livello di accuratezza e, in aggiunta, gli impatti degli impianti di produzione di energia-cibo da radiazione solare sugli ambienti circostanti siano opportunamente valutati con approccio olistico su base scientifica agroecologica. In particolare, è opportuno considerare nell'analisi almeno la disponibilità di acqua, l'uso di acqua da parte della vegetazione, le caratteristiche e la temperatura del suolo e le relazioni lungo il *continuum* suolo-pianta-atmosfera (Fig. 2).

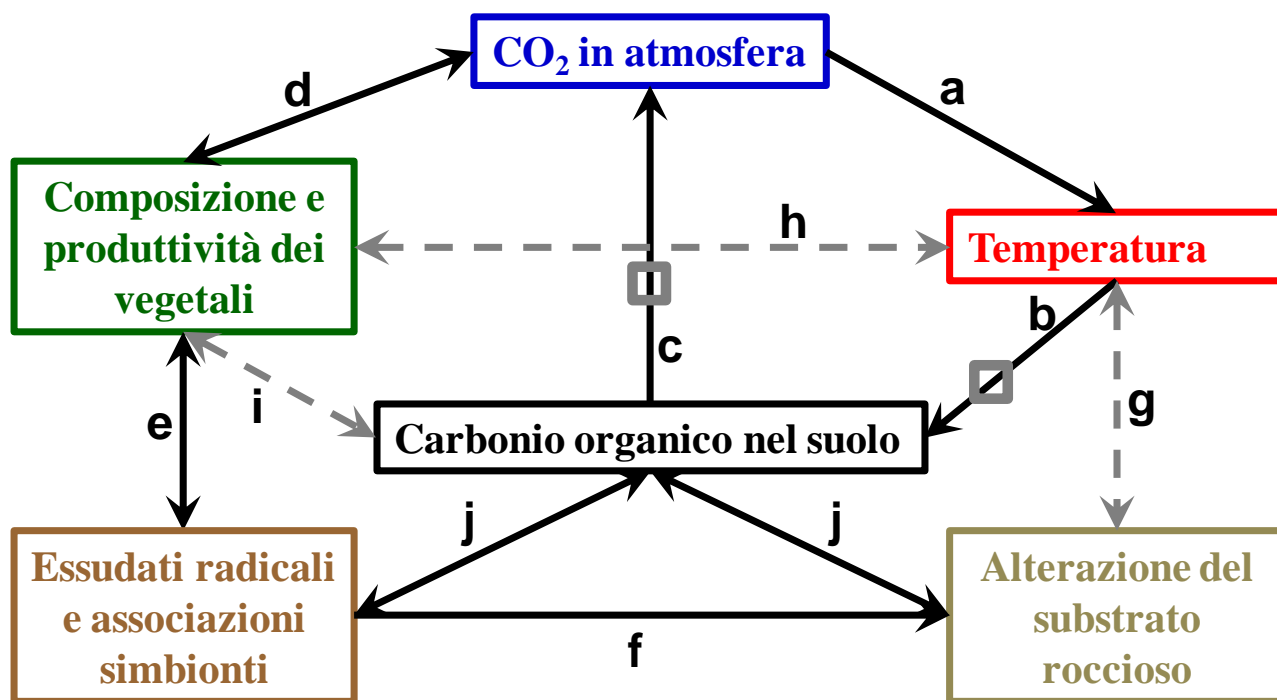


Figura 2 - Interazioni Suolo-Pianta-Atmosfera: struttura e funzione. Modello concettuale che collega le interazioni SPA negli ecosistemi e agroecosistemi. Le frecce piene rappresentano gli effetti diretti. I quadrati grigi indicano effetti inversi. Un circuito di feedback destabilizzante positivo collega la concentrazione atmosferica di CO₂, la temperatura e la concentrazione di carbonio nel suolo (a-b-c). Un ciclo di feedback stabilizzante negativo collega la CO₂ atmosferica, la produttività della vegetazione e le associazioni radice-microbo (d-e-f), che influenzano e sono influenzate dalla concentrazione di carbonio nel suolo (j). Le frecce tratteggiate rappresentano feedback incerti che coinvolgono cambiamenti nel regime dell'acqua e/o nella temperatura e il loro effetto interattivo sui processi microbici delle piante e del suolo (g-h-i).

L'aumento della produzione di energia rinnovabile ha oggettivamente il potenziale per ridurre notevolmente le emissioni di carbonio e diminuire la dipendenza dai combustibili fossili, ma alcune specificità sono ancora poco chiare, in particolare sui paesaggi su cui sono costruiti gli impianti di generazione energetica, o sulla biodiversità associata a questi siti e i servizi ecosistemici che forniscono. Per ridurre al minimo gli impatti le sedi di produzione energetica potrebbero essere realizzati attraverso una migliore progettazione di impianti solari, in associazione con altri usi del suolo come l'agricoltura e/o la conservazione. È chiaro, tuttavia, che esiste il significativo potenziale per un aumento dei rendimenti netti dalla co-localizzazione della produzione di energia, dalla produzione agricola e dal ripristino e conservazione del territorio. Per comprendere le dimensioni di questa potenziale opportunità, bisogna procedere con studi che quantificano gli effetti diretti e indiretti dei parchi solari sulla biodiversità e sulla produzione agricola. Progettando futuri parchi solari in collaborazione con sviluppatori di parchi solari, agroecologi, economisti ed ecologi della conservazione, si possono ottenere risultati più sostenibili e rigenerativi per la produzione ambientale,

agricola e di energia (Nordberg *et al.*, 2021). Ciò contribuirà al raggiungimento di molti degli obiettivi di sostenibilità e sviluppo delle Nazioni Unite (Nazioni Unite, 2015).

A livello nazionale, l'Agrivoltaico produrrebbe più energia rinnovabile e più cibo utilizzando meno acqua, rafforzando la sicurezza di queste tre risorse naturali critiche. Questi sistemi rappresentano un'opportunità per sostenere gli obiettivi primari concernenti la sostenibilità, consentendo di rafforzare il portafoglio di energie rinnovabili utilizzando contemporaneamente la terra in modo più efficiente e sostenendo l'economia rurale. I sistemi Agrivoltaici potrebbero anche non essere una panacea ma possono offrire una concreta opportunità di vera sinergia: più cibo, più energia, minore domanda di acqua, minori emissioni di carbonio e comunità rurali più prospere (Proctor *et al.*, 2021).

2. Agroecosistema sostenibile per la produzione di alimenti

2.1. Basi concettuali dell'agroecosistema sostenibile

La complessità dei sistemi ecologici e agroecologici (naturali o modificati dall'uomo) rende ardua la comprensione delle loro strutture, funzionamento e relativa qualità e caratteristica ambientale. Le componenti (chimiche, fisiche e biologiche) presenti in natura concorrono interagendo tra loro a costituire sistemi in equilibrio altamente complessi. Tali sistemi sono spesso soggetti a modificazioni dovute ad alterazioni naturali e/o indotte dall'uomo. Nel corso dei secoli, l'uomo è stato parte integrante e talvolta componente fondamentale nella stabilità o modificazioni dell'equilibrio dei sistemi ecologici e agroecologici. Nel XX secolo l'evoluzione tecnologica umana è intervenuta troppo spesso all'interno degli equilibri naturali, modificandoli, talvolta anche profondamente. Tra i vari settori, in cui si caratterizza la presenza umana, quello agricolo è uno dei fondamentali nel segnare alterazioni talora anche forti ed irreversibili ai sistemi naturali in equilibrio. L'influenza dell'agricoltura sui sistemi presenti nell'ambiente può essere positiva (se tende a migliorarli) o negativa (se tende ad alterarli). Questi effetti sono generalmente funzione del "management" adottato, a livello culturale, aziendale, territoriale e globale, che derivano da interazioni di carattere culturale, scientifico, divulgativo, ecc.

Nel XX secolo la tendenza alla specializzazione esasperata delle aziende agricole, nei paesi industrializzati, ha portato a un uso sempre più massiccio e indiscriminato di energia non rinnovabile (concimi chimici, erbicidi, insetticidi, ecc.) con conseguenze, anche gravi, di inquinamento delle acque di falda, del suolo, dell'aria e quindi di riduzione della salubrità dei cibi. Tutto ciò ha indotto, nella seconda metà del XX secolo, ricercatori e operatori del settore ad approfondire le conoscenze sui sistemi agricoli a ridotto impatto ambientale. In seguito a ciò, si è andato sempre più sviluppando l'interesse verso un livello di maggiore sostenibilità ecologica e di qualità dei sistemi agrari.

2.2. Presupposti scientifici nella progettazione e gestione degli agroecosistemi

La scienza motore degli studi di carattere agroambientale può essere considerata l'Ecologia con il suo ruolo di disciplina trasversale, in grado di riunire diverse acquisizioni proprie delle discipline specialistiche. L'origine dell'ecologia (parola coniata nel 1866 da Ernest Haeckel) concepita e definita come scienza ebbe inizio con l'applicazione di metodi sperimentali e matematici alle analisi di relazioni organismo-ambiente, struttura della comunità, successioni e dinamiche della popolazione. In America il termine "Ecologia" fu usato per la prima volta da un gruppo di botanici che nel 1890 iniziarono a concentrarsi su studi fisiologici delle relazioni tra gli organismi e ambiente.

Col passare degli anni la scienza ecologica ha acquisito sempre più maggiore importanza e interesse da parte di scienziati e tecnici, giacché l'ecologia può contribuire a formare un quadro di riferimento generale più completo, seppur complesso, capace di fornire indicazioni certamente utili e indispensabili per una migliore progettazione, pianificazione e gestione delle attività umane, al fine di rendere l'ambiente di vita dell'uomo, degli animali e delle piante, tra loro più armonico. Studiare la realtà nel suo complesso è lo scopo che l'ecologia si prefigge attraverso l'analisi dell'ecosistema, intesa come unità riconoscibile in natura i cui componenti sono rappresentativi del tipo di realtà in studio. Pertanto l'ecologia si propone di studiare il funzionamento globale della realtà attraverso un approccio senza che nessuna cosa prescinda dall'altra, analizzando in modo completo i sistemi nella loro globalità, unendo tutte le discipline scientifiche e umanistiche.

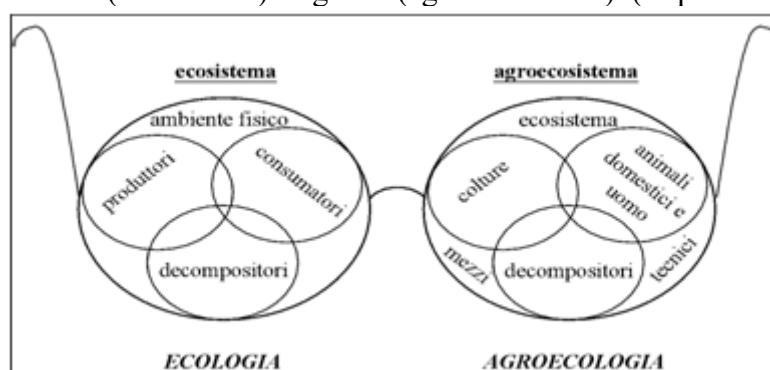
La metodologia adottata dall'ecologia nello studio scientifico basato sul concetto di ecosistema permette di raggiungere visioni e comprensioni che le singole discipline specialistiche non metterebbero in rilievo; così come avviene nella realizzazione o osservazione di un mosaico nel suo complesso, costituito da tante singole tessere (le singole discipline). Lo studio scientifico e culturale dell'ambiente effettuato con una visione globale e sistemica della realtà appartiene al concetto di "olismo", il quale esprime che l'intero è superiore alla somma delle singole parti. Inoltre, il pensiero olistico, attribuisce a ogni elemento il suo significato anche per la sua posizione e relazione con gli altri elementi che gli stanno intorno. Perciò, la modifica di un singolo elemento significa sempre la variazione dell'intero sistema in qualche direzione. In un complesso ambientale diventa impossibile prendere in considerazione tutte le reciproche influenze tra gli elementi. Naveh e Liebermann (1993) definiscono un concetto di olismo che ammette una struttura gerarchica di livelli di organizzazione ambientale costituiti da differenti disegni spaziali o regionali. Molti metodi di studio, classificazione o valutazione dei sistemi agrari sono basati su tale approccio (MacArthur, 1972; Howard e Mitchell, 1980; May, 1986; Zonneveld, 1995). Analisi e studi ecologici effettuati attraverso l'approccio olistico consentono di comprendere il funzionamento degli ecosistemi e agroecosistemi a qualsiasi livello di scala gerarchica.

Da tempi remoti, con le operazioni agrarie, l'uomo è intervenuto sugli ecosistemi modificandoli e determinando quindi la formazione dei sistemi agrari cioè degli agroecosistemi. Le comunità ecologiche nei campi coltivati sono davvero estremamente complesse, sia nel tempo sia nello spazio, malgrado la carenza di diversità delle piante in molti agroecosistemi. Per esempio vi sono molte strategie attraverso le quali gli erbivori sfruttano le colture e attraverso le quali le colture si autodifendono, implicando complicati meccanismi evolutivi e relazioni ecologiche che devono essere considerati nello sviluppo dei metodi di protezione culturale usando approcci ecologici. La gestione con base ecologica di patogeni, insetti dannosi ed erbe infestanti tende a richiedere metodi che incrementano la diversità spaziale e temporale della comunità e a richiedere approcci multipli per evitare effetti deleteri di altri organismi sulle piante coltivate. Nei processi presenti negli agroecosistemi è importante la comprensione su piccola e larga scala delle interazioni sussistenti tra gli organismi e il loro ambiente e su come il comportamento integrato degli organismi controlla l'assimilazione, il trasferimento e la riduzione di carbonio e nutrienti nell'ambito del sistema stesso.

Il punto di vista ecologico dell'agricoltura focalizza la descrizione delle relazioni tra gli organismi e i loro ambienti biotici e abiotici e la comprensione dei processi biologici che controllano la distribuzione, il comportamento e la forma degli individui, le interazioni tra gli organismi e il flusso di materiali ed energia attraverso l'agroecosistema. Attualmente l'agroecosistema è soggetta a una serie di variabili differenti da quelle presenti dei tempi passati, in quanto, a quelle pedoclimatiche, atmosferiche e biotiche si aggiungono quelle economiche politiche e sociali che condizionano significativamente le produzioni, gli ordinamenti culturali e le specifiche tecniche adottate.

Lo studio ecologico degli agroecosistemi è affidato alla scienza dell'agroecologia (Fig. 3), che osserva i sistemi con la stessa ottica dell'ecologia.

Figura 3 - Sistema naturale (ecosistema) e agrario (agroecosistema). (Caporali et al, 2010)



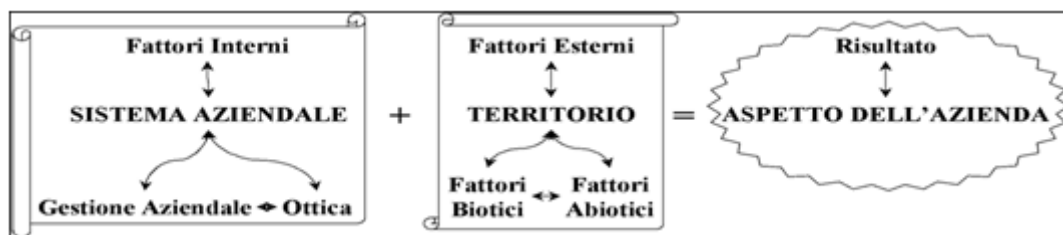
L'uso del termine agroecologia risale agli anni 1970, ma la scienza e la pratica dell'agroecologia sono di origini ben più lontane. La metodologia e la pratica dell'agroecologia derivano anche da radici filosofiche differenti da quelli fondanti l'agricoltura convenzionale. L'agroecologia considera lo studio di entrambi i sistemi agroecologici e sociali nel quale gli agricoltori lavorano; dà una enfasi più considerevole agli esperimenti aziendali ed è maggiormente aperta alla partecipazione degli agricoltori nei processi di ricerca. L'agroecologia ha avviato un processo scientifico-culturale basato sull'approccio metodologico sistemico (olistico), collegato con le tematiche ambientali, che sostiene la necessità di studiare la realtà nel suo complesso. La novità, nel metodo e nel contenuto, consiste nello spiegare il funzionamento dell'intero agroecosistema integrando tra loro le parti che lo costituiscono ed i loro processi. L'ecologia, scienza che studia l'ecosistema, si qualifica come disciplina ponte, esaudendo la necessità di ricomporre i singoli elementi costituenti la realtà. L'agroecologia, scienza derivata all'ecologia, studia il funzionamento dell'agroecosistema (sistema naturale modificato dall'uomo) nella sua realtà integrale con il compito progettuale e organizzativo delle componenti che le costituiscono affinché l'agricoltore possa metterlo in atto nella realtà aziendale. Uno dei rilevanti contributi dell'agroecologia è la descrizione dei principi che legano struttura e funzione degli agroecosistemi:

- l'agroecosistema è una unità ecologica che contiene componenti biotici ed abiotici, interdipendenti ed interattivi, attraverso i quali avviene il ciclo dei nutrienti ed il trasferimento del flusso di energia;
- negli agroecosistemi il flusso di energia ed il ciclo dei materiali sono modificati dal livello di gestione antropica degli input;
- l'ammontare totale di energia che fluisce nell'agroecosistema dipende da quella fissata dalle piante o dai produttori e dagli input forniti attraverso la gestione. Il trasferimento di energia da un livello trofico a un altro ne comporta la perdita di una considerevole porzione. Questo limita il numero e la massa di organismi che possono essere mantenuti a ogni livello trofico;
- il volume totale di materiale vivente può essere espresso in termini della sua biomassa. L'ammontare, la distribuzione e la composizione della biomassa variano con il tipo di organismi, l'ambiente fisico, lo stato di sviluppo dell'ecosistema e l'attività umana. Un'ampia porzione di componenti organici in molti ecosistemi è composta di sostanza organica morta della quale in larga porzione è materiale vegetale;
- la maggiore unità strutturale di un agroecosistema è la popolazione colturale che nel sistema occupa una ampia nicchia giocando un fondamentale ruolo nel flusso di energia e ciclo dei nutrienti;
- una nicchia di un dato agroecosistema non può essere occupata simultaneamente ed indefinitamente da più di una specie di una popolazione.

2.3. Caratteristiche strutturali e funzionali dell'agroecosistema

L'aspetto di un'azienda agraria, che è il livello di organizzazione fondamentale nella gerarchia degli agroecosistemi, è principalmente il risultato della mutua interazione tra le caratteristiche naturali della regione e le attività esercitate all'interno di essa. In ogni specifico agroecosistema si ha a che fare con la specifica struttura offertagli dallo scenario che lo circonda (appezzamenti di terreno, clima, gestione delle acque, infrastrutture, mercato, ecc.) nel quale si deve disegnare la gestione aziendale (Hendriks et al., 2000). Le scelte effettuate in questo quadro divengono visibili nell'aspetto dell'azienda (Fig. 4).

Figura 4 - Concetto della relazione tra azienda e aspetto del paesaggio (Hendriks et al., 2000)

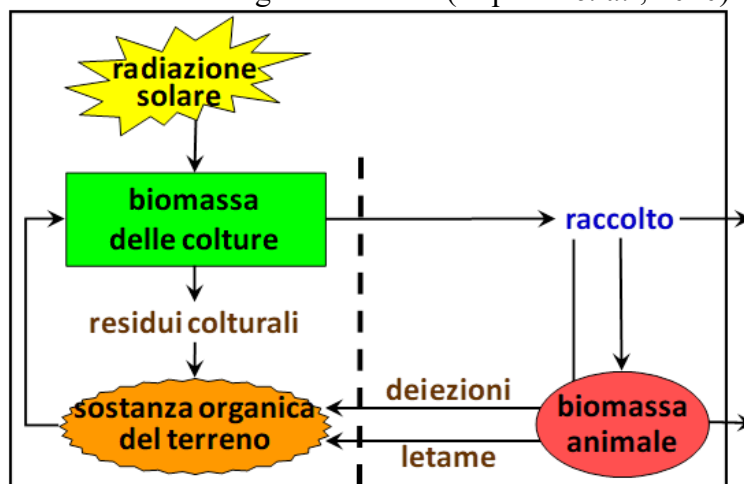


Ogni regione è costituita dalla combinazione complessa di una serie di agroecosistemi che sono il risultato delle variazioni locali di clima, suolo, relazioni economiche, struttura sociale e storia (Tab. 2). Il funzionamento di base dell'agroecosistema è alimentato dall'energia solare (radiazione solare) che viene convertita in biomassa dalle specie vegetali coltivate e native e successivamente in parte trasferita al suolo come sostanza organica e in parte asportata dal campo come produzione per l'alimentazione umana o per quella animale (Fig. 5). L'ambiente nativo e l'agricoltura non sono due entità distinte e separate, in quanto l'attività agricola si sovrappone direttamente all'ecosistema nativo modificandolo in un agroecosistema che è in diretta connessione con lo spazio circostante (Caporali et al., 2010).

Tabella 2 - Elementi degli agroecosistemi che influenzano il tipo di agricoltura in ogni regione

| Tipo | Fattori |
|----------------|--|
| Fisico | Radiazione, Temperatura, Pioggia e irrigazioni, Condizioni del suolo, Pendenza, Capacità di campo. |
| Biologico | Insetti dannosi e nemici naturali, Comunità di erbe infestanti, Malattie di piante ed animali, <i>Biota</i> del suolo, Vegetazione naturale, Efficienza fotosintetica, Struttura delle colture, Rotazioni colturali. |
| Socioeconomico | Densità della popolazione, Organizzazione sociale, Economia, Assistenza tecnica, Coltivazioni in atto, Grado di commercializzazione, Disponibilità di lavoro. |
| Culturale | Conoscenze tradizionali, Fede, Ideologia, Cause generali, Eventi storici. |

Figura 5 - Funzionamento di base dell'agroecosistema (Caporali et al., 2010).



L'identificazione dell'agroecosistema con "l'azienda agraria" permette di comprendere il peso dell'azione antropica sulla strutturazione del sistema e le sue implicazioni. Poiché la struttura e le funzioni dei sistemi sono assolutamente collegate e la maggior parte della superficie nazionale è utilizzata dall'agricoltura, che agisce sui processi biotici e abiotici degli ecosistemi preesistenti, il territorio rurale si qualifica come patrimonio comune di risorse e gli operatori agricoli come i custodi di tali risorse. Nell'agroecosistema "azienda agraria" sussiste uno scambio costante con l'esterno di capitali, energia, materia ed informazione di cui è possibile stabilire l'entità. Inoltre, l'agroecosistema "azienda agraria", è costituito da differenti unità (singoli campi, insieme di colture, allevamenti, ecc.) disgregabili e strutturabili in un'organizzazione gerarchica, nella quale è possibile rilevare i flussi energetici e di materia, sia tra le singole componenti sia con l'esterno. Lo studio degli agroecosistemi "aziende agrarie", realizzati sulle basi di tali presupposti e con visione agroecologica, mirano a cercare soluzioni per consentire la progettazione, realizzazione e gestione di agroecosistemi con elevato grado di sostenibilità.

Nella seconda metà del secolo scorso le aziende agrarie erano caratterizzate dalla tendenza alla semplificazione strutturale e dall'apporto di sproporzionati input energetici, con le conseguenze di squilibri ambientali e rischi per la salute umana. Pertanto, sussiste una sostanziale necessità di revisionare gli agroecosistemi che spesso risultano instabili dal punto di vista ambientale. Per una corretta progettazione e realizzazione degli agroecosistemi a compatibilità ambientale è necessario il loro studio agroecologico accurato. Lo studio agroecologico dell'azienda agraria come agroecosistema consente di fornire indicazioni essenziali per individuare la struttura più idonea a raggiungere l'obiettivo di agroecosistemi a compatibilità ambientale.

In pratica, lo studio agroecosistemico tende all'ottimizzazione delle proprietà del sistema "azienda agraria", attraverso la definizione di basi scientifiche per l'attuazione di processi a compatibilità ambientale in armonia con gli ambienti naturali e con l'obiettivo di esercitare con l'agricoltura un'azione positiva nell'ambiente sia dal punto di vista produttivo che economico-sociale (Gliessman, 1990; Caporali *et al.*, 2010). La massima responsabilità del settore agrario, e quindi dell'analisi, della progettazione e strutturazione degli agroecosistemi aventi questi obiettivi, grava principalmente sugli agronomi agroecology i quali devono occuparsi delle colture, che sono le matrici dei sistemi, costituendo la componente principale dello scenario ambientale, biofisico e socioeconomico. Infatti, l'agricoltura è un sistema complesso di settori interagenti tra loro di attività umane che inizia dall'azienda agraria, intorno alla quale ruota una complessa rete di connessioni sociali costituita da soggetti istituzionali importanti interagenti tra loro (politica ed amministrazione, ricerca e Università, formazione professionale, industria e commercio, consumatori, marketing), che termina con il consumatore.

Lo sviluppo del concetto di agricoltura sostenibile è, di fatto, una risposta relativamente recente al problema riguardante la degradazione delle risorse naturali. Le prime discussioni sul concetto di agricoltura sostenibile enfatizzarono l'importanza di mantenere la capacità di rinnovo degli agroecosistemi, richiesta da molte pratiche agricole convenzionali deleterie. La strategia più frequentemente legata alla sostenibilità è la riduzione o l'eliminazione dell'uso di prodotti chimici sintetici, in particolare i fertilizzanti e i pesticidi chimici. Edwards (1987) ha fornito una dettagliata definizione di "agricoltura sostenibile" come: *"Sistema integrato di produzione agricola, con la minima dipendenza da elevati input di energia chimica in forma sintetica e coltivazioni che sostituiscono questi input con tecniche culturali biologiche. Inoltre, l'agricoltura sostenibile dovrebbe mantenere, o solo diminuire il meno possibile, soprattutto la produttività e mantenere o incrementare il reddito netto degli agricoltori su una base sostenibile. Peraltro, dovrebbe proteggere l'ambiente in termini di conservazione del suolo e di prevenzione della contaminazione alimentare; mantenere la diversità ecologica e la struttura a lungo termine, la fertilità e la produttività del suolo. In ultima analisi, l'agricoltura sostenibile dovrebbe soddisfare i bisogni sociali degli agricoltori e delle loro famiglie e rafforzare la comunità rurale in maniera sostenibile"*.

Nel mondo scientifico e culturale il dibattito sul concetto di agricoltura sostenibile è stato ampio ed intenso. Nel 1989 l'*Agronomy Society of America* (ASA) ha definito l'agricoltura sostenibile come quella che:

- 1) migliora la qualità dell'ambiente e delle risorse naturali dalle quali dipende;
- 2) fornisce cibo e fibre per i bisogni umani;
- 3) è economicamente valida;
- 4) migliora la qualità della vita per gli agricoltori e per l'intera società.

L'abilità dell'agricoltore a produrre cibo e reddito, in un agroecosistema come questo, è legata direttamente ai processi biologici interni; ma l'adozione della buona gestione delle pratiche aziendali e conoscenze locali dipende dalle risorse naturali e sono il risultato dell'interazione tra gli agricoltori e i loro ambienti biologici, fisici e socioeconomici. In un agroecosistema sostenibile tutti i flussi di input/output e le loro interazioni devono essere collegati ed interdipendenti, altrimenti il sistema diviene insostenibile.

Nel quadro strutturale del sistema agricoltura il settore della ricerca svolge un ruolo di particolare importanza in quanto alla ricerca spetta il compito di:

- a) studiare i sistemi agrari alternativi ai convenzionali, in modo da comprendere meglio come questi reagiscono a determinate tecniche colturali a basso (o nullo) impatto ambientale mantenendo sempre sufficientemente elevato il loro livello produttivo;
- b) trasferire all'agricoltore le notizie acquisite nelle ricerche svolte sia direttamente che per mezzo di enti deputati alla divulgazione, oltre che attraverso la didattica a indirizzo agro-ecologico.

Agroecologia, agroecosistema e agricoltura sostenibile sono la chiave di un indissolubile processo logico per indirizzare lo sviluppo concreto dell'agricoltura secondo il funzionamento di base molto vicino a quello naturale. L'agroecosistema, oltre che un concetto squisitamente agroecologico, è facilmente circoscrivibile materialmente; pertanto, è un'unità di studio visibile nella realtà strutturale e di funzionamento dell'attività agraria, dimensionabile in funzione degli scopi di analisi (singola coltura, azienda, bacino idrografico, territorio, ecc.).

2.4. Organizzazione di agroecosistemi a compatibilità ambientale

2.4.1 - Criteri generali

La gestione degli odierni agroecosistemi specializzati dei Paesi industrializzati si fonda prevalentemente sul largo impiego di energia ausiliaria poiché “strutturalmente” essi non sono programmati per:

- a. sfruttare appieno il flusso energetico naturale (radiazione solare e sostanza organica del suolo) e le altre risorse native (azoto atmosferico, acqua di precipitazione, ecc.);
- b. operare un intrinseco controllo biologico su erbe infestanti, fitopatogeni, fitofagi, ecc.

La ricerca scientifica applicata all'agricoltura nella seconda metà del secolo scorso ha decisamente contribuito alla affermazione di agroecosistemi di questo tipo. Infatti, gli sforzi scientifici sono stati quasi integralmente rivolti alla massimizzazione delle rese produttive di piante e animali. In sintesi, l'usuale approccio per incrementare la produttività è stato quello di migliorare l'ambiente di crescita (attraverso gli input energetici ausiliari) e costituire genotipi adatti per l'ambiente migliorato. Una strategia che, tradotta in comune prassi, ha indirizzato l'agricoltura quasi esclusivamente sulle aree più fertili escludendone molte dalla coltivazione attiva; si è rivelata dispendiosa dal punto di vista energetico e pericolosa dal punto di vista ambientale e sanitario.

Allo stato attuale sussiste l'esigenza di un riorientamento delle scelte e di un impegno per la realizzazione di un modello ideale di agricoltura affinché essa sia polifunzionale, cioè allo stesso tempo produttiva e protettiva nei confronti dell'ambiente dove si esercita; sia parsimoniosa nell'uso di energia proveniente da combustibili fossili; sia sana, fornisca cioè cibi di qualità esenti da contaminanti. I sistemi adatti a svolgere questo ruolo possono definirsi agroecosistemi a compatibilità ambientale. Gli agroecosistemi a compatibilità ambientale dovrebbero principalmente fondare il loro funzionamento sulle capacità di autorganizzazione, autocontrollo e automantenimento che derivano da una struttura che imita quella dei sistemi naturali, dove a maggiore diversificazione biologica

(numero di specie presenti) e strutturale (pluristratificazione e continuità temporale della vegetazione) corrisponde maggiore capacità produttiva e stabilità (Caporali *et al.*, 2010).

Il primo requisito per garantire un elevato grado di automantenimento è conservare il suolo e la sua fertilità. La conservazione del suolo è strettamente connessa con il controllo del ciclo dell'acqua, quindi con le opere di sistemazione agraria, di conformazione dei campi, di interventi di lavorazione, di scelte colturali che si riflettono sul grado di copertura del terreno. L'intera fisionomia dell'agroecosistema comporta implicazioni dirette e indirette sulla capacità di intercettare e trattenere la risorsa acqua e quindi di interferire significativamente con i processi di formazione e di conservazione del terreno agrario e della sua fertilità. A questo proposito un ruolo fondamentale, anche se poco sottolineato, possono esercitare le fasce vegetazionali presenti tra i campi coltivati come siepi, alberate, canneti, ecc., che pertanto costituiscono, se presenti, un elemento strutturale di enorme significato per la produttività e stabilità degli agroecosistemi.

Il potenziamento della fertilità del suolo si realizza negli arativi anche con l'introduzione del prato poliennale e in particolare di leguminose, sia per l'accumulo di sostanza organica dovuto alla mancata lavorazione, sia per l'introduzione biologica dell'azoto atmosferico (azotofissazione). Con l'inserimento del prato poliennale nelle sequenze colturali si creano inoltre i presupposti per una efficace prevenzione nei riguardi dello sviluppo delle erbe infestanti, della diffusione delle fitopatie e dei parassiti delle colture, rendendo superflui i trattamenti di diserbo e di difesa fitosanitaria.

La consociazione tra le colture (arboree/erbacee ed erbacee/erbacee) rappresenta una ulteriore opportunità da promuovere per sfruttare al meglio l'energia solare e le altre risorse native ed aumentare i meccanismi di autocontrollo biologico negli agroecosistemi.

Solo il rispetto di questi principali orientamenti per la costruzione di agroecosistemi a compatibilità potrà verosimilmente consentire all'agricoltura di ridurre o fare a meno dei composti chimici che attualmente ne determinano l'alto livello produttivo ma anche l'impatto ambientale negativo.

Per quanto concerne il materiale biologico da impiegare (e quindi gli sviluppi biotecnologici da auspicare) è necessario enfatizzare la necessità di conoscere meglio come l'ambiente influenzi le capacità produttive dei genotipi coltivati. Troppo poca ricerca è stata indirizzata verso lo studio dei meccanismi di crescita e risposta produttiva di piante e animali in ambienti sfavorevoli (sia per cause fisiche che biologiche), mentre le opportunità per migliorare la produzione in tali ambienti sono sostanziali. Un approccio ecologico adattativo, teso a individuare genotipi idonei a sopportare con successo condizioni ambientali avverse, implica considerevoli effetti sulla possibilità di ridurre gli input negli agroecosistemi, poiché resistenza alla siccità, maggiore intervallo di tolleranza per la temperatura, miglioramento nella acquisizione di elementi nutritivi, minore sensibilità all'azione di ioni tossici e così via, potrebbero essere raggiunti senza mettere in atto o riducendo interventi ad elevata interferenza ambientale quali l'irrigazione, la concimazione, i trattamenti di diserbo chimico, ecc.

2.4.2. Assetto strutturale degli agroecosistemi per regolazione del ciclo dell'acqua e conservazione e mantenimento della fertilità del suolo

In nessun caso più che nell'attività agricola, l'applicazione del concetto di ecosistema evidenzia il ruolo determinante nella progettazione, realizzazione e gestione dell'agroecosistema. L'agroecosistema è un prodotto derivato dall'organizzazione di componenti naturali e antropici in rapporto a fini di carattere socioeconomico. Il territorio agrario deve essere adeguatamente "sistemato" con un appropriato dimensionamento e forma delle unità di coltivazione (campi), consoni alle situazioni di pendio e regime pluviometrico del contesto di coltivazione. L'effettuazione di queste operazioni è fondamentale per l'esercizio di una agricoltura sostenibile che richiede il mantenimento del suolo agrario in adeguate condizioni di fertilità fisica, chimica e biologica. Nella veste di principale utilizzatrice del territorio, la prerogativa dell'agricoltura dovrebbe essere quella di mantenere e rigenerare le risorse naturali che utilizza. Da questa considerazione emerge il ruolo polifunzionale che l'agricoltura potrebbe convenientemente svolgere a favore del territorio e della società, qualora venisse indirizzata e sostenuta per raggiungere uno stato di piena compatibilità ambientale.

Nella prospettiva della meccanizzazione integrale delle operazioni colturali, seminativi e arboreti vengono realizzati secondo il giusto criterio di far lavorare le macchine nel modo più agevole possibile, col massimo risparmio di carburante e con le massime condizioni di sicurezza. La strutturazione degli agroecosistemi su base sostenibile deve essere impostata per far fronte a un'attiva difesa del suolo e della sua fertilità, basata sul rispetto delle due regole fondamentali per il buon governo del ciclo dell'acqua. Occorre rivalorizzare il documentato ruolo della vegetazione dentro e fuori i campi coltivati ai fini dell'intercettazione del flusso idrico e degli elementi minerali. Tradurre in pratica questo criterio significa complicare la struttura degli agroecosistemi, arricchendoli di elementi vegetazionali a funzione polivalente (siepi) tra i campi coltivati, ed organizzando dentro i campi coltivati una collocazione e sequenza di colture idonee a mettere a frutto in maniera più integrale le risorse native del sistema (acqua, radiazione solare, azoto atmosferico).

2.4.3. Complicazione strutturale tra i campi coltivati, le siepi

Le siepi, come elementi strutturali che si situano al margine del campo coltivato, rientrano a pieno titolo tra i componenti dell'agroecosistema, dove svolgono un critico ruolo polifunzionale, importante, ma purtroppo poco conosciuto.

L'interpretazione riduttiva del ruolo dell'agricoltura, intesa esclusivamente come fornitrice di prodotti commerciabili, ha portato a focalizzare l'attenzione degli agronomi e degli agricoltori sul campo coltivato ed a trascurare il significato delle altre strutture vegetazionali ad esso circostanti, come le siepi. Fino ad oggi, si è percepito come unità di gestione il campo coltivato ma non l'agroecosistema. Da qui la tendenza a eliminare le siepi, viste come entità separate, come ostacolo alla meccanizzazione e designate semmai come focolai di diffusione per erbe infestanti, malattie e fitofagi delle colture. La siepe, percepita come elemento di eterogeneità all'interno di un agroecosistema, influisce in vario modo in favore del ripristino di una organizzazione strutturale più orientata all'uso delle risorse native e quindi verso l'efficienza e l'autonomia del sistema. Le siepi costituiscono uno dei tratti più caratteristici nel paesaggio rurale della fascia temperata. Agricoltura e siepi si sono apparentemente sviluppate insieme e coesistono su circa il 10% della superficie delle terre emerse. L'origine delle siepi si può far risalire all'epoca medievale del passaggio della proprietà dal regime collettivo a quello privato, allorché i pascoli comuni vennero smembrati e delimitati da strutture vegetali (siepi) per segnare i confini degli appezzamenti e costituire recinzioni invalicabili al bestiame pascolante. I campi divennero unità indipendenti, gestiti secondo un programmato schema di rotazione culturale. La diffusione delle siepi identifica il passaggio dell'agricoltura di sussistenza a quella di mercato caratterizzata dalla produzione di derrate commerciabili.

La siepe è una stretta fascia vegetazionale (corridoio) che differisce dalla matrice territoriale circostante ed è costituita prevalentemente da specie di margine, cioè, trovate solo o principalmente lungo il perimetro di una formazione non lineare e non al suo interno. Nessuna specie è tipica ed esclusiva delle siepi, ma tutte si ritrovano negli habitat vicini (foreste, pascoli, campi coltivati). La siepe è quindi una struttura che palesemente denota origine interattiva e continui processi di interscambio con i componenti ambientali circostanti, fisici e biotici.

2.4.4. Sistema di Agroforestry

Agroforestry è un termine moderno a carattere internazionale che identifica situazioni di campo in cui, insieme a coltivazioni e/o allevamenti, vengono conservate o introdotte deliberatamente piante arboree o arbustive ad uso polifunzionale (Steppeler e Lundgren, 1988), ad esempio per sostegno o ombreggiamento delle colture, difesa dal vento, regolamento del ciclo idrologico e difesa dell'erosione, raccolta di legna e di frutti, ecc. Le siepi residue o impiantate hanno tipicamente svolto e svolgono molte di queste funzioni nell'agricoltura tradizionale di tutti i continenti, dando luogo a caratteristici paesaggi agrari apprezzabili sia per la funzionalità ambientale che per il pregio estetico. Le misure odierne di politica agroambientale in Europa stanno recuperando il principio di conferire maggiore biodiversità degli agroecosistemi per migliorarne i servizi ambientali e perciò vengono finanziati progetti tendenti a favorire sistemi di agroforestry. Questi sistemi acquistano un particolare significato per il benessere degli animali in allevamento, che nelle condizioni convenzionali sono

confinati o stipati in ambienti ristretti. L'allevamento in condizioni di pieno campo, con maggiore permanenza degli animali all'esterno durante l'anno e durante il giorno, è indubbiamente favorito in situazioni di questo tipo.

2.4.5. Complicazione strutturale entro i campi coltivati

La collocazione delle colture nello spazio e la loro sequenza caratterizzano gli aspetti fisionomici più apparenti degli agroecosistemi, determinandone la struttura e condizionando il funzionamento. Ai fini del migliore sfruttamento delle risorse native del sistema e di un intrinseco controllo biologico di erbe infestanti, fitofagi e fitopatogeni, bisogna strutturare gli agroecosistemi con la capacità di migliorare le prestazioni agroecologiche.

Radiazione solare ed acqua di precipitazione sono risorse fisiche native che dovrebbero essere utilizzate con la massima efficienza. Il confronto tra ecosistemi ed agroecosistemi mette in evidenza che a maggiore complicazione strutturale del sistema (in termini di composizione polispecifica, maggiore stratificazione e durata dell'apparato fogliare) corrisponde un maggiore intercettamento di energia solare ed acqua di precipitazione, che si traduce in più alti valori di produzione netta (biomassa accumulata nell'unità di tempo; anno, nel caso specifico).

I sistemi policolturali comprendono una vasta gamma di soluzioni pratiche (Tab. 3), che comunque rispondono all'obiettivo di coprire il suolo con la vegetazione colturale al massimo grado, compatibilmente con la disponibilità delle altre risorse limitanti (acqua, elementi nutritivi, ecc.).

Nell'organizzazione dei sistemi policolturali il campo coltivato viene inteso, come in effetti è, alla stregua di una "centrale solare", che deve funzionare al massimo regime e con la maggiore continuità possibile. In definitiva l'organizzazione delle colture in campo, mirata a migliorare l'intercettazione della radiazione solare e l'uso delle altre risorse native, comporta ricondurre alla piena attualità soluzioni di consociazione e rotazione ritenute obsolete nell'ottica dell'agricoltura specializzata. Questa tipologia di sistemi colturali è invece di estremo interesse per massimizzare la tendenza all'autorganizzazione, autocontrollo e automantenimento insite nello stesso sistema colturale, qualora sia opportunamente congegnato.

I sistemi colturali fondati sulla consociazione rappresentano una costante nella storia dell'agricoltura. Ai sistemi di colture pure è strettamente connessa una serie di problemi che riguardano la conservazione del suolo e la sua fertilità, la eutrofizzazione e l'inquinamento delle acque, la rottura degli equilibri biologici a vari livelli. Molti di questi problemi associati con i sistemi di colture pure possono essere quantomeno ridimensionati con la adozione della consociazione che - opportunamente gestita in un contesto che ne valorizzi le possibilità applicative - rappresenta una soluzione alternativa tra quelle proponibili per la conduzione di sistemi agricoli compatibili con la salute ambientale in senso lato.

Da un punto di vista prettamente agronomico, l'effetto che maggiormente giustifica la consociazione è quello del conseguimento su una stessa superficie di una produzione superiore coltivando una mescolanza di due o più componenti rispetto al caso di una loro coltivazione separata (coltura pura delle componenti in proporzione analoga a quella attuata in consociazione).

Si tratta quindi di perseguire un miglior risultato produttivo attraverso la semplice associazione di biotipi appropriati con disposizione e in proporzione relativa tali da consentire una più completa utilizzazione delle risorse native (spazio-suolo). Lo scopo di raggiungere una migliore efficienza produttiva non impegna per lo più risorse aggiuntive, salvo quelle dedicate ad approfondire le conoscenze sulla reciproca influenza di popolazioni vegetali associate in coltura.

La funzione delle colture di copertura (cover crops) è quella di recare beneficio all'intero agroecosistema attraverso un ricoprimento più uniforme e persistente della superficie destinata alla coltivazione rispetto a quanto si ottiene con la coltivazione delle sole colture pure. Nelle colture arboree specializzate l'introduzione di una fascia erbacea può essere oggi largamente giustificata dalla esigenza di migliorare le prestazioni agroecologiche del sistema in termini di maggiore autonomia e stabilità, di riduzione degli input esterni e dei rischi ambientali e sanitari.

Tabella 3 - Definizione dei principali tipi di sistemi policolturali (da Francis. 1986, modificato)

| POLICOLTURA | intensificazione colturale nello spazio e nel tempo. |
|------------------------------------|---|
| 1. <u>Colture in sequenza</u> | coltivazione di due o più colture per anno in successione sullo stesso campo. L'impianto della coltura successiva è effettuato dopo la raccolta della coltura precedente. L'intensificazione colturale è solo nella dimensione temporale. Non c'è competizione tra le colture. L'agricoltore tratta solo una coltura alla volta sullo stesso campo. |
| 1.1. Coltura doppia | coltivazione di due colture per anno in successione. |
| 1.2. Coltura tripla | coltivazione di tre colture per anno in successione. |
| 1.3. Coltura quadrupla | coltivazione di quattro colture per anno in successione. |
| 1.4. Coltura continua | coltivazione dei ricacci della coltura dopo la raccolta, non necessariamente per granella. |
| 2. <u>Colture in consociazione</u> | coltivazione contemporanea di due o più colture sullo stesso campo. L'intensificazione colturale è sia nello spazio che nel tempo. C'è competizione tra le colture durante tutto o parte del ciclo colturale. L'agricoltore tratta più colture alla volta sullo stesso campo. |
| 2.1 Consociazione mista | coltivazione contemporanea di due o più colture senza disposizione in file o filari. |
| 2.2. Consociazione a file | coltivazione contemporanea di due o più colture, dove una o più colture sono disposte in file o filari. |
| 2.3. Consociazione a strisce | coltivazione contemporanea di due o più colture disposte in strisce di larghezza tale da permettere una coltivazione indipendente ed il mantenimento di interazioni agro-ecologiche. |
| 2.4. Consociazione temporanea | coltivazione di due o più colture contemporanea solo durante parte del loro ciclo. L'impianto di una seconda coltura è effettuato durante una delle fasi del ciclo colturale della prima. |
| 3. <u>Colture in rotazione</u> | coltivazione ciclica di un'ordinata successione di colture sullo stesso campo. Un ciclo richiede usualmente più anni per essere completato. |

Nell'ambito delle coltivazioni erbacee, le colture di copertura possono essere coltivate per ridurre l'intervallo di tempo durante il quale il suolo rimane nudo tra due colture principali. Molto spesso la loro introduzione nel sistema colturale avviene in consociazione temporanea con la specie principale che una volta raccolta lascia la coltura di copertura libera di accrescersi indisturbata. Nella coltura di mais, per esempio, dove lo spazio tra le file è sufficientemente ampio, possono essere traseminate idonee leguminose foraggere, di limitata altezza a maturità (20-30 cm), che hanno lo scopo di controllare le infestanti e apportare azoto nel terreno. Una volta raccolto il mais le leguminose possono permanere per il periodo autunnale ed invernale successivo, fornendo protezione al suolo contro l'erosione, prima di essere eventualmente sovesciate al momento della preparazione del letto di semina per il mais successivo.

Un tipo particolare di consociazione con "cover crop" può essere realizzato intercalando a una o più file di una coltura da granella, ad esempio un cereale autunno-vernino, una banda o striscia di leguminosa foraggera, destinata a rimanere soda, cioè non lavorata. Questo tipo di consociazione

presenta una serie di vantaggi che spaziano dal controllo delle infestanti, all'apporto di sostanza organica e di azoto al terreno, al risparmio di energia sussidiaria per ridotte lavorazioni e trattamenti concimanti e di difesa fitosanitaria.

L'effetto delle consociazioni per granella sul contenimento delle erbe infestanti è ancora di controversa interpretazione. Anche se è logico ammettere che ai maggiori livelli di densità colturale conseguibili con la consociazione corrisponda una più efficace utilizzazione delle risorse e quindi una loro minore disponibilità per le erbe infestanti, lo sviluppo di queste sta pure in stretta relazione con il potere soppressivo nei loro riguardi espresso dai membri in consociazione. Inoltre, si intuisce come sia possibile condizionare anche fortemente lo sviluppo delle piante infestanti ricorrendo a genotipi dotati di maggiore abilità competitiva. Anche il livello di concimazione, in particolare quella azotata, può influire sull'effetto soppressivo della consociazione nei riguardi delle erbe infestanti.

Tradizionalmente le colture che lasciano nel terreno vaste quantità di residui colturali di buona qualità (rapporto C/N stretto), come le leguminose foraggere poliennali in purezza o consociazione, si definiscono "miglioratrici"; al contrario, quelle che lasciano il terreno in condizioni peggiori di fertilità, come i cereali autunno-vernini, si definiscono "depauperanti". I cereali autunno-vernini, oltre al fatto di essere capaci di estrarre molto efficientemente l'azoto minerale dal terreno mediante l'apparato radicale fascicolato superficialmente e capillarmente diffuso, attraversano in ambiente mediterraneo il semestre soggetto alle piogge e quindi il terreno, dopo la loro coltivazione, si presenta dilavato e strutturalmente degradato, cioè ad un basso livello di fertilità. L'alternanza di colture miglioratrici e depauperanti costituisce la base per impostare una corretta rotazione basata sul rinnovo ciclico della fertilità. Il tipo più semplice di rotazione che si possa organizzare in un avvicendamento continuo è l'alternanza di due colture principali (rotazione biennale), in cui una funge da miglioratrice o preparatrice e l'altra da depauperante.

All'interno di una rotazione, tra la raccolta di una coltura principale e la semina della successiva, è possibile attuare in certi casi la coltivazione di specie a ciclo breve, realizzando quella che viene definita una coltura intercalare. Una posizione classica a disposizione per una coltura intercalare è quella di fine rotazione, tra la raccolta (luglio) del cereale autunno-vernino o di altra coltura, e la semina primaverile della coltura da rinnovo che riapre il ciclo. Colture intercalari di questo tipo (a ciclo autunno-vernino) possono essere estremamente utili sia per fornire raccolto che per lasciare sostanza organica nel terreno attraverso i residui radicali. Specialmente in ambiente mediterraneo, dove il semestre autunno-invernale è quello più piovoso, le colture intercalari invernali offrono l'opportunità - in confronto con la prassi corrente di lavorare il terreno e lasciarlo nudo - di convertire la radiazione solare in biomassa e di regimare il decorso delle acque, proteggendo il suolo dall'erosione e dalla perdita di elementi nutritivi (Marinari et al., 2006; Mancinelli et al., 2010b; Marinari et al., 2015; Mancinelli et al., 2015).

Un'altra pratica di particolare rilievo e interesse è quella del sovescio che consiste nella coltivazione di una specie (o di un miscuglio di specie) da destinare all'interramento. È perciò un intervento di diretto trasferimento di energia-materia al suolo sotto forma di biomassa vegetale. Ha lo scopo di attivare la catena di detrito, migliorando le condizioni di abitabilità del terreno e la sua fertilità. Gli effetti dovuti all'interramento della vegetazione fresca sono vari - poiché riguardano tanto gli aspetti biologici che quelli chimici del suolo - che risulta praticamente impossibile discriminarli in funzione del beneficio indotto sulle colture successive ed è del tutto velleitario pensare di surrogarli con semplici sostanze minerali. Con il sovescio viene influenzato in primo luogo il contenuto di sostanza organica del suolo. Per conseguire buoni esiti la pratica del sovescio dovrebbe divenire consuetudinaria, cioè ripetersi con una certa cadenza nel tempo. A questo proposito è necessario distinguere le condizioni agronomiche che ne permettono l'adozione (Mancinelli et al., 2013; Radicetti et al., 2017).

Una alternativa alla pratica del sovescio è quella di sopprimere le colture di copertura mediante lo sfalcio e lasciare la biomassa aerea devitalizzata sulla superficie del suolo come strato pacciamante dove possono essere impiantate colture primaverili-estive in condizioni di minima o nessuna lavorazione del suolo. In questo caso è necessario evitare qualsiasi rischio di competizione tra la coltura pacciamante e la coltura principale. Generalmente si utilizzano come colture pacciamanti

specie autunno-vernine che non sono in grado di ricacciare successivamente allo sfalcio eseguito durante la fase riproduttiva, come la vecchia villosa e il trifoglio sotterraneo (Campiglia et al., 2011a; Campiglia et al., 2011b; Radicetti et al., 2013a; Radicetti et al., 2013b; Radicetti et al., 2016a; Radicetti et al., 2016b; Mancinelli et al., 2019).

3. Produzione integrata di energia e cibo

3.1. Presupposti di base scientifica dei sistemi complessi

Il concetto fondante della progettazione, realizzazione e gestione di una azienda agraria che determini basso impatto ambientale è quello di “agroecosistema sostenibile”, dove la struttura e il funzionamento sono indirizzate alle funzioni di produzione e di protezione reciprocamente integrate sia nel contesto biofisico in quello socioeconomico. La struttura dell’agroecosistema sostenibile, ossia il numero e tipo di componenti che lo caratterizza, determina il suo funzionamento, ossia l’insieme delle interazioni tra i componenti, e quindi le prestazioni finali e l’efficienza dell’intero agroecosistema. La struttura di un agroecosistema sostenibile deve determinare un risultato finale di elevata autonomia, funzionamento ed efficienza, poiché è previsto l’uso di nessun o limitati input esterni di energia-materia (prodotti chimici di sintesi come concimi, erbicidi, insetticidi, fitofarmaci, ecc.), che sono invece consueti nel sostegno produttivo e protettivo in agroecosistemi gestiti in regime di agricoltura convenzionale. Perciò nella gestione sostenibile dell’agroecosistema deve essere comunque garantita una elevata produttività, pur nella condizione di bassa intensità di energia-materia per unità di output. Inoltre, i meccanismi interni di produzione (come la fertilità del suolo) e di protezione (come il controllo biologico delle avversità -infestanti, insetti, patogeni-) devono essere mantenuti integri ed efficienti nel tempo per garantire la stabilità di produzione. Tutte le sopra citate condizioni sono pertinenti al concetto di agroecosistema sostenibile perseguito nella pratica dall’agricoltura a impatto ambientale basso o nullo.

L’interpretazione della realtà che risulta dal concetto di ecosistema e agroecosistema è quella di un processo creativo in atto che si autosostiene grazie all’energia solare, il riciclo della materia e la complessa biodiversità. Questa attitudine innata della natura a produrre si realizza grazie all’intervento di differenti forme biologiche che interagiscono con l’ambiente fisico e che si sostengono troficamente tra loro nei cicli generazionali e mantenendosi indefinitamente pur mutando, determinando uno stato di equilibrio dinamico nel lungo periodo con un trend produttivo ed uno stato di sistema autotrofo. Questo meccanismo di produzione è realizzato non solo quantitativamente ma anche qualitativamente, che ha prodotto come ultimo termine evolutivo l’uomo il quale della natura è l’autocoscienza. Nella strategia di ecosviluppo della natura, dove nulla di artificiale esiste, c’è allo stesso tempo sostenibilità e innovazione creativa per cui si suggerisce che questa strategia debba essere “mimata” anche nei sistemi organizzati dall’uomo, come agroecosistemi (Lefroy e al, 1999). Con tali presupposti scientifici l’agroecologia mira alla comprensione e alla piena valorizzazione delle leve naturali, organismi e processi per potenziare la produzione negli agroecosistemi.

La realtà è un continuum spazio-temporale, tuttavia è articolabile in unità di studio o di gestione gerarchicamente collegate. Nella situazione agraria è possibile distinguere una sequenza gerarchica di agroecosistemi a livello locale, dal campo coltivato (agroecosistema sottoaziendale), all’insieme di aziende locali, fino al comprensorio agricolo regionale (agroecosistema sovraaziendale) in cui esistono evidenti collegamenti biofisici e socioeconomici che determinano il risultato finale in un continuum di organizzazione territoriale che si estende dalla micro alla macroscale, dall’orizzonte della rizosfera a quello del paesaggio territoriale. Il livello di organizzazione dell’azienda agraria è quello più significativo, perché rappresenta il risultato del momento decisionale dell’attività agraria espresso in un ben circoscritto limite territoriale, quello dei confini aziendali, dove si materializza l’interazione tra le esigenze sociali e i limiti imposti dall’ecosistema nativo. Nella situazione di globalizzazione attuale, di informazione e di mercato, a livello locale si concretizzano ormai sollecitazioni di provenienza planetaria. Nella gerarchia degli agroecosistemi, gli ordini gerarchici superiori, più comprensivi, impongono vincoli su quelli sottostanti che, nel rispetto dei principi di sostenibilità, si devono adeguare al contesto imposto attraverso soluzioni di adattamento. Ad esempio, il regime

climatico dell'ambiente mediterraneo impone vincoli per l'adozione delle colture e degli animali in allevamento diversi da quelli di altri climi, così come il clima di montagna impone soluzioni diverse rispetto al clima di pianura. Il quadro socioeconomico definito dalle leggi impone altri vincoli, cosicché chi aderisce al regime di agricoltura biologica o a quella di agricoltura integrata definiti per legge deve rispettare gli standard di produzione. Nel loro complesso, gli standard di produzione in regime di agricoltura biologica o a quella di agricoltura integrata mirano a realizzare un agroecosistema sostenibile a livello aziendale, poiché i processi produttivi interessati sono quelli aziendali.

Se il focus della progettazione, realizzazione e gestione in accordo ai principi di sostenibilità sarà posto sull'intero agroecosistema a livello aziendale, anche i suoi sottosistemi (sistemi colturali, sistemi di allevamento animale e sistemi infrastrutturali intraaziendali come siepi, aree boscate, ecc.) risulteranno necessariamente integrati nei fini della sostenibilità intra- ed interaziendale in termini di potenzialità produttiva quantitativa e qualitativa. Il principio cardine che dovrebbe guidare l'organizzazione di un agroecosistema ai fini della sostenibilità è quello di garantire il massimo livello di biodiversità possibile tenendo a buon conto anche le posizioni e i ruoli delle componenti abiotiche native e inserite dall'uomo nel management in rapporto al fine perseguito di una produttività netta (suscettibile di raccolto) stabile in un determinato contesto ambientale.

3.2. Concettualizzazione del processo decisionale nella progettazione dell'agroecosistema sostenibile in un "sistema consociato complesso"

A causa delle esigenze legate ai fabbisogni di sussistenza e di sviluppo delle attività antropiche (agricoltura, industria, urbanizzazione, trasporti, energia, ecc.) sono stati effettuati interventi a differenti livelli di incidenza nelle modificazioni degli ecosistemi originari, trasformarli in agroecosistemi di coevoluzione che strutturalmente e funzionalmente variano in funzione del grado di interferenza dell'azione umana. L'interferenza umana però non è solo spontanea ma è soprattutto e quasi esclusivamente voluta in quanto è volontariamente guidata in funzione di obiettivi perseguiti. L'insieme delle interferenze intenzionali esercitate sugli agroecosistemi sono funzione degli obiettivi attesi e determinano la regolazione e/o controllo degli stessi. Il tipo di controllo messo in atto dipende dagli obiettivi che sono stati prefissati. Mentre il problema degli obiettivi è un problema culturale e muta in rapporto al grado di maturazione della società, quello della implementazione del controllo investe invece problemi metodologici e problemi tecnici relativi ai meccanismi stessi di controllo messi in atto per modificare struttura e funzionamento degli agroecosistemi. La regolazione e/o controllo è un grado di interferenza programmato, che però non può prevedere tutta la gamma di risposte dell'agroecosistema in quanto funziona già attraverso una propria singolare strategia di sviluppo indipendente, che inoltre è influenzata da eventi solo in parte prevedibili (clima, pedologia, orografia dei luoghi, comportamento dei viventi presenti nella comunità). Pertanto un insieme di effetti inintenzionali o imprevedibili accompagna sempre ogni azione di regolazione e/o controllo degli agroecosistemi. Tuttavia, è innegabile che il grado di regolazione o controllo diventi tanto più consapevole e attendibile quanto maggiore è la conoscenza acquisita sulla gamma di reazione dell'agroecosistema.

Le azioni di regolazione e/o controllo degli agroecosistemi, attraverso le scelte operate sulle componenti biotiche e abiotiche presenti, interferiscono direttamente e indirettamente sulla produttività complessiva. La produttività di un agroecosistema come un'azienda agraria dipende dall'interazione di tutti i fattori naturali e di quelli antropici che concorrono alla sua gestione. Questa proprietà riguarda la capacità degli agroecosistemi di intercettare l'energia solare sui campi presenti all'interno di essi e accumularla sotto differenti forme, successivamente sfruttabile per ulteriori trasformazioni a beneficio dell'uomo. Ogni campo coltivato può essere considerato una "centrale solare" che, per gli organismi vegetali, funziona attraverso il fenomeno della fotosintesi. All'interno dei campi coltivati, nella progettazione degli agroecosistemi, possono essere introdotte anche componenti abiotiche, correttamente strutturate e organizzate in consociazione con le colture (componenti biotiche), in grado di intercettare la radiazione solare insieme alle componenti biotiche

e accumularla sotto differenti forme a vantaggio e uso dell'uomo. Questo modello di agroecosistema può essere definito "sistema consociato complesso" presenta notevoli vantaggi in termini di sfruttamento ed efficienza d'uso delle risorse native, in particolare della radiazione solare, e, conseguentemente consente di rafforzare la resilienza delle fonti di energia rinnovabili e la sicurezza della produzione alimentare (Fig. 1). Questa è una nuova concezione di approcciare la progettazione e gestione di un agroecosistema realizzato come un "sistema consociato complesso" che consente di contribuire anche a incrementarne le caratteristiche e il livello di sostenibilità. Infatti, la concezione di sostenibilità è riconducibile anche alla proprietà più complessa degli agroecosistemi e riguarda la capacità di mantenere la produttività a lungo termine, in rapporto sia alle condizioni interne che esterne di organizzazione. Invero, la produttività a lungo termine è mantenuta se i meccanismi naturali che la permettono non vengono compromessi, se i processi produttivi non generano inquinamento e se le influenze esercitate dalle forze culturali e socioeconomiche esterne non sono lesive per la struttura e funzionalità degli agroecosistemi stessi. Più in generale, per la sua sinteticità, ossia capacità di riassumere i diversi aspetti che compongono la multifunzionalità dei sistemi di attività umana, il concetto di sostenibilità si è imposto nell'uso comune per denotare il modello di sviluppo ideale da perseguire per l'umanità, ossia lo sviluppo sostenibile e/o coevoluzionario (*harmony with nature development*).

La progettazione, realizzazione e gestione di agroecosistemi strutturati come "sistemi consociati complessi" in cui coesistono componenti biotiche che intercettano la radiazione solare e la accumulano sotto forma di biomasse (cibo) e componenti abiotiche che intercettano la radiazione solare e la accumulano sotto forma di energia (elettricità) prende il nome definito "Agrivoltaico". Questa tipologia di strutturazione delle componenti biotiche e abiotiche per lo sfruttamento della radiazione solare consente, come nel caso delle consociazioni tra specie vegetali differenti, di incrementare l'efficienza d'uso e accumulo dell'energia proveniente dal sole. Determinando conseguentemente vantaggi intrinseci ed estrinseci in termini di sostenibilità anche incrementata delle attività antropiche, poiché, da una parte si mette in atto la produzione di agroalimenti e dall'altra si mette in atto la produzione di energia elettrica evitando il consumo di suolo come avviene quando si realizza come struttura specializzata industriale.

Il terreno agricolo è un fattore limitante e la sua disponibilità è in continua diminuzione, pertanto, le molteplici finalità di uso del suolo alimentano concorrenza. La richiesta di terreni agrari produttivi è in aumento con la crescita della popolazione, mentre l'attenzione verso sistemi di energia pulita e un'economia basata sul rispetto ambientale determinano in una ulteriore richiesta di terreni. Allo stesso tempo, le politiche di conservazione della biodiversità richiedono che la terra sia messa da parte o gestita specificamente per aumentare la ricchezza delle specie. I sistemi a duplice uso del suolo sono una possibile strategia per alleviare la pressione sulla terra e stanno quindi diventando sempre più rilevanti. Secondo uno studio che ha effettuato un quadro analitico per stimare l'economia e il potenziale di adozione dei sistemi di duplice uso del suolo, i quali tengono conto dei compromessi e delle sinergie specifici del sistema agricolo, l'Agrivoltaico è un sistema a duplice uso del suolo con la capacità di determinare un elevato livello di efficienza nell'uso del suolo. Al fine di verificare tale presupposto e definire i livelli di vantaggi, è stato anche messo a punto un modello di analisi utile a differenti livelli di scala (Feuerbacher et al., 2021).

3.3. Agroecosistema come Agrivoltaico

Il conflitto nell'uso del suolo determinato dalla crescita di interesse verso impianti solari fotovoltaici con la produzione agraria può essere risolto utilizzando la concezione di Agrivoltaico, concepito come co-sviluppo su una superficie di suolo sia per il fotovoltaico sia per l'agricoltura. L'Agrivoltaico (o anche talora chiamato agrovoltaico) unisce la produzione di cibo (agricoltura) e di energia rinnovabile (fotovoltaico), in una sinergia collaborativa da cui entrambi ne traggono beneficio, incrementando l'efficienza d'uso della radiazione solare (Figura 6 e 7).

Figura 6 - Esempio di impianto Agrivoltaico con colture erbacee



Figura 7 - Esempio di impianto Agrivoltaico con coltura arborea inerbita



L'integrazione tra fotovoltaico e agricoltura è stata proposta per la prima volta da Goetzberger e Zastrow (1982) che hanno eseguito un esercizio di modellazione per calcolare la disposizione ottimale dei pannelli per la raccolta solare. Inizialmente erano i campi fotovoltaici ovvero distese di pannelli solari più o meno vaste che di fatto sottraevano terre alle attività agricole e/o pastorali. La sostituzione delle aree agricole con pannelli fotovoltaici ha portato a battaglie e azioni di contrasto da parte di amministrazioni locali e comitati cittadini che ne hanno impedito la diffusione su vasta scala. Dalla necessità di tutelare il patrimonio agricolo dall'eccessivo sviluppo di impianti fotovoltaici con moduli collocati a terra, il Legislatore italiano ha di fatto vietato tale tipologia di impianti localizzati nelle aree agricole e il conseguente accesso agli incentivi per la produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili, tale divieto è stato disposto mediante l'articolo 65 del Decreto Legge n. 1 del 24 gennaio 2012. Tuttavia, il Decreto Legge n. 77 del 31 maggio 2021 (c.d. "Decreto Semplificazioni-bis") è intervenuto in materia di produzione energetica da fonti rinnovabili con l'obiettivo di bilanciare la tutela dell'attività agricolo-pastorale con la necessità di incrementare la capacità di produzione di energia tramite impianti fotovoltaici, fondamentale per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione dell'intero sistema elettrico nazionale. Nello specifico, l'articolo 31, comma 5 del Decreto Semplificazioni-bis, ha introdotto una deroga al generale divieto di accesso agli incentivi per gli impianti fotovoltaici localizzati in aree agricole. Questa deroga si applica agli impianti connotati da soluzioni integrate innovative, caratterizzate dal montaggio dei moduli elevati da terra, eventualmente muniti di sistemi di tracciamento che consentano la rotazione degli stessi, in modo da non compromettere la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale (c.d. "impianti Agrivoltaici").

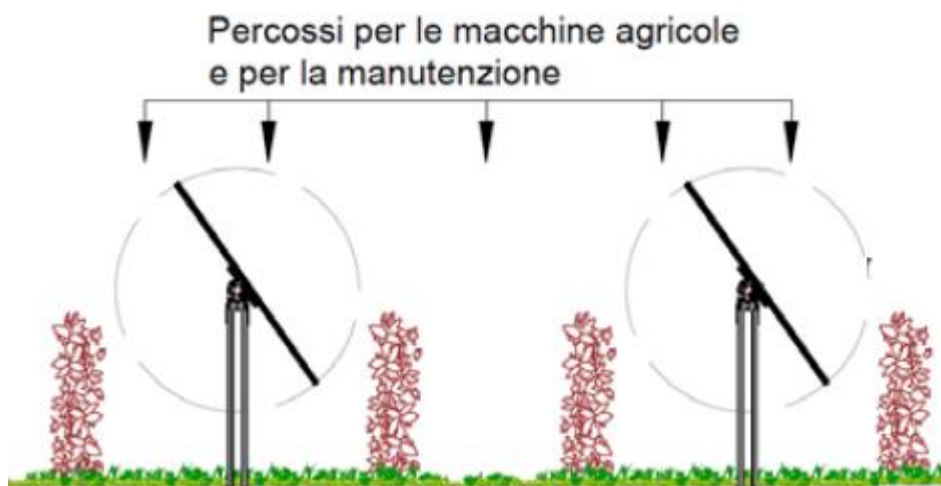
Lo sviluppo dell'uso di fonti di energia rinnovabile è priorità fondamentale per l'Unione Europea, finalizzata alla decarbonizzazione del sistema energetico e una maggiore sicurezza dell'approvvigionamento. È ampiamente riconosciuto che tra le energie rinnovabili, a soluzione fattibile a breve e lungo termine contro i cambiamenti climatici, la generazione di elettricità attraverso impianti fotovoltaici fornisce notevoli benefici ambientali rispetto a quelli convenzionali (fossile) produzione di energia. Esiste una relazione molto stretta tra i sistemi di produzione energetica e lo spazio poiché l'energia crea aree geografiche specifiche perché ha bisogno di spazio, il sito di produzione, il canale di trasporto, l'ambiente per il consumo, e il luogo di accumulo.

In contrasto con i combustibili fossili tradizionali, le fonti di energia rinnovabile, e i grandi siti di centri fotovoltaici in particolare, rendono le trasformazioni del paesaggio visibili perché i centri di generazione energetici sono siti nei pressi dei luoghi in cui le persone vivono. Il paesaggio è lo spazio attraverso il quale avviene la percezione della produzione di energia da fonti di energia rinnovabile, e l'accettazione sociale delle fonti di energia rinnovabile passa quindi anche attraverso l'approvazione di un determinato paesaggio modificato. L'uso del suolo rappresenta uno dei più importanti effetti dell'attività antropica sugli ecosistemi e agroecosistemi; il settore energetico incide e limita gli usi alternativi del territorio; assimilazione, conversione, stoccaggio, e trasporto energia rinnovabile sarà uno degli usi del territorio più importanti XXI secolo. Poiché l'impatto ambientale degli impianti fotovoltaici su larga scala è vantaggioso rispetto ad altre tecnologie di generazione di energia elettrica, è solo di recente, con l'aumento del numero e delle dimensioni degli impianti, che l'attenzione ai loro impatti in termini di uso e trasformazione del territorio è cresciuta. Infatti, contrariamente ai sistemi in cui l'impianto fotovoltaico è integrato negli edifici o nelle infrastrutture, che non hanno impatto sull'uso del suolo, la realizzazione di pannelli fotovoltaici montati a terra richiede spazi adeguati e pratiche di conversione e gestione del territorio che possano produrre cambiamenti notevoli nell'uso del suolo. L'effetto negativo di grandi impianti fotovoltaici sul paesaggio può determinare modifiche delle funzioni ecologiche e delle strutture, che potrebbero essere paragonabili all'espansione urbana, e influenzare i beni e i servizi ecosistemici. La principale preoccupazione riguarda il paesaggio agrario, poiché per gli impianti fotovoltaici sono da preferire vaste aree pianeggianti di terreno agrario, in quanto se il terreno è normalmente pianeggiante, i costi di costruzione e manutenzione sono inferiori rispetto alle aree non pianeggianti. Inoltre, generalmente i terreni agricoli sono ben esposti all'irraggiamento solare, sono accessibili e vicini ai centri di energia elettrica. La società sta

affrontando nuove sfide per quanto riguarda la generazione di energia da fonti di energia rinnovabile, e la definizione di obiettivi energetici non assicura solo che questi saranno in realtà raggiunti. Per sfruttare le potenzialità progettuali sono necessari nuovi approcci, poiché nella pratica attuale l'energia e la progettazione dello spazio sono trattati spesso in ambiti del tutto separati. È stato ampiamente riconosciuto che una visione ristretta della domanda e dell'offerta di energia può essere considerata solo come un punto di vista riduzionista e che il concetto di "paesaggio energetico" è utile quando si affrontano queste nuove sfide. I paesaggi energetici stabiliscono un collegamento tra le visioni basate sulla fisica sui beni energetici e la loro impronta spaziale con una mano e la percezione dei cittadini sullo spazio geografico sull'altro. Tali paesaggi energetici possono essere un valido concetto intuitivo per la pianificazione territoriale e possono fornire capacità di analisi spaziale e metodi con cui pianificare indirizzi d'azione. (Scognamiglio, 2016). Il "paesaggio energetico sostenibile" è quel paesaggio che può evolversi sulla base di fonti energetiche rinnovabili disponibili localmente senza compromettere la qualità del paesaggio stesso, la biodiversità, la produzione alimentare e altri servizi ecosistemici di supporto alla vita. Il concetto di sostenibilità per il paesaggio in cui si sviluppano centri di produzione energetica cambia rispetto al tempo e alle condizioni locali specifiche. Secondo la Convenzione Europea del Paesaggio per "paesaggio" si intende un'area, come percepita dalle persone, le cui caratteristiche sono il risultato dell'azione e dell'interazione di fattori naturali e/o umani.

Un impianto Agrivoltaico, correttamente progettato nella strutturazione della componente per la produzione di energia e nella componente per la produzione di cibo, si realizza senza costi aggiuntivi per l'attività agricola in quanto i pannelli fotovoltaici adottati sono dotati di tracker monoassiali che consentono di inseguire la traiettoria della radiazione solare evitando l'ombreggiamento permanente di una parte del suolo e posti a un'altezza e a una distanza tali da non incidere sulla normale attività agricola, ma che anzi possono favorire la componente biotica. L'adozione di pannelli con tracker monoassiali consente una maggiore efficienza di intercettazione dell'energia solare stimata con un aumento del 20% dell'energia prodotta e, se installati su aree incolte, mettono a disposizione dell'imprenditore agricolo risorse per avviare produzioni alimentari non competitive (Figura 8).

Figura 8 - Schema di Agrivoltaico con coltura arborea inerbita.



Possono inoltre rappresentare la base su cui costituire una comunità di energia rinnovabile. Tali soluzioni potranno, inoltre, utilizzare strumenti di agricoltura digitale e di precisione, in un'ottica non solo di piena integrazione tra la produzione di energia e l'attività agricola, ma anche di promozione della competitività del settore agricolo, riducendo i costi di approvvigionamento energetico e stimolando al contempo lo sviluppo di nuove tecniche colturali. Il perseguimento di dette finalità emerge, in particolare, da un'ulteriore condizione introdotta dalla normativa, ai sensi della quale l'accesso ai regimi incentivanti da parte di tali impianti è subordinato all'implementazione di sistemi di monitoraggio che consentano di verificare l'impatto sulle colture, sulla loro produttività, sul

risparmio idrico e sulla continuità delle attività delle aziende agricole interessate. Le disposizioni del Decreto Semplificazioni-bis in materia di impianti Agrivoltaici costituiscono una prima attuazione di quanto previsto dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) attraverso il primo punto della missione Energia Rinnovabile, Idrogeno, Rete e Mobilità Sostenibile (M2C2) cui vengono dedicati in totale 23,78 miliardi di Euro. In particolare, la voce “Incrementare la quota di energia prodotta da fonti di energia rinnovabile” attribuisce alla promozione dello sviluppo di impianti Agrivoltaici un ruolo strategico, prevedendo un investimento di 1,1 miliardi di euro per raggiungere l'obiettivo di installare 1,04 GW di potenza prodotta da tale tipologia di impianti, con la duplice finalità di contribuire alla sostenibilità ambientale ed economica delle aziende agricole e di aumentare la quota di generazione fotovoltaica nel mix energetico nazionale. Da queste cifre appare chiaro come L'Agrivoltaico sia ritenuto un elemento chiave per raggiungere obiettivi previsti nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 (PNIEC) molto difficili da conseguire e che lo saranno ancor più dopo la revisione al rialzo che sarà necessaria alla luce dell'innalzamento del target europeo di riduzione delle emissioni di CO₂ ad almeno il 55% proposto dal Parlamento nell'ambito della Legge sul Clima e che ha trovato recentemente accordo tra Parlamento e Consiglio. L'investimento si pone il fine di rendere più competitivo il settore agricolo, riducendo i costi di approvvigionamento energetico, e migliorando al contempo le prestazioni climatiche-ambientali. L'obiettivo dell'investimento è installare a regime una capacità produttiva da impianti Agrivoltaici di 1,04 GW, che produrrebbe circa 1.300 GWh annui, con riduzione delle emissioni di gas serra stimabile in circa 0,8 milioni di tonnellate di CO₂.

Analizzando con maggiore dettaglio l'Agrivoltaico combina la produzione di elettricità fotovoltaica (FV) con l'attività agricola e ha il potenziale per mitigare la crisi climatica e aiutare l'agricoltura ad adattarsi a un clima che cambia. Oggigiorno i dati ci dicono che viviamo in un mondo con oltre 578 GWp di capacità fotovoltaica installata, ma oltre il 90% di tale capacità viene installata a terra o sui tetti. Negli ultimi anni si è assistito alla crescita di approcci innovativi e integrativi come il fotovoltaico galleggiante sull'acqua o il fotovoltaico integrato negli edifici, tuttavia l'Agrivoltaico rappresenta ancora solo circa lo 0,5% della capacità fotovoltaica installata a livello mondiale. Il concetto stesso può essere semplice: pannelli solari sollevati sufficientemente in alto sopra i terreni coltivati per facilitare le attività agricole sottostanti. Rispetto ai tradizionali progetti fotovoltaici, l'aumento degli investimenti iniziali, principalmente legati alla struttura di supporto che è elevata e adattata al contesto agricolo, rende l'Agrivoltaico attraente dal punto di vista ambientale, interessante dal punto di vista agrario ed economico. Tuttavia a causa della fase iniziale di sviluppo dei sistemi Agrivoltaici, esiste ancora il potenziale per migliorare gli aspetti tecnici ed economici. La sola considerazione dell'economia del fotovoltaico non rende giustizia agli effetti sinergici che l'Agrivoltaico può avere sull'agricoltura. I sistemi Agrivoltaici, nei quali l'attività agricola è combinata con i pannelli solari fotovoltaici rialzati, offrono vantaggi per la sicurezza alimentare, energetica e idrica, il tutto sulla stessa superficie di terreno, evitando la rimozione della vegetazione e il degrado del suolo associato.

L'impianto Agrivoltaico è una soluzione all'intensa competizione per le risorse del territorio tra la produzione di cibo e di energia. Sono diversi gli esperimenti che mostrano un potenziale immenso di sistemi Agrivoltaici implementati con molte colture tolleranti all'ombra. I risultati hanno rilevato che facendo riferimento alle tariffe elettriche residenziali negli Stati Uniti come valore dell'elettricità generata da radiazione solare si crea un incremento di oltre il 30% di valore nelle aziende che gestiscono sistemi Agrivoltaici rispetto a una gestione agraria convenzionale. Se vengono utilizzate colture tolleranti all'ombra, le riduzioni delle rese vengono ridotte al minimo (Dinesh e Pearce, 2016). Il sistema Agrivoltaico sembra in grado di produrre impatti positivi anche su molti stakeholder. Infatti, l'impiego di particolari sistemi Agrivoltaici per migliorare ulteriormente la sicurezza energetica sarebbe efficace per aumentare l'impatto positivo di un impianto Agrivoltaico. Per mitigare invece l'eventuale impatto negativo percepito dell'impianto Agrivoltaico (Irie et al., 2019) sono raccomandati:

- la fornitura di informazioni agli operatori agricoli con esempi specifici e di esiti economici favorevoli, le indicazioni sulle buone pratiche agricole da adottare in tale contesto, e la corretta gestione dell'impianto attraverso specifiche tipologie di Agrivoltaico;
- l'individuazione di specifiche adeguate tipologie di Agrivoltaico che genererebbero impatti economici e implementativi positivi e non negativi;
- lo svolgimento di attività di sensibilizzazione verso soluzioni di sistemi Agrivoltaici corretti.

Nella fase di ideazione e progettazione di sistemi consociati complessi Agrivoltaici è necessario approcciare lo studio con presupposto olistico ossia sistemico, così come dettato dalla scienza agroecologica. In altri termini bisogna costruire la attuazione pratica con la concretizzazione del presupposto agroecologico, al fine di determinare soluzioni con obiettivi soddisfacenti e in linea verso sistemi Agrivoltaici effettivamente sostenibili, i quali colmano nell'insieme le esigenze di carattere ambientale, economico e sociale. In questo processo di ideazione e progettazione di sistemi complessi Agrivoltaici bisogna tenere bene in considerazione i principi ecologici insieme ai principi socioeconomici bene armonizzati tra loro nella concreta realizzazione e validità nel lungo periodo. I principi ecologici hanno sempre svolto un ruolo chiave in agroecologia, tanto per gli scienziati quanto per i professionisti e i movimenti sociali. Sono usati come guida per progettare pratiche agroecologiche, per discutere i percorsi di transizione e per comprendere il funzionamento dei sistemi agrari complessi. La scienza dell'agroecologia avviò le definizioni sui principi ecologici principalmente partendo dalla sintesi dei presupposti ecologici e agronomici e poi con l'identificazione di principi ecologici da applicare alla progettazione dei sistemi agrari. Più recentemente, dagli agroecologi sono stati riassunti in sei principi ecologici che riguardano il riciclaggio della biomassa, il rafforzamento della resilienza attraverso la gestione ecologica di parassiti e malattie, il miglioramento delle condizioni favorevoli del suolo per la crescita delle piante, la riduzione al minimo delle perdite di risorse, la promozione della diversificazione a livello di specie e genetica e il potenziamento delle sinergie e interazioni biologiche (Tabella 4). Oggi questi principi ecologici sono ampiamente riconosciuti come base dell'agroecologia e alcuni scienziati li hanno anche adattati in modo più specifico, come ad esempio alla produzione animale e ai sistemi di allevamento animale. A livello multiscala e di landscape, gli indicatori / principi ecologici sono più difficoltosi da definire rispetto agli indicatori socioeconomici e, i principi ecologici, non dovrebbero essere interpretati in modo restrittivo. Originariamente sono stati ideati e progettati a livello di sistema agrario ma alcuni principi ecologici potrebbero ispirare la definizione delle caratteristiche dei sistemi agroecologici a differenti livelli, come quello di sistema alimentare. Ad esempio, un sistema alimentare "agroecologico" potrebbe ottimizzare la logistica per favorire il riciclaggio e potrebbe ridurre al minimo l'uso di input esterni (es. benzina, plastica) (Dumont et al., 2021).

L'agroecologia è emersa non solo dalla preoccupazione per l'impatto ambientale negativo dei modelli agricoli industriali sviluppati dopo la seconda guerra mondiale, ma anche dalla preoccupazione per la situazione sociale ed economica dei piccoli agricoltori nel contesto della modernizzazione dell'agricoltura. Quindi, i principi ecologici nella scienza dell'agroecologia sono stati ideati e progettati per proteggere sia l'ambiente che gli agricoltori. Ad esempio, la diversificazione dei sistemi agricoli aumenta la resilienza dell'ecosistema, fornendo un cuscinetto contro parassiti e malattie, che a sua volta può aiutare gli agricoltori a mantenere la loro indipendenza dai mercati e proteggerli dagli shock socioeconomici. I principi socioeconomici devono essere applicati a un sistema chiaramente definito, specificatamente un sistema agricolo o alimentare.

Rosset e Altieri (2017, pp. 19–21) riassumono il ruolo dei principi ecologici come segue:

"Gli agroecologi utilizzano principi ecologici consolidati per la progettazione e la gestione di agroecosistemi diversificati, in cui gli input esterni sono sostituiti da processi naturali come la fertilità naturale del suolo, l'allelopatia e il controllo biologico. Quando applicati in un determinato luogo, i principi assumono diverse forme o pratiche tecnologiche a seconda delle esigenze socioeconomiche locali degli agricoltori e delle loro circostanze biofisiche, delle risorse disponibili, ecc. Una volta applicate, le pratiche mettono in moto interazioni ecologiche che guidano i processi chiave per la funzione dell'agroecosistema (ciclo dei nutrienti, disinfestazione, produttività, ecc.)."

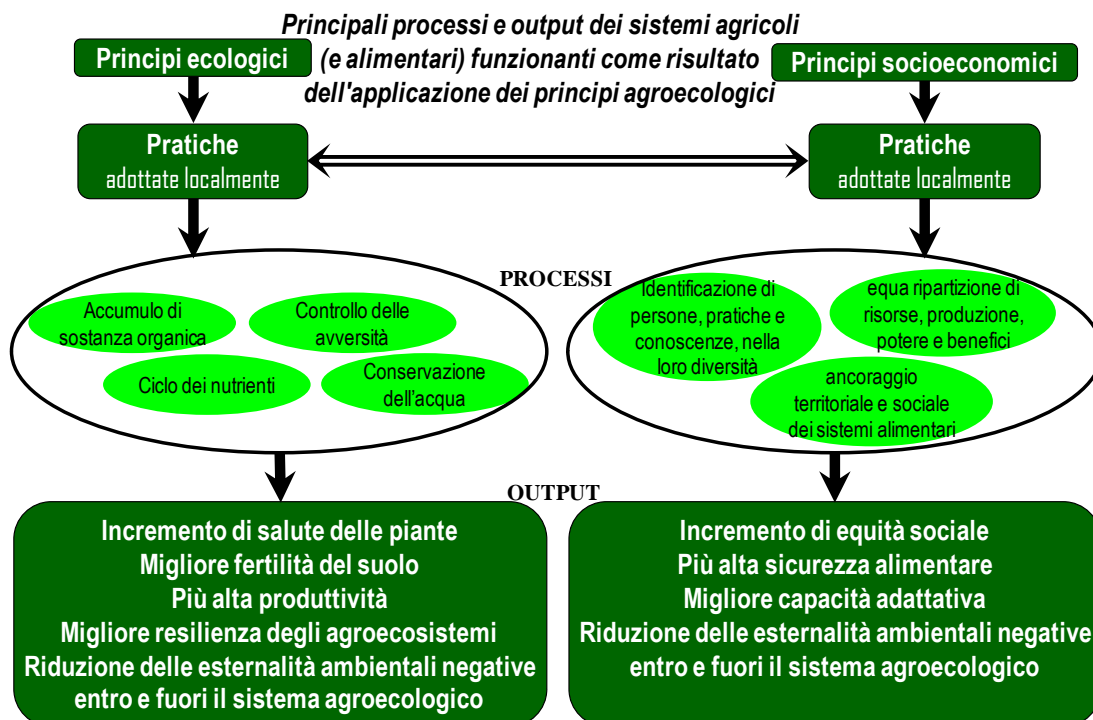
Ogni pratica è legata a uno o più principi, contribuendo così alla loro manifestazione in funzione degli agroecosistemi."

Nel loro insieme, questi processi migliorano la salute delle piante, migliorano la fertilità del suolo, aumentano la produttività totale e migliorano la resilienza generale dell'agroecosistema (Rosset e Altieri, 2017). Allo stesso modo, i principi socioeconomici suggeriti (Tabella 4) assumono forme e pratiche diverse se applicati in luoghi diversi. La letteratura scientifica suggerisce che queste pratiche guidano i processi chiave per il funzionamento dei sistemi alimentari: distribuzione equa delle risorse, potere politico e benefici economici e sociali tra gli attori del sistema e con le generazioni future, riconoscimento dei vari contributi, conoscenze e pratiche preferite degli attori. Questi processi portano equità sociale e sicurezza alimentare e migliorano la capacità di adattamento del sistema agricolo (o alimentare) (Figura 9).

Tabella 4 - Principi ecologici e principi socioeconomici nell'approccio agroecologico (Dumont et al., 2021)

| <i>Principi Ecologici</i> | <i>Principi Socioeconomici</i> |
|--|--|
| Migliorare il riciclaggio della biomassa, al fine di ottimizzare la decomposizione della materia organica e il ciclo dei nutrienti nel tempo | Offrire buone condizioni di vita e di lavoro agli operatori agrari del sistema definito, anche attraverso l'utilizzo dei profitti ottenuti dall'attività economica per remunerare i lavoratori e raggiungere obiettivi sociali piuttosto che massimizzare il ritorno sul capitale investito |
| Contribuire alle condizioni del suolo più favorevoli per la crescita delle piante, in particolare gestendo la sostanza organica e migliorando l'attività biologica del suolo | Partecipare allo sviluppo dell'integrazione sociale dei sistemi alimentari attraverso reti di agricoltori, consumatori, divulgatori e reti scientifiche che supportano gli scambi di input organici (ad esempio compost, macchine, conoscenza) e lo scambio di output basato sull'economia solidale |
| Ridurre al minimo le perdite di energia, acqua, nutrienti e risorse genetiche migliorando la conservazione e la rigenerazione del suolo e delle risorse idriche e l'agrobiodiversità | Contribuire allo sviluppo dei sistemi alimentari locali, promuovendo l'occupazione e le tecnologie locali, riducendo al minimo le distanze tra le fasi di produzione, trasformazione e commercializzazione e promuovendo l'accesso fisico, intellettuale ed economico ai mercati locali |
| Rafforzare il "sistema immunitario" dei sistemi agricoli attraverso il potenziamento della biodiversità funzionale (nemici naturali, antagonisti, ecc.), creando habitat adeguati | Creare conoscenza collettiva riconoscendo il valore della conoscenza e del know-how tradizionale, empirico, scientifico e facilitando i loro scambi tra attori che applicano l'agroecologia, anche tra pari e tra generazioni |
| Diversificare le specie e le risorse genetiche nell'agroecosistema nel tempo e nello spazio a livello di campo e di paesaggio | Prendere decisioni basate su modelli democratici che implicano relazioni di potere equilibrate tra attori del sistema, scambi orizzontali, relazioni trasparenti, discriminazione non razziale, sessuale, di genere, religiosa e culturale e nessuna decisione basata sul patrimonio dei membri |
| Migliorare le interazioni e le sinergie biologiche benefiche tra i componenti dell'agrobiodiversità, promuovendo così processi e servizi ecologici chiave | Garantire autonomia in termini di fattibilità e processo decisionale da mercati, attori economici (es. clienti, imprese agroalimentari) e politiche (es. sussidi) a monte e a valle del sistema, e più in particolare da attori esterni all'approccio agroecologico Partecipare ad azioni politiche per promuovere i principi agroecologici e le condizioni delle loro applicazioni |

Figura 9 - I principi socioeconomici ed ecologici dell'agroecologia prendono la forma di diverse pratiche adattate localmente. Queste pratiche guidano i processi chiave e producono risultati finali. (modificato da Nicholls et al., 2016)



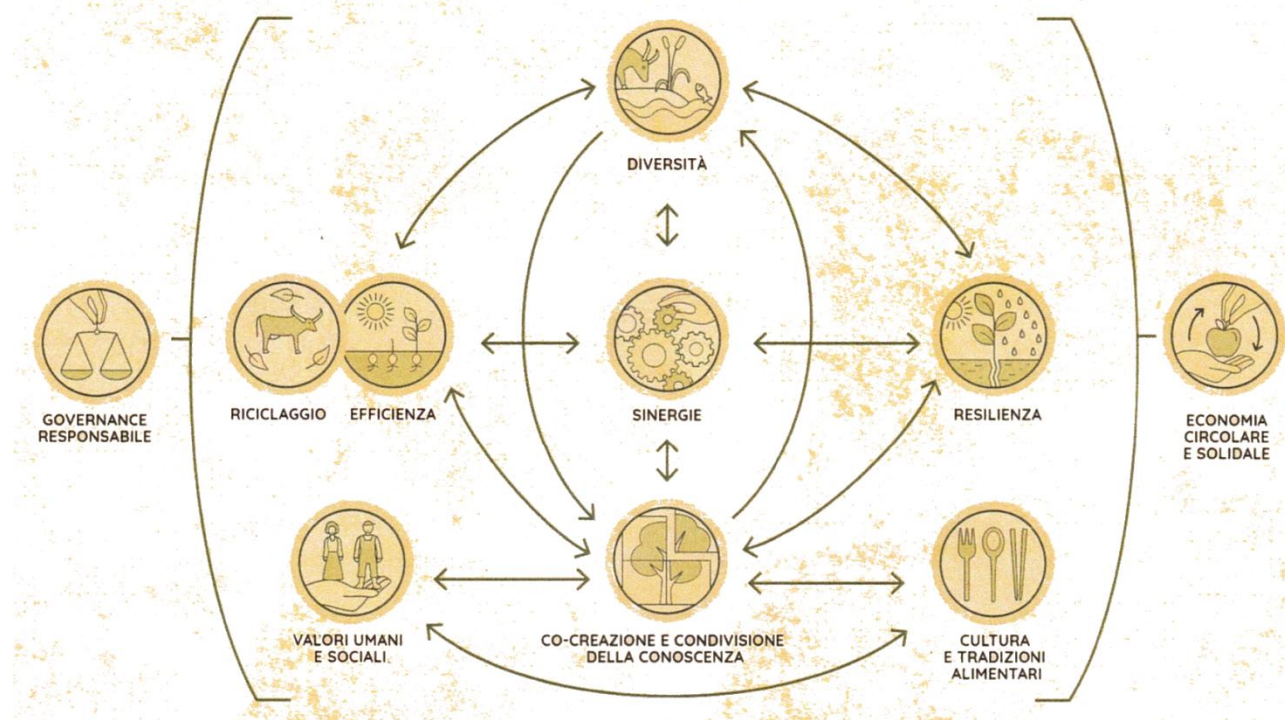
Anche la FAO, in aprile 2018 in occasione Simposio Internazionale sull'Agroecologia, ha definito i 10 elementi di approccio agroecologico nell'agroecosistema a ogni livello di scala, come guida a uno dei modi per promuovere l'agricoltura sostenibile e i sistemi alimentari. I 10 elementi di approccio agroecologico sono stati il risultato di un processo multi-stakeholder volto a generare un quadro di riprogettazione del sistema da ottimizzare e adattare ai contesti locali. I temi iniziali di spicco che hanno generato il decalogo e hanno fornito una struttura iniziale coerente hanno riguardato: riciclaggio, efficienza, diversità, resilienza e sinergie come caratteristiche ecologiche. Successivamente sono stati generati ulteriori elementi riguardanti: co-creazione della conoscenza; valori umani e sociali; cultura e tradizioni alimentari; governo responsabile; ed economia circolare e solidale. I dieci elementi di approccio agroecologico nella progettazione e gestione di sistemi sostenibili sono:

- Diversità: la diversificazione è fondamentale per le transizioni agroecologiche per garantire la sicurezza alimentare e la nutrizione conservando, proteggendo e valorizzando le risorse naturali.
- Co-creazione di conoscenze e approcci transdisciplinari per l'innovazione: Co-creazione e condivisione della conoscenza: le innovazioni agricole rispondono meglio alle sfide locali quando sono co-create attraverso processi partecipativi.
- Sinergie: la creazione di sinergie migliora le funzioni chiave nei sistemi alimentari, supportando la produzione e molteplici servizi ecosistemici.
- Efficienza: pratiche agroecologiche innovative producono di più utilizzando meno risorse esterne.
- Riciclaggio: più riciclo significa produzione agricola con minori costi economici e ambientali.
- Resilienza: una maggiore resilienza di persone, comunità ed ecosistemi è la chiave per sistemi alimentari e agricoli sostenibili.
- Valori umani e sociali: proteggere e migliorare i mezzi di sussistenza rurali, l'equità e il benessere sociale è essenziale per sistemi alimentari e agricoli sostenibili.
- Cultura e tradizioni alimentari: sostenendo diete sane, diversificate e culturalmente appropriate, l'agroecologia contribuisce alla sicurezza alimentare e alla nutrizione mantenendo la salute degli ecosistemi.

- Governance responsabile: l'alimentazione e l'agricoltura sostenibili richiedono meccanismi di governance responsabili ed efficaci a diverse scale, da quella locale, a quella nazionale, a quella globale.
- Economia circolare e solidale: le economie circolari e solidali che riconnettono produttori e consumatori forniscono soluzioni innovative per vivere all'interno dei nostri confini planetari, garantendo al contempo le basi sociali per uno sviluppo inclusivo e sostenibile.

L'approccio agroecologico integra e applica simultaneamente concetti e principi ecologici e sociali alla progettazione e gestione dei sistemi alimentari e agricoli. Inoltre, cerca di ottimizzare le interazioni tra piante, animali, esseri umani e ambiente, tenendo in considerazione gli aspetti sociali che devono essere affrontati per un sistema alimentare sostenibile ed equo (Figura 10).

Figura 10 - Interazioni tra i dieci elementi di approccio agroecologico nella progettazione e gestione di sistemi sostenibili.



Quindi, in sostanza, nella progettazione di un sistema Agrivoltaico nel suo complesso e specificatamente per la componente agraria, questi sono i presupposti di base che bisogna seguire sin dall'avvio della ideazione, al fine di costruire un agroecosistema complesso che possa effettivamente funzionare nella determinazione di una produzione primaria netta soddisfacente e risponda in concreto ai requisiti di sostenibilità complessiva.

3.4. Interazioni specifiche nell'agroecosistema come Agrivoltaico

3.4.1. Aspetti generali

I primi risultati ottenuti da impianti Agrivoltaici in differenti condizioni agroambientali mostrano maggiori rese delle colture dovute all'ombra dei pannelli che riducono lo stress da perdita di calore e acqua, migliori efficienze di generazione fotovoltaica grazie a pannelli più freddi e minori richieste di irrigazione dovute alla ridotta evaporazione e alla maggiore ritenzione idrica del suolo, che a loro volta offrono cibo, energia e sicurezza idrica. Infatti, i sistemi agri-voltaici hanno la capacità di poter ridurre la temperatura dell'aria sopra le colture durante il giorno di circa 1,5°C, riducendo il rischio di pericolosi stress termici delle specie coltivate, e aumentando l'umidità dell'aria rispetto alle colture

coltivate in pieno campo. Tuttavia, le nuove condizioni ambientali indotte dai sistemi agri-voltaici possono non essere benefiche per tutte le colture agrarie. Questi risultati, in particolare quelli relativi alla produzione vegetale e all'efficienza nell'uso dell'acqua, sono intrinsecamente legati alle condizioni ambientali, e quindi contemporaneamente alle posizioni geografiche in cui sono situati gli impianti agri-voltaici. Proprio come con le colture in crescita in un ambiente tradizionale in campo aperto, la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), la temperatura, le precipitazioni e le condizioni del suolo guideranno le caratteristiche produttive anche in un sistema agri-voltaico. In particolare, la quantità di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) in ingresso è significativamente inferiore, questo soprattutto nei sistemi agro-voltaici tradizionali. Per tale motivo, oggi, sono state proposte soluzioni innovative attraverso l'impiego di sistemi agri-voltaici dinamici con pannelli solari rotanti con l'obiettivo di mitigare i problemi che insorgono con la riduzione dell'intercettamento del PAR. Infatti, la riduzione della quantità di energia può limitare la capacità delle colture di assimilare il carbonio attraverso il processo di fotosintesi e allocare i carboidrati agli organi per ottenere una resa e una qualità ottimali. Pertanto, l'installazione di sistemi agri-voltaici innovativi implica una sinergia tra produzione di energia elettrica e produzione agricola. Attraverso l'impiego di approcci di modellizzazione, diversi studi hanno valutato l'efficacia dei sistemi agri-voltaici per valutare le necessità riguardanti la crescita e lo sviluppo previsti delle colture agrarie. I risultati dei suddetti modelli mostrano come le colture tolleranti a condizioni agro-climatiche caratterizzate da esposizione non diretta alla radiazione solare (piante sciafile) hanno dimostrato di poter crescere sotto i sistemi fotovoltaici senza una significativa riduzione della resa contestualmente all'intercettamento della radiazione solare fornendo un aumento medio del 30% in valore economico rispetto alla coltivazione delle stesse specie agrarie gestite in sistemi di agricoltura convenzionale con esposizione diretta alla luce del sole. In aggiunta, questi studi hanno evidenziato che l'ombreggiatura parziale può essere tollerata da alcune colture e che i pannelli solari possono aiutare a ridurre il consumo di acqua, con un risparmio e un uso più efficiente della risorsa idrica.

3.4.2. Tecniche agronomiche essenziali da adottare nell'agroecosistema Agrivoltaico

Il principio cardine che deve guidare l'organizzazione di un agroecosistema sostenibile è quello di massimizzare il livello di biodiversità in rapporto al fine perseguito di una produttività netta (in termini di Produzione Agraria Utile -PAU-) stabile nel lungo periodo in un determinato contesto ambientale. Questo poiché alla biodiversità del sistema è connesso il livello di stabilità, funzionalità, efficienza e di sostenibilità (Caporali et al., 2010).

3.4.2.1. Rotazione delle colture.

L'uso della rotazione culturale è indispensabile per gli obiettivi dell'agroecosistema Agrivoltaico. L'appropriata gestione della biodiversità culturale nell'agroecosistema Agrivoltaico, ossia l'input di informazione, consente di sostituire l'azione dei concimi minerali e dei trattamenti chimici di sintesi per la difesa praticati nella normale agricoltura convenzionale.

Nell'ambito delle colture erbacee, la rotazione rappresenta il modo consueto di ordinare la biodiversità culturale nel tempo e nello spazio, poiché la superficie aziendale, in toto o in parte, viene interessata da una programmata sequenza di colture che si ripete nel tempo secondo cicli prefissati e che si evidenzia sulla superficie aziendale con la contemporanea presenza delle colture distribuite in campi diversi nella stessa annata agraria. Il mosaico dei campi coltivati è quindi determinato dal tipo di rotazione in atto, che definisce gran parte della matrice strutturale di un agroecosistema aziendale e, tenendo in considerazione il mosaico delle aziende sul territorio, definisce gran parte dell'effetto paesaggio agrario (Mancinelli et al. 2006a; 2006b; Mancinelli et al., 2010a). La rotazione delle colture implica pertanto il manifestarsi di effetti produttivi e protettivi non solo a livello intraaziendale, ma anche a livello territoriale più ampio. Le singole colture che compongono l'azienda rispondono in termini produttivi e di protezione culturale non solo alla condizione intraaziendale ma anche rispetto alla situazione del circostante territorio rurale. In particolare il ciclo del carbonio, dell'acqua e quello dell'azoto negli agroecosistemi a qualsiasi scala, dal singolo campo all'intero comprensorio rurale, sono largamente influenzati dalla diversità delle colture, come pure le relazioni intra- e interspecifiche

tra le popolazioni microbiche, vegetali e animali di interesse agrario implicate nelle azioni di attacco o di protezione delle colture (Mancinelli et al., 2005a; 2005b).

Le funzioni più importanti della rotazione delle colture sono il mantenimento e miglioramento della fertilità del suolo e la prevenzione e il controllo delle infestazioni di fitofagi, fitopatogeni ed erbe infestanti. Quantità e qualità della produzione delle singole colture dipendono dal loro stato di salute, che è determinato fondamentalmente dalla rotazione delle colture, ossia dal sistema colturale in cui sono allevate che, gerarchicamente, costituisce il contesto di sviluppo di ogni singola coltura., che può essere tuttavia ulteriormente modificato da altri interventi colturali (lavorazioni, concimazioni, interventi fitosanitari, ecc.) .

I principi generali e gli effetti attesi dal piano di rotazione colturale sono relativi agli aspetti di produzione e di protezione, in definitiva intimamente collegati e costituiscano parte integrante di una stessa realtà sistemica e come pertanto sia stata arbitraria la netta separazione disciplinare intervenuta a livello di ricerca e di didattica tra le aree della produzione, come l'agronomia e le coltivazioni erbacee e arboree, da una parte, e le aree della protezione delle colture agrarie, come l'entomologia e la patologia, dall'altra.

La rotazione delle colture è ovviamente di fondamentale importanza per il controllo delle erbe infestanti ed è riconosciuta come uno dei cardini di prevenzione dalle infestazioni in agricoltura sostenibile (Radicetti et al., 2013a). Una sequenza programmata di colture che differiscano per importanti variabili quali, l'epoca di semina e di raccolto, l'abilità competitiva, i fabbisogni nutrizionali, i lavori colturali, ecc., è in grado complessivamente di creare un ambiente così vario e disturbato da danneggiare la crescita e lo sviluppo delle erbe infestanti (Mancinelli et al., 2015), in modo tale che viene prevenuta la dominanza di poche ma aggressive specie, cosa che invece accade di frequente negli avvicendamenti semplificati e nelle monoculture dell'agricoltura convenzionale. In particolare la presenza delle colture erbacee poliennali in rotazione svolge un ruolo estremamente efficace nel controllo preventivo delle erbe infestanti, anche per l'azione legata ai ripetuti sfalci della biomassa aerea che precludono la dispersione dei semi e indeboliscono la capacità di ricaccio vegetativo della flora infestante.

3.4.2.2. Consociazione.

Per sfruttare al meglio le risorse native dell'agroecosistema, ai fini tanto della produzione che del controllo preventivo degli agenti dannosi, in agricoltura sostenibile si ricorre anche alla pratica della consociazione. La consociazione prevede la coltivazione di colture in associazione e pertanto comporta una diversificazione nello spazio del sistema di coltivazione che può essere erbaceo, arboreo o misto (arboreo/erbaceo). Il beneficio dell'aumentata diversità del sistema colturale rispetto alla situazione di monocultura (una sola specie coltivata in campo), che è la norma dell'agricoltura convenzionale, riguarda l'espressione della complementarità d'uso delle risorse ai fini produttivi da parte delle colture componenti la consociazione e la modifica strutturale dell'ambiente colturale che riduce la suscettibilità alle infestazioni. Nel primo caso, la colonizzazione dello spazio disponibile da parte di individui appartenenti a specie differenti (ad esempio, esplorazione radicale di strati differenti di suolo o esplorazione fogliare di strati differenti di atmosfera), comporta una migliore sinergia nell'uso delle risorse da parte dei componenti del sistema colturale, con maggiore beneficio produttivo rispetto alla coltivazione in coltura pura dei singoli componenti della consociazione. Nel secondo caso, l'effetto di diluizione di individui della stessa specie in uno spazio occupato anche da individui appartenenti almeno ad una altra specie, comporta conseguenze che riguardano sia una minore concentrazione della risorsa a disposizione per gli agenti biologici dannosi, sia una maggiore presenza di artropodi predatori e parassitoidi associati alla condizione di maggiore ricchezza biologica determinata dal sistema di consociazione.

Per quanto concerne il controllo delle erbe infestanti, la distribuzione a file e filari delle monoculture in regime convenzionale mantiene necessariamente aperta una nicchia ecologica che è inevitabilmente colmata dalla colonizzazione delle erbe infestanti, richiedendo infine trattamenti curativi di vario tipo. La soluzione della consociazione, sia in sistemi colturali erbacei che in sistemi arborei/erbacei, consente di risolvere il problema strutturale a priori, se viene raggiunta la completa

copertura del suolo di coltivazione attraverso una combinazione di colture idonea a funzionare possibilmente per l'intera stagione di crescita. In ambiente mediterraneo, l'utilizzazione di risorse native quali le leguminose annuali autoriseminanti come il trifoglio sotterraneo e molte mediche si è dimostrata un'opportunità eccellente per soddisfare questa esigenza e contrastare l'azione delle erbe infestanti in sistemi polifunzionali di consociazione sia erbacei che arborei/erbacei (Caporali et al., 2001; 2004).

3.4.2.3. Gestione della biodiversità tra i campi coltivati

L'acquisizione del concetto di agroecosistema e delle sue funzioni ha dato nuovo impulso alla ricerca degli effetti collegati alla presenza di strutture vegetazionali tra i campi coltivati (siepi, alberate, ecc.), che si possono riassumere nei tre importanti ruoli di barriera meccanica, filtro biologico e serbatoio biologico. Nel primo caso gli effetti riguardano la modifica delle condizioni microclimatiche, a seguito soprattutto della riduzione della velocità del vento e della evaporazione; nel secondo caso gli effetti riguardano la qualità delle acque che scolano nei fossi e quindi la prevenzione dei fenomeni di eutrofizzazione; nel terzo caso, gli effetti riguardano l'aumento della ricchezza biologica dell'agroecosistema, a scala intraaziendale e di comprensorio agrario, con le inevitabili conseguenze legate ad una maggiore azione di sostegno trofico, di riparo, di riproduzione e di diffusione capillare nell'ambiente coltivato da parte della comunità microbica, vegetale e animale. Gli studi al riguardo dimostrano una grande varietà di interazioni tra i campi coltivati e le strutture vegetazionali ai loro margini, con reciproco input-output di organismi utili e dannosi per le colture. E' indubbio che molte specie di insetti utili possano venire ospitate costantemente in queste strutture per mantenere un controllo spontaneo di fitofagi ed evitare infestazioni delle colture nei campi adiacenti. Attualmente si enfatizza anche la possibilità di aumentare la sostenibilità del controllo biologico preventivo anche attraverso l'impianto di strisce erbose lungo i margini dei campi coltivati.

3.4.2.4. Inserimento dell'allevamento animale nel sistema Agrivoltatico

Da un punto di vista agroecologico il flusso di energia che si sviluppa lungo la catena alimentare in un agroecosistema è determinato attraverso le colture (rappresentanti il primo livello trofico) gli animali in allevamento (rappresentanti il secondo livello trofico) l'uomo (rappresentante secondo e terzo livello trofico) e i decompositori (rappresentanti l'ultimo livello trofico), i quali influenzano il modo di conversione, traslocazione e accumulo dell'energia in ogni livello trofico. Nel sistema suolo-pianta l'elemento stabile è il suolo e l'elemento temporaneo è la pianta che nell'azienda agraria è rappresentata dalla coltura. Pertanto, la funzionalità del sistema suolo-pianta è assicurata attraverso la successione colturale (rotazione e consociazione) che determina le condizioni di qualità del suolo. Con tale presupposto la presenza dell'allevamento animale nell'agroecosistema riveste il duplice ruolo di fornire produzioni animali lungo la catena di pascolo e produzioni di materiali organici fertilizzanti lungo la catena di detrito. La corretta reintegrazione di materia organica nel campo fornisce un prezioso sostegno alla qualità del suolo (Caporali et al., 2010).

Il sistema Agrivoltatico basato sui pascoli è superiore dal punto di vista ambientale, producendo il 69,3% in meno di emissioni e richiedendo l'82,9% in meno di energia fossile rispetto alla produzione non integrata di elettricità solare fotovoltaica e carne. Rinunciando al processo unitario più intensivo richiesto dalla pratica agricola convenzionale (alimentazione animale e relativo imballaggio e trasporto) e dalla manutenzione dei pannelli fotovoltaici (falcatura e applicazione di erbicidi), il sistema Agrivoltatico con pascolo presenta una doppia sinergia che genera una significativa riduzione delle emissioni di gas serra e richiesta di energia fossile. La mitigazione degli impatti ambientali legati all'energia convenzionale e alle pratiche di produzione zootecnica è resa possibile dalle sinergie integrative generate con i sistemi Agrivoltatici (Pascaris et al., 2021).

Il pascolamento di ovini in aree semiaride con inverni umidi può essere una possibile soluzione per i sistemi Agrivoltatici, dove potrebbero determinare significativi incrementi di produttività determinati attraverso una maggiore efficienza nell'uso dell'acqua (Hassanpour et al., 2018).

Negli impianti Agrivoltatici il carico di bestiame non è influenzato dalle strutture dei pannelli fotovoltaici i quali possono anche essere sfruttati come riparo per gli animali al pascolo. Tuttavia, è

necessario considerare la scelta della specie animale. La eventuale minore fitomassa erbacea disponibile nei pascoli è compensata dalla maggiore qualità del foraggio, con conseguente vantaggio nella produzione zootecnica. Tra le specie animali da allevare, le pecore sono preferite poiché sono abbastanza piccole da muoversi facilmente tra le file di moduli e non danneggiare le strutture. Il pascolamento di animali più grandi richiede che il sistema strutturale di montaggio dei moduli sia più alto per adattarsi alle loro dimensioni e un controllo degli animali più impegnativo (Mamun et al., 2022).

Nel sistema consociato complesso Agrivoltaico si può includere l'allevamento animale di differenti specie come emù (REW, 2014), conigli (Lytle et al., 2020), cernia (Hendarti, 2021) e altre specie come anche pesci in acquavoltaici su piccola scala (Hsiao, et al., 2021) o su larga scala (Pringle et al., 2017). La produzione di bestiame più avanzata nell'Agrivoltaico è quella con agnelli (Andrew, 2020) e pecore (Ouzts, 2017; Mow, 2018). Questo approccio ha dimostrato di essere particolarmente efficace per la produzione di pascoli (Andrew et al., 2021a; 2021b). Sia i pastori (Pascaris, et al., 2020) sia l'industria fotovoltaica solare (Pascaris, et al., 2021a) ne vedono i vantaggi e hanno una crescente esperienza con l'Agrivoltaico basata sulle pecore. Andrew et al. hanno osservato che, sebbene i pascoli producessero il 38% in meno di erba rispetto ai pascoli aperti non ombreggiati convenzionali a causa della densità relativamente bassa dei pascoli in piena ombreggiatura sotto i moduli fotovoltaici dell'impianto solare, ciò era compensato da una maggiore qualità del foraggio, con conseguente produzione di agnelli primaverili simile a quella dei pascoli aperti (2021a). La produttività del terreno può essere notevolmente aumentata perché il pascolo delle pecore è costante mentre il fotovoltaico genera un valore sostanzialmente maggiore. I sistemi fotovoltaici forniscono anche vantaggi per gli animali offrendo ombreggiatura dal fotovoltaico (e ci sono prove aneddotiche di una lana migliore dalle pecore) e gli animali preferiscono l'ombra proiettata dal fotovoltaico (Maia, et al. 2020). Ci sono anche alcune prove che ringrazia il pubblico generale per l'energia solare su larga scala perché attenua le preoccupazioni che le comunità rurali potrebbero avere sullo spostamento degli usi tradizionali del suolo per lo sviluppo di nuove energie, poiché l'Agrivoltaico mantiene le caratteristiche agricole del paesaggio (Pascaris et al., 2022). È una pratica sufficientemente consolidata, tanto che è stata fondata l'American Solar Grazing Association per promuovere il pascolo delle pecore su installazioni solari (American Solar Grazing Association 2021).

Robert Handler e Joshua M. Pearce (2022) hanno condotto uno studio di valutazione di LCA per esplorare gli impatti dei sistemi Agrivoltaici integrati che coinvolgono la coltivazione di pascoli ovini. I benefici attesi del sistema Agrivoltaico rispetto a un'attività agricola convenzionale ovina sono una riduzione del foraggio per ovini, combinata con una riduzione sinergica delle attività di manutenzione del solare fotovoltaico, il tutto mantenendo rese equivalenti a un sistema agricolo ovino con fotovoltaico autonomo. I risultati mostrano benefici ambientali di questo tipo di sistema Agrivoltaico rispetto alla produzione convenzionale e ancora migliori per la produzione ovina. I benefici ambientali di un sistema Agrivoltaico sono molto più grandi rispetto agli scenari in cui l'elettricità convenzionale fornita dalla rete viene utilizzata per fornire elettricità in assenza del sistema Agrivoltaico. Il significato di questi risultati è chiaramente che anche questa forma relativamente leggera di Agrivoltaico dovrebbe essere incoraggiata su qualsiasi pascolo esistente e il concetto nel suo complesso dovrebbe essere utilizzato ogniqualvolta possibile per compensare l'elettricità di rete nelle regioni con un elevato utilizzo di combustibili fossili. I benefici sinergici della gestione integrata delle pecore e della produzione di elettricità solare fotovoltaica sono osservati nei dati LCA quando confrontati con i sistemi convenzionali di pecore e fotovoltaici gestiti in modo indipendente, sebbene queste differenze siano piccole rispetto ai benefici ottenuti quando l'elettricità di rete viene sostituita con il fotovoltaico solare. In questo senso, se l'agrivoltaico può fungere da potenziale motivatore economico e sociale per aumentare l'adozione di una maggiore capacità di produzione fotovoltaica sulla rete, questa sarebbe la più grande fonte di beneficio ambientale da questo sistema tecnologico.

3.4.3. Aspetti specifici

Il potenziale energetico della radiazione solare varia anche in relazione alle caratteristiche dei terreni, molto spesso il posto migliore per posizionare i pannelli solari è su terreni coltivati e prati (Adeh et

al., 2019). Pertanto, gli impianti solari possono occupare vaste aree di superfici agrarie e talvolta competere con l'agricoltura per la risorsa terra. L'Agrivoltaico come agroecosistema innovativo crea alcuni specifici principali vantaggi: i) produzione di energia e ii) riduzione degli stress ambientali alle colture determinando anche conseguente vantaggio in un contesto di riscaldamento globale. Sui benefici alla componente agraria gli effetti derivano da una moltitudine situazioni che vengono di seguito più accuratamente dettagliate.

Sulla valutazione di efficienza d'uso del sistema consociato complesso Agrivoltaico si può prendere in considerazione una serie di approcci, però dal punto di vista agroecologico il concetto del Land Equivalent Ratio (LER) è certamente molto adeguato. Il concetto di Land Equivalent Ratio (LER) è stato introdotto da Mead (1980) e consente di quantificare l'efficienza d'uso del suolo dei sistemi consociati. Viene frequentemente utilizzato in sistemi colturali consociati (erbacei, arborei, erbacei/arborei), agroforestazione, acquaponica, e recentemente anche in Agrivoltaico. LER mostra la superficie relativa del terreno che è richiesta per la monoproduzione al fine di ottenere il rendimento del duplice uso del suolo. Mead (1980) ha specificato il LER come la somma dei rispettivi rapporti di rendimento del doppio uso del suolo rispetto al mono uso del suolo:

$$LER = \frac{Produzione_a (consociato)}{Produzione_a (mono)} + \frac{Produzione_b (consociato)}{Produzione_b (mono)}$$

Nello specifico caso del sistema complesso Agrivoltaico, a e b rappresentano rispettivamente la produzione agraria in termini di rese e la produzione di elettricità. Il concetto del LER è stato applicato in differenti studi al fine di confrontare la produttività del sistema consociato complesso Agrivoltaico con la singola produzione di cibo nel sistema agrario e di energia elettrica nell'impianto industriale fotovoltaico. Trommsdorff et al., (2021) hanno rilevato nel loro studio che le valutazioni della resa in cibo e di energia elettrica risultano in termini di LER medio nel sistema Agrivoltaico oscilla tra il 160 e il 240%, indicando quasi il doppio dell'efficienza d'uso del suolo rispetto alla gestione con singolo uso del terreno.

Campana et al (2021) hanno studiato un modello Agrivoltaico costituito dai differenti sottomodelli, riguardanti le ombreggiature, la decomposizione PAR, la resa delle colture e il modello di produzione fotovoltaica. La validazione di tali sottomodelli ha mostrato la robustezza del sistema nell'identificare le interrelazioni tra produttività delle colture e produzione di elettricità in base alla configurazione del sistema complesso (ossia, orientamento e distanza tra le file). La distanza tra le file influisce in modo significativo sulla distribuzione del PAR e la resa delle colture può essere quasi dimezzata cambiando da 20 a 5 m la distanza tra le file. I risultati di ottimizzazione suggeriscono di non utilizzare il LER come parametro unico di riferimento per la progettazione ottimale degli impianti Agrivoltaici. Andrebbero incluse funzioni più oggettive per una migliore stima delle sinergie tra la coltura e la produzione di energia elettrica. La massimizzazione del LER tende a ridurre la produzione di elettricità, e questo potrebbe compromettere l'investimento nell'impianto fotovoltaico, o viceversa potrebbe portare al fallimento del raccolto di cibo. Studiando i contributi di LER per un determinato anno (cioè la resa della coltura e i contributi alla produzione di energia elettrica), è evidente che la distanza ottimale tra le file varia a seconda della coltura (cioè 9,7 m per la patata e 9,2 m per l'avena) e questo porta a importanti conseguenze in termini di progettazione ottimale a lungo termine di un sistema Agrivoltaico. Ciò dovrebbe prendere in considerazione simulazioni e ottimizzazioni pluriennali e multi-coltura basate sulle attività agricole convenzionali. L'implementazione di un sistema Agrivoltaico per le colture e le località indagate mostra un LER superiore a 1,2, come stimato anche in precedenti studi condotti in Germania e in Italia. Questi risultati giustificano l'implementazione di sistemi Agrivoltaici per raggiungere gli obiettivi di green economy e sostenibilità.

I pannelli solari devono essere montati a distanza adeguata tra loro per evitare l'ombreggiamento reciproco e ad altezza giusta per facilitare la movimentazione delle macchine per consentire le operazioni agronomiche delle colture. Oltre alle agevoli pratiche colturali, deve essere valutata anche

l'operatività dei sistemi consociati complessi Agrivoltaici in termini di efficienza nell'uso della radiazione, effetti di ombra sulle colture e flusso d'acqua nel sistema (Santra et al., 2017)

La sfida chiave nell'adozione dell'Agrivoltaico è il raggiungimento di una maggiore produttività e qualità, riducendo al contempo l'impatto ambientale. Pertanto, la selezione delle colture per l'Agrivoltaico è di fondamentale importanza e dovrebbe essere eseguita con attenzione da uno Agronomo specialista con una conoscenza sufficiente dell'effetto ombra sulle colture (Chamara e Beneragama, 2020).

La radiazione è il principale fattore determinante la produttività a livello di ecosistema e ha un'associazione lineare tra la produttività delle piante e la quantità di luce intercettata dalla chioma (Niinemets, 2010; Lagergren et al., 2005). La produttività della componente coltura nel sistema consociato complesso Agrivoltaico è determinata principalmente dalla disponibilità di luce sotto i pannelli fotovoltaici. La componente fotovoltaica nel sistema Agrivoltaico crea un'ombreggiatura intermittente durante il periodo di insolazione e riduce la luce disponibile per la coltura (Marrou et al., 2013). La ridotta disponibilità di radiazione solare sotto il modulo fotovoltaico è una delle sfide chiave quando si progettano, realizzano e gestiscono i sistemi Agrivoltaici. La tolleranza all'ombra è la caratteristica della specie vegetale che definisce la capacità di sviluppare il ciclo vegetativo in condizioni di radiazione diffusa di cui si occupa l'ecologia e l'agroecologia (Dupraz et al., 2011; Valladares et al., 2008). Questo aspetto è spesso di particolare interesse in differenti studi ed è un concetto molto importante anche in Agrivoltaico. Molte specie vegetali hanno una gamma ottimale di requisiti di luce diretta per le migliori prestazioni e il livello varia tra le specie. Molti ricercatori hanno studiato come il diverso livello di radiazione incidente influenza il processo fotosintetico. Gli ecologi e fisiologici cercano di comprendere le specifiche proprietà morfologiche e fisiologiche che consentono alla pianta di svolgere il ciclo vegetativo con successo in determinati ambienti. Quando adottiamo l'Agrivoltaico, è molto importante sapere come varie caratteristiche della morfologia e della fisiologia delle piante contribuiscano alla fotosintesi in quella condizione ambientale. La tolleranza a un determinato stress dipende da specifici tratti strutturali e fisiologici, ma è anche fortemente influenzata dallo stato di altri fattori ambientali. Pertanto, è necessario conoscere il fabbisogno di luce ottimale per le specie vegetali che si intendono mettere a dimora in consociazione con le strutture (Chamara e Beneragama, 2020). Le caratteristiche morfofunzionali della pianta sono sostanziali nell'influire sulle potenzialità ed efficienza d'uso della radiazione. La ramificazione dell'architettura, l'angolo di inclinazione delle foglie e la distribuzione dell'area fogliare possono anche influire in modo importante sulla disposizione delle foglie e quindi l'efficienza d'uso della luce. L'efficienza di intercettazione della luce da parte della foglie è funzione dell'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale. L'inclinazione della foglia cambia gradualmente da più verticale nella chioma in habitat con luce intensa a più orizzontale nella chioma in habitat con scarsa illuminazione (Hikosaka e Hirose, 1997). L'angolo di ramificazione della pianta è stato identificato come un'importante caratteristica adattativa che determina il grado di sovrapposizione tra rami e foglie vicine. Le caratteristiche e modifiche architettoniche dinamiche del germoglio e della chioma dipendenti dall'età e dalle dimensioni nel fogliame svolgono un ruolo dominante nei cambiamenti ontogenetici delle caratteristiche morfologiche dell'area fogliare delle piante, nell'efficienza della intercettazione della luce e nella sopravvivenza delle piante a ridotto irraggiamento diretto o in ombra. La sopravvivenza delle piante in condizioni di scarsa illuminazione o di sola radiazione diffusa diminuisce nelle fasi iniziali della crescita e aumenta drasticamente con l'età delle piante nelle specie tolleranti all'ombra (Rikhari e Adhikari, 1998; Niinemets et al., 2006). Le foglie delle piante che vengono coltivate con un elevato irraggiamento di solito hanno un tasso di fotosintesi più elevato per unità di area rispetto a quelle che sono limitate o acclimatate a bassi livelli di irraggiamento e viceversa. La densità del flusso di fotoni per le foglie delle piantine cresciute all'ombra ha mostrato punti di compensazione più bassi, rese quantiche più elevate e tassi di respirazione inferiore. Le piante che tollerano o prediligono la luce diffusa o l'ombra hanno una respirazione lenta e una fotosintesi satura di luce e rese quantitativamente più elevate per unità di superficie fogliare rispetto a quelle delle piante coltivate a radiazione diretta in funzione della curva di risposta fotosintetica (Langenheim et al., 1984). Le specie tolleranti all'ombra hanno tassi di crescita più elevati in condizioni di scarsa

illuminazione rispetto alle specie intolleranti, e in particolare alcune caratteristiche morfologiche possono adattarsi a una luce più forte. Poca attività fisiologica corrisponde minori costi energetici di manutenzione e, di conseguenza, le perdite di carbonio in condizione di luce diffusa o di ombra sono ridotte e i potenziali tassi di crescita relativa sono incrementati [65-66]. L'accumulo di biomassa è principalmente determinato dalla capacità di cattura e sfruttamento della risorsa luminosa. Il fabbisogno di radiazione solare delle piante è influenzato da altri stress concomitanti come disponibilità di acqua, asfissia da inondazioni, disponibilità di nutrienti; pertanto, il livello minimo di luce tollerato da una data specie può variare in diversi ecosistemi o agroecosistemi (Dupraz et al., 2011). Nonostante la presenza di molteplici stress in natura, la conoscenza relativa ai livelli di tolleranza agli stress abiotici delle specie vegetali è ancora scarsa e la conoscenza sulla tolleranza agli stress concomitanti è ancora più ridotta (Niinemets et al., 2006). La mancanza di acqua limita la produzione di molti raccolti. La condizione di radiazione diffusa o di ombra riduce le esigenze di traspirazione e presumibilmente aumenta l'efficienza d'uso dell'acqua a bassa intensità di radiazione. Il fabbisogno minimo di radiazione, diretta e/o diffusa per la pianta e la capacità che ha la pianta di tollerare gli stress interagenti in condizioni di scarsa illuminazione dipendono dalla durata della stagione di crescita. A causa del compromesso intrinseco tra la tolleranza all'ombra e altri fattori ambientali, la tolleranza all'ombra influenza la risposta della pianta a molti fattori di cambiamento globale, come la temperatura elevata e l'alterazione della disponibilità di acqua (Prider e Facelli, 2004).

Marrou et al. (2013b) hanno osservato che gli impianti Agrivoltaici possono essere gestiti come sistemi di produzione in campo aperto poiché la loro principale specificità sta nella riduzione media giornaliera della disponibilità di luce per l'impianto senza modifica significativa degli altri parametri del microclima a livello della chioma della coltura. A causa di una sufficiente circolazione dell'aria al di sotto della struttura aperta, la temperatura dell'aria e il deficit di pressione del vapore dell'aria (VPD) non sono influenzati in modo significativo dai pannelli solari fotovoltaici (PVP). Durante l'intera stagione colturale, anche per una coltura a ciclo lungo, la temperatura della coltura è leggermente modificata in ombra rispetto al pieno sole (FS), per quanto riguarda lo sviluppo della pianta. Si suggerisce che dovrebbe essere effettuato un adattamento delle pratiche colturali per passare dalla sola coltura a quella di Agrivoltaico e l'attenzione dovrebbe essere prestata principalmente alla mitigazione della riduzione della luce. In particolare, le fasi colturali giovanili dovrebbero essere seguite con attenzione poiché una forte ombreggiatura all'inizio del ciclo potrebbe ritardare lo sviluppo per l'intero ciclo, ma, al contempo, potrebbe anche avere effetti positivi sull'insediamento delle specie ortive durante la stagione calda. Una soluzione potrebbe essere quella di utilizzare pannelli mobili che consentono differenti interventi da parte di un operatore ogni qualvolta necessitano. E' da evidenziare che il sistema Agrivoltaico e la riduzione della luce non sono necessariamente dannosi per la produzione delle colture poiché è stato dimostrato che l'efficienza di intercettazione delle radiazioni può aumentare in ombra. Infatti, in un recente studio condotto da Chae et al (2022), il microclima, inclusa la densità del flusso di fotoni fotosintetici e la temperatura del suolo, è cambiato nelle condizioni di Agrivoltaico, determinando una piccola diminuzione della produzione agricola e alterazione dei metaboliti nei broccoli. Tuttavia l'ombreggiatura aggiuntiva nell'Agrivoltaico ha aumentato la preferenza dei consumatori per il prodotto migliorandone la qualità estetica. Pertanto, l'Agrivoltaico rappresenta un'opportunità per superare le difficoltà della coltivazione in pieno campo dovute ai fenomeni meteorologici avversi e consentirà anche di aprire un mercato premium producendo agroalimenti di qualità preferita dai consumatori. In aggiunta, la maggiore produzione di energia può offrire grandi vantaggi agli agricoltori. In termini di efficienza nell'uso del suolo, l'Agrivoltaico è un buon mezzo per produrre energia e cibo anche in zone montuosa oltre che in pianura e collina.

Nei sistemi consociati complessi Agrivoltaici, l'altezza e la spaziatura dei pannelli fotovoltaici possono anche essere definite a vantaggio delle differenti colture programmate e per avvantaggiare la coltura della radiazione ricevuta. Le colture che possono essere coltivate nel sistema agrivoltaico sono state vagliate in base alle loro caratteristiche di tolleranza all'ombra, altezza e fabbisogno idrico. Anche le prestazioni delle colture in diverse zone agroclimatiche devono essere studiate attraverso la

sperimentazione sul campo. Ci sono prevalentemente due aree nei sistemi Agrivoltaici in base alla luce ricevuta dalle colture; tra i pannelli che hanno luce solare diretta e sotto i pannelli che è presente luce diffusa o ombra. Le specie che hanno capacità di tolleranza all'ombra possono essere selezionate per entrambe le aree e le specie più tolleranti all'ombra dovrebbero essere preferite per le aree sotto i pannelli e viceversa.

I parametri che sussistono nei sistemi Agrivoltaici possono essere definiti e gestiti per migliorare la compatibilità dell'impianto fotovoltaico con la componente agraria. In particolare, al fine di avere un controllo più ampio e completo dell'interazione tra impianto fotovoltaico e componente agraria, è possibile gestire la posizione dei moduli fotovoltaici in modo da raggiungere l'ombra desiderata sul terreno attraverso l'utilizzo di software dedicati che possono aiutare a definire la posizione di gli assi. Nella struttura possono essere integrate anche reti ombreggianti o antigrandine in funzione delle esigenze colturali. Studi su pomodoro e mais hanno mostrato un aumento della traspirazione e dell'assimilazione netta con l'aumento della percentuale di ombra, con la conclusione di una migliore efficienza idrica per la pianta con una percentuale di ombra maggiore correlata a un miglioramento della qualità delle colture testate. (Svanera et al., 2021)

La produzione di energia dalla radiazione solare integrata con la produzione di colture può promuovere la produzione di energia. Tuttavia, l'ombreggiamento dei pannelli solari naturalmente interferisce con le piante coltivate. Di conseguenza, la realizzazione degli impianti Agrivoltaici va incoraggiata perché la produzione di colture sotto i pannelli fotovoltaici può promuovere la produzione di energia e al contempo è una opzione per aumentare le entrate nel bilancio aziendale in maniera significativamente più elevata rispetto all'equivalente superficie di terreno delle centrali solari progettate e installate solo per generare elettricità. Per risolvere i problemi sopra menzionati dell'ombreggiamento, devono essere prese in considerazione colture tolleranti all'ombra da allevare sotto i pannelli solari. Queste possono essere differenti, tra cui gli ortaggi a foglia (come lattuga, sedano, spinaci, cipollotti), ortaggi a radice e tubero (come zenzero, patate dolci, carote), solanacee (come peperoncino, peperone, pomodoro, ecc.) (Kumpanalaisatit et al., 2022).

L'ombra non è sempre uguale anche quando i livelli di PAR sono gli stessi a causa della variazione del microclima sotto i pannelli fotovoltaici. Un PAR adeguato, temperature estreme moderate e l'influenza dei modelli di temperatura diurna sulla fisiologia delle piante possono correlarsi per determinare raccolti in ambienti con PAR ridotto e in alcuni casi migliori di quelli in pieno sole. Alcuni studi hanno mostrato che è necessario prestare molta attenzione nella progettazione e realizzazione di sistemi Agrivoltaici, comprese le configurazioni dei pannelli, i tracciamenti e le specie coltivate. Specifici studi suggeriscono che colture come cavolo, bietola e pomodoro possono essere piantati in tutta la superficie con una eventuale penalizzazione della resa molto limitata, purché i livelli di luce siano almeno il 55% dell'irraggiamento in pieno sole. Altre colture come lo spinacio non sono molto consigliabili tra i pannelli solari a causa della loro forte dipendenza dall'elevato irraggiamento per i migliori raccolti. È necessario valutare molte più colture, livelli di luce e variazioni di temperatura per accoppiare efficacemente il fotovoltaico con l'agricoltura. (Hudelson e Lieth, 2021).

Santra et al. (2017) hanno osservato che il cavolo (*Brassica oleracea*) e la cipolla (*Allium cepa*) sono colture ben adatte per l'area in ombra sotto il pannello fotovoltaico. Le colture che possono essere coltivate con successo negli interspazi includono il fagiolo mungo (*Vigna radiata*), il fagiolo falena (*Vigna aconitifolia*) e il fagiolo a grappolo (*Cyamopsis tetragonoloba*). Oltre a queste colture, alcune piante medicinali di natura perenne come la *Aloe vera*, *Cassia angustifolia* e *Convolvulus pluricaulis*. Diversi studi hanno osservato che il Pomodoro è una delle colture più adatte all'Agrivoltaico. Il numero di frutti per metro quadrato non varia in modo significativo nella coltura di pomodoro ombreggiata (con il 52% di ombra) rispetto a quella non ombreggiata (Abdel-Mawgoud et al., 1996; Sandri et al., 2003). La resa in bacche di pomodoro prodotte non si riduce significativamente nonostante la bassa sostanza secca totale. Inoltre, l'ombra può migliorare la qualità commerciale del frutto riducendo le bruciature sulla bacca con il 30% di ombra. Una resa maggiore e una maggiore concentrazione di licopene nelle bacche di pomodoro coltivato con il 50% di ombra e con dosi inferiori di fertilizzazione azotata. In aggiunta i pannelli fotovoltaici mobili possono migliorare la

qualità delle bacche di pomodoro e l'efficienza nell'uso dell'acqua (Hernandez et al., 2015; Lorenzo et al., 2006). Infatti, l'aumento della temperatura e dell'irraggiamento solare riduce le qualità nutrizionali del pomodoro ciliegino (Rosales et al., 2006). Secondo lo studio di Dayananda (2018), la risaia, il fagiolo e il fagiolo dall'occhio mostrano una resa proporzionale inversamente decrescente con l'aumento dell'ombreggiatura. Alcune colture come l'ananas e il mais possono essere coltivate con un aumento dell'ombra fino al 30-40% e la resa è solo leggermente ridotta. Murakami et al. (2017) hanno osservato che l'uso di una rete ombreggiante nella coltivazione del melone in serra riduce la temperatura delle foglie di circa 5 °C e la dimensione del frutto non è influenzata, sebbene l'acuminazione dello zucchero nel frutto tende ad aumentare. Inoltre, l'ombreggiatura può ridurre sostanzialmente la crescita delle erbe infestanti che possono competere con la coltura principale, riducendo così l'altezza della pianta (Yasin et al., 2017).

Una simulazione a lungo termine ha confrontato la resa del mais in Agrivoltaico con quella del mais in pieno campo, evidenziando che mentre la resa in Agrovoltico è leggermente inferiore quando l'acqua non è limitante, è maggiore in condizioni di stress da siccità. Inoltre, la resa media del mais con irrigazione a pioggia è più elevata e più stabile in Agrivoltaico che in condizioni di piena luce. Ciò indica che con i sistemi Agrivoltaici, che supportano la resa delle colture, la produzione di energia pulita e il risparmio idrico, possono svolgere un ruolo significativo nel nesso energia-cibo-acqua (Bazilian et al., 2011).

Malu et al. (2017) hanno condotto un'analisi tecnico-economica per l'installazione di impianti fotovoltaici in un'azienda vitivinicola, considerando la tolleranza all'ombra della vite. Il potenziale di generazione di energia elettrica è determinato per unità di superficie e i vantaggi economici per i coltivatori sono stati quantificati in una serie di opzioni di progettazione. I risultati hanno mostrato che il valore economico delle aziende viticole con i sistemi Agrivoltaici proposti può aumentare di oltre 15 volte rispetto alla gestione agraria convenzionale, mantenendo gli stessi livelli di produzione di uva. Se questo duplice uso del suolo viene implementato a livello nazionale, può avere un impatto significativo nella generazione di elettricità da radiazione solare, con un potenziale soddisfacimento di fabbisogno energetico molto elevato.

Anche con l'integrazione dell'allevamento animale si possono ottenere situazioni vantaggiose nei sistemi Agrivoltaici, per esempio si possono osservare miglioramenti nella produzione e nel benessere degli agnelli. Fattori come l'aumento di peso vivo e il consumo di acqua primaverile possono essere comparati a quelli dei pascoli aperti, parzialmente ombreggiati e completamente ombreggiati; pertanto, la produzione di agnelli nei sistemi Agrivoltaici non diminuisce. Oltre all'aumento della produttività del suolo e al miglioramento benessere degli animali, il sistema consociato complesso Agrivoltaico contribuisce a strutturare un agroecosistema territoriale a maggiore livello di sostenibilità. Naturalmente è necessario organizzare al meglio i pascoli durante la progettazione e realizzazione di un sistema Agrivoltaico. Sarebbe opportuno che le informazioni sulla gestione del sistema consociato complesso Agrivoltaico fossero rese immediatamente disponibili agli agricoltori, ai produttori di energia, ai ricercatori e al pubblico in generale non appena sono disponibili (Andrew et al., 2021b).

L'Agrivoltaico rappresenta un "business case" redditizio per gli imprenditori agrari. In particolare, l'impianto Agrivoltaico è una opzione più redditizia nei contesti di necessità di ombreggiamento artificiale e di terreno limitato. La caratteristica "ombreggiatura artificiale" mostra il suo impatto più consistente all'inizio del progetto, dove i costi considerevoli per la mancata installazione di reti ombreggianti vengono recuperati. Il "doppio uso del suolo", che consente il mantenimento dei terreni coltivati, ha un forte impatto sulla valutazione dello stesso. Affinché l'Agrivoltaico raggiunga la sua svolta commerciale, dobbiamo identificare il giusto contesto applicativo agricolo, in cui l'Agrivoltaico può migliorare la produzione agricola, ad esempio fornendo ombreggiature, e quindi monetizzare queste caratteristiche sinergiche. (Jung et al., 2021)

La produzione agricola è molto importante perché le sue rese annuali influenzano la sicurezza alimentare di un Paese. Quindi, è importante aumentare la produzione attraverso l'adattamento delle innovazioni tecnologiche. Tuttavia, vi è una crescente preoccupazione per l'impatto ambientale dovuto al crescente utilizzo di energia da combustibili fossili nei processi operativi agricoli, che

generano molta CO₂. Pertanto, in tutto il mondo, i governi e le industrie pubbliche e private sono sempre più alla ricerca di soluzioni per ridurre le emissioni di gas a effetto serra dalle attività industriali quotidiane per passare all'energia verde, ovvero la transizione verso risorse energetiche rinnovabili sostenibili come l'energia solare. L'attività agraria (produzione di cibo) combinata con i pannelli solari (produzione di energia elettrica), cioè Agrivoltaico, offre nuove opportunità in quanto contribuisce ad accelerare lo sviluppo dell'agricoltura moderna. A causa dell'evoluzione del sistema energetico dei pannelli solari nella tecnologia agricola, le macchine agricole, gli edifici e gli impianti di produzione vengono costantemente migliorati. Ciò ha reso l'Agrivoltaico in rapido sviluppo grazie alle politiche governative della tecnologia agricola innovativa, con conseguente elettrificazione delle fattorie rurali e macchinari per le serre per massimizzare la produzione riducendo al minimo l'uso del suolo. Tuttavia, è necessario condurre più ricerche e indagini pratiche utilizzando un design innovativo con minori costi di installazione, determinando al contempo una maggiore produzione, per ottimizzare la combinazione di generazione di energia da pannelli solari e coltivazione agraria. La realizzazione di sistemi consociati complessi di Agrivoltaico presenta più vantaggi che svantaggi sia dal punto di vista ambientale che economico (Aroonsrimorakotet al., 2020).

L'implementazione dell'Agrivoltaico può aumentare notevolmente le attività economiche del territorio, principalmente per le piccole imprese agricole. In ogni caso, il sistema consociato complesso Agrivoltaico fa osservare risultati positivi e un tale sistema sembra essere un'opzione appropriata per produrre e fornire cibo ed energia nell'ambito di un territorio. I sistemi Agrivoltaici sono opzioni vantaggiose sia per gli agricoltori che per gli investitori. Sulla base degli studi condotti, possono essere sviluppati diversi casi aziendali e modelli pratici di business a favore di diversi gruppi di interesse: agricoltori, investitori e commercianti (nella filiera agricola). (Neupane Bhandari et al., 2021).

L'applicazione dei sistemi Agrivoltaici offre una serie di opportunità, che differiscono a seconda delle condizioni regionali e climatiche. Il vero valore aggiunto della tecnologia Agrivoltaica è che consente la produzione simultanea di cibo ed energia, fornendo innegabili vantaggi economici per gli agricoltori, con potenziali effetti sinergici aggiuntivi. Ciò è di particolare interesse nei paesi industriali densamente popolati, dove l'espansione delle energie rinnovabili sta diventando sempre più importante, ma è necessario preservare i terreni agricoli produttivi. L'Agrivoltaico porterà inevitabilmente a condizioni microclimatiche alterate, in particolare una ridotta radiazione solare e conseguenti cambiamenti nel bilancio idrico. Poiché le radiazioni sono uno dei fattori più importanti che influenzano le prestazioni delle colture, un calo dei raccolti agricoli è una conseguenza possibile della coltivazione sotto una fascia di pannelli fotovoltaici. Tuttavia, a causa delle eterogeneità microclimatiche nell'Agrivoltaico, i risultati degli esperimenti di ombreggiatura sono trasferibili ma bisogna sempre valutare accuratamente con approccio agroecologico la progettazione del sistema. Negli anni siccitosi, le alterazioni microclimatiche nell'Agrivoltaico possono contribuire alla stabilizzazione della resa, compensando le fluttuazioni climatiche stagionali e della resa delle colture. Questo potrebbe diventare ancora più importante in futuro con il previsto cambiamento delle condizioni climatiche. Inoltre, sono possibili vantaggi per le colture adattate all'ombra e nei climi caldi e aridi, dove sono vantaggiosi un maggiore risparmio idrico e la protezione dagli effetti negativi delle alte temperature e delle radiazioni eccessive. Poiché allo stato attuale non sono stati tantissimi gli studi che affrontano l'impatto di questa tecnologia sulla resa e sulla qualità delle colture, ulteriori indagini che incorporano diverse condizioni climatiche, specie e varietà di colture sono necessari per la valutazione della sua applicabilità nei potenziali sistemi agrari. Tali studi dovrebbero anche considerare le sinergie con le attuali innovazioni nella tecnologia fotovoltaica e delle tecniche agronomiche applicate in campo agrario. In questo contesto, la modellazione può essere un approccio efficiente per elaborare i risultati degli esperimenti sul campo in modelli universali, che possono quindi essere adattati a condizioni climatiche specifiche e implementazioni tecniche dei sistemi Agrivoltaici, trovando così soluzioni appropriate per le specifiche località. Tuttavia, l'Agrivoltaico può essere una componente importante dei futuri sistemi agricoli, affrontando alcune delle principali sfide sociali e ambientali attuali e future, come il cambiamento climatico, la domanda globale di energia, la sicurezza alimentare e l'uso del suolo (Weselek et al 2019).

4 Considerazioni conclusive alla parte scientifica

L'aumento globale della domanda di energia e cibo dovuto all'aumento della popolazione, unito alle preoccupazioni ambientali, rappresenta la grande sfida da affrontare nei prossimi decenni. Per affrontare questo tema è necessario ridisegnare il settore agricolo, orientandosi verso un uso più razionale dell'energia e lo sfruttamento delle energie rinnovabili. Lo sviluppo dell'uso di fonti di energia rinnovabile è priorità fondamentale per l'Unione Europea, finalizzata alla decarbonizzazione del sistema energetico e una maggiore sicurezza dell'approvvigionamento. È ampiamente riconosciuto che tra le energie rinnovabili, la soluzione fattibile a breve e lungo termine per mitigare i cambiamenti climatici è la generazione di elettricità attraverso impianti fotovoltaici, fornendo notevoli benefici ambientali rispetto a quelli convenzionali (fossile) per produzione di energia. L'Agrivoltaico è un approccio emergente per consentire la coesistenza di produzione di energia da tecnologie fotovoltaiche e produzione di agroalimenti da attività agraria nella stessa superficie di suolo. Sebbene ci si possa aspettare che le colture ombreggiate riducano le rese, ormai sussistono sufficienti studi scientifici che i pannelli fotovoltaici correttamente progettati e strutturati nel sistema Agrivoltaico possono aumentare la resa (a causa della ridotta esposizione al calore estremo, all'irraggiamento solare eccessivo, al vento e alla maggiore conservazione dell'acqua) rispetto alla produzione vegetale convenzionale e anche migliorata in condizioni di applicazione di tecniche agronomiche di buona pratica agricola. Diversi studi riportano che riduzioni moderate dell'irraggiamento giornaliero causato dai fotovoltaici possono fornire molteplici vantaggi sinergici, tra cui una riduzione dello stress idrico delle piante, rese più elevate e più stabili, una riduzione dello stress termico dei pannelli solari sul terreno e un aumento dell'efficienza nell'uso dell'acqua riducendo l'evapotraspirazione dalle colture. L'Agrivoltaico può determinare un significativo miglioramento dell'utilizzo della radiazione solare rispetto ad un agroecosistema convenzionale gestito in monocoltura e in monosuccessione e, quindi, ha il notevole potenziale per aumentare la produzione combinata di cibo ed energia calorica per unità di superficie. Conseguentemente, un sistema Agrivoltaico correttamente progettato nella componente struttura fotovoltaica in cui la componente agraria è organizzata e gestita con i presupposti agroecologici indirizzati alla sostenibilità dell'intero sistema possono certamente determinare un elevato potenziale produttivo in termini energetici e di cibo ottenuti soddisfacendo i pilastri sostanziali della sostenibilità degli agroecosistemi. È anche una tecnologia intelligente per il clima che consente l'adattamento ai cambiamenti climatici migliorando al contempo i servizi ecosistemici dalla terra rispetto alle sole colture o alla sola radiazione solare. Diversi dei concetti qui espressi sono esplicitamente richiamati e presi in considerazione come fondamentali elementi scientifici nelle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici" pubblicate online dal Ministero della Transizione Ecologica il 27/06/2022 (<https://www.mite.gov.it/notizie/impianti-agri-voltaici-pubblicate-le-linee-guida>). Infatti, alcune specificità richiamate nella parte 2 e 3 delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici" sono state diffusamente trattate nei capitoli 2 e 3 (parte scientifica) della presente relazione agroecologica. In particolare, alcune peculiarità citate nelle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici" relativi alla gestione della componente agraria sono ampiamente descritte partendo dalla descrizione dell'agroecosistema sostenibile e i presupposti scientifici nella loro progettazione e gestione, indicando poi come dovrebbero essere organizzati gli agroecosistemi a compatibilità ambientale. In questa relazione agroecologica sono stati approfonditi anche i presupposti di base scientifica dei sistemi complessi e descritte in dettaglio le caratteristiche dell'agroecosistema come Agrivoltaico e le interazioni specifiche sussistenti nell'agroecosistema consociato complesso Agrivoltaico.

Progetto di sistema complesso per la produzione di energia-cibo in Fiscaglia (FE)

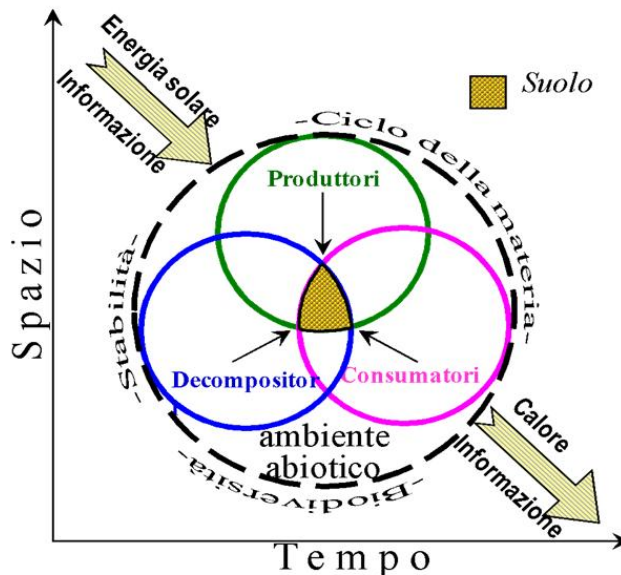
Presupposti di progetto

Lo scambio di conoscenze e la co-progettazione tra il sistema voltaico e il sistema agrario rappresentano gli elementi essenziali per la definizione e la realizzazione in modo appropriato degli impianti agro-voltaici. Il primo fattore chiave per implementare con successo l'Agrivoltaico è la conoscenza delle caratteristiche agro-ambientali che caratterizzano l'area di interesse, seguito dall'analisi delle specie agrarie coltivate e delle potenzialità delle aziende agrarie necessarie allo sviluppo delle capacità fondamentali per la coltivazione e produzione di coltivazioni agrarie in un contesto maggiormente antropizzato per la presenza dei pannelli fotovoltaici. Per questo motivo, è importante che gli utenti finali, dalle multinazionali dell'agroalimentare alla piccola impresa agricola, abbiano accesso alle informazioni su come funzionano i sistemi Agrivoltaici, come sono competitivi con soluzioni alternative e quali vantaggi possono apportare all'intero agroecosistema. Le attività di ricerca e le connesse strategie di divulgazione e coinvolgimenti intersettoriali sono fondamentali per realizzare correttamente impianti e raggiungere appieno i vantaggi dell'Agrivoltaico, abbracciando in sincronia e sinergia sia il settore energetico sia quello agrario. Il settore privato svolge un ruolo chiave nell'innovazione della sostenibilità e gli attuatori della politica agroambientale dovrebbero esplorare tutti modi per migliorare le interazioni tra il settore privato nella produzione di energia e l'agricoltura intelligente ed ecocompatibile al fine sfruttare al meglio l'uso di energia rinnovabile e al contempo determinare la produzione di cibo in un'ottica di salvaguardia e protezione ambientale.

5 IDENTIFICAZIONE DELL'AREA E CARATTERISTICHE PEDO-CLIMATICHE

Nel paradigma ecosistemico il suolo rappresenta il punto d'intersezione tra le catene di pascolo e di detrito che procedono entro il contesto fisico dell'ambiente terrestre ed è quindi l'inevitabile punto di convergenza di tutti gli input biotici e abiotici che operano nell'ecosistema e agroecosistema (Fig. 11).

Figura 11 - suolo come “crocevia” negli ecosistemi terrestri



La “Society of Soil Science of America” (1995) ha definito la qualità del suolo come “*La capacità di uno specifico suolo a funzionare in un definito ecosistema naturale o controllato, a sostenere la produttività di piante e animali, a mantenere o incrementare la qualità dell'acqua e aria, e garantire la salute dell'uomo e dell'ambiente*”.

Quello che definiamo suolo è in realtà lo stato corrente del processo ecosistemico nel punto di massima convergenza degli input e di rilascio degli output e pertanto il suolo è suscettibile di cambiamento, e, negli agroecosistemi, soprattutto in rapporto all'azione delle attività antropiche. Questa posizione epistemologica del significato e ruolo del suolo nell'ecosistema e nell'agroecosistema è condivisa dagli studiosi specialisti del suolo, che rappresentano il suolo e le caratteristiche dell'ecosistema secondo un modello di fattore di stato (*a state factor model*) riassumibile nella seguente funzione:

Suolo e proprietà dell'ecosistema = f (clima, topografia, roccia madre, tempo, organismi, uomo, ...)

Pertanto, i suoli differiscono ampiamente nelle loro proprietà a causa delle variazioni geologiche e climatiche nel tempo e nella distanza. Anche una proprietà semplice, come lo spessore del suolo, può variare da pochi centimetri a molti metri, a seconda dell'intensità e della durata fattori incidenti come agenti atmosferici, episodi di deposizione ed erosione, ecc.. Tuttavia, nonostante questa variabilità, i suoli hanno una caratteristica strutturale unica che li distingue e che funge da base per la loro classificazione: una sequenza verticale di strati prodotti dall'azione combinata delle acque di percolazione e degli organismi viventi. Questi strati sono chiamati orizzonti e l'intera sequenza verticale di orizzonti costituisce il profilo del suolo. L'orizzonte è uno strato risultante dai processi di formazione del suolo, distinguibile dagli strati adiacenti per delle proprietà caratteristiche, e lungo il profilo del suolo si distinguono:

- Orizzonte A o eluviale: strato superficiale soggetto a dilavamento con trasporto di materiali verso il basso;
 - Orizzonte A0: accumulo di residui vegetali;
 - Orizzonte A1 – A2: composto da frazione minerale e sostanza organica a diversi livelli di umificazione;
- Orizzonte B o illuviale: zona di accumulazione di quanto allontanatosi dalla superficie;
- Orizzonte C o substrato pedogenetico: poca alterazione della roccia madre;
- Orizzonte D o roccia madre.

Il suolo, nel complesso delle sue componenti fisiche, chimiche e biologiche, svolge ruoli di elevata importanza per gli ecosistemi e agroecosistemi e per l'ambiente e la società, tra cui si annoverano la funzione: produttiva, regolatrice, protettiva, naturalistica, climatica, storico-ambientale, insediativa, di habitat biologico e riserva genetica.

Il suolo con le sue caratteristiche di stato ed evolutive è direttamente influenzato dalle tecniche agronomiche applicate nel tempo in sito e nello spazio a livello territoriale (figura 12).

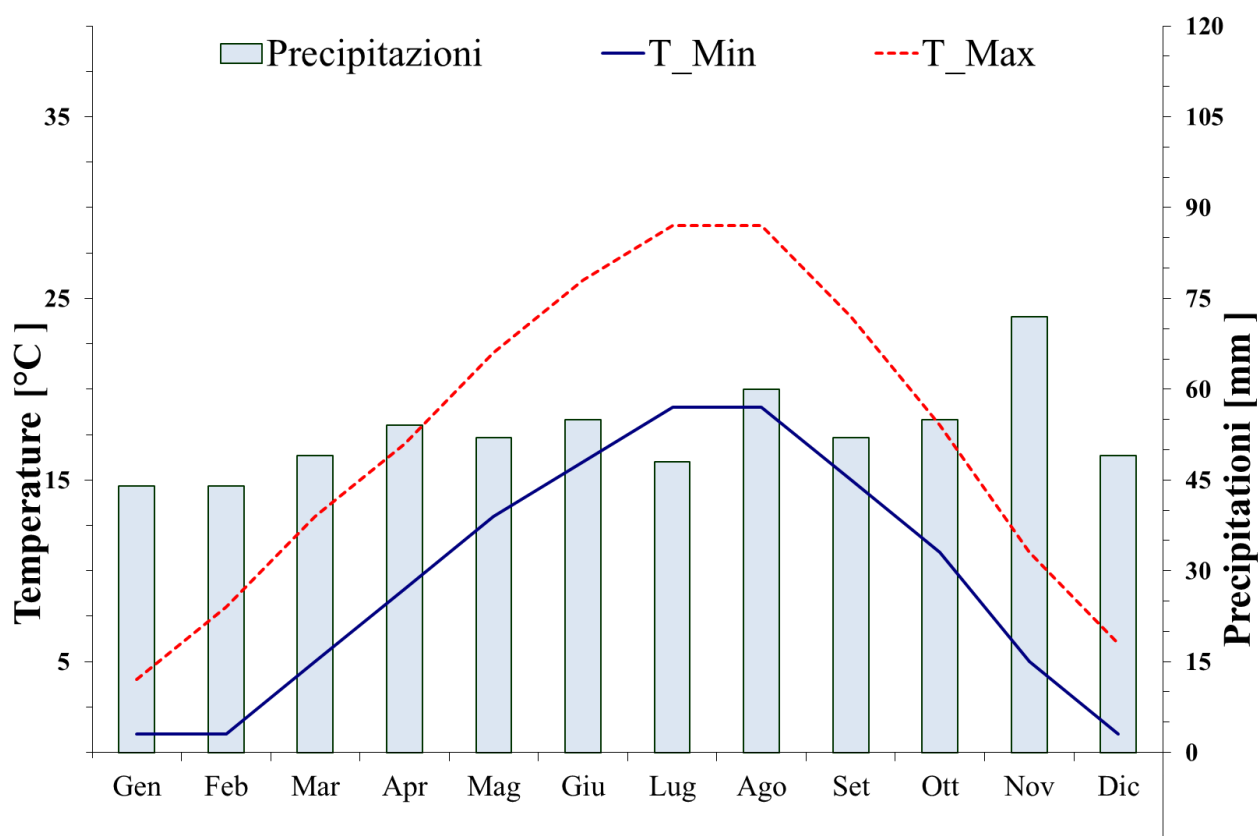
Figura 12 - Vista aerea dell'area di intervento



6 CARATTERISTICHE DEL TERRITORIO

La località oggetto di progettazione dell'impianto agro-voltaico è situata a meno di 20 km dalla costa adriatica nel comune di Fiscaglia (FE, 3 m s.l.m.). Le località oggetto di intervento sono rappresentative delle condizioni agroambientali di vaste aree dedicate alla coltivazione di colture erbacee, orticole e arboree tipiche del litorale adriatico dell'area padana. In figura 13 è stato riportato l'andamento storico (media dei 30 anni precedenti) delle temperature massime e minime, delle precipitazioni della località, mentre in figura 16 è riportato l'andamento della radiazione solare durante l'arco annuale in termini di valori medi mensili.

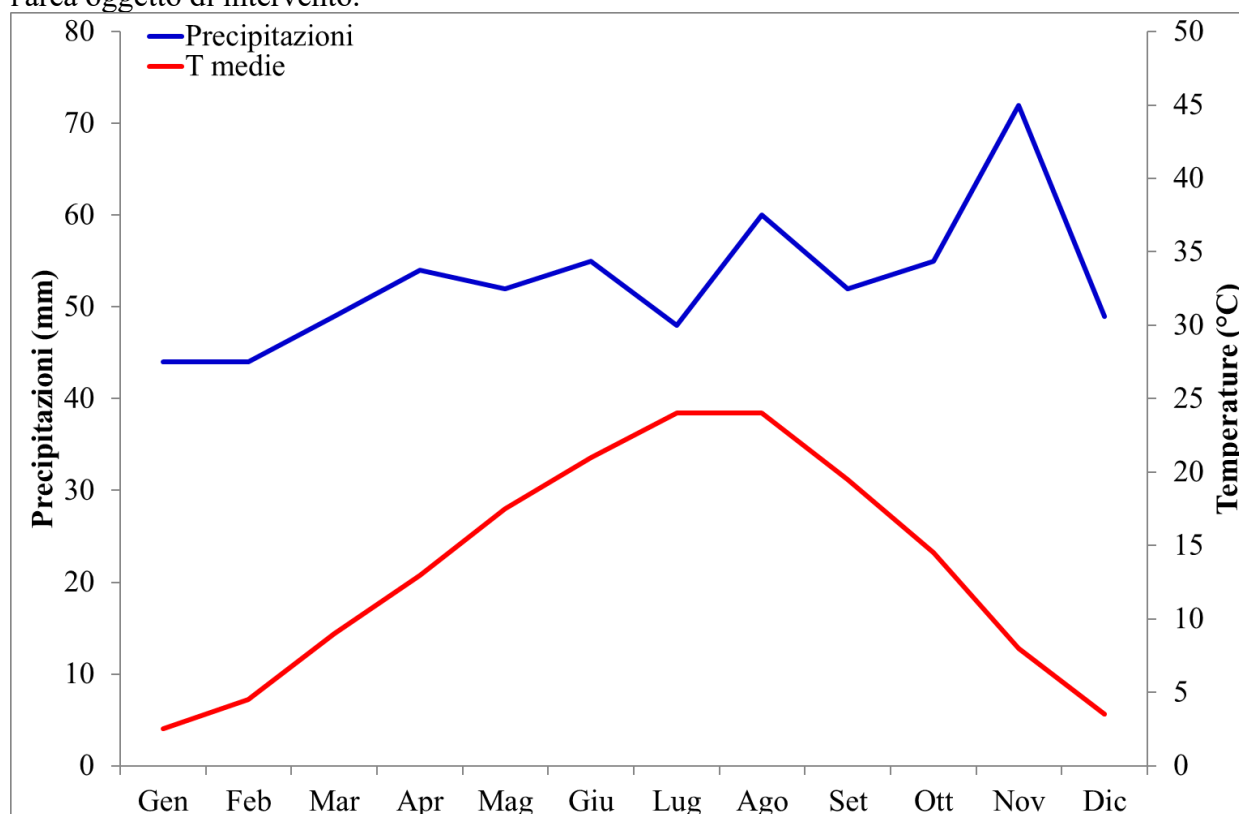
Figura 13 – Fiscaglia (FE). Andamento medio mensile delle precipitazioni, delle temperature minime e delle temperature massime.



Il climodiagramma basato sull'andamento dei dati meteorologici degli ultimi 30 anni mostra come nell'area in oggetto di studio le precipitazioni medie annuali sono di 634 mm molto ben distribuiti, andamento tipico dell'area padana del versante adriatico. La piovosità è distribuita in modo abbastanza durante l'intero anno, e non si osserva una significativa riduzione di precipitazioni tale da determinare il periodo di aridità, come evidenziato anche attraverso il climodiagramma di Walter - Lieth (Figura 14).

La temperatura media nel sito è di 15,5°C con punte di temperature medie massime di 28 °C osservate nei mesi di luglio e agosto e temperature medie minime osservate a gennaio e febbraio (5 °C).

Figura 14 - Climodiagramma di Walter - Lieth con i soli dati di temperature e precipitazioni presso l'area oggetto di intervento.



Come è a tutti noto l'area di intersezione dei due dati nel Climodiagramma di Walter - Lieth evidenzia i periodi definiti di aridità, che non si presenta per il caso in esame. Riguardo ai livelli di aridità però bisogna riferirsi necessariamente all'Indice di De Martonne (Figura 15), al fine di comprendere più dettagliatamente le ipotetiche necessità idriche e interventi di irrigazione.

Come è evidente, gli Indici di De Martonne su base mensile mostrano una condizione di clima per quasi l'intero periodo dell'anno da subumido a umido:

Conseguentemente, nell'area oggetto di intervento si può prevedere la possibilità di coltivazioni sia autunno vernine sia primaverili estive, anche senza supporto di interventi di irrigazione oppure specie e varietà adeguate a sviluppare il loro ciclo vegetativo senza o con limitatissimi quantitativi di apporti idrici anche a mezzo di tecniche che determinano una maggiore efficienza a con quei quantitativi di acqua disponibile.

Nel sito di progetto Agrivoltaico sarà installata una stazione agrometeorologica nei pressi del Centro Campo Base, al fine di effettuare i rilievi climatici necessari su parametri atmosferici e del suolo e a seguire le colture presenti nell'intera area.

Riguardo alla radiazione solare, come atteso, cresce gradualmente da dicembre ($5,1 \text{ MJ m}^{-2}$ giorno) fino ad arrivare un massimo di radiazione solare osservabile in giugno ($23,2 \text{ MJ m}^{-2}$ giorno) per poi scendere nei mesi autunno-vernini (Figura 16).

Figura 15 - Indici di De Martonne su base mensile relativi all'area oggetto di intervento.

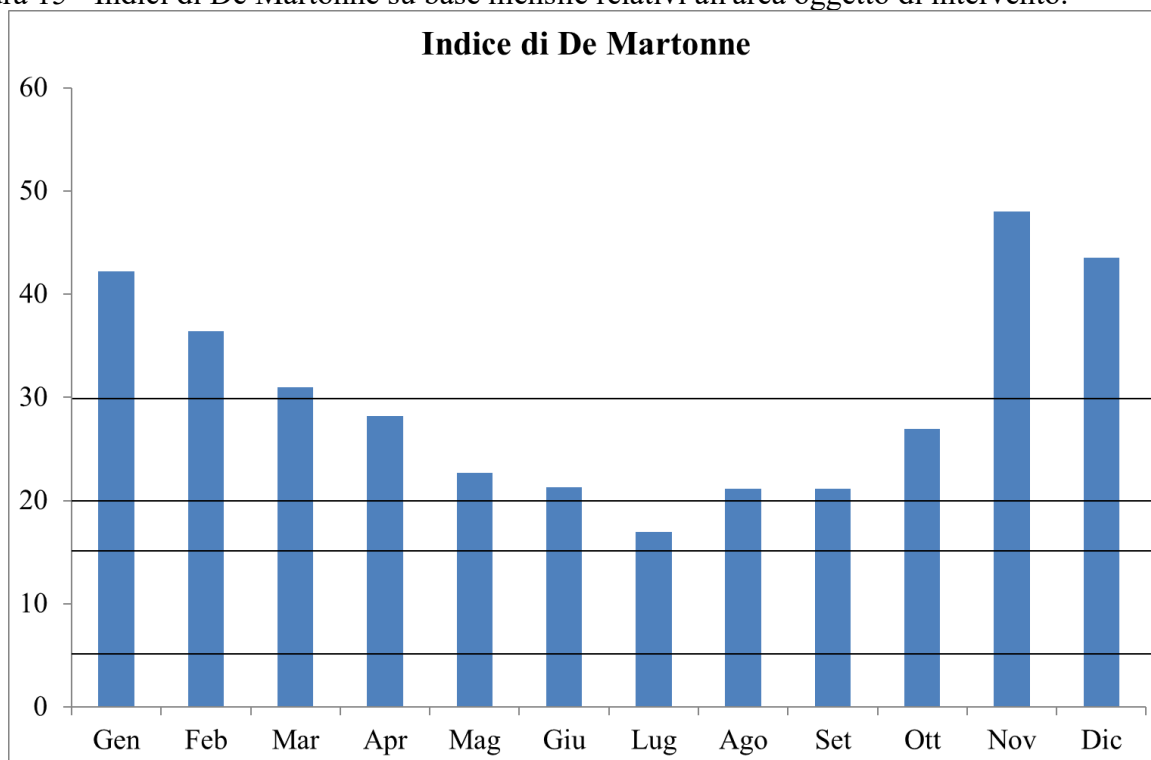
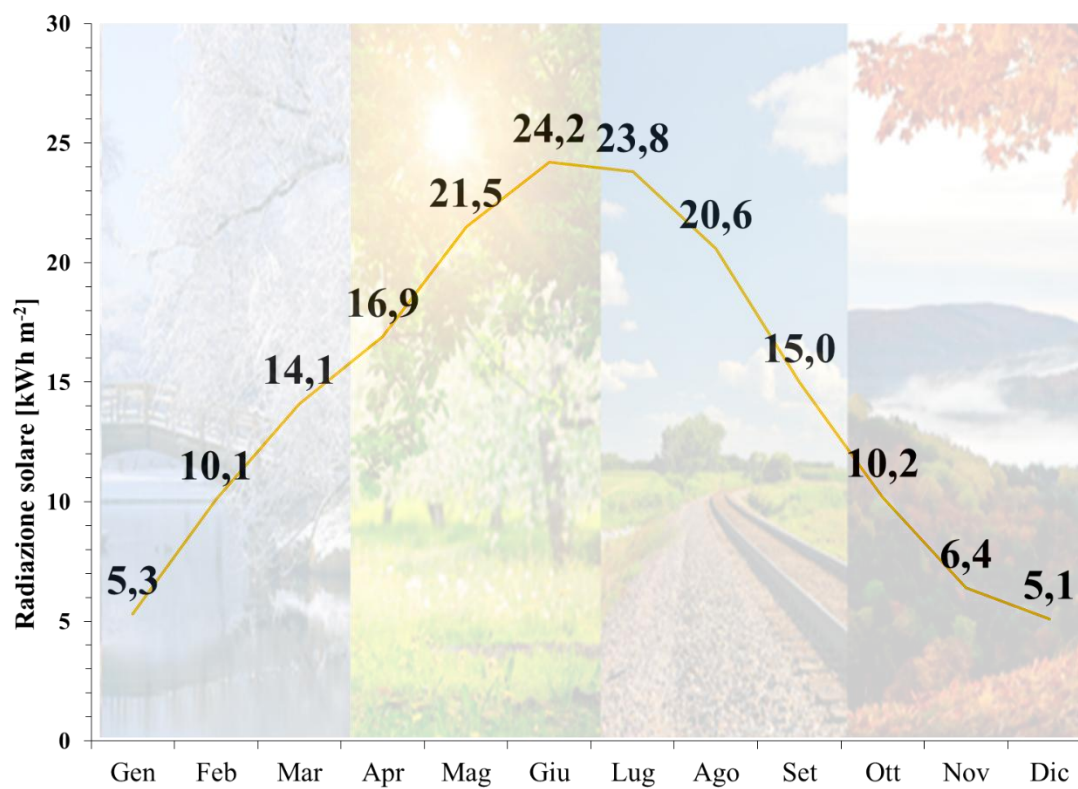


Figura 16 – Fiscaglia (FE). Andamento medio mensile della radiazione solare.



7 TERRENI AGRARI E CARATTERISTICHE TASSONOMICHE DEI SUOLI

Per le caratteristiche dei suoli nell'area oggetto di intervento si riportano di seguito i dati dei suoli estratti dalla Cartografia redatta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e consultabile mediante webgis e presso il sito <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/conoscere-suolo/carte-dei-suoli-emilia-romagna>.



Catalogo Suoli - Schede descrittive - PIANURA

MSF1 - MASSA FISCAGLIA franco argilloso limosi

DESCRIZIONE

I suoli MASSA FISCAGLIA franco argilloso limosi sono molto profondi e moderatamente alcalini; a tessitura franca argillosa limosa, moderatamente o molto calcarei nella parte superiore e molto calcarei in quella inferiore.

Il substrato è costituito da alluvioni a tessitura da media a moderatamente fine

AMBIENTE

I suoli MASSA FISCAGLIA franco limoso argillosi sono in aree di transizione tra la piana deltizia inferiore e la piana deltizia superiore abbandonata dal Po in corrispondenza dei canali distributori, che separano aree morfologicamente più depresse; sporadicamente si trovano ai margini di paleovalle in aree costiere. Si trovano a quote topografiche comprese fra 1 e -1 m rispetto al livello del mare. In queste terre la pendenza è generalmente compresa tra 0.05 e 0.2%. L'uso del suolo è a seminativi, orticole e risaie.

CLASSIFICAZIONE

USDA (2010) fine silty, mixed, superactive, calcareous, mesic Fluvaquentic Endoaquepts

WRB (2007) Fluvis Gleysols (Drainic)



ORIZZONTI GENETICI DEL SUOLO (valori modali)

| N | OrizGen | LimSup | Spes | Arg % | Sab % | Schel % | S.O % | CalcTot % | CalcAtt % | pH | Dens App | Ksat cm/h | Concentr | Conc % | Qualità |
|---|---------|--------|------|-------|-------|---------|-------|-----------|-----------|-----|----------|-----------|--|--------|---------|
| 1 | Ap | 0 | 50 | 32 | 15 | 0 | 2.1 | 10 | 6 | 8 | 1.45 | 0.04233 | | 0 | bassa |
| 2 | B(k)g | 50 | 45 | 32 | 15 | 0 | 2 | 15 | | 8 | 1.52 | 0.02277 | masse cementate di carbonato di calcio | | bassa |
| 3 | C(k)g | 80 | | 26 | 10 | 0 | 1 | 18 | | 8.3 | 1.67 | 0.00982 | masse cementate di carbonato di calcio | | bassa |

QUALITA' SPECIFICHE

| Parametro | Valore |
|---|---|
| Calcare attivo strato superficiale | da 4 a 6 % |
| Calcare attivo entro 80 cm | da 4 a 6 % |
| Capacità di scambio cationico nello strato superficiale | >10 meq/100g |
| Salinità strato 0-50 cm | da molto debolmente salino (Ece 2-4 dS/m) a non salino (Ece < 2 dS/m) |
| Salinità strato 50-100 cm | da molto debolmente salino (Ece 2-4 dS/m) a non salino (Ece < 2 dS/m) |
| Disponibilità di ossigeno | imperfetta |
| Rischio di incrostamento superficiale | moderato |
| Fessurabilità | media |
| Capacità in acqua disponibile | moderata (150-225 mm) |
| Ksat maggiormente limitante entro 150 cm | bassa (0,0036-0,036 cm/h) |
| Profondità utile per le radici delle piante | moderatamente elevata (50-100 cm) |
| Percorribilità | discreta |
| Resistenza meccanica alle lavorazioni | moderata |
| Tempo di attesa per le lavorazioni | medio |
| Inondabilità | nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni) |
| Capacità depurativa | alta |
| Capacità di accettazione piogge | moderata |
| Rischio di perdite di suolo per erosione | molto basso |
| Gruppo Idrologico | D: potenziale scorrimento superficiale alto |

**MSF2 - MASSA FISCAGLIA franco limosi****DESCRIZIONE**

I suoli MASSA FISCAGLIA franco limosi sono molto profondi e moderatamente alcalini; a tessitura franca limosa e moderatamente o molto calcarei nella parte superiore e a tessitura franca argillosa limosa o franca limosa e molto calcarei in quella inferiore.

Il substrato è costituito da alluvioni a tessitura da media a moderatamente fine.

AMBIENTE

I suoli MASSA FISCAGLIA franco limosi sono in aree di transizione tra la piana deltizia inferiore e la piana deltizia superiore abbandonata dal Po in corrispondenza dei canali distributori, che separano aree morfologicamente più depresse; sporadicamente si trovano ai margini di paleovalvei in aree costiere. Si trovano a quote topografiche comprese fra 1 e -1 m rispetto al livello del mare; la pendenza è generalmente compresa tra 0.05 e 0.2%.

L'uso del suolo è a seminativi, orticole e risaie.

CLASSIFICAZIONE

USDA (2010) fine silty, mixed, superactive, calcareous, mesic Fluvaquentic Endoaquepts

WRB (2007) Fluvis Gleysols (Drainic)

**ORIZZONTI GENETICI DEL SUOLO (valori modal)**

| N | OrizGen | LimSup | Spes | Arg % | Sab % | Schel % | S.O % | CalcTot % | CalcAtt % | pH | Dens App | Ksat cm/h | Concentr | Conc % | Qualità |
|---|---------|--------|------|-------|-------|---------|-------|-----------|-----------|-----|----------|-----------|----------|--------|---------|
| 1 | Ap | 0 | 55 | 24 | 25 | 0 | 1.5 | 11 | 5 | 8.1 | 1.5 | 0.10487 | | | bassa |
| 2 | Bg | 55 | 35 | 25 | 17 | 0 | 1.2 | 16 | | 8.2 | 1.59 | 0.02988 | | | bassa |
| 3 | Cg | 90 | | 25 | 10 | 0 | 1 | 17 | | 8.3 | 1.68 | 0.01027 | | | bassa |

QUALITA' SPECIFICHE

| Parametro | Valore |
|---|---|
| Calcare attivo strato superficiale | da 3 a 7 % |
| Calcare attivo entro 80 cm | da 4 a 6 % |
| Capacità di scambio cationico nello strato superficiale | >10 meq/100g |
| Salinità strato 0-50 cm | da molto debolmente salino (Ece 2-4 dS/m) a non salino (Ece < 2 dS/m) |
| Salinità strato 50-100 cm | da molto debolmente salino (Ece 2-4 dS/m) a non salino (Ece < 2 dS/m) |
| Sodicità entro 60 cm (ESP) | da 1 a 5 |
| Disponibilità di ossigeno | imperfetta |
| Rischio di incrostamento superficiale | forte |
| Fessurabilità | bassa |
| Capacità in acqua disponibile | moderata (150-225 mm) |
| Ksat maggiormente limitante entro 150 cm | bassa (0,0036-0,036 cm/h) |
| Profondità utile per le radici delle piante | moderatamente elevata (50-100 cm) |
| Percorribilità | buona |
| Resistenza meccanica alle lavorazioni | scarsa |
| Tempo di attesa per le lavorazioni | breve |
| Inondabilità | nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni) |
| Capacità depurativa | alta |
| Capacità di accettazione piogge | moderata |
| Rischio di perdite di suolo per erosione | molto basso |
| Gruppo Idrologico | D: potenziale scorrimento superficiale alto |

In generale, è evidente che le caratteristiche generali dei suoli nell'area di progetto, risultano di buon interesse agronomico poiché si desumono potenzialità produttive di PAU (produzione agraria utile) rilevanti. Dal punto di vista agronomico è interessante anche per la condizione orografica pianeggiante che agevola le operazioni e gli interventi di gestione nell'intero agroecosistema. In particolare, dal sopralluogo effettuato si evincono differenze nelle caratteristiche dei suoli e relativa orografia. Le aree di progetto insistenti nel comune di Fiscaglia risultano pianeggianti e suolo tendente alla buona qualità e possibilità di irrigazione (Foto 1a, 1b, 1c, 1d, 1e; vedi posizione in mappa riportata di seguito).

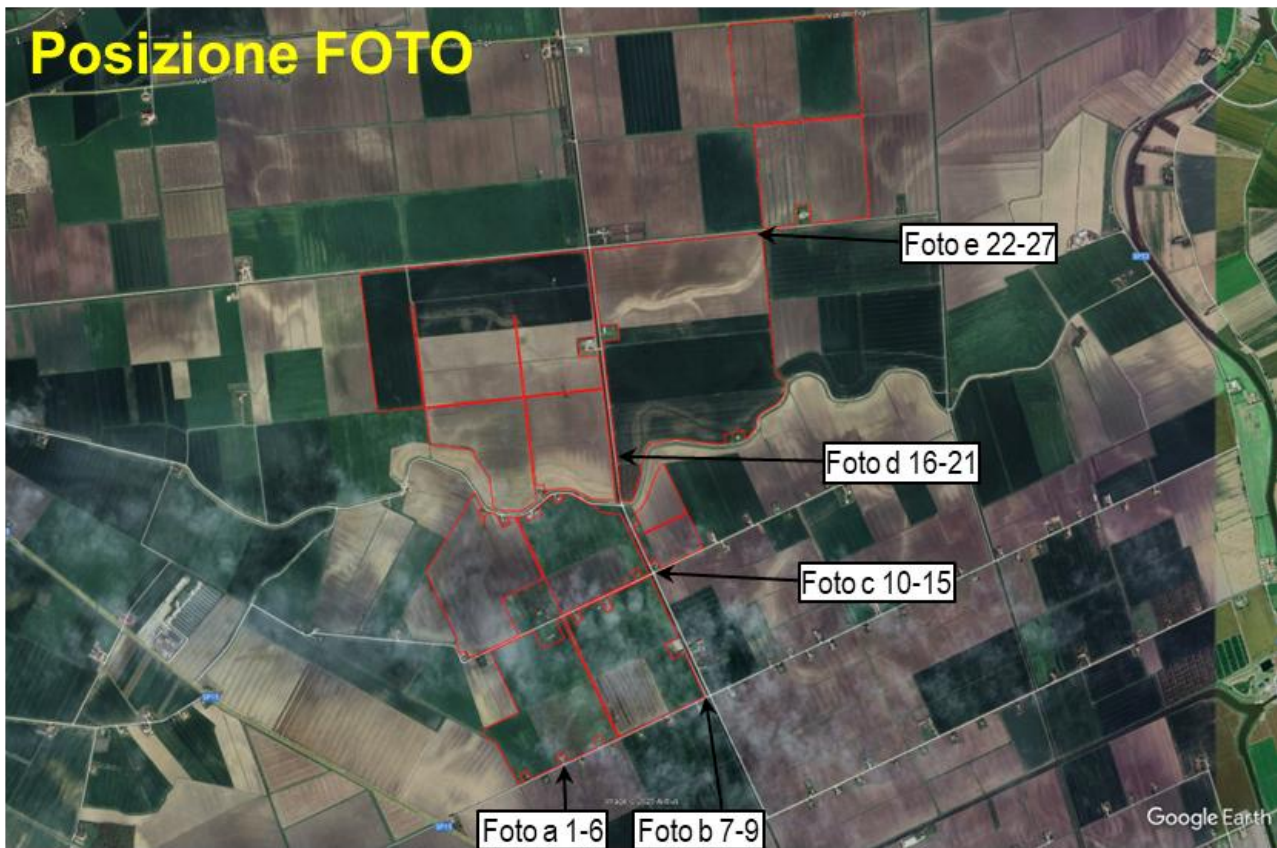


Foto 1a1 - Area oggetto di intervento.



Foto 1a2 - Area oggetto di intervento.



Foto 1b - Area oggetto di intervento.



Foto 1c1 - Area oggetto di intervento.



Foto 1c2 - Area oggetto di intervento.



Foto 1d1 - Area oggetto di intervento.



Foto 1d2 - Area oggetto di intervento.



Foto 1e1 - Area oggetto di intervento.



Foto 1e2 - Area oggetto di intervento.



8 SVILUPPO DELLE ATTIVITA' NELL'AREA

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, in merito alle attività economiche agrarie, recita:

L'agricoltura concorre in misura consistente alla formazione del reddito in tutti i Comuni della Provincia, compreso lo stesso Comune di Ferrara in cui -anzi- il comparto ortofrutticolo ha uno dei punti di forza sia per la produzione che per la commercializzazione; basti pensare che degli oltre quaranta centri abitati su cui si articola il Comune capoluogo, proprio quelli "immersi" nella zona di più forte produzione (S.Martino e S.Bartolomeo) mostrano i più positivi indicatori di benessere sociale e di stabilità insediativa.

Parziali eccezioni alla norma provinciale -ma più per struttura organizzativa che per peso relativo agli altri settori- sono costituite dalle aree di Cento-S.Agostino ad ovest, di Argenta a sud-est.

Nella prima si ritrovano quasi tutti i caratteri di forte parcellizzazione aziendale, di forte integrazione con gli altri settori, di reinvestimento degli utili in altre imprese, tipici dell'area emiliana; nella seconda, la larga diffusione dell'organizzazione cooperativistica in tutti i settori ha prodotto un fenomeno di circolazione e reinvestimento dei proventi dell'agricoltura con risultati non dissimili da quelli, appunto, della Via Emilia anche se con connotati decisamente originali.

I problemi strutturali che affliggono l'agricoltura ferrarese non sono molto diversi da quelli di altri settori, anche se su alcuni di essi, in particolare sul versante della qualificazione dei prodotti e della valorizzazione dei marchi di tipicità, molto si è fatto nell'ultimo decennio, sfruttando al meglio le professionalità disponibili sul territorio e le risorse del PSR.

Nonostante ciò, rimangono ancora criticità su cui è opportuno continuare ad agire anche nel prossimo periodo di programmazione dei fondi UE 2014-2020:

- fragilità finanziaria dell'impresa e difficoltà di accesso al credito;*
- scarsa di comunicazione tra imprese;*
- potenziamento delle reti per la veicolazione delle conoscenze tecnologiche e di mercato;*
- necessità di formazione ed aggiornamento professionale per gli operatori dei diversi comparti del settore.*

Si tenga anche conto che una corretta gestione idraulica del territorio è pure importante per il contenimento dei fenomeni di risalita del cuneo salino ovvero per il mantenimento di fertilità dei terreni, e si capirà quanto gli investimenti nel mantenimento delle opere di bonifica siano importanti per l'agricoltura, non solo nel Delta. Infine, il bisogno di informazione, di conoscenza e di punti di riferimento per il riorientamento dei comportamenti dei produttori, indotto dalla questione "produzione/protezione ambientale": un dualismo (o un conflitto) apparente per un settore che, più di ogni altro, non può permettersi di distruggere le risorse del territorio.

Da queste considerazioni, gli interventi della Amministrazione Provinciale nel settore si articoleranno in:

- potenziamento delle forme di assistenza tecnica ai produttori e compartecipazione al finanziamento ed alla implementazione di reti informative dedicate, con particolare attenzione alla veicolazione delle informazioni relative alle nuove tecnologie nei settori strategici (ortofrutticoltura, zootecnia specialistica, colture energetiche);*
- sostegno finanziario diretto aggiuntivo per ridurre il costo del danaro per gli investimenti delle aziende operanti nel Parco del Delta e per il recupero e riuso del patrimonio edilizio rurale nelle zone interessate dai Fondi Strutturali ed in quelle limitrofe con analoghe caratteristiche;*
- azione di sindacato nei confronti degli Istituti di Credito per ottenere la diminuzione degli oneri finanziari a carico delle aziende, attraverso il consolidamento delle passività onerose con finanziamenti a medio - lungo termine (ad aziende ortofrutticole e zootecniche) e prefinanziamento sulle quote di compartecipazione alle azioni comunitarie o nazionali di riordino fondiario e di riassetto del settore primario;*
- costituzione di un gruppo di animazione locale di assistenza tecnica, specifico per il Parco del Delta con anche il compito di sollecitare ed accompagnare la costituzione tra produttori di un Consorzio dei prodotti del Parco (Marchio);*

- *accentuazione della attenzione sul riordino del sistema di bonifica e di irrigazione con ricerca di più stabili risorse per la gestione corrente, con un ulteriore integrazione delle gestioni e con lo sviluppo di una linea di progettazione degli interventi (con coinvolgimento anche degli Istituti Universitari prossimi all'area) in grado di conciliare ancor meglio le necessità di corretta ed economica gestione, quelle di regolare approvvigionamento idrico e quelle di tutela e miglioramento del sistema ambientale complessivo della Provincia.*

Tale azione comporterà l'avvio di azioni di partenariato con le aree di bonifica rodigine e ravennati, in cui la Provincia opererà come Agente di Promozione.

La Provincia sosterrà le iniziative volte alla unificazione delle politiche di intervento per la ricerca, la sperimentazione, la divulgazione, i servizi al produttore e la formazione professionale, nella convinzione che tale metodo sistemico di approccio ai problemi della agricoltura sia indispensabile al corretto uso delle risorse finanziarie ed umane disponibili, in particolare per i settori della zootecnia e per quello delle produzioni non alimentari (amidi, biodisel e bioetanolo, pasta per cellulosa e tessili, ecc.).

9 L'AGRICOLTURA NELLA PROVINCIA DI FERRARA

L'area oggetto della presente progettazione inerente la realizzazione di un impianto Agrivoltaico è situata all'interno del territorio della provincia di Ferrara (FE) in un contesto territoriale vocato all'attività agricola con coltivazioni prevalentemente erbacee, ma anche da frutto e legnose. Nell'anno 2023, i dati riguardanti la rilevazione ISTAT (www.istat.it) indicano, per la provincia di Ferrara, una superficie agricola utilizzata (S.A.U.) totale di circa 228.067 ettari (ha). La SAU nell'area in oggetto è prevalentemente destinata alla coltivazione di coltivazioni erbacee seminatrici con un investimento nel 2023, in termini di superficie coltivata, pari a 202.570 ha corrispondente a circa il 88.8% dell'intera SAU provinciale. A seguire, le coltivazioni ortive che nel 2023 hanno ricoperto circa il 7% della SAU presente nella provincia di Ferrara (14.974 ha), mentre la coltivazione di specie da frutto hanno rappresentato nello stesso anno di rilevazione il 4,0% della superficie coltivata (9.343 ha), infine le specie legnose rappresentano circa il 0,5% della superficie totale destinata alle attività agricole corrispondente a 1.180 ha.

Nell'ambito della categoria dei seminativi, le tipologie di coltivazioni che maggiormente sono rappresentative della provincia di Ferrara sono rappresentate dai cereali in complesso occupando una superficie di circa 97.109 ha corrispondente a circa il 47.5% della superficie destinata alla coltivazione di specie erbacee estensive. Le superfici più rilevanti sono prevalentemente destinate alla coltivazione di cereali autunno-vernini quali: frumento tenero (34.750 ha corrispondente al 17.2 % della superficie destinata ai seminativi) e frumento duro (26.722 ha corrispondente al 13.2 % della superficie destinata ai seminativi nella provincia di riferimento). Sebbene con superfici più modeste rispetto a quelle rilevate per il frumento, anche l'orzo con 4.335 ha (2.1% della superficie destinata ai seminativi) rappresenta un cereale che trova spazio negli ordinamenti colturali della provincia di Ferrara nell'ambito dei cereali autunno-vernini. Nell'ambito dei cereali primaverili-estivi, il mais viene coltivato su una superficie complessiva di 21.385 ha (10.6 % della superficie destinata ai seminativi), in particolare la coltivazione di mais ceroso utilizzato per la produzione di biomassa da utilizzare nei biodigestori per la produzione di energia ricopre una superficie di circa 10.500 ha. Tuttavia, tra le specie primaverili-estive assumono un ruolo importante anche la coltivazione del sorgo, da granella e biomassa, con una superficie di 4.013 ha che occupa il 2.0% della superficie destinata ai seminativi, mentre nelle aree più costiere della provincia il riso rappresenta un importante cereale (4.763 ha e 2.4% della superficie a seminativi) riconosciuto anche tramite un riconoscimento comunitario (riso del Delta del Po). La coltivazione dei cereali da granella minori, quali triticale avena, si rilevano superfici dell'ordine di qualche decina di ettaro coltivato. Per tutte le specie cerealicole citate, inoltre, si osserva una tendenza costante della superficie coltivata nelle ultime annate agrarie (2023 e 2024), ad eccezione del frumento duro che ha visto in decremento considerevole nell'ultimo biennio, probabilmente legato a dinamiche di mercato della granella. Nell'ambito delle altre colture seminatrici, le leguminose da granella sono complessivamente coltivate per circa 26.000 ha, con la soia che ricopre la porzione maggiore di terreno con circa 24.825 ha che corrispondono al 12.3% dell'intera superficie destinata alle coltivazioni erbacee estensive. Le altre leguminose da granella ricoprono complessivamente circa 1.000 ha, tuttavia, le specie di maggiore interesse di coltivazione sono rappresentate da pisello proteico (637 ha corrispondente al 0.3% della superficie destinata ai seminativi) seguita da fava da granella e fagiolo secco (112 e 184 ha rispettivamente). Tra le altre colture seminatrici, particolare attenzione meritano la coltivazione del girasole con una superficie complessiva per l'anno 2023 di circa 4.000 ha (1.9% della superficie destinata ai seminativi), colza con 2.500 ha (1.3% della superficie destinata ai seminativi). Tuttavia, per la provincia in oggetto assumono un ruolo importante negli avvicendamenti colturali anche la barbabietola da zucchero che con 3.400 ha ricopre circa il 2.0% della superficie destinata alla coltivazione delle colture estensive e la patata che nel 2023 ha occupato circa il 0.6% della SAU

(1.300 ha) tuttavia i dati storici mostrano per entrambe le colture una crescita della superficie destinata alla coltivazione di queste due specie agrarie. Le colture foraggere occupano complessivamente una superficie di circa 18.000 ha. Tra queste, la coltivazione dell'erba medica, con una superficie coltivata di 17.450 ha è la foraggera maggiormente coltivata in termini di superficie nella provincia di Ferrara (8.5% della superficie destinata ai seminativi) e contestualmente anche la foraggera con la più elevata produzione della provincia di unità foraggere.

Tabella 5 - Superficie e produzione di seminativi nella provincia di Ferrara (FE) rilevate nelle ultime 2 stagioni agrarie. Fonte: www.istat.it.

| Superfici e produzione - dati in complesso | | | | |
|--|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Frequenza: Annuale | | | | |
| Territorio: Ferrara | | | | |
| | | | | |
| Tempo | 2023 | | 2024 | |
| Indicatore | Superficie totale - ettari | Produzione raccolta - quintali | Superficie totale - ettari | Produzione raccolta - quintali |
| Tipo di coltivazione | | | | |
| Frumento tenero | 34,750 | 1,876,500 | 32,035 | 1,954,135 |
| Grano invernale e farro | 34,750 | 1,876,500 | 32,035 | 1,954,135 |
| Frumento duro | 26,722 | 1,309,378 | 20,638 | 1,197,004 |
| Segale | 74 | 2,590 | 119 | 4,403 |
| Orzo | 4,335 | 208,080 | 4,335 | 216,750 |
| Orzo invernale | 4,335 | 208,080 | 4,335 | 216,750 |
| Avena | 95 | 3,420 | 95 | 2,375 |
| Mais | 21,385 | 2,138,500 | 21,119 | 2,111,900 |
| Riso | 4,763 | 266,939 | .. | .. |
| Sorgo | 4,013 | 172,559 | 4,200 | 180,600 |
| Triticale | 184 | 15,640 | 184 | 9,568 |
| Altri cereali | 788 | 28,368 | .. | .. |
| Pisello proteico | 637 | 15,925 | 55 | 1,925 |
| Pisello da granella | 62 | 1,550 | 219 | 8,760 |
| Fagiolo secco | 184 | 4,600 | 328 | 5,904 |
| Fava da granella | 112 | 2,240 | 105 | 2,625 |
| Patata comune | 1,298 | 486,750 | 1,375 | 591,250 |
| Barbabietola da zucchero | 3,392 | 1,959,722 | .. | .. |
| Arachide | 121 | 5,445 | 146 | 5,840 |
| Colza | 2,539 | 30,468 | 2,693 | 75,404 |
| Girasole | 3,941 | 141,876 | 2,409 | 72,270 |
| Soia | 24,825 | 769,575 | 31,571 | 1,199,698 |
| Orzo a maturazione cerosa | 285 | 77,207 | 370 | 121,943 |
| Mais ceroso | 10,408 | 4,917,780 | 11,657 | 6,700,951 |
| Altri erbai monofiti | 820 | 169,617 | 2,282 | 574,328 |
| Graminacee | 69 | 5,361 | 770 | 146,300 |
| Leguminose | 30 | 2,583 | 363 | 79,497 |
| Altri miscugli | 38 | 2,793 | 403 | 72,540 |
| Erba medica | 17,450 | 5,235,000 | 16,936 | 6,181,301 |
| Prati avvicendati polifiti | 165 | 45,911 | 775 | 262,352 |

Nell'ambito delle coltivazioni ortive, le superfici destinate alla loro coltivazione nell'anno 2023 nella provincia di Ferrara sono state pari a 14.974 ha, rappresentando un'eccezione rispetto agli altri contesti di coltivazioni ortive locate in altre provincie italiane. Tra le specie ortive, la specie maggiormente coltivate nei sistemi colturali ortivi situati in provincia di Ferrara è presente il pomodoro da trasformazione in piena aria che con circa 7.469 ha rappresenta circa il 50% delle superfici destinate alla coltivazione di specie ortive e con un trend in crescita tra le annate agrarie considerate. La provincia di Ferrara si conferma la seconda provincia per coltivazione e produzione del pomodoro da industria. Tuttavia, è da segnalare come negli agroecosistemi della provincia di Ferrara si ha un'elevata variabilità di coltivazione di specie ortive, evidenziando le ottimali condizioni di coltivazioni dell'area oggetto di studio. Tra le altre coltivazioni da segnalare è la coltivazione del pisello in piena aria (2.900 ha che corrisponde al 19% della superficie destinata alle colture ortive). A seguire trovano spazio di coltivazione anche il carota (1400 ha che corrispondono al 9.1% della superficie destinata alle colture ortive) e il fagiolino (558 ha che corrispondono al 3.7% della

superficie destinata alle colture ortive). Sebbene i dati rilevati dall'ISTAT mostrino come si ha un'ampia coltivazione di specie ortive in tutto l'areale della provincia di Ferrara, è da segnalare che le superficie sono relativamente modeste e dell'ordine di qualche centinaio di ettari. Le specie che comunque meritano particolare analisi sono l'asparago verde (450 ha che corrispondono a 3.0% della superficie destinata alle colture ortive), il quale è riconosciuto anche attraverso marchi di origine. In aggiunta assumono un ruolo importante altre coltivazioni storiche per il territorio di specie ortive quali: il melone (400 ha che corrispondono a 2.9% della superficie destinata alle colture ortive), la zucchina (549 ha che corrispondono a 3.7% della superficie destinata alle colture ortive) e l'anguria (430 ha che corrispondono a 2.9% della superficie destinata alle colture ortive). Infine, seppur con una superficie modesta l'aglio (223 ha) ha un ruolo importante in quanto anch'esso è riconosciuto tramite un marchio DOP.

Tabella 6 - Superficie e produzione di ortive nella provincia di Ferrara (FE) rilevate negli ultimi 3 anni solari.
Fonte: www.istat.it.

| Superfici e produzione - dati in complesso | | | | |
|--|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Frequenza: Annuale | | | | |
| Territorio: Ferrara | | | | |
| Tempo | 2023 | | 2024 | |
| Indicatore | Superficie totale - ettari | Produzione raccolta - quintali | Superficie totale - ettari | Produzione raccolta - quintali |
| Tipo di coltivazione | | | | |
| Pisello in piena aria | 2,880 | 118,080 | 2,810 | 134,880 |
| Fagiolo e fagiolino in piena aria | 558 | 35,154 | 809 | 50,164 |
| Cipolla in piena aria | 73 | 43,800 | 73 | 48,764 |
| Carota e pastinaca in piena aria | 1,367 | 683,500 | 1,367 | 615,150 |
| Asparago in piena aria | 450 | 26,700 | 210 | 10,920 |
| Radicchio o cicoria in piena aria | 182 | 54,600 | 182 | 45,500 |
| Popone o melone in piena aria | 394 | 128,050 | 394 | 108,350 |
| Zucchina in piena aria | 549 | 137,250 | 604 | 181,170 |
| Cocomero in piena aria | 430 | 194,790 | 453 | 295,809 |
| Spinacio in piena aria | 217 | 43,400 | .. | .. |
| Aglio | 223 | 18,955 | 180 | 16,200 |
| Cicoria o radicchio per consumo fresco in | 182 | 54,600 | 182 | 45,500 |
| Pomodoro da trasformazione in piena aria | 7,469 | 4,556,090 | 8,963 | 7,170,240 |

Le coltivazioni legnose (arboree) di interesse agrario nella provincia di Ferrara assumono un ruolo marginale e riguardano prevalentemente la coltivazione dell'uva da vino ed in maniera molto contenuta l'olivo per la produzione di olive da tavola e da olio, che complessivamente ricopre 1.180 ha. Sebbene la rilevazione ISTAT non segnali uve per vini certificati quali DOP e IGP per l'anno 2022, sulla base delle annate agrarie precedenti si rileva una produzione di circa 582 ha di uve per vini di cui 35 ha per la coltivazione di uve per vini DOP e 99 per la coltivazione di uve per vini IGP. Solamente una piccola porzione (7 ha è destinata alla produzione di uva da tavola). Complessivamente la vite, con una superficie rappresenta la quasi totalità delle coltivazioni legnose nella provincia di Ferrara. Alla coltivazione dell'olivo è destinata una superficie di minima di 3 ha destinati alla produzione di olive da tavola e per la produzione da olio.

Tabella 7 - Superficie e produzione di coltivazioni legnose agrarie nella provincia di Ferrara (FE) rilevate negli ultimi 3 anni solari. Fonte: www.istat.it.

| Superfici e produzione - dati in complesso | | | | |
|--|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Frequenza: Annuale | | | | |
| Territorio: Ferrara | | | | |
| | | | | |
| Tempo | 2023 | | 2024 | |
| Indicatore | Superficie totale - ettari | Produzione raccolta - quintali | Superficie totale - ettari | Produzione raccolta - quintali |
| Tipo di coltivazione | | | | |
| Uva da vino | 582 | 84,784 | 579 | 97,489 |
| Uve per vini dop | 35 | 4,368 | 23 | 3,080 |
| Uve per vini igp | 99 | 11,424 | 243 | 37,363 |
| Uve per altri vini (escluso dop e igp) | 448 | 68,992 | 313 | 57,046 |
| Uva da tavola | 7 | 900 | 7 | 600 |
| Olive da tavola e da olio | 3 | 6 | 3 | 24 |
| Altre olive | 3 | 6 | .. | .. |
| Olive da olio | 3 | 6 | .. | .. |

Infine, le coltivazioni di specie fruttifere per la produzione di frutta da bacche e frutta a guscio ricoprono una porzione abbondante di SAU della provincia di Ferrara rappresentando una delle principali attività agricole della provincia. La coltivazione di maggiore interesse è rappresentata dalla coltivazione di specie pomacee che complessivamente ricoprono una superficie del 84.6% rispetto al totale delle specie da frutto (1.976 ha). In particolar modo, il territorio ferrarese risulta essere particolarmente riconosciuto per la coltivazione della pera cv. Abate. A conferma, i dati di rilevazione ISTAT mostrano che la coltivazione delle pere nel 2023 hanno interessato una superficie di 5026 ha, corrispondenti a 54 % della superficie coltivata ad frutteto. Ad ogni modo è da segnalare la riduzione della superficie coltivata a pera che passa da 5.026 ha del 2023 a 4.114 ha del 2024, una significativa riduzione da imputare alla crisi del settore della pera che ha colpito il territorio soprattutto a seguito di problemi legato a stress biotici (cimice asiatica e maculatura) e abiotici (siccità e eccessive temperature estive). Anche la superficie destinata alla coltivazione della mela è di circa 2600 (27.6% della superficie frutticola) ha costante negli anni oggetto della presente relazione. nettamente inferiori sono le superfici coltivate ad altre specie da frutto. Tra queste spiccano la coltivazione di albicocca e susina con circa 200 ha per ciascuna coltura, a seguire pesche (179 ha) e ciliegie (85 ha). Per le specie sopracitate l'utilizzo è destinato prevalentemente al consumo fresco e solo una piccola percentuale all'industria della trasformazione. Infine, modeste superfici sono rappresentate dalla coltivazione di noce e nocciolo, ma con un trend in crescita rispetto le annate precedenti, ad indicare un interesse verso l'introduzione di queste specie da frutto nella provincia di Ferrara. In particolare le noci rappresentano il 4.1% della superficie a specie da frutto (379 ha).

In merito alle caratteristiche della zootecnia, i dati ISTAT non riportano dati per provincia, ma si riferiscono solamente a livello regionale. Tuttavia, il dato riportato mostra come per la regione Emilia-Romagna, la zootecnia rappresenta uno dei settori produttivi importanti per l'economia della regione. In particolare, l'allevamento bovino è risultato essere costante negli ultimi 4 anni facendo riscontrare un numero totale di capi di circa 5.582.103, con particolare riferimento alla produzione di latte per la Trasformazione Lattiero Casearia. In merito all'allevamento ovino è da riscontrare un numero di capi pari a circa 6.500.000, in leggera discesa negli ultimi 4 anni, ma comunque sostanzialmente costate e con prospettive produttive maggiormente legate alla produzione di carne più che latte. Infine, come ben noto anche l'allevamento suino è senza dubbio uno dei settori di maggiore importanza in vista delle numerose produzioni caratteristiche della regione.

Tabella 8 - Superficie e produzione di coltivazioni fruttifere nella provincia di Ferrara (FE) rilevate negli ultimi 3 anni solari. Fonte: www.istat.it.

| Superfici e produzione - dati in complesso | | | | |
|--|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Frequenza: Annuale | | | | |
| Territorio: Ferrara | | | | |
| | | | | |
| Tempo | 2023 | | 2024 | |
| Indicatore | Superficie totale - ettari | Produzione raccolta - quintali | Superficie totale - ettari | Produzione raccolta - quintali |
| Tipo di coltivazione | | | | |
| Mele per il consumo fresco | 2,579 | 864,000 | 2,640 | 739,800 |
| Mele destinate alla trasformazione | 258 | 84,000 | 9 | 2,400 |
| Pere per il consumo fresco | 5,026 | 325,000 | 4,114 | 834,972 |
| Pere destinate alla trasformazione | 41 | 2,600 | 45 | 8,976 |
| Pesche destinate a consumo | 179 | 8,460 | 153 | 32,832 |
| Pesche destinate alla trasformazione | 20 | 940 | 42 | 9,120 |
| Nettarine destinate a consumo | 102 | 4,000 | 94 | 21,160 |
| Albicocca | 263 | 5,460 | 247 | 39,040 |
| Ciliegia in complesso | 85 | 6,308 | 81 | 7,200 |
| Amarene | 23 | 3,200 | .. | .. |
| Ciliegie dolci | 62 | 3,108 | 81 | 7,200 |
| Susina | 200 | 14,580 | 209 | 50,700 |
| Kiwi | 95 | 6,750 | 81 | 11,475 |
| Loti o kaki | 12 | 1,800 | .. | .. |
| Nocciola | 19 | 40 | 20 | 54 |
| Noci | 379 | 2,840 | 396 | 5,194 |

Tabella 8 – Numero di capi per tipologia di allevamento nella regione Emilia Romagna nel periodo 2020 - 2024. Fonte: www.istat.it.

| Consistenze al 1° dicembre - reg | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Frequenza: Mensile | | | | |
| Territorio: Italia | | | | |
| Indicatore: Number of heads, estimated data | | | | |
| | | | | |
| | 2020-12 | 2021-12 | 2022-12 | 2023-12 |
| Tipo di allevamento | | | | |
| Totale bovini | 5,993,015 | 5,870,874 | 5,632,736 | 5,582,103 |
| Bovini di età inferiore a un anno | 1,717,571 | 1,665,219 | 1,504,094 | 1,518,962 |
| Bovini di età inferiori ad un anno: macellati come vitelli | 463,597 | 450,312 | 419,500 | 421,028 |
| Bovini da uno a meno di due anni | 1,536,557 | 1,502,559 | 1,460,048 | 1,456,544 |
| Bovini di due anni e più | 2,738,887 | 2,703,096 | 2,668,594 | 2,606,597 |
| Totale bufalini | 407,027 | 409,408 | 416,053 | 416,479 |
| Totale equini | .. | .. | 441,392 | .. |
| Cavalli | .. | .. | 365,414 | .. |
| Altri equini (asini, muli, bardotti) | .. | .. | 75,978 | .. |
| Totale bovini e bufalini | 6,400,042 | 6,280,282 | 6,048,789 | 5,998,582 |
| Totale ovini | 7,034,164 | 6,728,351 | 6,567,546 | 6,497,003 |
| Totale caprini | 1,065,712 | 1,060,748 | 1,010,143 | 979,913 |
| Totale suini | 8,543,029 | 8,407,968 | 8,739,384 | 9,171,160 |
| Suini di peso inferiore a 20 kg | 1,424,320 | 1,384,060 | 1,687,694 | 1,679,642 |
| Suini da 20 kg a meno di 50 kg | 1,619,798 | 1,611,342 | 1,556,079 | 1,761,347 |
| Suini da ingrasso da 50 kg a meno di 80 kg | 1,276,672 | 1,328,590 | 1,271,723 | 1,479,699 |
| Suini da ingrasso da 80 kg a meno di 110 kg | 1,436,266 | 1,383,031 | 1,383,252 | 1,307,261 |
| Suini da ingrasso da 110 kg e più | 2,194,964 | 2,127,678 | 2,123,631 | 2,270,464 |

10 INDICAZIONE DELLE SPECIE VEGETALI E ANIMALI AGRARIE DI INTERESSE PER IL SITO IN OGGETTO E QUADRO IPOTETICO DI APPLICAZIONE INNOVATIVA PER LA ZONA IN CUI SI INSERISCE L'OPERA PROPOSTA

Il presente capitolo si propone di fornire indicazioni sulle ipotetiche applicazioni agronomiche su specie vegetali e animali nell'uso dei suoli sul progetto dell'impianto Agrivoltaico, in cui l'attività agraria è consociata a pannelli fotovoltaici a inseguimento monoassiale. Quindi di riportano specificazioni in merito alle specie vegetali e animali ipoteticamente adottabili nell'area oggetto dell'opera.

In tale contesto è fondamentale individuare le possibili tipologie di specie vegetali e animali ipoteticamente adottabili, tenendo conto di tutti gli importanti aspetti che subentreranno nella fase di piena attività del sistema consociato complesso. Al fine di garantire il funzionamento efficiente e la continuità nel tempo del sistema consociato complesso Agrivoltaico occorre tener conto delle specificità relative all'irraggiamento e la potenziale produttività attesa da parte delle specie vegetali e animali selezionate. In aggiunta, bisogna considerare, in una visione futuristica, le possibilità di innovazione applicabili, con l'intento, ove possibile, di migliorare le caratteristiche dell'agroecosistema sussistente ex ante in termini ecologici, agronomici, economici.

Essendo il sistema consociato complesso Agrivoltaico durevole nel tempo, bisogna poi prevedere un ipotetico piano di azione in cui è evidenziato come sono relazionate nell'insieme le componenti agrarie (vegetali e animali) durante il periodo. Tutti gli elementi devono sempre attenzionare il principale focus della sostenibilità, in senso completo del concetto, e, quindi, garantire la tutela dell'ambiente e del territorio. In questo quadro di azione devono essere sempre considerati i punti chiave cardini abbracciati dal sistema consociato complesso Agrivoltaico:

- riduzione dell'utilizzo dei combustibili fossili;
- effetto positivo di ombreggiamento dei pannelli verso un microclima al suolo più mite, con effetto di resilienza da parte degli organismi viventi a causa dei cambiamenti climatici;
- mantenimento della produzione agroalimentare senza consumare suolo in attività antropiche non agrarie;
- migliore efficienza d'uso delle risorse native, come l'acqua, nutrienti, radiazione solare;
- mantenimento e/o miglioramento della qualità del suolo, per una soddisfacente produttività potenziale;
- mantenimento e/o miglioramento dei servizi ecosistemici da parte dell'agroecosistema.

Di seguito, pertanto, si riportano per gruppi le specie (vegetali e animali) ipoteticamente adottabili.

10.1 Gruppo arboree, ipoteticamente adottabili in aree esterne ai pannelli e anche nel perimetro dell'area

- *Vite da vino in consociazione con inerbimento controllato*

Vite (*Vitis vinifera* L.)

La *Vitis vinifera* è nota come vite europea, anche se l'areale di origine non è ben nota. Diffusa in più di 40 Paesi al mondo ma oltre il 40% della produzione mondiale avviene in Europa e il 33% in Spagna, Italia e Francia. Non è ben definito quando sia stata avviata la viticoltura in Italia. In ogni caso la *Vitis vinifera* è la specie coltivata più importante e le cultivar costituiscono le principali uve coltivate nel mondo. La vite per la produzione di uva è la coltura da succhi di frutta più importante nel mondo.

L'utilizzo dell'uva varia considerevolmente da regione a regione e da Paese a Paese. Ad esempio, la maggior parte dell'uva coltivata in Francia e Italia viene utilizzata nella produzione di vino, mentre la maggior parte dell'uva turca viene utilizzata per la produzione di uva passa o come raccolto di frutta fresca.

Le specie di *Vitis* nordamericane sono state utilizzate in passato e lo sono ancora oggi principalmente nello sviluppo dei portainnesti della vite europea. Con la scelta del portainnesto si possono limitare i danni causati da un'ampia gamma di problemi del suolo, come aumentare la tolleranza alla siccità, dare resistenza o tolleranza a vari parassiti delle radici e virus del suolo, o una maggiore accettazione di condizioni gessose o saline. Nella maggior parte delle regioni, la viticoltura non sarebbe commercialmente redditizia senza l'innesto su un portainnesto appropriato.

Nel corso del tempo la selezione genetica ma anche l'allevamento specifico ha generato una vasta gamma di forme, dimensioni e colori dei frutti e forma del grappolo, arrivando a definire circa 15.000 cultivar. La maggior parte di queste sono uve da vino, che riflettono l'uso principale a cui vengono destinate le uve. Le cultivar più ampiamente coltivate sono Cabernet Sauvignon, Merlot, Airen, Tempranillo, Chardonnay e Syrah. Le varietà con scarso riconoscimento da parte del consumatore, utilizzate principalmente nelle miscele, hanno subito una riduzione di coltivazione. Le cultivar di vite più note costituiscono solo una piccola frazione dei vitigni coltivati, anche nel paese di origine. Tra le più apprezzate si citano Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Pinot nero, Riesling e Syrah.

Caratteri botanici

Le radici si distinguono in fittonanti, se originate dal seme, da cui derivano quelle di ordine inferiore e avventizie, se originate da talea, di tipo fascicolato con sviluppo omogeneo da cui derivano quelle di ordine inferiore.

Il fusto o ceppo o tronco ha un aspetto contorto ed è avvolto dal ritidoma che si sfalda longitudinalmente. Il fusto ha diversa inclinazione a seconda della forma di allevamento.

Le foglie sono semplici, distiche e alterne. Sono formate da un picciolo di diversa lunghezza e da una lamina palmato-lobata con cinque nervature primarie che possono originare altrettanti lobi separati da insenature dette seni (foglie a forma intera, trilobata o pentalobata).

I cirri o viticci sono organi di sostegno volubili, erbacei durante l'estate, lignificati a fine del ciclo vegetativo.

I fiori sono riuniti a formare un'infiorescenza, detta grappolo composto o, meglio, racemo composto o pannocchia, inserita sul tralcio in posizione opposta alla foglia.

Il frutto è una bacca (acino), costituito da un epicarpo o buccia, dal mesocarpo o polpa (tessuto molle e succoso) e dall'endocarpo (tessuto membranoso in cui sono contenuti i semi o vinaccioli). La forma, la dimensione, il colore e il sapore variano a seconda della varietà.

Esigenze pedoclimatiche

La vite presenta una vasta adattabilità al clima e presenta quindi un immenso areale di coltivazione. Negli ambienti viticoli dell'Italia meridionale e insulare non esiste il problema di un'adeguata insolazione in quanto questa risulta più che sufficiente affinché si compia il ciclo biologico della vite, pianta tipicamente eliofila. Nel settentrione d'Italia esiste invece una correlazione diretta tra eliofania e contenuto zuccherino. Nelle zone a bassa piovosità primaverile-estiva è necessaria un'oculata regimazione idrica in modo da conservare nel terreno l'acqua caduta durante l'inverno. La pianta di vite richiede quantitativi diversi di acqua disponibile nelle differenti fasi vegetative. Una scarsa piovosità durante l'inverno induce il risveglio vegetativo e i germogli cessano di crescere dopo l'allegagione e l'uva non arriva a maturazione. Danni più o meno simili si hanno anche a causa della siccità estiva. Altrettanto dannose sono le piogge eccessive durante l'estate o l'autunno. La vite europea presenta un'ampia adattabilità al terreno ma con l'introduzione dei portainnesti tale caratteristica non ha più importanza. Come il portainnesto, così anche il terreno è in grado di determinare la qualità e la quantità della produzione viticola. Prima di impiantare un nuovo vigneto

è fondamentale acquisire conoscenza sul tipo di suolo, in termini di: profilo, composizione fisica, composizione chimica, caratteristiche biologiche. Oltre alle caratteristiche del suolo bisogna tener conto delle sue esigenze climatiche e colturali, nonché delle sue prestazioni vegeto-produttive e della tipologia di vino che si può ricavare.

Forme d'allevamento

La viticoltura in Italia presenta una notevole varietà di ambienti pedoclimatici, vitigni, portainnesti e tradizioni locali che hanno causato la diffusione di numerosi sistemi di allevamento e potatura. I principali sistemi di allevamento sono alberello, guyot, capovolto, cordone speronato, sylvoz, pergola, tendone.

Pratiche colturali

La potatura si distingue in secca o invernale e verde o estiva. La concimazione è fondamentale per la vite che ama quella organica periodica, sotto forma di letamazione o sovescio di leguminose.

Il suolo può essere tenuto libero mediante periodiche lavorazioni oppure inerbito (totale o parziale nell'interfila). Se si adotta l'inerbimento controllato sussistono diversi vantaggi quali la facilità di accesso delle macchine, la riduzione dell'attività di erosione delle acque meteoriche, la mancata formazione della suola di lavorazione, le minori escursioni termiche, miglioramento della qualità del suolo, ecc..

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate solo all'impianto, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità e si avvierà in fase di ricerca e validazione (primi due/tre anni) lo studio di efficacia ed efficienza con un approccio innovativo di controllo e interazione basato sull'uso della luce, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione non sono previsti salvo situazione di reale estrema necessità come soccorso, inoltre, la coltura sarà gestita con consociazione di cover crop per un inerbimento controllato. La forma di allevamento che si suggerisce e si prevede sarà "a spalliera", con doppio o triplo filare per ogni interfila di pannelli fotovoltaici oppure l'alberello sempre con doppio o triplo filare per ogni interfila di pannelli fotovoltaici.

Per la messa a dimora delle giovani barbatelle si consiglia di optare per quelle innestate su portainnesto specifico. Il portainnesto consigliato per le condizioni pedologiche del sito in oggetto è il "Kober 5BB" e/o "140 Ruggeri" poiché presentano ottima capacità di rigenerazione dell'apparato radicale e adattabilità ai terreni buona se compatti, media se umidi, ottima se siccitosi. Per quanto concerne le varietà, i vitigni consigliati possono essere preferibilmente: Alicante, Ancellotta, Barbera, Bombino bianco, Cabernet franc, Cabernet Sauvignon, Canina nera, Centesimino, Chardonnay, Ciliegiolo, Famoso, Fortana, Garganega, Malbo gentile, Malvasia, Manzoni bianco, Marzemino, Merlot, Montù, Moscato bianco, Müller Thurgau, Negretto, Grechetto gentile, Pinot bianco, Pinot grigio, Pinot nero, Raboso, Refosco dal peduncolo rosso, Riesling, Riesling italico, Sangiovese, Sauvignon, Syrah, Trebbiano, Uva Longanesi, Verdicchio bianco. Nella zona questi vitigni possono generare tipologie di vino con denominazioni.

- *Pero in consociazione con inerbimento controllato*

Pero (*Pyrus communis* L.)

Generalità

Il pero appartiene alla famiglia delle *Rosaceae*. Origine discussa: si distinguono specie occidentali, *Pyrus Communis* principale, e specie orientali in cui si riscontrano maggiori resistenze, anche al colpo

di fuoco batterico. Circa la biologia nel pero si riscontra spesso l'auto-incompatibilità, causata da sterilità sia fattoriale che morfologica e citologica; come nel melo esistono cv triploidi che possono dare anomalie. Peculiarità del pero è la produzione via partenocarpica presente in numerose cv; tuttavia, è sempre preferibile ricorrere a buone cv impollinatrici.

L'impollinazione è ovviamente entomofila, tuttavia, il fiore è poco attrattivo e si preferisce mettere più arnie.

Limiti pedoclimatico principale è la resistenza al calcare, soprattutto con il portinnesto di cotogno; altri limiti sono costituiti dalla resistenza al freddo principalmente e alla siccità (sempre col cotogno che ha apparato radicale superficiale), qualche problema sorge in casi di carenze nutrizionali.

Il pero è un albero vigoroso, di forma piramidale nei primi anni e tendenzialmente globosa a maturità. Il pero presenta gemme a legno e miste portate da diversi rami fruttiferi, cioè da dardi, lamburde, brindilli e rami misti. Il frutto è un falso frutto detto pomo.

Varietà e portinnesti

Fra le cv, si ricordano: Etrusca, Coscia, Santa Maria, William, Highland, Conference, Abate fetel, Harrow sweet, resistente al colpo di fuoco batterico, Decana del comizio, Kaiser e Passacrassana. Tra le citate ci sono le più utilizzate cui si aggiungono anche la Butirra precoce Morettini, la William Rossa, abbastanza diffuse. Per i portinnesti si distinguono i franchi, quali Franco comune, Fox e Farrold, resistenti all'OHF, e le selezioni di cotogno, quali Ba29, EMC, EMA, Sydo e Adams; queste ultime sono poco adatte a terreni siccitosi e calcarei, eccetto il primo. Propagazione: seme, margotta, propaggine, danno i portinnesti e l'innesto è una pratica diffusissima ma con qualche caso di disaffinità.

Tecnica colturale

È una pianta piuttosto plastica nelle forme di allevamento sebbene si tenga presente che la produzione passi dai brindilli e rami misti i primi anni, alle lamburde. L'evoluzione delle forme di allevamento nel pero è passata da forme in volume come il vaso alla palmetta (sesto 3,5 x 2 m), anticipata e irregolare, al fusetto (sesto 4 x 1 m) quindi un asse principale con branchette di sfruttamento; col cordone verticale e la forma a V si raggiungono densità di 4.000-5.000 piante/ha. L'irrigazione nel pero è fondamentale, ma è bene evitare elevate disponibilità idriche durante l'intensa crescita vegetativa e in post-raccolta, mentre attenzione alla carenza in pre e post fioritura cui seguono fenomeni di stress idrico. È preferibile sempre il sistema a microportata. Concimazione: come di norma è obbligo eseguire l'analisi del terreno e fogliare per evidenziare le carenze. Elementi fondamentali sono N, K, Ca, in secondo luogo P e Mg; qualche volta anche Bo e Fe sono da tener conto. Per quanto riguarda la potatura bisogna sempre considerare dove vogliamo la produzione; in generale è bene diradare e sfoltire i rami ma non raccorciarli in quanto siamo su una pomacea, inoltreranno eliminati parte di quelli che hanno già fruttificato; si preferisce sempre eseguire piegature anziché tagliare. La potatura verde è importante specie nell'allevamento. Il pero è la specie che si adatta molto bene alla potatura meccanica. Il diradamento è da eseguirsi dopo la cascola di giugno.

Produzioni

La raccolta va da giugno ad ottobre. Il momento opportuno è scelto mediante indici di raccolta quali il colore di buccia o polpa, la durezza della polpa, la resistenza al distacco ed altri. Per quanto riguarda la conservazione le tecniche sono Atmosfera normale oppure Atmosfera controllata; la conservazione avviene a basse temperature appena sotto lo 0°C, è simile a quella per mele anche se le pere sono più sensibili alla CO₂ e perciò è buono il metodo ULO (ultra low oxygen).

Avversità

Bisogna tener conto di danni di origine abiotica quali agenti meteorologici, carenze (Bo ed Fe), fitopatie post-raccolta tra cui il riscaldamento. Importanti sono micoplasmosi, fitoplasmosi con accartocciamento, batteriosi come il colpo di fuoco batterico (OHF); tra le micosi ricordiamo il cancro delle drupacee e la ticchiolatura. Negli insetti troviamo lepidotteri quali carpocapsa (Cydia

pomonella), rodilegno, tignola, molti afidi e tra altri vi è la cocciniglia di San Josè (*Quadraspidiotus perniciosus*).

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate solo all'impianto, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità e si avvierà in fase di ricerca e validazione (primi due/tre anni) lo studio di efficacia ed efficienza con un approccio innovativo di controllo e interazione basato sull'uso della luce, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione non sono previsti salvo situazione di reale necessità come some soccorso, inoltre, la coltura può essere gestita con consociazione di cover crop per un inerbimento controllato. Per quanto concerne le varietà, la più consigliata per l'area è la Abate,

- *Alcune piante da frutto (pesco, susino, albicocco) nel perimetro della zona arnie*

Al fine di ottimizzare l'area destinata a ospitare gli alveari per l'allevamento apistico, nel perimetro di ogni appezzamento saranno messe a dimora piante dei principali fruttiferi (pesco, susino, albicocco) di varietà definite al momento dell'impianto. Lo scopo principale non sarà quello produttivo a scopo di vendita dei frutti al mercato bensì di migliorare l'ambiente circostante l'apiario mettendo a disposizione ulteriori vegetali di interesse mellifero. Pertanto, la scelta delle varietà sarà effettuata al momento dell'impianto di queste specie facendo una accurata selezione in funzione degli obiettivi prefissati.

10.2 Gruppo Aromatiche ipoteticamente adottabili anche in aree perimetrali

- *Rosmarino in consociazione con inerbimento controllato*

Rosmarino (*Rosmarinus officinalis* L.)

Il rosmarino è una pianta tra le più classiche usate come aromi nella cucina tradizionale, considerato ottimo per una moltitudine di piatti tra cui insaporire la carne e la cucina di verdure (legumi e patate soprattutto). Nel pensiero italiano, che sia in vaso o nell'orto non dovrebbe mancare una pianta a portata di mano di qualsiasi cucina. Dal punto di vista agronomico, si tratta di una pianta molto resistente e semplice da coltivare, fa parte della famiglia delle *Lamiacee*, proprio come basilico e salvia.

Caratteri botanici e biologia: Il rosmarino (*Rosmarinus officinalis*) è un arbusto perenne sempreverde che forma cespuglietti semplici da tenere ordinati. Le radici del rosmarino sono in grado di interrarsi ed espandersi in pochi mesi producendo a loro volta numerose radichette secondarie, ben ancorate al terreno. Da queste si diparte il fusto, spesso ramificato fin dalla base. Il fusto, assai ramificato e a portamento cespuglioso, è alto da pochi decimetri fino a 2 m e più. Presenta un andamento a volte prostrato, a volte ascendente. La corteccia, specialmente alla base, si sfoglia in strisce di colore marrone scuro. La pianta di rosmarino possiede numerosissime foglie che sono piccole e strette, sessili, persistenti e coriacee, opposte e raccolte in fascetti ascellari. La loro forma è lineare, con i margini ripiegati verso il basso. La pagina superiore presenta un colore verde scuro lucente, mentre quella inferiore è argentata, per la presenza di una fitta e bassa lanugine, frammista a peli ghiandolari contenenti l'olio essenziale proprio. I fiori sono ermafroditi, di un bel colore azzurro-violetto, rare

volte anche bianchi o rosati, sono riuniti in grappoli (racemi) situati alle ascelle delle foglie superiori, sono muniti di una corolla tubolare terminante in una fauce con il labro superiore bilabiato e l'inferiore trilobato, struttura tipica delle labiate. Il calice, anch'esso campanulato, è bilabiato e tomentoso. La fioritura si protrae da marzo a ottobre, tutto l'anno in zone protette, specie nel sud Italia e nelle isole. L'impollinazione è di tipo entomofila (a opera di insetti). Il frutto è composto da 4 acheni racchiusi in fondo al calice persistente.

Esigenze e adattamento ambientale: Tipico delle regioni mediterranee, il rosmarino cresce spontaneo nelle radure e nei boschi delle zone rivierasche. È una pianta spesso coltivata negli orti, ma anche in vaso, a scopo culinario dove viene impiegato per l'aroma delle sue foglie. Il rosmarino teme le forti gelate, la nebbia e i terreni troppo umidi. La temperatura non dovrebbe mai scendere sotto ai -5 °C. Il rosmarino predilige terreni aridi e sassosi, dove l'acqua drena velocemente, areali tipici delle regioni meridionali. Tuttavia, questo arbusto riesce ad adattarsi molto bene anche a suoli con caratteristiche molto diverse, trovando spazio anche negli orti e in aree verdi del nord Italia.

La coltivazione del rosmarino è molto adattabile a varie situazioni, preferisce la terra arida e sciolta, non teme particolarmente la siccità. Bene quindi a un fondo sabbioso che sia drenante, non serve grande ricchezza di materia organica, è invece importante che il suolo, dove viene coltivata questa erba aromatica, non sia troppo umido. Se si vuole coltivare il rosmarino in un terreno molto compatto e argilloso meglio mischiare un po' di sabbia prima di piantarlo, in modo da rendere più leggero e drenante il suolo.

Tecnica colturale e produzione: La pianta sempreverde di rosmarino si può propagare in vari modi: a partire dal seme ma anche per talea o propaggine. La semina del rosmarino è possibile, ma poco utilizzata. Per la messa a dimora delle piantine è preferibile eseguire una ripuntatura accompagnata da un'aratura non superiore a 30 cm, al fine di ottenere una struttura idonea ad ospitare le piante ed evitare ristagni idrici. Visto che quest'aromatica si sviluppa facilmente radicando la talea o per partizione dei cespi ha poco senso investire tempo nel far germinare i semi. Volendo seminare comunque il periodo corretto per farlo è la primavera, in modo che la pianta possa poi crescere in clima temperato. Moltiplicare le piante di rosmarino è molto semplice, basta prendere un rametto di circa 10/15 cm di lunghezza da una pianta esistente, meglio sceglierlo nella parte bassa della pianta, il più vicino possibile alle radici. A questo punto si tolgono le foglie, lasciandole solo sulla cima e si spela un poco la corteccia alla base del rametto, dove dovrà radicare. Si aspetta di veder comparire le radici lasciando in acqua il rametto (3 - 7 giorni) per poi piantarlo in vaso. Una volta ottenuta la piantina di rosmarino è possibile effettuare il trapianto in pieno campo, oppure lo si trasferisce in un vaso di dimensione maggiore. I rametti per la talea si possono staccare in qualsiasi periodo, ma meglio che il clima sia mite, lo stesso vale per il trapianto, che è consigliabile fare in primavera (nord Italia) o autunno (sud e zone calde). Il rosmarino ama i climi aridi e spesso si accontenta dell'umidità dell'aria. Richiede un'irrigazione costante durante il suo primo anno di vita, poi si interviene bagnando solo in periodi di calura e aridità e comunque con molta moderazione. In ogni caso non si deve mai bagnare troppo la pianta, per evitare marciumi radicali. Per il controllo delle infestanti si consiglia la pacciamatura con biomassa organica o film plastici biodegradabili. Le foglie e i rametti si raccolgono praticamente durante tutto l'anno, anche se il periodo migliore, in cui la pianta è più ricca in principi attivi, è la primavera. Si utilizzano preferibilmente le foglie fresche. I rametti, riuniti in fascetti, si possono conservare, essiccati all'ombra, posti in un vaso di vetro.

La prima raccolta si effettua a 18 mesi dall'impianto, poi ogni anno possono essere una o due. La produzione di rametti freschi, prima della fioritura, è 8-10 t ha⁻¹, cioè di rametti secchi 2,5-3,1 t ha⁻¹. Il contenuto in olio essenziale è circa 0,5-0,6% (circa 40 kg ha⁻¹) sul fresco con rese maggiori a fine primavera - inizio estate. Il prodotto per aromi secchi deve essere essiccato a 30-40 °C o in locali ben arieggiati all'ombra.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico: Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate solo all'impianto, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione non sono previsti salvo situazione di estrema necessità come some soccorso, inoltre, la coltura sarà gestita con consociazione di cover crop per un inerbimento controllato. In relazione alle varietà ipotetiche da adottare, si consigliano in ordine di interesse le seguenti: 'Tuscan Blue', 'Symphony Blue', 'Israelii Commercial', 'Sudbury Blue', 'Sissinghurst Blue'.

- *Salvia in consociazione con inerbimento controllato*

Salvia (*Salvia officinalis* L.)

Il genere *Salvia* e all'interno delle *Labiata* è quello più ricco di specie. Infatti, se ne contano circa 900, distribuite su tutti i continenti e caratterizzate da una grande variabilità morfo-biologica e merceologica. Esistono tipi spontanei non utilizzati in alcuna maniera, tipi a uso commerciale e usati in profumeria e per l'aromatizzazione degli alimenti. La *Salvia officinalis*, conosciuta ai romani come *herba sacra* e spontanea, è diffusa nell'area circum-mediterranea. Oggi è prevalentemente coltivata per il suo olio essenziale e per uso culinario.

Caratteri botanici e biologia: La *S. officinalis* è una pianta a portamento cespuglioso dotata di radici dure e brunastre, fusto quadrangolare di consistenza legnosa, diritto e ramoso con uno sviluppo in altezza variabile da 50 a 100 cm. Le foglie sono lanceolate opposte, di colore verde grigiastro, provviste di peli ghiandolari più densi nella pagina inferiore e nelle foglie basali piuttosto che in quelle apicali. I fiori di colore generalmente viola, o più raramente bianchi, sono sostenuti da un breve peduncolo e riuniti in infiorescenze apicali, posti all'ascella di Brattee. Il frutto è un achenio.

Esigenze e adattamento ambientale: La fioritura della salvia è indotta dal giorno corto (9 h) e dalle basse temperature (7 °C). La fioritura inizia in primavera e può continuare anche in estate. La salvia è una specie allogama, eliofila e termofila, si adatta bene a tutti i tipi di terreno, ma predilige quelli calcarei, soleggiati e caldi con una tessitura sabbioso limosa. Normalmente rifugge da terreni poco umidi. È coltivabile fino ad altitudini di 900 m slm.

Tecnica colturale e produzione: L'epoca di impianto è condizionata dall'ambiente e dalle modalità di impianto stesso a seconda che sia semina, diretta o trapianto. La semina diretta può generare difficoltà in fase di emergenza dei semi oltre che un periodo maggiore di sviluppo della pianta. E pertanto è preferibile impiegare il trapianto. L'adozione del trapianto consente risultati migliori se si effettuano nel periodo compreso tra ottobre e gennaio, consentendo tra l'altro di ottenere almeno uno sfalcio abbondante fin dal primo anno. La densità d'impianto della salvia prevede distanze tra le file di almeno 50-60 cm e sulla fila di 40 cm. La durata economica di un impianto è di 6 anni ma se gestito correttamente può essere anche oltre. Per mantenere la cultura in buoni condizioni di vitalità e longevità è necessario effettuare sfalci autunnali in settembre nelle zone temperate e ottobre nelle zone mediterranee. Il taglio si effettua dal primo anno, qualora le condizioni della cultura non consentono la raccolta è necessario procedere a una leggera spuntatura delle piante. Negli anni successivi si eseguono solitamente due tagli. L'irrigazione favorisce notevolmente la produzione. Inoltre, in considerazione delle elevate asportazioni di nutrienti della cultura (per una tonnellata di prodotto verde si asportano 19,7 kg di N, 4,5 kg di P₂O₅ e 26,3 kg di K₂O) è necessario effettuare una buona concimazione di fondo nella fase di impianto. In genere si procede distribuendo 100-150 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e 100-150 kg ha⁻¹ K₂O. Inoltre, a seguito dell'attecchimento delle piantine si consigliano 50-70 kg ha⁻¹ di N. Nelle annate successive è necessario prevedere distribuzioni di nutrienti in base

alle esigenze, da effettuare alla ripresa vegetativa e a metà del periodo successivo tra il primo e il secondo sfalcio. E' da evidenziare che gli apporti di nutrienti vanno effettuati in funzione delle caratteristiche del suolo e possono essere usati preferibilmente prodotti di origine organica ma anche minerale. La resa annua di prodotto fresco è di circa 6-20 t ha⁻¹, con la percentuale di sostanza secca aumenta con l'invecchiamento della cultura. La resa in oli essenziali oscilla tra 0,5 e 2,5% e varia sensibilmente a seconda della varietà, provenienza, epoca e tecnica di raccolta. Le parti della pianta che contengono il maggior quantitativo in oli essenziali sono le foglie apicali, più delle basali, seguiti dai fiori e dal fusto. Il momento in cui le piante presentano la maggiore presenza di oli essenziali è in corrispondenza della piena fioritura, fase in cui è massima la densità di peli ghiandolari (circa 150 cm⁻²).

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico: Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate solo all'impianto, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione non sono previsti salvo situazione di estrema necessità come soccorso, inoltre, la coltura sarà gestita con consociazione di cover crop per un inerbimento controllato. In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, si consigliano in ordine di interesse le seguenti: Salvia glutinosa, Salvia grahamii, Salvia guaranitica 'Blue Enigma', Salvia hybrida 'Indigo Spires', Salvia blepharophylla 'Diablo' (erbacea), Salvia glutinosa, Salvia 'Amistad'.

- *Lavanda* [negli elaborati grafici aree L]

Lavanda (*Lavandula angustifolia* Miller)

Pianta originaria delle regioni mediterranee dove si può trovare come specie coltivata o spontanea, in particolare nelle zone aride e sassose. La lavanda è una pianta perenne che può raggiungere il metro di altezza ed è costituita da fusti eretti, ramificati e legnosi alla base; le foglie sono lineari o lanceolate, grigiastre, a margini rivoltati; all'apice degli steli una specie di spiga allungata e sottile, formata da fiori di colore tendente al viola o all'azzurro. Il periodo di fioritura va da giugno a settembre. La coltivazione può iniziare dalla semina per le specie botaniche, mentre è necessario riprodurre per talea tutti gli ibridi e le varietà orticole. Facile da coltivare, ha bisogno di sole e terreno ben drenato. La potatura annuale viene eseguita a seguito della fioritura e in prossimità dell'inizio dell'autunno o in primavera, in caso di condizioni climatiche fredde e umide. I fiori vengono raccolti al momento della loro apertura e vengono utilizzati sia freschi sia essiccati.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico: Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate solo all'impianto, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione non sono previsti salvo situazione di estrema necessità come soccorso, inoltre, la coltura sarà gestita con consociazione di cover crop per un inerbimento controllato.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, si consiglia la Lanata e/o la X intermedia

10.3 Gruppo erbacee in rotazione tra loro ipoteticamente adottabili anche in aree esterne ai pannelli

- *Pomodoro da industria*

Pomodoro (*Solanum lycopersicum* L.)

La crescente importanza della coltura del pomodoro è dovuta al notevole impiego delle bacche, di pregiate caratteristiche organolettiche, consumate sia allo stato fresco che destinate a diversi derivati dell'industria conserviera. Per lungo tempo, fin dalla sua introduzione, il pomodoro era considerato una curiosità botanica per uso ornamentale e con pregiudizi per l'impiego commestibile. In seguito è divenuto un ortaggio di grande interesse e consumo sia per la disponibilità del prodotto per tutto l'anno con l'impiego di tecniche di forzatura sia per la notevole affermazione dei prodotti dell'industria conserviera. La coltura del pomodoro è praticata in quasi tutto il mondo e l'Italia è collocata tra i primi posti, anche risultando il più importante produttore dell'Unione Europea, seguita da Spagna e Grecia.

Caratteri botanici

Il pomodoro appartiene alla famiglia delle solanacee, ha una tendenza perennante e quindi di durata varia a seconda della tipologia di coltivazione. In genere, anche per le tecniche agronomiche applicate, si comporta come una pianta annuale in condizioni climatiche caratterizzate da temperature molto variabili nei diversi periodi dell'anno. Il portamento, originalmente espanso e strisciante, ha subito nel tempo modifiche grazie al miglioramento genetico con la realizzazione di tipi a portamento più raccolto.

La radice è fittonante con un'ampia rete di radici laterali e lo sviluppo varia a seconda delle condizioni ambientali, tipo di terreno, disponibilità di acqua, temperatura del suolo e varietà. L'apparato radicale si può estendere fino alla profondità di 2 m, ma circa il 60% di esso è intorno ai 30 cm di profilo di suolo. L'accrescimento della radice è più intenso nella fase vegetativa e si riduce con la formazione dei frutti per un minore trasferimento degli assimilati. Il fusto ha portamento eretto nei primi stadi vegetativi e successivamente diventa decumbente e può avere una lunghezza variabile fino a 2 m nelle cultivar a sviluppo determinato. Il fusto è coperto da peli ghiandolari, inoltre, presenta numerose ramificazioni ascellari, più abbondanti nella parte basale. L'emissione dei getti ascellari è favorita da basse temperature e dal giorno corto, ma è anche una caratteristica varietale. Questi, poiché possono svolgere un'azione competitiva con il fusto principale, vengono eliminati con la potatura. Le foglie sono alterne, grandi, picciolate irregolarmente e pubescenti con odore aromatico caratteristico. Le infiorescenze possono essere racemi semplici o ramificati. La fioritura del pomodoro è scalare con la formazione delle infiorescenze in tempi diversi. Anche sulla stessa infiorescenza, la fioritura non è strettamente contemporanea, infatti, si possono notare dalla base verso l'apice frutticini, fiori aperti o chiusi. La tendenza attuale del miglioramento genetico è di ridurre il tempo per la formazione delle infiorescenze, allo scopo di ottenere contemporaneità di maturazione. Il pomodoro coltivato è normalmente allogamo anche se la simultanea maturazione degli organi sessuali sono fattori che favoriscono l'auto-fecondazione. La frequenza di fecondazione incrociata è mediamente indicata con valori del 4%.

Il frutto è una bacca di colore rosso. Nel frutto si distingue un epicarpo liscio e sottile (buccia), un mesocarpo carnoso e sughoso di sapore dolce e acidulo costituito da grosse cellule parenchimatiche contenenti pigmenti coloranti e licopene (polpa), e un endocarpo suddiviso in due o più logge, costituito da tessuto placentare, nel quale sono immersi i semi, più o meno numerosi. La polpa rappresenta il 95% del peso della bacca, la buccia rappresenta il 2%, e i semi il 3%. I frutti si possono distinguere per forma e grandezza, oltre che per il colore.

In base alla pezzatura finale della bacca, si possono riconoscere pomodori tipo ciliegia o cherry con peso di circa 10-15 grammi, oppure di tipo Carnoso, beefsteak, del peso di 450 grammi circa. Il ritmo di accrescimento varia sensibilmente a seconda delle specie. Durante il passaggio della bacca dallo

stato verde a quello di maturazione piena, si verificano notevoli variazioni di colore, della composizione della struttura e del sapore. Il colore rosso della bacca è dovuto alla perdita dei cloroplasti trasformati in cromoplasti e a un progressivo aumento dei pigmenti carotenoidi, come il betacarotene e licopene.

Esigenze e adattamento ambientale

Il pomodoro, poiché è originario dei tropici, si adatta a condizioni di clima temperato caldo. Il suo trasferimento dagli ambienti più caldi a quelli temperati ha determinato il passaggio da pianta perennante ad annuale. Il fattore temperatura è quello che più condiziona maggiormente la scelta degli ambienti di coltivazione. I limiti termici per la coltivazione del pomodoro sono indicati con 0-2 °C (temperatura minima critica), 8-10 °C (temperatura minima cardinale o zero di vegetazione), 13-16 °C (temperatura ottimale notturna), 22-26 °C (temperature ottimali diurna). Al di sopra dei 35 °C si hanno effetti negativi sulla formazione e colorazione delle bacche.

La disponibilità idrica è un altro fattore di ottimizzazione della produttività del pomodoro. Pertanto, in condizioni di clima caldo arido, l'intervento irriguo è una pratica indispensabile. L'umidità relativa dell'aria troppo alta o troppo bassa e venti molto freddi o caldi possono arrecare danni più o meno elevati. Le piogge creano condizioni favorevoli per lo sviluppo di malattie fungine e batteriosi, specialmente durante la maturazione dei frutti.

Il pomodoro si adatta a diversi tipi di suolo, ovviamente le condizioni molto estreme, da molto sabbioso o molto compatto sono sconsigliabili, mentre sono preferibili terreni a medio impasto profondi freschi, possibilmente poveri di scheletro. I limiti della reazione di PH oscillano tra 5,5 e 7,9. È da tener presente che le varietà più soggette al marciume apicale, tipo il San Marzano, sono da scartare nei terreni facilmente soggetti a deficienze idriche. Il pomodoro è una specie ortiva moderatamente sensibile alla salinità.

Impianto e Tecnica colturale

Il pomodoro è una classica coltura da rinnovo per cui nella coltivazione in pieno campo apre la rotazione. La gestione in monosuccessione o la rotazione stretta con ripetizione su sé stesso in un intervallo breve di tempo è assolutamente sconsigliabile, infatti, è una specie che provoca nei confronti di se stessa effetti negativi di avvicendamento. Pertanto, il pomodoro dovrebbe essere inserito in rotazioni lunghe.

La preparazione del suolo per la coltivazione del pomodoro deve essere eseguita con particolare cura. La successione delle operazioni di lavorazione del suolo prevede una lavorazione profonda a 40 cm eseguita verso la fine dell'estate, con eventuale interrimento di sostanza organica, oppure l'inserimento di una coltura di copertura leguminosa a scopo di sovescio da effettuarsi circa una settimana prima del trapianto. Un intervento di affinamento del terreno prima delle operazioni del trapianto è consigliato per renderlo più adeguato alle giovani piantine. Un terreno ben preparato si presenta senza zollosità, sufficientemente compatto in superficie e ben drenato e areato in profondità. Con il trapianto l'apparato radicale è dominato da radici secondarie e più superficiali. In ogni caso la preparazione del suolo deve favorire un ottimo sviluppo dell'apparato radicale, per cui sono da evitare le cause di ristagno di acqua e di scarsa reazione, specialmente nei terreni fortemente argillosi. Riguardo all'assunzione dei nutrienti, si calcola che per la produzione media di 50 t ha⁻¹ di bacche la coltura asporta: 100-150 kg ha⁻¹ di N. 30-40 kg ha⁻¹ di P₂O₅, e 180-220 kg ha⁻¹ di K₂O. Per gli interventi di fertilizzazione del suolo è opportuno tenere presente la sua fertilità e l'entità degli elementi asportati in relazione alle potenzialità produttive del pomodoro che tende sempre più ad aumentare per il miglioramento varietale e l'intervento irriguo. Il trapianto si effettua con piantine di 10-15 cm di altezza allo stadio di 5-7 foglie, effettuato con l'ausilio di trapiantatrici meccaniche dotate di organi distributori a dischi, pinze o bicchieri con fondo apribile che lasciano cadere la piantina con tutto il pane di terra a intervalli regolari, nel solco precedentemente preparato. Le trapiantatrici possono essere dotate anche di distributore di piccole dosi di acqua per evitare stress idrici e favorire

l'attecchimento. Con il trapianto si ottiene una migliore uniformità della cultura, un anticipo della raccolta e una riduzione di alcune operazioni culturali in confronto alla semina diretta. L'epoca del trapianto del pomodoro è condizionata dall'andamento climatico e dal tipo di forzatura prevista. In pieno campo l'inizio della coltivazione va dalla seconda metà di marzo nelle aree meridionali, più mite fino ad aprile e fine maggio nelle aree settentrionali più fredde. Il trapianto avviene a file semplici o binate. Nel caso delle file binate molto diffuse per il pomodoro da industria, le distanze variano da 40 a 60 cm tra le file della bina e 80-140 cm tra le bine per una densità di semina di circa 3-3,3 piante m⁻².

L'irrigazione del pomodoro rappresenta una delle pratiche culturali che più influiscono sulla resa e sulla qualità del prodotto, specialmente negli ambienti caldo-aridi, con precipitazioni, nel periodo primaverile estivo, basse o assenti. I fabbisogni idrici del pomodoro sono piuttosto elevati ma comunque sono variabili in funzione delle condizioni pedoclimatiche e dei livelli produttivi. Il fabbisogno idrico tende progressivamente a crescere nella fase di emergenza, alla piena fioritura e allegagione e inizio invaiatura, mentre decresce nella fase di maturazione delle bacche. In linea di massima sono necessari 3/4 interventi irrigui, con turni di 20 giorni e volume specifico di adattamento di circa 400 o 500 m³ ad ettaro. Tuttavia, gli interventi di irrigazione e i volumi di adattamento variano significativamente in funzione di differenti fattori come il metodo di irrigazione, la tecnica agronomica adottata nella gestione del sistema colturale, le caratteristiche fisico-chimiche del suolo, la varietà. L'irrigazione del pomodoro viene effettuata con metodi diversi. Recentemente si è affermata rapidamente l'irrigazione a goccia che ha dato risultati positivi ed è il metodo più efficiente che non risente dell'azione del vento. Inoltre, a parità di volume stagionale di irrigazione con il metodo a goccia, sono state ottenute produzioni più elevate del 50% rispetto a quelle ottenute con i metodi di irrigazione per aspersione o gravimetrici. È da rilevare che il piano campo, con le nuove cultivar e l'impiego della goccia, si conseguono a volte produzioni di 100 tonnellate a ettaro di bacche. In relazione alla destinazione del prodotto, al consumo fresco o all'industria conserviera, il pomodoro può essere raccolto della bacca ancora verde o completamente maturo. L'inizio della colorazione rossa della bacca si manifesta nella zona stilare e poi gradualmente si estende a tutto il frutto. Dal quel momento si può raccogliere perché il processo di maturazione proseguirà regolarmente anche con il distacco dalla pianta. L'epoca di raccolta del pomodoro dipende dal tipo di coltura e dalle condizioni pedoclimatiche delle zone di coltivazione. In pratica il pomodoro da mensa in Italia ha ormai una produzione continua con la cultura anticipata, forzata e di piano campo. Le prime due consentono di fornire i mercati nel periodo autunno primaverile. La terza nel periodo estivo e parte d'autunno. Il pomodoro da industria inizia a essere raccolto a luglio e raggiunge il massimo tra la metà di agosto e settembre. Il pomodoro può presentare una maturazione scalare e quindi in questi casi la raccolta che si esegue a mano e avviene in più interventi. Più recentemente sono state introdotte varietà a maturazione contemporanea per favorire la produzione del pomodoro da industria e in particolar modo la sua raccolta meccanica. In relazione numerosi fattori che influenzano la coltura, la produzione unitaria di pomodoro è molto variabile, da punte superiori alle 100-150 t ha⁻¹, fino a rese di 10 t ha⁻¹ in gestione asciutta.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato preferibilmente con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione effettuati in modo razionale in funzione dell'ETR e con metodo a ridotto consumo di acqua attraverso pratiche di microirrigazione.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per il pomodoro da industria bisogna decidere di volta in volta; tuttavia, si consigliano quelle appartenenti al gruppo Tipo Roma.

- *Peperone*

Peperone (*Capsicum annuum* L.)

Origine e diffusione

Il peperone, *Capsicum annuum* L. è una pianta annuale nel clima mediterraneo e perenne nei paesi caldi del sud America da dove proviene. I suoi frutti (bacche) ricchissimi di vitamine, si usano cotti o crudi, conditi in diverse maniere, oppure essiccati e macinati come condimento piccante (paprika) d'alcune vivande.

Varietà

Le cultivar si distinguono per le particolari caratteristiche del frutto che può essere dolce o piccante, di piccolo o grande volume, di forma cuboide, conica più o meno regolare, piramidale, allungato o breve, di colore rosso, giallo, verde, bruno o scuro.

Le più apprezzate per il consumo allo stato fresco sono così suddivise: A frutto dolce con Forma quadrangolare (*Capsicum annuum* varietà *grossum*), Forma allungata (*Capsicum annuum* varietà *longum*), Forma allungata (*Capsicum annuum* varietà *acuminatum*), Forma troncata (*Capsicum annuum* varietà *abbreviatum*).

Le varietà piccanti, che, com'è noto, si consumano, di preferenza essiccate e per condimenti, sono più ricche di vitamine delle altre, tanto che raggiungono valori 300 volte maggiori di ciascuno degli altri ortaggi coltivati. Ottimi risultati danno anche alcuni F1 della Clause e della giapponese Sokota.

Tecnica colturale

Il peperone è molto sensibile al freddo, perciò nella coltura, che possiamo considerare normale, si semina in febbraio, in cassone riscaldato. È necessario scegliere seme proveniente da piante a frutti sani, in quanto esso è vettore di patogeni di tutte le forme. Non è male in ogni caso disinfestarlo con prodotti adatti. Le piantine si ripicchettano o no in vivaio sempre in cassone riscaldato.

Piantagione: a dimora si fa a primavera inoltrata (fine aprile, primi maggio), quando non sono più da temere forti abbassamenti di temperatura, mettendo le piantine a 40-60 cm in solchetti distanti 60-90 cm.

Il peperone richiede terreni fertili e soprattutto di facile scolo, preparati con un'aratura profonda 35-40 cm, ben sminuzzati e concimati con 120-150 unità d'anidride fosforica e 250 unità d'ossido di potassio da distribuirsi al momento del ripasso, poco prima della piantagione, lasciando la concimazione azotata per la somministrazione in copertura, da calcolarsi in ragione di 140-150 unità d'azoto sotto forma nitroammoniacale.

Coltivazioni per la produzione primaverile, inizio dell'estate

Questo tipo di coltivazione può essere fatto in serra fredda o in tunnel-serra coperti con P.V.C. o polietilene o in pieno campo con protezione di tunnel dello stesso materiale.

Semina: si fa in cassone riscaldato da ottobre a dicembre, fino ai primi di gennaio, regolandosi a seconda del clima della zona dove si opera. Non c'è una regola universale fissa. Il ripicchettamento si fa in cubetti o altri contenitori.

Piantagione: in serra fredda, con un supplemento di copertura in tunnel, può essere fatta fin dal mese di febbraio, mentre all'aperto, con protezione di solo tunnel, si deve ritardare fino alla seconda metà di marzo e fino ai primi d'aprile nelle zone meno favorite.

Raccolta: si può iniziare a fine aprile primi di maggio per le colture in serra fredda e fine maggio primi di giugno per le colture in campo protette da tunnel.

Le cure colturali, per queste colture che si sviluppano in un periodo che nelle zone meridionali può considerarsi molto assolato, consisteranno soprattutto in irrigazione e arieggiamenti per evitare

pericolosissimi innalzamenti della temperatura al disopra dei 28-30° C. I tunnel con P.V.C. forato possono evitare questo pericolo in quanto è più facile il ricambio.

Avversità e parassiti

Dannose sono spesso le “tracheomicosi”, come pure il marciume apicale dei frutti e l’alternariosi. Valgono nella lotta l’opportuna scelta del terreno di coltura e i trattamenti anticrittogamici più in uso in orticoltura.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate solo all’impianto, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione sono previsti con metodi a basso uso di acqua.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per il peperone bisogna decidere di volta in volta in funzione delle caratteristiche richieste dal mercato.

- *Carciofo in consociazione con inerbimento controllato*

Carciofo (*Cynara scolymus* L.)

Il carciofo è una pianta di origine mediterranea, ben noto fin dall’antichità per i pregi organolettici del capolino, tanto da essere annoverato tra le ortive per i pranzi raffinati e fra le colture da reddito molto elevato. In Italia la coltura del carciofo ha subito un sensibile incremento nella seconda metà del secolo scorso con una diffusione principalmente nell’Italia meridionale e anche in alcune regioni dell’Italia centrale quali Lazio e Toscana. In queste aree, la coltura si è affermata nelle aree caratterizzate da un andamento climatico piuttosto mite durante l’inverno e, quindi, prevalentemente lungo le pianure costiere.

Caratteri botanici e biologia

Il carciofo è una pianta della famiglia delle composite o asteracea, e del genere *Cynara*. La specie *Cynara cardunculus* comprende diverse subspecie: *Cynara cardunculus scolymus* è il carciofo che viene coltivato, c’è un’altra coltivazione interessante per l’orto: il cardo domestico (*Cynara cardunculus altilis*). Ci sono poi piante spontanee, il cardo selvatico (*Cynara cardunculus sylvestris*) è una delle più comuni. La pianta di carciofo è una specie rizomatosa perenne, che ha una coltivazione tipicamente invernale o primaverile. In estate, quando le temperature sono elevate, entra in fase di dormienza, per resistere a caldo torrido e siccità, si risveglia se riceve molta acqua. Il rizoma è quindi molto importante, dalle sue gemme si sviluppano ogni anno fusti che portano foglie e fiore. Le foglie interne possono essere spinose oppure no, a seconda della varietà.

Esigenze e adattamento ambientale

Il carciofo richiede un clima mite e sufficientemente umido, per cui il suo ciclo è autunno-primaverile nelle condizioni climatiche tipiche del bacino del Mediterraneo. Tende alla produzione primaverile-estiva nelle zone più fredde. Il carciofo resiste bene fino a temperature di 0 °C, mostrando alle più basse temperature lievi danni da freddo sul capolino, con distacco della cuticola dalle brattee. Il carciofo essendo una pianta perennante, con un continuo rinnovo della vegetazione, in seguito alla emissione di nuovi carducci dal fusto rizomatoso, in particolari condizioni ambientali potrebbe essere in produzione per tutto l’anno. In ogni getto della pianta si verifica una fase vegetativa, a cui segue quella riproduttiva, per cui si può ottenere la rifiorescenza della pianta. Laddove le condizioni climatiche sono sfavorevoli si ha una stasi più o meno prolungata a cui segue il risveglio della carciofaia. La produzione del carciofo può essere effettuata in condizioni di temperatura ottimali intorno ai 10 - 15 °C, considerando che la soglia termica è di 7 - 9 °C. Il carciofo risente anche della

temperatura molto elevata, per cui la fase del riposo vegetativo ricade tra la fine della primavera e l'estate. Il carciofo ha elevate esigenze idriche, in parte soddisfatte dalla piovosità dell'epoca di coltivazione. Il carciofo preferisce terreni profondi, freschi, di medio impasto e di buona struttura a reazione intorno alla neutralità, pur adattandosi a terreni di diverse caratteristiche. Il carciofo tollera la salinità in terreni con abbondante sostanza organica, senza ristagni d'acqua, con conducibilità elettrica dell'estratto saturo inferiore a 4.8 dS/m. In relazione, alla elevata potenzialità di accrescimento della pianta, è ovvia l'influenza dell'apporto di fertilizzanti e delle disponibilità idriche nel terreno.

Tecnica colturale

Il carciofo è una pianta poliennale e può essere mantenuto sullo stesso appezzamento per diversi anni, da un minimo di uno fino a 7-8 anni. più frequentemente la durata economica più conveniente è intorno a 3-4 anni. Le radici del carciofo sono fittonanti quindi è particolarmente importante la fase di preparazione della terra: prima di piantare occorre lavorare il terreno in profondità con una vangatura accurata, in terreni pesanti meglio vangare più di una volta. Essendo una coltura perenne vale la pena curare la fase di impianto, in particolare sono da scongiurare ristagni d'acqua che porterebbero malattie quali *fusarium* e peronospora. E' da considerare come una coltura da rinnovo, a cui far seguire un cereale, o come nelle zone orticole, altri ortaggi. La preparazione del terreno destinato a carciofaia viene effettuata in relazione alla modalità d'impianto della coltura, per ovuli o carducci. Per l'impianto è necessaria una lavorazione profonda (40 cm) a cui seguono lavorazioni più superficiali con frangizolle ed erpice per la preparazione di un perfetto letto di semina. Oltre alla lavorazione è bene predisporre una buona concimazione di fondo, che arricchisca il terreno della carciofaia di elementi utili. Si consiglia la distribuzione del fertilizzante organico al momento della lavorazione profonda. l'apporto di fertilizzanti è fondamentale per la produttività della carciofaia, in relazione al notevole sviluppo della vegetazione ed al cospicuo numero di capolini per pianta, ottenibili nell'ampio periodo della raccolta.

I polloni del carciofo sono chiamati anche "carducci", si tratta di germogli con un anno di vita, che vengono prelevati dalla base della pianta. I carducci possono essere usati per ottenere nuove piante, propagando la coltivazione. Per farlo si tagliano i polloni con la loro porzione di radice, scegliendo quelli già sviluppati con almeno 4-5 foglie, lunghi 25/40 cm. Questa operazione si fa durante la primavera (tra marzo e aprile) oppure in autunno (tra settembre e ottobre). Un altro metodo per riprodurre i carciofi è l'utilizzo degli ovuli ottenuti durante l'operazione di dicciocatura, che vedremo in seguito. Per piantare gli ovuli si smuove il suolo, si concima abbondantemente e si mette l'ovulo nel terreno a 4 cm di profondità. L'ovulo deve essere impiantato durante il periodo di dormienza estivo, quindi luglio o agosto. I carciofi richiedono spazio: si piantano nell'orto a file distanti uno o due metri, lasciando un metro tra una pianta e l'altra. Questo sesto d'impianto considera sia le dimensioni della pianta, sia il fatto che si tratta di una coltivazione che dura più di un anno. Bisogna infatti calcolare lo sviluppo negli anni della pianta, in modo da impiantare una carciofaia pensata per durare nel tempo. Il carciofo è una pianta che entra in dormienza a causa del caldo oppure della scarsità di acqua, riconoscendo il periodo estivo proprio da queste due condizioni: alte temperature e aridità. In generale una frequente irrigazione è importante per la carciofaia, escluso ovviamente il periodo di dormienza in cui va benissimo avere suolo asciutto. In fase vegetativa il terreno non deve mai seccare totalmente.

La raccolta dei capolini è scalare, ha inizio verso la prima decade di ottobre per la coltura precoce e termina in giugno con quella più tardiva. In relazione al tipo di coltura ed alla varietà, il numero delle raccolte può variare da un minimo di 3-4 ad un massimo di 15-20, tendendo presente che la lunghezza del ciclo produttivo può variare da un minimo di 20 giorni ad un massimo di 180-220 giorni. Il numero dei capolini per pianta oscilla da 4-5 a 14-15.

Nel complesso una carciofaia produce 50-100 mila capolini a ettaro, pari a una produzione in peso di 6-12 t ha⁻¹. La raccolta è effettuata a mano con taglio dei capolini con stelo lungo ed alcune foglie. per agevolare il trasporto della produzione fuori del campo si utilizzano rimorchi o carri- raccolta trainati, forniti di ali laterali.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate solo all'impianto, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione sono previsti in situazione di necessità come soccorso al momento del ricaccio dei durioni e sviluppo vegetativo in estate con metodi di microirrigazione, inoltre, la coltura sarà gestita in consociazione di cover crop per un inerbimento controllato.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, è opportuno effettuare la scelta in funzione delle richieste di mercato del momento anche se si consigliano in ordine di interesse le seguenti: Carciofo romanesco, Carciofo di Orte, Carciofo violetto di Toscana.

- *Zucca da zucchini*

Zucca da zucchini (*Cucurbita pepo* L.)

La zucca è una pianta monoica annuale. Diverse sono le specie coltivate che si distinguono per alcuni caratteri botanici, tra cui la forma e grossezza del frutto e del seme. La zucca da zucchini appartiene alla specie *Cucurbita pepo* L. di cui si consumano i frutti tenerissimi appena formati e i fiori maschili. Caratteri botanici e biologia

Si tratta di un'erbacea monoica annuale dal portamento strisciante o rampicante, con grandi foglie di colore verde scuro e tomentose, ovvero ricoperte da una morbida e corta peluria. I fiori sono giallo-arancio a forma di calice, mentre i frutti hanno diverse forme dovute alle cultivar introdotte dall'uomo. Possono essere più o meno lunghi, verde scuro o chiaro, tondi o lobati, con o senza striature. La pianta è caratterizzata da uno stelo ruvido, a sezione angolare ricco di peli. Il fusto è più o meno ramificato, strisciante o rampicante in presenza di tutori. Nei moderni ibridi di zucca da zucchini lo stelo è caratterizzato da internodi molto raccorciati e non presenta ramificazioni, per cui la pianta ha un portamento ad alberello o strisciante. Da ogni nodo si origina in modo alterno una foglia alla cui ascella si possono formare ramificazioni secondarie e altre ramificazioni. Le foglie sono semplici, alterne e spiralate, con picciolo più o meno allungato, scabre (ruvido al tatto), palminervie e caratterizzate dalla presenza di una peluria più o meno accentuata. Le foglie presentano incisioni più o meno evidenti, lamina con margine seghettato e molto espansa di colore verde più o meno intenso con o senza marmorizzazioni (macchie bianche, grigie o argentate) e peli irritanti. Nelle colture a semina diretta, l'apparato radicale può raggiungere 1,5 m di profondità anche se la maggior parte del sistema radicale si trova fino a una profondità di lavorazione del suolo (0,4-0,5 m). Nelle colture da trapianto, in cui il fittone perde la sua funzionalità durante la crescita della piantina in contenitore, l'apparato radicale è più superficiale e assume portamento fascicolato. I fiori sono generalmente unisessuali e attinomorfi (presentano più piani di simmetria raggiata). Il fiore presenta 5 sepali saldati alla base e una corolla gialla campanulata normalmente simpetala (petali concrescenti e saldati tra loro). I fiori maschili presentano 3-5 stami con filamenti completamente saldati e sono presenti all'ascella delle foglie singolarmente. Il fiore femminile è formato da 3 carpelli (foglia modificata con funzione riproduttiva) saldati in un ovaio infero. I fiori femminili sono in genere più grandi dei fiori maschili e si trovano all'ascella delle foglie singolarmente. Il frutto della zucca da zucchini può essere tondo oppure allungato, cilindrico oppure clavato, provvisto o meno di costolature e

striature sulla superficie. L'epidermide del frutto è generalmente verde, con tonalità che vanno dal chiaro allo scuro e con presenza di striature biancastre in alcune cultivar; esistono anche cultivar con frutti bianchi o gialli. La polpa è bianca senza cavità centrale. I frutti commerciali hanno generalmente un peso medio di 100-200 g e i semi sono piatti, di colore crema e forma ovale dal peso di 1000 semi variabile da 100 a 200 g a seconda della cultivar.

Come per tutte le cucurbitacee orticole, la zucca da zucchini ha un ciclo annuale che inizia con la germinazione dei semi direttamente nel terreno (campo o serra) o in vivaio in substrato all'interno di contenitori alveolati per il trapianto. In condizioni ottimali di temperatura e umidità, la germinazione è molto veloce e si completa in pochi giorni. La fase di crescita vegetativa è rapida ed è accompagnata, dopo 4-5 settimane, dalla comparsa dei primi fiori a cui segue la fase riproduttiva della coltura con l'impollinazione entomofila dei fiori femminili e l'allegagione dei frutti (peponidi). L'allegagione diminuisce all'aumentare dei frutti allegati. La maturazione dei peponidi si ha dopo un periodo di 35 – 50 giorni dall'antesi. La fioritura ha inizio con la comparsa di fiori femminili, in genere quando le piante hanno 6 – 7 foglie, ma spesso i primi fiori cadono (colatura) per mancata impollinazione a causa dell'assenza dei fiori maschili. In seguito compaiono i fiori maschili e femminili. Il rapporto tra fiori maschili e femminili varia a seconda della cultivar e le condizioni ambientali. In generale, temperature alte di notte ($> 30^{\circ}\text{C}$) e giorno lungo favoriscono la produzione di fiori maschili, mentre temperature basse (ma non inferiori a 10°C) e giorno corto aumentano la produzione di fiori femminili. L'antesi dei fiori inizia la mattina presto e termina con le prime ore del pomeriggio. I fiori rimangono ricettivi per 2-3 giorni. L'impollinazione avviene nelle prime ore del mattino ad opera di api e bombi. La fecondazione è prevalentemente allogama con percentuali di inter-incrocio elevate (60 – 90%). Alcune cultivar possono avere lo sviluppo partenocarpico del frutto riconoscibile dall'assenza dei semi. Tali cultivar sono utilizzate soprattutto in coltura protetta, in quanto permettono la produzione di frutti anche in assenza di pronubi e condizioni climatiche avverse per l'allegagione.

Esigenze e adattamento ambientale

Come per tutte le cucurbitacee, la zucca da zucchini si adatta a diversi tipi di terreno, anche se predilige quelli a medio impasto o argillo-limosi purché ben strutturati, fertili, ricchi di sostanza organica e ben drenati con pH compreso tra 5,5 e 7,0. La zucca da zucchini è una coltura macroterma in quanto necessita di elevate esigenze climatiche. La temperatura minima di germinazione è di circa 14°C , mentre i valori ottimali sono compresi tra 25 e 30°C . Come tutte le cucurbitacee cresce meglio in presenza di un differenziale termico tra giorno e notte (termoperiodismo) con temperatura diurna a $24-30^{\circ}\text{C}$ e notturna a $12-15^{\circ}\text{C}$, sotto i 14°C si ha l'inibizione della germinabilità del polline mentre sopra di 35°C rallenta la crescita e si manifesta appassimenti.

Impianto e Tecnica colturale

Nella coltivazione in pieno campo, la zucca da zucchini può occupare il posto di una coltura principale (coltura da rinnovo) con impianto primaverile, oppure, come coltura intercalare con impianto estivo dopo la raccolta di un cereale autunno-vernino. È sconsigliato ripetere la coltivazione nello stesso terreno prima di 3-4 anni per l'incremento delle avversità biotiche. La preparazione del suolo prevede un'aratura (0,3 m) seguita da lavori complementari per l'affinamento. La messa in campo può essere con semina o con trapianto. La semina diretta in pieno campo trova applicazioni molto limitate e viene effettuata quando la temperatura si stabilizza su valori superiori a 15°C , a postarelle avendo cura di disporre 2-4 semi per postarelle alla profondità di 3-5 cm. A seguito dell'emergenza, quando la piantina ha 1-3 foglie vere, si procede con il diradamento al fine di lasciare una pianta per postarelle. Riguardo al trapianto viene realizzato, quando la temperatura si stabilizza su valori superiori alla temperatura minima biologica, con piantine che hanno 2-4 foglie vere prodotte in vivai specializzati in contenitori alveolati (40 – 60 fori), disponendo le piantine a file singole o binate con preferenza per quest'ultime per raggiungere una maggiore densità di semina. La zucca da zucchini esige una concimazione completa avvantaggiata dalla concimazione organica. La

concimazione minerale viene svolta in genere con concimi binari fosfo-azotati (4-5 quintali a ettaro) e solfato potassico (1-2 quintali a ettaro). La distribuzione dei concimi organici interessa tutto il terreno coltivato mentre i concimi minerali sono localizzati. La zucca da zucchini presenta elevate esigenze idriche con una evapotraspirazione massima di 5 mm al giorno, ma non è favorita nella fruttificazione da condizioni di umidità del terreno elevate e costanti. Pertanto si consiglia di effettuare irrigazioni poco frequenti. Per quanto riguarda l'irrigazione, i sistemi più utilizzati sia per le colture di pieno campo che in serra sono quelli localizzati perché permettono un miglior controllo degli apporti idrici, consentono di effettuare la fertirrigazione e non bagnano la parte epigea con benefici di ordine fitosanitario. Sono molto diffuse anche le manichette gocciolanti di durata stagionale in quanto di facile manutenzione e costo contenuto. La coltivazione avviene in file distanti 1 metro tra le file e 0,7-0,8 m lungo le file con una densità di circa 1 pianta m². La raccolta degli zucchini è scalare ed è fatta al momento in cui il fiore, che in alcuni casi si lascia attaccato al frutto, sta per schiudersi. In genere la raccolta inizia 40-50 giorni dal trapianto e può durare circa 3 mesi. A seconda della cultivar, la raccolta può essere effettuata ogni 1 – 2 giorni avendo cura di non arrecare danno ai frutti più giovani. I rendimenti produttivi sono compresi tra 30 e 50 t ha⁻¹ con punte in coltura protetta fino a 70 t ha⁻¹.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato preferibilmente con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione effettuati in modo razionale in funzione dell'ETR e con metodo a ridotto consumo di acqua attraverso pratiche di microirrigazione.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, è opportuno effettuare la scelta in funzione delle richieste di mercato del momento anche se si consigliano in ordine di interesse le seguenti: Zucchina lunga fiorentina, Zucchini romanesco, Zucchini nero di Milano.

- *Cavolo*

Cavolfiore (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.)

Il Cavolfiore (*Brassica oleracea* L. conv. *botrytis* (L.) Alef. var. *botrytis* L.) è una tra le crucifere più coltivate in Italia, diffusa soprattutto nelle regioni centro-meridionali. Il nome deriva dal latino "caulis" (fusto, cavolo) e "floris" (fiore). Il cavolfiore viene utilizzato sia allo stato fresco che surgelato, disidratato e sottaceto.

Caratteri botanici

Il Cavolfiore, pianta erbacea biennale, presenta una radice fittonante non molto profonda. Sul fusto eretto (lungo da 15 a 50 cm) sono inserite alcune decine di foglie costolute, di cui quelle più esterne sono più grandi, di colore verde più o meno intenso a volte tendente al grigio, pruinose, mentre quelle interne sono di colore giallognolo o verde chiaro e spesso ricoprono completamente la parte edule. La parte edule viene chiamata dai vari studiosi corimbo, pomo, cespo, capolino, fiore, pane, palla, testa, infiorescenza, falsa infiorescenza, gemma apicale ipertrofizzata o sferoide compatto. Il corimbo è il risultato della ripetuta ramificazione della porzione terminale dell'asse principale della pianta. Il corimbo può assumere forme molto diverse. La superficie superiore convessa del corimbo è formata da un elevatissimo numero di meristemi apicali.

L'infiorescenza vera e propria è a racemo e proviene dall'allungamento dei peduncoli carnosì del corimbo. Tali peduncoli allungandosi si ramificano più volte. I fiori delle prime ramificazioni abortiscono e sono fertili solo quelli della ramificazione del quarto-ottavo ordine in poi. I fiori sono

di colore giallo e tipici delle crucifere. La fecondazione eterogama è quella prevalente. I frutti sono siliques, di forma e lunghezza diverse; possono contenere fino a oltre 25 semi, tondi, di diametro variabile da 1 a 2,5 mm., rossiccio-bruni o bluastri quasi lucenti.

Esigenze e adattamento ambientale

Fornisce le migliori produzioni in zone a clima fresco e umido. Il fattore climatico più importante è la temperatura, sia durante la fase di transizione da vegetativa a riproduttiva che prima e dopo di essa. Per le cultivar precoci la temperatura ottimale per la formazione dei corimbi è di circa 17°C. Con temperature superiori a 20°C il passaggio alla fase riproduttiva è ritardato e la qualità dei corimbi diviene scadente. Anche le basse temperature possono danneggiare la pianta in coincidenza dei vari stadi in cui si trova. Se la pianta ha formato 6-8 foglioline e viene sottoposta a temperatura bassa si possono avere piante "cieche", cioè senza infiorescenza. Il gelo provoca la lessatura dei grumi che formano la parte edule.

Richiede terreni di medio impasto e un elevato livello idrico dello strato interessato dalle radici. L'evapotraspirazione è elevata anche per la notevole superficie traspirante dell'apparato fogliare.

La coltivazione si effettua in diversi periodi dell'anno, a seconda della località e delle cultivar impiegate. Le cultivar si distinguono in base alla necessità o meno di freddo per la formazione del corimbo. Ci sono infatti cultivar che non richiedono il freddo per la formazione della parte edule, ma questo è necessario però per formare l'infiorescenza vera e propria, mentre altre (le tardive, che si comportano da piante tipicamente biennali) richiedono il freddo sia per la formazione della parte edule che per l'infiorescenza.

Impianto e Tecnica colturale

E' considerata una coltura da rinnovo (intercalare) e può seguire il grano o gli ortaggi come la fava, il pisello, la carota e la patata. Può anche essere intercalato tra grano e pomodoro, utilizzando cultivar a ciclo breve.

E' da evitare la monosuccessione, specie se non vengono eliminati i residui della vegetazione, in particolare se colpita da malattie. Anche se la semina diretta fornisce ottimi risultati, oggi, in particolare con l'impiego di ibridi, vengono utilizzate piantine allevate in vivaio in appositi contenitori, successivamente trapiantate (da luglio a tutto settembre). La vernalizzazione delle piantine (15-20 giorni a 2°C) sembra favorire la concentrazione del periodo di raccolta.

In funzione delle dimensioni delle piante si hanno diverse fittezze d'impianto. Le varietà tardive sono più grandi di quelle precoci, per cui le distanze d'impianto variano da 60 a 100 cm tra le file e 40-70 cm lungo le file, con una densità di piantine variabile dalle 15.000 alle 30.000 ad ettaro. Per la produzione di 10 tonnellate di corimbi le piante asportano circa 130 kg di azoto, 40 di fosforo, 140 di potassio e 50 di CaO e 7 di Mg. I concimi azotati vengono somministrati 2-3 volte: al trapianto o alla semina, circa 20 giorni dopo il trapianto o al momento del diradamento e circa un mese dopo quest'ultimo se si tratta di cultivar precoci o più tardi se tardive.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo in modo ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione sono previsti con metodi di irrigazione a basso consumo di acqua.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per il cavolo bisogna decidere di volta in volta in funzione delle caratteristiche richieste dal mercato.

- *Finocchio*

Finocchio (*Foeniculum vulgare dulce* Mill.)

Il Finocchio è una ombrellifera coltivata prevalentemente nell'Italia centro-meridionale, dove la coltivazione è organizzata per avere prodotto tutto l'anno.

Caratteri botanici

Ha radice fittonante, fusto con nodi basali molto ravvicinati, foglie con guaine molto larghe, carnose sovrapposte in modo da formare il caratteristico grumolo; le foglie sono pinnato-composte. Se la pianta trascorre almeno un mese a temperature inferiori a 7°C passa dalla fase vegetativa alla fase riproduttiva formando lo scapo florale ramificato che porta fiori gialli riuniti in infiorescenze a ombrella composta; l'impollinazione è di norma incrociata, ad opera di insetti. Il frutto è oblungho o ellissoide ed ha un aroma caratteristico che lo rende idoneo a essere usato, oltre che per la propagazione della pianta, anche come spezia.

Esigenze e adattamento ambientale

Avendo bisogno di temperature non troppo basse durante il ciclo vegetativo, le condizioni migliori per la coltura del finocchio si hanno lungo i litorali, sia in collina che in piano.

Anche in fatto di terreno il finocchio è esigente: il terreno deve essere di medio impasto tendente al sciolto, fresco, ricco di sostanza organica e profondo. Nei terreni molto compatti il grumolo tende a svilupparsi fuori terra andando incontro a grave deprezzamento perché in queste condizioni inverte e sviluppa germogli tra le guaine.

Impianto e Tecnica colturale

Nella coltura di pieno campo il finocchio si inserisce tra due colture in rotazione: generalmente segue il grano e precede una coltura da rinnovo a semina primaverile. L'impianto si fa per semina diretta nella grande coltura, per trapianto nella piccola coltura e per le produzioni precoci. La semina in pieno campo si fa a file distanti 40-50 cm; col successivo diradamento sulla fila si lascia una pianta ogni 20-25 cm. Questo tipo di semina viene in genere effettuato in giugno-luglio per ottenere una produzione autunnale; l'epoca di semina non deve essere troppo anticipata perché altrimenti la pianta monta a seme. Nella semina diretta in campo occorrono 10-12 kg di seme ad ettaro.

Nei casi in cui l'impianto venga effettuato mediante trapianto, la semina si fa in semenzaio e le piantine vengono poste a dimora a 45 giorni dalla semina. Per avere il prodotto in inverno, nelle zone in cui questo è possibile, la semina in semenzaio si esegue in agosto e il trapianto in ottobre. Per avere la produzione in estate, la semina in semenzaio si fa invece in gennaio-febbraio e il trapianto si esegue in marzo-aprile. La semina o il trapianto vanno effettuati su terreno ben preparato. La concimazione pre-semina o pre-impianto si fa utilizzando letame e concimi fosfatici e potassici. I concimi azotati sono somministrati, abbondanti, in copertura. Durante il ciclo, vengono effettuate sarchiature, adacquature e un'accurata rincalzatura, per favorire la formazione di grumoli bianchi e serrati. Nella coltura in convenzionale si effettuano anche trattamenti diserbanti.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo in modo ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici gli interventi di irrigazione sono previsti con metodi di irrigazione a basso consumo di acqua.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per il finocchio bisogna decidere di volta in volta in funzione delle caratteristiche richieste dal mercato.

- *Fagiolo e Fagiolino*

Fagiolo e Fagiolino (*Phaseolus vulgaris* L.)

Esistono numerose specie di leguminose da granella molto diverse come botanica e come origine che vengono ascritte al genere *Phaseolus*, tutte indicate con il termine fagioli. Il fagiolo comune (*Phaseolus vulgaris* L.) originario dell'America meridionale (Perù, Colombia). E' diffuso soprattutto in Asia, ma nel bacino del Mediterraneo. In Europa il maggiore produttore è la Spagna, seguita da Portogallo, Italia e Grecia.

Caratteri botanici

È pianta annuale a rapido sviluppo, con apparato radicale molto ramificato e piuttosto superficiale, steli angolosi, di altezza e portamento variabilissimo, da nani a rampicanti. I fagioli nani sono i più adatti alla coltura di pieno campo. I rampicanti si prestano bene alla coltura ortense dove la raccolta è scalare e manuale. Le prime foglie sono semplici, le altre trifogliate con foglioline cuoriformi. I fiori sono riuniti a grappoli in numero da 4 a 10 all'ascella delle foglie, e sono di colore per lo più bianco. La fioritura è cleistogama, il che determina una stretta autogamia, per cui la varietà si identifica con la linea pura. Il frutto è un legume pendulo, pluriseminato, di forma, colore e dimensioni assai variabili: compressi o cilindrici, verdi o gialli, lunghi da 60 a 220 mm, dritti o incurvati. Un carattere anatomico importante è la presenza o l'assenza nel baccello dei tessuti fibrosi che ne determinano il tipo di utilizzazione. Si hanno così due tipi di struttura del baccello:

- Baccelli le cui valve si separano con facilità per la presenza di un cordone fibroso lungo le linee di saldatura ("filo") e hanno strati di tessuto fibroso ("pergamena") entro ciascuna valva: il loro uso è per seme;

- Baccelli senza filo e senza pergamena e che quindi sono teneri e carnosì a lungo (fagioli mangiatutto o da cornetti, più comunemente detti "fagiolini").

Le dimensioni, la forma e il colore dei semi sono incredibilmente variabili, secondo i diversi gusti dei consumatori. La maggior parte delle varietà hanno semi il cui peso varia da 300 a 700 mg; una varietà italiana, il Borlotto, è molto apprezzata per il peso dei suoi semi che talora superano 800 mg.

Esigenze e adattamento ambientale

Data la sua origine tropicale il fagiolo è esigente in fatto di calore. La temperatura minima per avere nascite accettabilmente pronte e regolari è di 13-14 °C.

Il fagiolo soffre moltissimo gli abbassamenti di temperatura: muore a 1-2 °C. per questi motivi in zone temperate il fagiolo può coltivarci solo nel periodo primaverile-estivo o estivo.

Il fagiolo teme molto la siccità: in questo caso la pianta appassisce durante le ore più calde, i baccelli abortiscono o contengono pochi semi, i semi non raggiungono il pieno sviluppo.

Tenuto conto di questi fatti e della limitata profondità raggiungibile dalle radici, nel clima italiano generalmente è necessaria l'irrigazione per realizzare produzioni soddisfacenti e costanti. Il clima ideale per il fagiolo è quello di tipo oceanico, con estate né eccessivamente calda né secca, poco ventosa. La maturazione è favorita dal tempo secco.

Il terreno più adatto al fagiolo è quello sciolto, fresco, fertile; esso non deve essere troppo calcareo, altrimenti i semi che si ottengono sono duri e di difficile cottura per l'ispessimento del tegumento.

Il fagiolo si adatta ai terreni pesanti, purché questi non siano soggetti a formare crosta perché questa è un ostacolo gravissimo alle nascite delle piantine, la cui germinazione è, come si è detto, epigea e i cui cotiledoni sono soggetti a rompersi al minimo ostacolo nella fase dell'emergenza.

Il fagiolo ha una spiccatissima intolleranza per la salinità.

Impianto e Tecnica colturale

Il fagiolo trova la sua migliore collocazione tra due frumenti. È bene che la paglia del frumento precedente sia asportata e che il fagiolo torni sullo stesso terreno a intervalli non inferiori a tre anni per evitare lo sviluppo di funghi terricoli. Data la brevità del ciclo colturale il fagiolo si inserisce bene in certi ordinamenti colturali come coltura intercalare.

La preparazione del terreno nel caso di semina primaverile in coltura principale viene fatta secondo l'itinerario tecnico tradizionale: lavorazione principale a media profondità in estate e ripassature in autunno e/o inverno per affinare il terreno.

La sistemazione idraulica dei campi va curata perché il fagiolo stenta molto a nascere e a crescere su terreni freddi e umidi. La preparazione del letto di semina deve essere particolarmente accurata facendo in modo che il terreno sia molto ben amminutato e non soggetto a formare crosta.

Nel caso di coltura intercalare la cosa più importante è guadagnare tempo e non la preparazione del terreno, ottimi risultati si ottengono con la lavorazione minima o, addirittura, con la non lavorazione. La semina del fagiolo si può fare su un lungo arco di tempo: da aprile alla fine di luglio- primi di agosto.

Le semine primaverili vanno bene per tutte le varietà e per tutti i tipi di coltura, mentre le semine ritardate presentano vincoli tanto più stretti quanto più avanzata è la data di semina.

Per granella secca le ultime semine possibili con le varietà più precoci sono quelle di metà giugno. Nella grande coltura, dove la meccanizzazione della raccolta s'impone sia nei casi di coltura per granella che per fagiolini, le varietà sono nane e si seminano a file.

Le quantità di seme variano molto secondo la densità desiderata, la dimensione dei semi e lo stato di preparazione del letto di semina: in genere si va da 100 a 200 Kg di seme per ettaro.

La profondità di semina ottimale è di 40-60 mm in terreni a grana media, fino a 60-80 mm in terreni sciolti. Il seme deve essere sempre conciato.

La concimazione del fagiolo deve basarsi sul fosforo e se scarseggia sul potassio. I fagioli da seme fresco si raccolgono con macchine pettinatrici-sgranatrici semoventi; i fagioli secchi si raccolgono con le normali mietitrebbiatrici. È considerata una buona produzione di fagioli secchi di 2-2,5 t/ha. Nel caso di fagioli freschi, produzioni buone sono di 12 t/ha da baccelli da sgranare o di 5-6 t/ha di cornetti secondo la varietà e il grado di sviluppo dei baccelli.

I semi in magazzino sono molto soggetti agli attacchi del tonchio, per cui il controllo è indispensabile.

FAGIOLINO: Il fagiolino da consumo fresco, *Phaseolus vulgaris*, chiamato anche mangiatutto, cornetto, tegolino, appartiene alla famiglia delle leguminose. È una pianta annuale, a portamento determinato (le specie rampicanti sono di minor importanza commerciale), con fotoperiodismo neutro, caratterizzata da un accrescimento molto rapido. L'apparato radicale di colore marrone chiaro, è poco profondo, presenta un fittone centrale e un numero elevato di radici laterali sulle quali sono presenti i tubercoli del *Rhizobium leguminosarum phaseoli*, un batterio che vive in simbiosi con il fagiolino capace di fissare l'azoto atmosferico e renderlo disponibile per la pianta. Il fusto, di colore verde, è corto, più o meno robusto a seconda delle cultivar, non necessita di tutori. Le foglie, sono diverse a seconda dello stadio di sviluppo: le prime, quelle embrionali sono di forma cuoriforme, quelle successive sono composte da tre foglioline lanceolate e/o cuoriformi a seconda della varietà. I fiori, riuniti in un racemo, possono variare da un colore chiaro, con sfumature verso il giallo, il che è sinonimo dell'avvenuta allegagione. Il frutto, di colore verde più o meno intenso, è formato da due valve all'interno delle quali si trovano i semi e la polpa. Essendo una specie di origine tropicale, necessita di temperature abbastanza elevate, con un ottimale per la crescita attorno ai 18 - 24 °C., per la germinazione dei semi sui 22 - 28 °C., per l'allegagione fra i 15 e i 25 °C. Di conseguenza temperature molto basse provocano scompensi nella crescita, in particolare temperature fra 0 -1 °C provocano la morte, al di sotto dei 10 °C. la pianta non cresce, così come oltre ai 35 °C la crescita è prossima allo zero e l'allegagione è fortemente compromessa dalla cascola florale. Possono provocare altresì danni periodi stagionali fortemente ventosi. Il fagiolino ha un basso potere calorico (17 Kcal. per 100 g. di sostanza) ed è molto ricco di fibra alimentare che favorisce il transito intestinale. Gli aspetti botanici le esigenze ambientali sono le stesse che sono state descritte per il fagiolo. I canoni che determinano la scelta varietale sono vari. I legumi devono rientrare nelle tipologie adatte alla

trasformazione industriale, appertizzato o surgelato. In tal senso è particolarmente apprezzata l'uniformità nel colore e nella lunghezza dei baccelli, che devono essere di sezione rotonda, con apice diritto e senza filo. Per ottenere un prodotto di qualità i legumi devono poi presentare tolleranza alla marcatura del seme ed agli aborti seminali e bassa suscettibilità alla sovra maturazione ed alla disidratazione. Una buona vigoria facilita la raccolta meccanica; in più, la pianta deve avere portamento eretto, buona tolleranza ad allettamento, rusticità e tolleranza alla cascola floreale. La produzione deve essere inserita nella parte alta in modo da essere più facile da raggiungere. I baccelli devono essere lunghi (10 -12 cm x industria e da 12 a 15 cm da mercato), diritti e di colore verde medio scuro per il mercato e medio chiaro per l'industria; non devono toccare la terra. Rimane fondamentale, comunque, per avere una buona produzione la corretta irrigazione: è consigliato l'utilizzo degli sprinkler che permettono di razionalizzare l'utilizzo dell'acqua, bagnare uniformemente e non compattare il terreno come altrimenti spesso succede con l'utilizzo del rotolone con cannone. Inoltre, consentono anche di fare irrigazioni di soccorso contro le alte temperature. Lo stadio ottimale di maturazione coincide generalmente con il raggiungimento, nella sezione longitudinale del legume, di un rapporto pari a 1 fra lunghezza del seme e lunghezza dello spazio interseme.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo in modo ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione sono previsti con metodi di irrigazione a basso consumo di acqua.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per il finocchio bisogna decidere di volta in volta in funzione delle caratteristiche richieste dal mercato.

- Carota

Carota (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.)

La Carota è una pianta biennale, appartenente alla Famiglia delle Ombrelliferae, coltivata per le sue radici ingrossate, di colore rosso o giallo-arancio. Le radici vengono impiegate nell'alimentazione umana, in quella animale e nell'industria per l'estrazione di carotene e di coloranti.

Caratteri botanici

Presenta foglie profondamente laciniate, nel primo anno disposte a rosetta sulla "testa" della radice. Se lasciata salire a fiore, nel secondo anno emette uno stelo ramificato, alto fino a 1,5 metri, portante piccoli fiori bianchi riuniti a due a due in infiorescenze a ombrella composta. I semi sono piccoli (1.000 semi pesano 1,4 g), grigio-bruni, piano-convessi, dal forte odore aromatico.

Esigenze e adattamento ambientale

Molto sensibile all'influenza del clima. Predilige terreni leggermente acidi (pH ottimale 6,5), freschi, fertili e sciolti. Nei terreni compatti o ricchi di scheletro le radici tendono a biforcarsi, a diventare legnose, pallide, e, quindi, di scarso valore commerciale.

Fra due colture successive è necessario far intercorrere un intervallo di due anni; meglio evitare la successione con barbabietola, cipolla e con altre ombrellifere.

Impianto e Tecnica colturale

La carota è una pianta da rinnovo. Date le dimensioni del seme, necessita di un'accurata preparazione del letto di semina. La distribuzione delle semente viene eseguita a spaglio o a file (distanti 20 cm) in marzo-aprile. Si impiegano circa 5-6 kg per ettaro. Vista la sua lentezza di sviluppo nella fase

iniziale, la lotta contro le infestanti deve essere molto accurata (a mano nei piccoli orti o con diserbanti selettivi).

Quando le piantine hanno 3-4 foglie e sono alte 2-3 cm si procede al diradamento lasciando 50-100 piante per metro quadrato, a seconda della varietà e del tipo di terreno.

La concimazione deve essere abbondante perché la carota è molto avida di elementi nutritivi. Il letame impiegato deve essere ben decomposto. Fosforo e potassio vengono distribuiti in presemina, l'azoto in copertura. La raccolta viene effettuata prima che la radice abbia raggiunto il suo massimo sviluppo. Le produzioni unitarie variano moltissimo a seconda delle varietà e delle condizioni ambientali (dai 200 ai 400 quintali ad ettaro). La raccolta può essere effettuata manualmente o con macchine in grado di compiere la sola escavazione o anche l'eliminazione delle foglie e del terreno dalle radici.

Le radici hanno ottime qualità alimentari perché ricche di glucidi di facile digeribilità, di beta-carotene, e di vitamine B e C e di sali minerali.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo in modo ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione sono previsti con metodi di irrigazione a basso consumo di acqua.

- *Aglione*

Aglione (*Allium sativum* L.)

L'aglio è una pianta conosciuta fin dai tempi antichi. Oggi viene coltivata in tutti i continenti ed è molto nota per l'uso culinario. In Italia viene coltivata maggiormente in Campania, Emilia-Romagna, Veneto e Sicilia. È una specie perenne rustica, coltivata come annuale.

Caratteri botanici

L'aglio appartiene alla famiglia delle Liliaceae. Alcuni studiosi, per la forma dell'infiorescenza, la inseriscono, come la cipolla, nella famiglia delle Amarillidaceae. È una pianta erbacea perenne alta fino a un metro; da adulta presenta 40-60 radici cordiformi e superficiali, che interessano i primi 30 centimetri di terreno. Le foglie sono basali, amplessicauli e, diversamente da quelle della cipolla, non fungono, in seguito, da organi di riserva. Quella più esterna avvolge la precedente per circa 10 centimetri, valore che aumenta via via che ci si sposta verso l'interno. Lo scapo florale è cilindrico, pieno, lungo 40-80 cm e porta alla sommità un'infiorescenza a ombrella avvolta da una spatula appuntita. I fiori, in numero variabile e portati su un lungo e sottile peduncolo, sono bianchi, rosei o porporini, spesso frammisti a bulbilli derivati dalla metamorfosi di gemme fiorali. Ogni fiore presenta 6 tepali, persistenti nel frutto, 6 stami e un ovario trilobulare, uno stilo diritto e filiforme e uno stigma intero. Dalla fecondazione si origina una capsula, che raramente contiene semi.

I veri organi di propagazione sono gli spicchi o bulbilli, che presentano la faccia dorsale convessa; questi, a gruppi di 5-20, sono inseriti direttamente sul fusto, ridotto a un dischetto e detto corno, e formano il bulbo o capo o testa. Questo è avvolto da una serie di foglie metamorfosate, dette tuniche sterili, con funzione protettiva. Il peso medio di un bulbo può andare da un minimo di 20 grammi a un massimo di oltre 150 g.

Esigenze ambientali

L'aglio predilige terreni sciolti, dotati di buona fertilità, tessitura e struttura, in grado di garantire un rapido smaltimento delle acque piovane, anche in considerazione del periodo in cui viene spesso coltivata (dall'autunno all'inizio dell'estate).

Tecnica colturale

L'aglio è una pianta perenne ma annua in coltura. È considerato una pianta da rinnovo pur non necessitando di lavorazioni profonde. L'aratura viene fatta normalmente a una profondità di 25-30 cm, seguita da una erpicatura o da una fresatura. Molto spesso l'aglio segue il grano; non deve essere preceduto da cipolla, carota e da colture ortive.

I bulbilli più grossi e sani devono essere interrati in autunno nelle zone a clima mite (per l'aglio rosa, da consumare fresco in primavera) e all'inizio della primavera nelle zone fredde e umide (e per l'aglio bianco che può essere conservato). La messa a dimora dei bulbilli può essere manuale, nel qual caso vengono deposti con l'apice verso l'alto, a una profondità di circa 4-5 cm, a una distanza di 10-15 cm sulla fila e di 30-50 cm tra le file. Sempre più spesso si ricorre però alla "semina" meccanica. Il trapianto deve essere preceduto, anche di pochi giorni, dalla separazione dei bulbilli dal dischetto, che può essere manuale o meccanica.

La concimazione dell'aglio è esclusivamente minerale; quella organica può causare gravi problemi e deve essere effettuata nella coltura precedente. Con una produzione di 10 t/ha di bulbi, la coltura asporta circa 100 kg di azoto, 28 kg di fosforo (anidride fosforica), 130 kg di potassio (potassa), 25 kg di calcio e 18 di magnesio. Il fosforo e il potassio vanno apportati durante la preparazione del terreno, mentre l'azoto va distribuito in copertura, in due interventi.

In genere l'aglio non richiede interventi irrigui in quanto la normale quantità di pioggia è sufficiente per soddisfare le esigenze della pianta. Ha bisogno di irrigazione solo in caso di prolungata siccità.

Avendo un apparato radicale molto superficiale, eventuali sarchiature devono essere fatte con molta attenzione; per questo il controllo delle erbe infestanti si fa sempre più spesso impiegando erbicidi.

Gli steli fiorali devono essere tagliati quando sono ancora in boccio per evitare che la pianta utilizzi per la fioritura le riserve contenute nel bulbo (in Italia difficilmente sale in fiore). Per accelerare la maturazione talora si ricorre alla torsione dello stelo.

Raccolta e conservazione

La raccolta, manuale o meccanica, viene eseguita estirpando le piante e lasciandole ad essiccare sul terreno per circa una settimana. In seguito, i bulbi vengono ripuliti dalle tuniche più esterne, sporche, rotte o annerite, si tagliano le radici e si fanno trecce di 20-30 bulbi, oppure si tagliano le foglie e si mettono i bulbi in contenitori. La resa dell'aglio si aggira sui 8-12 tonnellate all'ettaro di bulbi.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo in modo ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione sono previsti con metodi di irrigazione a basso consumo di acqua.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per l'aglio bisogna decidere di volta in volta in funzione delle caratteristiche richieste dal mercato.

- Girasole

Girasole (*Helianthus annuus* L.)

Il Girasole è una pianta di origine americana introdotta in Europa per uso ornamentale nei primi decenni del 1500 e assumendo una certa importanza come pianta oleifera soltanto nel Settecento. Oggi il girasole è largamente coltivato a livello mondiale, tanto che attualmente si trova al secondo posto, dopo la soia, tra le piante coltivate per la produzione di olio. In Italia è presente soprattutto nell'Italia centrale. Le attuali varietà selezionate danno acheni contenenti anche più del 45% di olio. Le forme coltivate dell'*Helianthus annuus* L. si suddividono in due gruppi: uno idoneo per la

produzione di semi e per foraggio, comprendente piante monocefaloiche e con acheni grandi, e uno per la produzione di fiori ornamentali, caratterizzato da piante ramificate e policefale.

Caratteri botanici e biologia

Il Girasole è una pianta annua di grande sviluppo caratterizzata da una lunga radice fittonante su cui sono inserite le radici laterali. Il fusto può raggiungere notevoli altezze: nelle varietà da olio fino a 2 metri circa. Il culmo è eretto e solo a maturità si curva nella parte terminale a seguito dell'aumento del peso dell'infiorescenza. Sullo stelo sono inserite le foglie, ruvide su entrambe le facce, munite di un lungo picciolo e di forma diversa a seconda della posizione. Il culmo termina con l'infiorescenza o calatide, le cui dimensioni sono molto variabili (in media 10-40 cm di diametro). Questa infiorescenza è caratterizzata, esternamente, da una corona di fiori sterili (con grandi ligule gialle) entro cui sono inseriti tutti gli altri, più piccoli, fertili, ermafroditi; il numero totale dei fiori varia è variabile a seconda della cultivar impiegata. I fiori schiudono in maniera scalare, con andamento centripeto. In seguito alla fecondazione si forma un frutto secco indeiscente, detto achenio (inesattamente chiamato seme), di dimensioni e forma variabili. L'olio contenuto nell'achenio rappresenta in media il 40-50% del peso del seme. Caratteristico del Girasole è l'eliotropismo, cioè il fatto di seguire il movimento della luce durante il giorno; tale fenomeno, che riguarda l'infiorescenza durante la fase di sviluppo e le giovani foglie, cessa al sopraggiungere della fioritura, tanto che da questo momento in poi la maggior parte dei fiori rimane rivolta verso est sud-est.

Esigenze e adattamento ambientale

Nelle moderne varietà il ciclo colturale del girasole è di circa 95 giorni, nel quale si possono distinguere le seguenti fasi: germinazione, emergenza, formazione delle foglie, differenziazione dei bottoni fiorali, crescita attiva, fioritura, formazione e riempimento del seme e maturazione.

Pur essendo caratterizzata da un consumo idrico elevato, il girasole riesce, in caso di carenza idrica, a sfruttare l'umidità degli strati profondi grazie al notevole sviluppo capillare dell'apparato radicale (fino a 1,5-2 metri). Il girasole è tipica pianta da rinnovo adatta alla coltura asciutta, soprattutto nei terreni dotati di una buona capacità idrica e lavorati profondamente. La pianta è in grado di tollerare sia le basse che le alte temperature. Per quanto riguarda il terreno, sono da evitare quelli troppo sciolti perchè incapaci di trattenere l'acqua, e quelli troppo pesanti, specie se mal preparati e privi di struttura. Il pH deve essere intorno a 6-7,2.

Impianto e Tecnica colturale

Ha un ciclo primaverile-estivo molto breve e lascia il terreno in buone condizioni di fertilità grazie agli abbondanti residui culturali. Una volta sviluppata, ha una notevole capacità di soffocare le infestanti. La preparazione del letto di semina si effettua con un'aratura a 30-40 cm di profondità, seguita da successive erpicature con lo scopo di affinare il terreno nei primi 6-8 cm.

In Italia, il girasole viene seminato da marzo nelle aree meridionali e ad aprile in Italia centrale. La semina viene fatta a file distanti 60-70 cm, con seminatrice di precisione, curando la distanza di semina in modo da avere senza diradamento 4 piante a metro quadrato ($4-6 \text{ kg ha}^{-1}$). Il girasole risulta esigente in N, poco in P e molto in K. Dopo la germinazione può rendersi utile la sarchiatura. La raccolta inizia quando si verifica la caduta spontanea degli involucri fiorali portati dal frutto, il viraggio al bruno della calatide e la completa secchezza delle foglie basali e di parte di quelle mediane. Vengono utilizzate le mietitrebbiatrici da frumento opportunamente modificate. Una buona produzione di acheni si aggira intorno a $2,0-2,5 \text{ t ha}^{-1}$ ma in condizioni favorevoli si può arrivare a $3,5-4,0 \text{ t ha}^{-1}$.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte alla semina, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti,

gli interventi di irrigazione non sono previsti, mentre per il controllo delle erbe infestanti si effettua una leggera sarchiatura nella fase iniziale di sviluppo.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, non sussiste particolare importanza e rilievo la scelta della varietà, l'importante che sia una varietà monocaule ed elevata produzione di fiori e acheni.

- *Colza*

Colza (*Brassica napus* L.)

Caratteri botanici e biologia

Pianta annuale o biennale, con radice fittonante e fusto eretto alto da 0,5 m a 1,5 m, molto ramificato. Le foglie, glauche e pruinose, sono semplici; quelle inferiori sono lirato-pennatosette e peduncolate, mentre quelle superiori sono sessili, oblunghie e parzialmente amplessicauli. I fiori sono riuniti in gruppi a formare un grappolo alla sommità del fusto; presentano 4 sepali e 4 petali disposti a croce e sono gialli. L'ovario è bicarpellare; il frutto è una siliqua contenente 20-30 semi, più o meno deiscente a maturità; si formano per autofecondazione o attraverso fecondazione incrociata. I semi sono tondeggianti, da rosso-bruni a neri (peso 1.000 semi da 3,5-4,5 grammi).

Esigenze e adattamento ambientale

E' importante che la pianta raggiunga prima dell'inverno lo stadio di 6-8 foglioline, in quanto in tale fase presenta la maggior resistenza al freddo. Predilige terreni freschi e profondi. In terreni con buona capacità di ritenzione idrica il colza si sviluppa rapidamente; cresce bene anche in zone povere di precipitazioni grazie alla sua maggiore precocità rispetto ai cereali vernini. E' abbastanza tollerante nei confronti del pH, pur prediligendo valori intorno a 6,5; non presenta particolari problemi per quanto riguarda la salinità.

Impianto e Tecnica colturale

Il colza è una pianta a ciclo autunno-primaverile; migliora il terreno per gli abbondanti residui colturali (radici, foglie e steli) che, se ben interrati, assicurano un buon apporto di sostanza organica umificata.

Viste le piccole dimensioni del seme, è necessario preparare un buon letto di semina. La superficie del terreno non deve essere troppo soffice al fine di evitare che il seme, di piccole dimensioni, venga depositato troppo in profondità in quanto ciò provocherebbe successive difformità nell'emergenza; a questo fine può essere utile una rullatura.

Nell'Italia settentrionale la semina viene fatta in settembre; al Sud fino a novembre, in relazione anche alla possibilità di preparare il letto di semina. Come detto, per resistere al freddo invernale le piantine dovrebbero trovarsi allo stadio di rosetta con 6-8 foglie e avere un fittone lungo circa 7-9 cm. La densità ottimale è di 70-80 piante m⁻². La distanza tra le file varia da 25 a 35 cm.

Nonostante il sistema radicale abbastanza approfondito, il colza necessita di discrete quantità di elementi nutritivi. Gli elementi maggiormente asportati sono l'azoto e il fosforo, mentre il 90% del potassio asportato durante il ciclo vegetativo ritorna nel terreno con i residui colturali. Fra i tre principali elementi della concimazione, l'N rappresenta per il colza un importante fattore di resa. Data la vicinanza delle file, la sarchiatura risulta alquanto problematica; pertanto si ricorre al diserbo chimico. La coltura è pronta per essere raccolta (impiegando mietitrebbie da frumento) quando i semi sono completamente imbruniti e le silique secche (umidità ottimale della granello intorno al 12%). Raccolte tardive sono sconsigliate per il rischio di perdite per deiscenza delle silique; raccolte troppo anticipate fanno sì che il contenuto di clorofilla sia ancora elevato, con peggioramento della qualità. In Italia si possono ottenere produzioni intorno ai 30 quintali ad ettaro con semine autunnali e di 15-18 quintali con semine primaverili. Il contenuto in olio dei semi (media intorno al 45%) può oscillare notevolmente da un anno all'altro, a seconda dell'andamento climatico e della zona.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte alla semina, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti, gli interventi di irrigazione, il controllo delle erbe infestanti non sono previsti.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, non sussiste particolare importanza e rilievo la scelta della varietà, l'importante che sia una varietà precoce ad elevata produzione di fiori e silique.

- *Frumento*

Grano (*Triticum durum* Desf.)

Origine e diffusione

Il frumento o grano duro si è evoluto piuttosto tardi (IV sec. a.C.) soppiantando il farro in tutta l'area mediterranea e medio-orientale a clima caldo e siccitoso, dove tuttora ha la massima diffusione. Assai recente è l'introduzione del frumento duro negli altri continenti. In Europa il principale produttore di duro è l'Italia che nel 2000 gli ha destinato 1,6 Mha su un totale a frumento di 2,3 Mha, con una produzione di 4,5 Mt. Il frumento duro ha avuto una notevole espansione in Italia negli anni '70 a seguito della politica agricola seguita dalla Comunità Europea, che è stata ed è di notevole vantaggio per l'Italia, che è il più grande produttore di frumento duro, e in particolare per le sue regioni meridionali e insulari dove è stata tradizionalmente concentrata la produzione di questo cereale. I contributi comunitari, superiori di quelli del frumento tenero, hanno stimolato l'espansione della coltivazione del frumento duro dalle regioni dove prima era esclusivamente limitata (Sicilia, Sardegna, Puglia, Basilicata, Lazio e Toscana) ad altre regioni dell'Italia centrale e finanche settentrionale, in sostituzione del frumento tenero.

Caratteri botanici

Il frumento duro (*Triticum durum*) fa parte del gruppo dei frumenti tetraploidi. Verosimilmente è il frutto di selezione antropica in climi caldo-aridi, per caratteri utili delle spighe e della granella (cariossidi nude, endosperma vitreo e ricco di proteine) a partire dai frumenti tetraploidi primitivi. Il frumento duro si differenzia dal tenero per i seguenti caratteri morfologici:

- Spiga lateralmente compressa, anziché quadrata, se vista in sezione; glume carenate fino alla base e giunelle inferiori terminanti sempre con una resta molto lunga e spesso pigmentata;
- Cariosside assai grossa (45-60 mg), a sezione trasversale subtriangolare, con albume che tipicamente ha struttura vitrea, ambracea, cornea, anziché farinosa;
- Ultimo internodo pieno, per cui il culmo sotto la spiga è resistente allo schiacciamento.

Esigenze ambientali

L'adattamento del frumento duro è meno largo di quello del frumento tenero, meno di questo resiste ad avversità come il freddo, l'umidità eccessiva, l'allettamento e il mal di piede; molto più di questo vede compromessa la qualità della granella da condizioni ambientali improprie. Per quanto riguarda il terreno il frumento duro dà migliori risultati in quelli piuttosto argillosi, di buona capacità idrica, mentre rifugge da quelli tendenti allo sciolto. Il frumento duro è meglio del tenero adattato agli ambienti aridi e caldi, dove riesce a realizzare la migliore espressione di qualità.

Varietà

Il miglioramento genetico del frumento duro è proceduto con molto ritardo e con maggiore lentezza di quello del frumento tenero. Solo negli ultimi decenni del XX secolo si è avuta una vivace ripresa di interesse per il miglioramento di questa specie, tradottasi nella realizzazione di parecchie nuove varietà radicalmente rinnovatrici del panorama varietale italiano.

Gli aspetti principali affrontate nel miglioramento del frumento duro sono i seguenti: Resistenza all'allettamento, Precocità, Resistenza al freddo, Resistenza alle malattie, Miglioramento qualitativo. Alcune specifiche caratteristiche qualitative richieste per il frumento duro sono:

- Cariossidi di elevato peso ettolitrico; di colore giallo traslucido, brillante; assenza di macchie scure sull'embrione o su altre parti della cariosside (puntatura o volpatura);
- Semola ben colorata (alto indice di giallo) per elevato contenuto di carotenoidi e flavonoidi, senza residui di involucri, buona granulazione e con spigoli vivi, con basso contenuto in ceneri (non superiore a 0,85% s.s.) elevato contenuto di proteine e glutine, buone qualità del glutine;
- Pasta di bel colore giallo, trasparente, omogenea, dotata di buon comportamento alla cottura, per quanto riguarda elasticità, collosità, resistenza.

Tra le più diffuse varietà di frumento duro troviamo le seguenti: Simeto, Duilio, Ciccio, Arcangelo, Creso, Colosseo, Iride, Rusticano, Grazia, Svevo, Claudio, Antalis.

Tecnica colturale

La tecnica colturale del frumento duro ricalca da vicino quella del frumento tenero.

La semina del frumento duro va fatta con un leggero anticipo su quella del tenero; in tal modo si favorisce l'accestimento e si anticipa, sia pur di poco, la fioritura e la maturazione. Per la quantità di seme la tendenza odierna, specialmente nelle zone non particolarmente aride, è di impiegare quantità di seme consistenti: 350-400 cariossidi per metro quadrato, pari a 180-200 kg/ha e talora più, se la varietà, come spesso si verifica, è a granella grossa.

Le nuove varietà sono esigenti, quindi vanno in rotazione come primo grano; da evitare il ristoppio data la sensibilità del duro al mal del piede.

Per la concimazione potassica e fosfatica si comporta come con il tenero. Per la concimazione azotata si dovrebbe seguire la tendenza a forzarla, considerando però i pericoli dell'allettamento e della stretta (resa particolarmente pericolosa e temibile dalla tardività della maturazione). Le varietà resistenti all'allettamento possono essere concimate finanche con 150-200 kg/ha d'azoto, ma in ambienti siccitosi la concimazione va opportunamente ridotta. La concimazione azotata oltre ad aumentare le produzioni areiche diminuisce la percentuale di bianconatura rendendo la granella più proteica. Particolarmente efficaci per prevenire la bianconatura sono le azotature tardive.

Diserbo. Il frumento duro è un po' più sensibile del tenero alla tossicità degli erbicidi i quali, perciò, vanno adoperati a dosi leggermente inferiori. La tecnica e i prodotti sono gli stessi indicati per il frumento tenero.

Raccolta e utilizzazione

Le rese ottenibili col frumento duro sono ormai dello stesso ordine di grandezza di quelle ottenibili nelle stesse condizioni coi frumenti teneri, per cui la convenienza economica a coltivare l'una o l'altra specie dipende essenzialmente dal valore di mercato della granella e dal regime di contribuzione CE; quest'ultima, nel caso del frumento duro, è riservata a determinare regioni ed è subordinata alla coltivazione di varietà con buone caratteristiche qualitative.

In molte zone dell'Italia meridionale vanno considerate buone, rese superiori a 3,5 t/ha.

Il frumento duro produce una granella dalla quale si ricava la semola, materia prima per la preparazione delle paste alimentari, costituita da frammenti d'endosperma più o meno grandi, a spigolo vivo, non farinosi.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico: Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, la rotazione è essenziale, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato preferibilmente con metodi non chimici. In relazione alle

ipotetiche varietà da adottare, per il frumento duro bisogna decidere di volta in volta in funzione delle condizioni di mercato più vantaggiose.

Grano (*Triticum aestivum* L.)

Caratteri botanici

Cariosside. Quello che comunemente viene chiamato “seme” dei cereali è in realtà una cariosside, cioè un frutto uniseminato, secco, indeiscente in quanto i tessuti del pericarpo sono concresciuti e saldati con quelli del seme. La cariosside del frumento pesa da 35 a 50 mg, ha forma allungata, sezione trasversale da rotondeggiante a subtriangolare, ed è costituita dall’embrione (2-4% in peso), dall’endosperma (87-89%) e dai tegumenti o involucri (8-10% circa). L’embrione si trova ad un estremità della cariosside, non ha molta importanza dal punto di vista tecnologico-alimentare in quanto durante la macinazione va a far parte dei sottoprodotti, mentre ha un compito fondamentale per la riproduzione della specie. Infatti, in esso sono già formati gli organi principali del futuro individuo. L’endosperma costituisce la parte preponderante del granello ed è formato: a) da uno strato aleuronico esterno e b) da un parenchima interno, che ne rappresenta la quota maggiore, costituito da cellule ricche di amido e sempre meno dotate di sostanze proteiche man mano che si procede verso l’interno del granello. D’importanza notevole nei confronti della qualità del prodotto e del suo impiego sono la consistenza e l’aspetto dell’endosperma che può apparire ambraceo, corneo, vitreo ovvero farinoso, bianco, tenero, secondo la specie, la varietà e l’ambiente di coltura.

L’apparato radicale (del frumento e dei cereali in generale) è di tipo fascicolato. Si hanno radici embrionali o primarie; esse sono preformate nell’embrione, sono le prime a svilupparsi e servono alla pianta nel primo periodo del ciclo. In seguito si affianca loro l’apparato radicale secondario o avventizio.

Il culmo (così è chiamato il fusto delle graminacee) è cilindrico, costituito da nodi ognuno dei quali porta una foglia, e da internodi internamente cavi, generalmente in numero di 7-9 secondo la varietà. Nella fase giovanile quando gli internodi non sono sviluppati, i nodi sono ravvicinatissimi ed il culmo, lungo pochi millimetri, non è ancora appariscente.

Apparato fogliare. Il coleoptile è una foglia, la prima, che incappuccia la piumetta (o apice caulinare), perfora il terreno e protegge la piumetta stessa. La prima foglia vera dopo qualche giorno dall’emergenza, ossia dalla fuoriuscita dal terreno, perfora il coleoptile e inizia la fotosintesi.

L’infiorescenza del frumento è una spiga composta terminale, comunemente detta spiga, costituita da un asse principale, o rachide, sinuoso, formato da corti internodi che, come s’è detto, possono essere resistenti alla disarticolazione (frumenti “nudi”) o disarticolarsi con facilità (frumenti “vestiti”).

La spiga del frumento tenero vista in sezione è quadrata, mentre quella del frumento duro è compressa lateralmente.

Il fiore del frumento è ermafrodito ipogino e di struttura semplice: tre stami ed un carpello.

Gli stami hanno antere bilobate e filamenti sottili, brevi, che dopo la deiscenza del polline si allungano rapidamente.

Tecnica colturale

La coltivazione del frumento trae notevoli vantaggi dall’avvicendamento colturale. Sono buone precessioni colturali il mais, la bietola, il pomodoro, la patata, il girasole, la fava, il cotone (anche il riso che lascia il terreno sgombro da infestanti) perché il frumento è in grado di utilizzare molto bene il residuo di fertilità lasciato nel terreno da tali colture, meglio comunque se non si tratta di altri cereali. Esso invece non è la coltura migliore per utilizzare l’elevata fertilità lasciata dai prati pluriennali (leguminose e graminacee). Nelle zone aride è tradizionale la successione del frumento al maggese che mineralizza il terreno con sostanza organica e lo arricchisce di acqua. La successione ad una coltura da rinnovo inoltre permette una lavorazione meno profonda del terreno.

Preparazione del terreno.

I lavori preparatori hanno lo scopo di preparare un appropriato letto di semina e di creare migliori condizioni di abitabilità per la coltura.

Tradizionalmente le lavorazioni preparatorie per il frumento sono le seguenti:

- trinciatura dei residui della coltura precedente;
- aratura, con rovesciamento completo della fetta, a 0,35-0,45 m di profondità;
- affinamento superficiale con successivi passaggi di estirpatore o di erpici divario tipo; non è necessario uno sminuzzamento molto spinto: una leggera zollosità non pregiudica la germinazione e riduce i rischi di formazione di crosta nei terreni limosi in caso di piogge battenti dopo la semina.

Il tempo disponibile per eseguire la sequenza di lavorazioni necessarie per la semina del frumento in ottobre-novembre, varia con la successione colturale, ossia con la data alla qual è raccolta la coltura precedente. Come regola generale prima si ara, meglio è. Il tempo per le lavorazioni dunque sarà: da luglio in poi dopo frumento, colza, fava e pisello; da settembre dopo girasole e barbabietola; da ottobre dopo mais, sorgo e tabacco.

«Arrabbiaticcio». La lavorazione del terreno dovrebbe essere fatta con terreno in tempera, spesso, però, capita di dover arare terreno troppo bagnato o troppo secco. Ciò che va evitato è di lavorare quando il terreno è bagnato in superficie e asciutto sotto: mescolando con l'aratura questi due strati si incorre nel fenomeno detto arrabbiaticcio o caldafredda o verdesicca, particolarmente deleterio per il frumento. La esatta natura del fenomeno è sconosciuta, ma si traduce in forte carenza di azoto e in gravi infestazioni di erbacce, soprattutto papaveri, per cui il frumento cresce stentatissimo.

Nuove prospettive. In fatto di preparazione del terreno per il frumento si stanno diffondendo tecniche nuove, consistenti nella riduzione o addirittura la eliminazione delle lavorazioni, mirate a realizzare risparmi energetici oltre che conseguire vantaggi agronomici ed ecologici (miglioramento del terreno, riduzione dell'erosione).

Queste tecniche di «lavorazione ridotta» consistono nei tre casi seguenti: aratura leggera, lavorazione minima, non lavorazione.

- Aratura leggera. La profondità di aratura adottata in Italia non trova riscontro in nessun'altra agricoltura: per il frumento la profondità più usuale di aratura è intorno a 0,15-0,25 m. Pur se resta da verificare la applicabilità di questa tecnica alle condizioni di terreno e di clima del nostro Paese, è molto verosimile che in molti casi si possa ridurre la profondità di lavorazione senza conseguenze negative, dato che in molti casi non esistono giustificazioni agronomiche del loro approfondimento che, anzi, spesso è da considerare eccessivo.

- Lavorazione minima («minimum tillage»). Si tratta di fare, come unica lavorazione, quella idonea a disgregare il terreno superficialmente giusto quel tanto (50-100 mm) che basta a far funzionare regolarmente le normali seminatrici.

Questa tecnica si presta bene nel caso che il frumento segua una coltura che lascia il terreno mondo da erbacce e con poca massa di residui.

Ottimi risultati tecnici ed economici si sono cominciati ad ottenere anche in Italia dopo girasole, barbabietola, soia, colza, patata e mais (specialmente da insilamento). Gli attrezzi idonei per preparare il letto di semina possono essere i più vari: estirpatore, erpice frangizolle a dischi, zappatrice rotativa, erpici a denti elastici, erpici ruotanti. Caso per caso va scelto l'attrezzo più idoneo a produrre l'effetto desiderato.

Una forma particolare di lavorazione minima è quella che fa ricorso all'accoppiamento di una seminatrice all'attrezzo di lavorazione (erpice ruotante, fresatrice).

Con la lavorazione minima i tempi di lavorazione e di semina si riducono moltissimo.

- Non lavorazione. La tecnica della «non lavorazione» (inglese: no tillage, zero tillage o direct drilling) è indicata anche con il termine di «semina diretta» (traduzione di «direct drilling»): questa

dizione è di dubbia correttezza e precisione, potendo essere interpretata come la tecnica d'impianto alternativa al trapianto che si pone per molte piante ortensi.

La non lavorazione consiste nel seminare il cereale su un terreno al quale non è stata fatta nessuna lavorazione. Si deve disporre di una seminatrice speciale, adeguatamente pesante e fatta in modo da fendere il terreno in corrispondenza di ogni elemento seminatore. I residui della coltura precedente, debitamente trinciati, restano in superficie a costituire una specie di pacciamatura. Se ci sono infestanti, si deve ricorrere a un trattamento chimico disseccante privo di effetto residuale.

Si prestano bene alla non lavorazione le stesse colture dopo le quali è possibile la lavorazione minima. Sistemazione idraulica del terreno. La preparazione del terreno deve essere completata con opere atte ad evitare l'erosione in collina e ad assicurare la rapida evacuazione delle acque saturanti in pianura. In collina vanno aperti solchi livellari anche temporanei, mentre in pianura i campi devono essere delimitati da fosse di scolo non troppo distanti e ben tenute, e baulati per favorire il deflusso delle acque superficiali verso le scoline stesse.

La rete scolante è troppo spesso trascurata: ciò è deplorabile perché causa gravi decurtazioni di resa. Infatti, il frumento soffre in modo particolare dei ristagni d'acqua: è attaccato dal mal del piede che in ambiente asfittico prospera; le infestazioni di erbacce sono più intense; il radicamento è ostacolato; la nitrificazione langue mentre la denitrificazione si intensifica; in certe annate la semina è ritardata o impossibile in campi mal sistemati.

Semina.

Uno dei cardini del successo della coltivazione è la scelta di semente idonea sia dal punto di vista genetico (varietà) che agronomico (purezza, germinabilità).

Le varietà vanno scelte sulla base dell'esperienza passata, ma senza trascurare la cauta prova e la graduale introduzione delle novità varietali più promettenti, senza di che nessun progresso vi sarebbe. Molto utili risultano le liste di varietà raccomandate sulla base dei risultati di prove sperimentali regionali così come sarebbe molto utile che le organizzazioni professionali dei produttori, per evitare un'eccessiva frammentazione, pianificassero a livello comprensoriale i programmi di semina e di raccolta in modo da realizzare «stocks» omogenei delle varietà più richieste dagli utilizzatori.

Il frumento è a «fittezza elastica» nel senso che con l'accestimento può compensare ampie differenze di fittezza iniziale. Ciò è provvidenziale perché ad esempio in caso di semine mal riuscite che hanno prodotto nascite molto scarse (esempio: 100 piante per m²) grazie ad un accestimento molto spinto si può avere un'accettabile copertura di culmi-spiga. Però in condizioni normali si ritiene conveniente realizzare fittezze iniziali piuttosto alte per limitare l'accestimento. Prassi assodata è di porsi come obiettivo 300 piante nate dalla semina che poi con un moderato accestimento formeranno una copertura di 5-600 spighe per m², indicativamente.

In condizioni medie (buon valore reale della semente, buona preparazione del terreno e tempestiva epoca di semina) si può considerare che per avere 300 piante nate a m² siano necessarie e sufficienti 400-450 cariossidi a m² pari a 160-180 kg/ha di semi aventi un peso medio di 40 mg. Dosi raccomandabili sono quindi 160-180 kg/ha per semine d'autunno tempestive in buone condizioni; con semine ritardate la quantità di seme va aumentata indicativamente di 1 kg per ettaro per ogni giorno di ritardo. Nel caso di semine di fine inverno non si può far conto sull'accestimento, per cui le quantità di seme vanno fortemente aumentate, fino anche a 300 kg ad ettaro.

La semina del frumento si fa con seminatrici trainate o semiportate che sono di due tipi:

- con distribuzione a gravità, per cilindri scanalati (seminatrici universali);
- con distribuzione pneumatica, più veloci.

Per la semina «diretta» (senza lavorazione alcuna) sono state realizzate seminatrici speciali, di struttura, peso e robustezza tali da poter seminare su terreno sodo.

Consociazione. Per definizione, la consociazione è la coltura contemporanea di due o più specie sulla stessa unità colturale. In passato o in regioni ad agricoltura primitiva erano frequenti consociazioni

permanenti di segale, lenticchie, ecc. col frumento o la consociazione temporanea di essenze da prato (erba medica, trifoglio, sulla, lupinella) traseminate nel cereale in autunno o più spesso in primavera con la tecnica detta della «bulatura». L'impiego dei diserbanti e l'uso di forti dosi di azoto rendono la bulatura poco praticabile o addirittura impossibile.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico: Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura, come per il frumento duro, saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, la rotazione è essenziale, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato preferibilmente con metodi non chimici. In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per il frumento duro bisogna decidere di volta in volta in funzione delle condizioni di mercato più vantaggiose.

- Orzo

Orzo (*Hordeum vulgare* L.)

Origine e diffusione

L'Orzo è una pianta conosciuta dall'uomo fin da epoche remotissime, in Italia occupa una superficie coltivata pari 360.000 ettari, con rese unitarie sono in forte aumento fino a circa 5-6 t ha. L'orzo si coltiva, oltre che per granella, anche come pianta da foraggio. Nei Paesi più sviluppati, la granella di orzo trova la destinazione principale (85-90%) nella mangimistica zootecnica e secondariamente (10-15%) nell'industria del malto (il malto, cioè la granella in cui l'amido è stato idrolizzato, è la materia prima per la fabbricazione della birra, del whisky e per la preparazione di farine al malto, ecc.). Impiego molto secondario dell'orzo è come surrogato del caffè. L'attuale tendenza al livellamento dei prezzi e la forte richiesta stimolano l'espansione di questo cereale minore, soprattutto in sostituzione del frumento in molte zone marginali o in condizioni poco favorevoli dove l'orzo consente di conseguire rese superiori e più costanti del frumento.

Caratteri botanici

Le numerose forme di orzo coltivate appartengono alla specie *Hordeum vulgare* e vengono distinte in base al numero di file di granelli della spiga. L'infiorescenza dell'orzo è una spiga il cui rachide è costituito da 20-30 articoli su ognuno dei quali, in posizione alterna, sono portate tre spiglette uniflore, una mediana e due laterali. Se solo la spigletta centrale di ogni nodo del rachide è fertile e le due laterali sono sterili, la spiga porta due soli ranghi e ha una forma fortemente appiattita: sono questi gli orzi distici (*Hordeum vulgare* distichon). Se le tre spiglette presenti su ogni nodo del rachide sono tutte fertili, si hanno gli orzi polistici (o esastici) (*Hordeum vulgare* exastichon), a sei file. Questi a loro volta, possono essere in: orzi esastici (*H. vulgare* exastichon aequale); orzi impropriamente detti tetrastici (*H. vulgare* exastichon inaequale).

Come il frumento l'orzo è strettamente autogamo. Carattere distintivo importante per il riconoscimento in erba è che le foglie hanno auricole glabre e sviluppatissime, tanto da abbracciare lo stelo fino a sovrapporsi l'una all'altra. Le glume, presenti in tre paia su ogni nodo del rachide, sono piccole e lesiniformi. Le glumelle sono molto sviluppate e aderiscono strettamente alla cariosside che quindi è vestita; forme nude esistono, ma sono poco diffuse e trovano impiego come surrogato del caffè. Le glumelle inferiori terminano quasi sempre con una resta lunghissima e robusta. Le spighe d'orzo a maturità in certe cultivar hanno portamento pendulo, in certe eretto.

Esigenze ambientali

L'orzo ha una serie di caratteristiche che lo differenziano dal frumento e che gli conferiscono una maggiore adattabilità ad ambienti marginali molto diversi. È più precoce del frumento e il suo breve ciclo biologico gli consente di essere coltivato fin quasi al circolo polare artico dove è l'unico cereale

che, seminato dopo l'inverno, riesce a giungere a maturazione in quelle brevi estati. È altresì preferito al frumento dove la siccità è molto spinta: ciò grazie alla precocità, ai consumi idrici relativamente ridotti e alla tolleranza delle alte temperature. In semina autunnale riesce a maturare tanto presto da sfuggire meglio delle altre specie alla siccità e a utilizzare al massimo ai fini produttivi la poca acqua disponibile. In Italia l'orzo ha il principale motivo d'interesse nella sua maggior resistenza al mal del piede che lo rende più adatto del frumento al ringrano. Inoltre, la sua precocità lo fa maturare 8-10 giorni prima del frumento tenero con vantaggio per l'organizzazione aziendale della raccolta. Per quanto riguarda il terreno, l'orzo produce meglio del frumento in terreni magri, sciolti, difettosi, purché ben drenati; l'orzo è il cereale più resistente alla salinità del terreno.

Tecnica colturale

La tecnica colturale è molto simile a quella del frumento anche perché le nuove varietà d'orzo hanno raggiunto un potenziale di produzione non molto inferiore. Essendo l'orzo più sobrio e più resistente al mal del piede del frumento, è adatto a sostituire questo nel caso del ringrano. La semina si può fare in autunno solo con varietà provatamente resistenti al freddo, altrimenti la semina va fatta all'uscita dall'inverno (marzo). Nell'Italia centrale e meridionale la semina autunnale è la norma (basta scartare le varietà più sensibili al freddo), mentre quella marzuola ha carattere d'eccezionalità, come intervento di ripiego. La semina si fa con la stessa tecnica del frumento. La concia della semente con anticrittogamici è ancor più importante che nel frumento, per il pericolo aggiuntivo d'elimintosporiosi. Anche se specie rustica e adattabile, l'orzo si avvantaggia di razionali concimazioni. Per P e K vale quanto indicato per il frumento. Per quanto riguarda l'azoto, l'orzo ha fabbisogni di questo elemento inferiori al frumento, stimabili in 2 kg di azoto per ogni 100 kg di granella producibile. Con le varietà a taglia bassa, dosi di concimazione usuali sono di 80-100 kg di azoto per ettaro. La raccolta, a parità di condizioni, inizia 8-10 giorni prima del frumento tenero, ciò consente una migliore utilizzazione delle macchine di raccolta nelle aziende che coltivano sia l'uno che l'altro cereale. La raccolta deve essere molto tempestiva per la già menzionata fragilità della spiga.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico: Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, la rotazione è essenziale, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare le avversità solo in caso di reale e concreta necessità. In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per l'orzo bisogna decidere di volta in volta in funzione delle condizioni di mercato più vantaggiose.

- *Riso*

Riso (*Oryza sativa* L.)

Origine e diffusione

Il riso è di antichissima coltivazione, originaria del sud-est asiatico a clima tropicale e subtropicale. Il riso è una delle principali risorse alimentari dell'umanità: oltre la metà di essa basa sul riso la sua alimentazione. Nel mondo si producono annualmente oltre 550 milioni di t di riso su oltre 150 milioni di ettari, prevalentemente nelle regioni a clima caldo e molto umido dei tropici e dei subtropici, dove gli altri cereali non prosperano.

In Italia la risicoltura è estesa su circa 220.000 ettari e localizzata quasi totalmente nella Valle Padana ed in particolar modo nelle zone dove sono disponibili per l'irrigazione grandi quantità d'acqua a basso costo. In Italia in consumo annuo pro capite di riso è pari a circa 5,5 kg.

Le province maggiormente risicole sono quelle di Vercelli, Pavia, Novara, Milano, che da sole raggruppano poco meno del 90% della totale superficie investita a riso; altre province risicole sono

Mantova, Verona, Rovigo e Ferrara. Tracce sporadiche di coltivazione di riso ci sono anche nell'Italia centrale (Siena, Grosseto) e insulare (Sardegna); il che significa che il riso si può coltivare ovunque, purché ci sia acqua in abbondanza.

Caratteri botanici

Quasi tutto il riso coltivato nel mondo appartiene alla specie *Oryza sativa*, graminacea della tribù delle *Oryzeae*. Solo in Africa si è originata ed è tuttora limitatamente coltivata una specie a sé stante: l'*Oryza glaberrima*.

L'*Oryza sativa* è ricchissima di forme; secondo la più recente e affermata classificazione le forme coltivate possono essere ascritte a due sottospecie:

- *Oryza sativa* subsp. indica
- *O.s.* subsp. japonica.

I risi del tipo indica sono molto sensibili al fotoperiodo (sono brevidiurni) e adatti quindi ai climi tropicali (sono diffusi tra 0° e 25° di latitudine), hanno ciclo lungo, sono rustici ma soggetti all'allettamento e la granella è lunga (rapporto lunghezza/larghezza superiore a 3), stretta, appiattita, resistente alla cottura e non incollante.

I risi di tipo japonica sono diffusi nelle zone temperate, essendo poco sensibili al fotoperiodo; hanno esigenze termiche minori rispetto ai risi indica, ma maggiori esigenze nutrizionali; la paglia è piuttosto corta e robusta, la produttività elevata; la granella è corta (rapporto lunghezza/larghezza minore di 3) e tozza, poco resistente alla cottura e tendente ad incollarsi.

Il riso è dotato di un sistema radicale costituito da radici embrionali e da radici avventizie.

Anche nel riso si ha una fase di accestimento e di emissione delle radici avventizie, più vigorose delle embrionali; quindi, una fase di levata alla quale corrisponde lo sviluppo in lunghezza degli steli.

Nelle radici avventizie non più giovani compaiono dei «vasi aeriferi», che assicurano l'aerazione delle radici anche nell'ambiente sommerso in cui il riso vive.

Il culmo ha internodi cavi e nodi pieni e si sviluppa in modo analogo al frumento. Le foglie, in numero diverso secondo la varietà, ma di solito 5-7 per culmo, sono costituite di una guaina e di una lamina, ruvida per la presenza di peli corti e duri. La ligula è lunga e le auricole pelose.

L'infiorescenza è un panicolo terminale ramificato che porta spighe uniflore, formate di glume molto più piccole delle glumelle, le quali ultime sono molto sviluppate, sovrapposte ai margini, appiattite e racchiudenti la cariosside come un astuccio.

La glumella inferiore può essere mutica o brevemente aristata. Le glumelle possono anche presentare alla maturazione delle pigmentazioni tipiche in molte varietà.

Il fiore è ermafrodito e comprende un gineceo uniovulare, con stilo bifido e stigma piumoso e un androceo di sei stami.

Il frutto è una cariosside sempre vestita (che costituisce il «risone»), compressa ai lati, oblunga, con un pericarpo bianco o pigmentato, costituita in modo analogo alla cariosside del frumento. La fecondazione è strettamente autogama. Il peso di 1.000 cariossidi vestite varia da 25 a 45 grammi.

Naturalmente molto variabili sono la taglia del culmo, il portamento del fogliame, le dimensioni dei panicoli, la loro forma e il loro portamento, le dimensioni delle spighe e quindi delle cariossidi, il loro aspetto (vetroso od opaco) nonché la resa alla lavorazione, la produttività, la precocità, le caratteristiche organolettiche. L'altezza media è di 1-1,2 m tende ad essere abbassata sotto al metro con la selezione.

Esigenze ambientali

Clima

Il riso è esigentissimo in fatto di calore e di acqua, ma la sua più peculiare caratteristica ecologica è di tollerare la saturazione idrica del terreno per cui, pur non essendo una pianta acquatica, è adattato alle zone umide dei tropici e dei subtropici soggette anche a sommersione.

La temperatura deve essere elevata e costante. Nelle regioni equatoriali, dove la temperatura è costantemente alta, si fanno anche 2-3 raccolti all'anno. Nei climi temperati l'unica stagione di coltura possibile è quella primaverile-estiva e con l'ausilio di irrigazione fatta con sistemi tali da svolgere anche importanti funzioni termoregolatrici. Il ciclo dalla semina alla maturazione è di 150-180 giorni. Le temperature minime vitali sono 12 °C per la germinazione; la levata e la fioritura si svolgono in modo ottimale a 23-25 °C.

Minori sono i fabbisogni termici nel corso della granigione. Il riso oltre che esigente in fatto di temperature è molto sensibile alle escursioni termiche giornaliere.

Dal punto di vista fotoperiodico il riso originariamente è brevidiurno, ma le varietà che si coltivano in Italia hanno una sensibilità al fotoperiodo molto attenuata, tanto da fiorire anche in regime di 15 ore giornaliere di luce.

Per quanto riguarda l'acqua, il riso può essere coltivato senza irrigazione («upland rice») solo là dove cadono regolarmente più di 200 mm di pioggia al mese per almeno 3-4 mesi. In Italia, dove il clima è temperato e dove le precipitazioni sono insufficienti, il riso è coltivato in terreno sommerso. In tal modo l'acqua, oltre a soddisfare le elevatissime esigenze idriche della pianta, costituisce anche un insostituibile soccorso termico per l'apporto diretto di calore (quando l'acqua abbia temperatura superiore a quella dell'aria) e per l'azione termoregolatrice, cedendo di notte e nei giorni freddi il calore accumulato nei periodi di insolazione intensa. Con la sommersione un'escursione termica giornaliera di 10-15°C viene ridotta ad appena 3-4°C.

Terreno

Per quanto riguarda il terreno, il riso si adatta ad ogni tipo e costituzione: sabbioso, argilloso, basico o acido, ecc. purché umido. Nella risicoltura sommersa la limitazione principale in fatto di terreno sta nelle caratteristiche idrologiche del suolo stesso, che deve essere abbastanza impermeabile da potervi mantenere la lama d'acqua necessaria: circa 0,3 m di spessore.

Nella risaia sommersa il profilo del terreno è caratterizzato da un sottile strato ossidato in corrispondenza dell'interfaccia suolo-acqua, al di sotto del quale il terreno si trova in condizioni fortemente riducenti.

Tecnica colturale

Avvicendamento

Nei terreni acquitrinosi o a falda troppo superficiale, dove quella del riso è l'unica coltura fattibile, il riso succede a se stesso indefinitamente (risaia permanente) poiché è specie che tollera la coltura ripetuta anche se inconvenienti di natura parassitaria tendono a manifestarsi.

Nella maggior parte delle zone risicole italiane la risaia si avvicenda, anche se con qualche difficoltà, con altre colture.

Le difficoltà risiedono nel fatto che la particolare sistemazione del terreno per la risaia non consente l'agevole risanamento idraulico richiesto dalle altre colture e che i costosi lavori di sistemazione della risaia vengono ammortizzati solo con più colture consecutive di riso.

Una rotazione assai seguita è quella in cui il riso occupa il 50% della superficie seminata, con il riso che succede a se stesso per 3-6 anni per poi essere seguito da una successione di pari durata di frumento, prati e/o colture da rinnovo. Tra un riso e l'altro, ove possibile, utile risulta la coltivazione intercalare di una pianta da sovescio (es. trifoglio incarnato).

La risaia, pur dando luogo a uno stato ridotto e a un notevole dilavamento del terreno, esercita un'azione molto favorevole di rinettamento dalle erbe infestanti terrestri, per cui costituisce una buona precessione per il frumento ed è da considerare pianta miglioratrice per questo cereale. Invece le colture da rinnovo trovano condizioni poco favorevoli subito dopo la risaia.

Sistemazione del terreno

Dovendo praticare l'irrigazione per sommersione, base della sistemazione è il perfetto spianamento del terreno e la delimitazione di questo con arginature. Nel caso che l'acqua dei fiumi alpini sia fredda,

è necessario riscaldarla; a tal fine si predispone la caldana: una porzione della camera più alta viene sistemata con arginelli a pettine contrapposti che costringono l'acqua a fare un lungo percorso tortuoso, nel corso del quale l'acqua si riscalda prima di essere immessa nella risaia vera e propria. Nella risicoltura veneta ed emiliana i terreni sono già naturalmente quasi perfettamente piani per cui lo spianamento è poco impegnativo e consente di fare unità colturali, dette bacini, di grande estensione (10-12 ettari) delimitati da grandi argini funzionanti da capezzagne.

Semina

Nella coltura del riso la scelta delle varietà da seminare è subordinata alle condizioni climatiche, alla temperatura dell'acqua, alla precessione colturale. La scelta delle varietà da seminare si orienta di solito su due o tre tipi di riso che differiscono tra loro per la durata del ciclo di sviluppo e per le caratteristiche mercantili del prodotto. Varietà precoci sono da preferire quando si debba liberare presto il terreno per la successiva semina del frumento, quando occorra distribuire nel tempo i lavori e quando le acque siano fredde.

La stagione di semina del riso varia a seconda della temperatura dell'acqua, della coltura precedente, della precocità della varietà, ecc. In genere è compresa tra la metà di aprile e la metà di maggio, ma con varietà molto precoci ci si può spingere fino alla fine di maggio per motivi di organizzazione.

Per avere un'emergenza soddisfacente occorre che la temperatura raggiunga i 12-14 °C.

La quantità di risone che comunemente si usa va dai 150 ai 220 kg per ha e talvolta anche di più; l'obiettivo è di realizzare un popolamento di 250-300 piante per m².

La semina viene preceduta da due operazioni preparatorie della semente; l'ammollamento e la disinfezione.

L'ammollamento consiste nell'immersione in acqua per parecchie ore dei sacchi contenenti la semente, onde facilitare l'affondamento delle cariossidi al momento della semina e inoltre anticipare la germinazione e la nascita del riso.

Tradizionalmente la semina si fa su terreno inondato. La semina segue immediatamente il passaggio dello spianone, di modo che la copertura del seme avviene per il depositarsi della torbida sollevata da questo. Il sistema più usato è la semina a spaglio fatta a macchina; si impiegano i comuni spandiconcime centrifughi portati dal trattore o seminatrici centrifughe dotate di motore ausiliario; anche le seminatrici universali possono essere adoperate: senza distributori assicurano una semina a spaglio molto regolare.

Semina in risaia asciutta. Una tecnica di semina che tende ad estendersi, perché atta a semplificare il controllo delle infestanti, è la semina del riso su terreno asciutto cui seguirà la sommersione dopo 20-35 giorni a riso già nato e con 2-3 foglie.

Controllo delle infestanti

La risaia sommersa è un agroecosistema del tutto particolare nel quale la vegetazione infestante che vi si insedia ha caratteristiche altrettanto particolari, ad esempio comprendendo alghe oltre che piante superiori adattate al particolare habitat della risaia.

La lotta contro le infestanti della risaia è sempre stata pratica indispensabile, ancorché estremamente impegnativa, faticosa e onerosa. La flora infestante delle risaie è caratteristica per avere come habitat ambienti palustri o comunque saturi d'acqua, per cui comprende specie diverse da quelle che si trovano negli agroecosistemi di terraferma: alghe, piante acquatiche vere e proprie (Potamogeton, eterantera); piante palustri (ciperacee, butomacee, alismatacee); piante tolleranti gli ambienti umidi (tra le graminacee i giavoni e il riso selvatico).

Sono stati messi a punto mezzi chimici di controllo che hanno avuto una larghissima diffusione in tutte le zone risicole grazie alla loro insostituibile efficacia.

Purtroppo, l'impiego generalizzato di diserbanti sulle colture di riso che si ripetono sullo stesso terreno anche per parecchi anni, ha dato luogo ad un progressivo e profondo cambiamento della flora infestante le risaie perché specie che in passato avevano importanza secondaria sono diventate

dominanti perché resistenti ai diserbanti più diffusi («flora di sostituzione»). Ciò ha reso incessante la ricerca di nuove armi chimiche contro le infestanti emergenti e, di conseguenza, non semplice la tecnica del loro controllo, che va fatto in modo diversificato in base alla flora specifica e con ponderazione, tenendo conto che i prodotti vengono immessi nell'acqua della risaia che può veicarli nel sottosuolo o nei corpi idrici superficiali.

I molteplici problemi che si presentano nel controllo delle infestanti della risaia possono essere schematicamente indicati come: alghe, giavoni, ciperacee, butomacee, alismatacee, eterantera, riso selvatico.

Raccolta

Il riso seminato in aprile giunge alla maturazione fisiologica in epoche diverse secondo la precocità della varietà: ad esempio quelle precoci raggiungono la maturazione in settembre, mentre quelle tardive vi pervengono alla fine di ottobre.

La raccolta è preceduta dall'asciutta definitiva che si fa un paio di settimane avanti la maturazione per accelerare questa e rendere praticabile il terreno. È necessario che la raccolta sia fatta con tempestività perché un ritardo aumenta le perdite per crodatura (o «sgranellatura») e la quota di cariossidi che non si «sbiancano» durante la lavorazione del risone.

La raccolta si può fare, come per il frumento, con il sistema della mietitura o della mietitrebbiatura. Il secondo sistema ha soppiantato completamente il primo.

La trebbiatura dei covoni veniva poi fatta con trebbiatrici fisse, sull'aia.

La mietitrebbiatura del riso può presentare qualche difficoltà per la problematica praticabilità del terreno della risaia da parte della pesante mietitrebbiatrice. Per ovviare a questo inconveniente le mietitrebbiatrici da riso sono generalmente semicingolate. Si tratta di macchine semoventi con barre di taglio da 3 a 4,5 m di lunghezza e capacità lavorativa di circa 1 ha all'ora.

Il prodotto che si ottiene dalla trebbiatura è il risone o riso vestito.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo in modo ridotte, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti solo in caso di reale necessità, il controllo delle erbe infestanti effettuato con metodi non chimici, gli interventi di irrigazione sono previsti con metodi di irrigazione a basso consumo di acqua.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, per il riso bisogna decidere di volta in volta in funzione delle caratteristiche richieste dal mercato.

10.4 Gruppo specie foraggere in rotazione tra loro ipoteticamente da adottare sia in aree con pannelli sia in aree esterne ai pannelli

- *Medica*

Erba medica (*Medicago sativa* L.)

L'erba medica è considerata la “regina delle foraggere” e la sua coltivazione come pianta da foraggio può essere fatta risalire a oltre 2000 anni fa, era infatti conosciuta da Greci e Romani.

Caratteri botanici e biologia: L'erba medica è una pianta erbacea vivace che potrebbe vivere fino a 10-15 anni in ambienti adatti, ma che in genere in coltura vive molto meno (3-4 anni). Il seme dell'erba medica è piccolo (1000 semi pesano circa 2 g), reniforme, di colore giallo verdognolo. Una certa percentuale di semi (8-10% e talvolta anche di più) sono duri ma vanno considerati come

normalmente germinabili. Dal seme spunta una radice fittonante che penetra rapidamente nel terreno e giunge di solito a superare di molto il metro.

La pianta di erba medica è costituita da numerosi steli eretti alti 0,80-1 m, che si sviluppano dal cespo dopo la raccolta degli steli precedenti. La capacità di formare rapidamente nuovi steli (ricaccio) e rigenerare la vegetazione dopo ogni taglio è una delle più importanti e apprezzate caratteristiche di questa foraggera. Le foglie sono trifogliate e costituiscono circa il 45% del peso dell'intera pianta e sono le parti più nutrienti; le foglioline sono allungate e denticolate nel terzo superiore del loro margine. I fiori dell'erba medica si formano in numero di 10-20 su piccoli racemi ascellari e sono di colore azzurro-violaceo. Il frutto è un legume a spirale, che di solito contiene da 2 a 8 semi. Le piante di erba medica sono moderatamente resistenti al freddo, in quanto manifestano la tendenza a continuare a vegetare anche durante l'autunno, così rimanendo esposta al danno delle successive basse temperature. È invece molto resistente al caldo e al secco.

Esigenze e adattamento ambientale: L'erba medica necessita di disponibilità abbondante d'acqua (maggiore è la disponibilità maggiore è la produzione), nonostante ciò, è la foraggera più resistente alla siccità grazie al suo apparato radicale capace di attingere alle risorse idriche anche a grande profondità. L'erba medica teme moltissimo l'eccesso di umidità nel terreno, per la persistenza del medicaio è fondamentale la buona sistemazione idraulica dei terreni. Il terreno più confacente alla medica è quello di medio impasto e quello argilloso di buona struttura, profondo, in modo da non ostacolare l'approfondimento delle radici.

Impianto e Tecnica colturale: In passato il medicaio era mantenuto per un numero non predeterminato di anni e tenuto fuori rotazione. Oggi, si preferisce utilizzare il prato per 3 anni, inserendolo all'interno di rotazioni colturali anche talvolta molto ampie. L'erba medica è stata sempre considerata una coltura grande miglioratrice che di norma segue e precede il frumento, entrando in rotazioni di durata e tipo diverso. L'unica incompatibilità dell'erba medica quanto a successione colturale è verso se stessa.

La preparazione del letto di semina deve essere svolta tramite una lavorazione profonda (circa 40 cm), da rinnovo, per favorire l'approfondimento radicale. Questo lavoro va fatto presto per poter aver il tempo di realizzare quello stato di perfetto affinamento superficiale che la piccolezza del seme rende indispensabile perché le semine abbiano buon esito.

La concimazione di fondo per il medicaio si basa sul fosforo, del quale le leguminose sono oltremodo esigenti, l'azoto non è importante data la capacità di azotofissazione e il potassio in genere è abbondante nei terreni e nelle regioni dove la medica è diffusa. È opportuno che il concime fosforico sia dato prima al momento della lavorazione principale, in modo da arricchire gli strati profondi nei quali opererà l'apparato radicale. Il letame o la fertilizzazione organica sarebbe utilissimo al medicaio per il miglioramento delle proprietà fisiche del terreno, alle quali la medica è assai sensibile. La semina di fine inverno (febbraio-marzo) è quella più praticata. La semina può farsi a spaglio, interrando il seme con una leggerissima erpicatura, o con la seminatrice del frumento, a file distanti 0,14-0,16 m. È della massima importanza curare che l'interramento dei semi non sia eccessiva, 2-3 cm è la profondità massima a cui si possono deporre i semi perché essi siano in condizioni di germinare ed emergere. La dose di semina è di 15-20 kg di seme ha⁻¹ per avere un investimento colturale di 350-400 piante m⁻².

La piena produttività del medicaio si ha nel secondo e terzo anno, poi comincia a declinare per progressivo diradamento. Al momento in cui si scende sotto le 100 piante a metro quadro il medicaio deve essere rotto perché la sua resa è compromessa.

Nel corso dell'anno il medicaio fornisce il suo prodotto, l'erba, in parecchi tagli, da un minimo di 2, nel caso di clima e terreno aridi, a 4-5 in condizione irrigua o di notevole freschezza. Lo stadio vegetativo ottimale per il taglio è la fioritura. L'erba medica viene impiegata nel foraggiamento verde o affienata. Il pascolamento dell'erba medica è da fare con prudenza perché l'erba giovane può

provocare agli animali ruminanti il meteorismo, sindrome patologica anche mortale che consiste nell'abnorme gonfiore del rumine.

La fienagione è piuttosto delicata, specialmente al primo taglio in cui l'erba è grossolana per la presenza delle infestanti, e la stagione poco propizia per piovosità, umidità dell'aria e del terreno e scarsa radiazione solare.

La resa media annua di fieno del prato di erba medica può giungere fino a 8 t ha⁻¹. Un fieno di erba medica di ottima qualità ha un contenuto di protidi grezzi del 18-22% (su s.s.); il valore nutritivo è di circa 0,6 U.F. per Kg di s.s. La raccolta del fieno va fatta con moltissima cura per evitare che manipolando il foraggio troppo secco si perdano le foglie, che sono la parte più pregiata.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico: Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate in modo ottimale per la semina, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti, il controllo delle erbe infestanti, gli interventi di irrigazione non sono previsti.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, non sussiste particolare importanza e rilievo la scelta della varietà, l'importante che sia una varietà a bassa dormienza, rapido accrescimento, elevata fogliosità e qualità del foraggio.

- *Veccia villosa*

Veccia (*Vicia villosa* L.)

La veccia è una pianta erbacea appartenente alla famiglia delle leguminose, diffusa spontaneamente in tutta Europa, Africa e Asia.

La pianta della veccia è costituita da un arbusto dotato di foglie e filamenti rampicanti. I fiori, che si presentano con la caratteristica conformazione delle leguminose, sono solitari o riuniti in piccoli grappoli, in relazione alle diverse specie, il colore più frequente è il rosso porpora e il viola; tuttavia, esistono varietà con infiorescenze di colore giallo, bianco o rosso. La veccia viene utilizzata da agricoltori e allevatori soprattutto come foraggio per il bestiame, ma anche come pianta da sovescio, al fine di aumentare la fertilità del terreno, grazie alla capacità, da parte dei noduli radicali della pianta, di fissare l'azoto dell'atmosfera. Risulta essere abbastanza facile da coltivare, è piuttosto resistente e ha un'ottima capacità di eliminare le piante infestanti. La coltivazione della veccia viene praticata dagli agricoltori per la sua capacità di fissare l'azoto nel terreno e ridurre la presenza di erbe e arbusti infestanti, oltre che come erba da foraggio, molto gradita agli animali da allevamento. Si adatta abbastanza facilmente a ogni ambiente, anche se predilige un clima non molto freddo e soprattutto non troppo umido, visto che è piuttosto sensibile all'eccessivo ristagno di acqua nelle radici. Le condizioni climatiche preferite dalla veccia sono di tipo mediterraneo, con una temperatura relativamente mite e piuttosto asciutta. È una pianta rustica e resistente, che raramente soffre di parassitosi e funghi, anche se talvolta può essere attaccata da ruggine e patologie fungine. Il suo pregio come essenza da foraggio è dovuto alla ricchezza di proteine e al gusto gradevole, che la rende gradita e digeribile, con l'accortezza che venga utilizzata a fioritura appena iniziata. L'utilizzo della veccia come foraggio prevede la miscelatura con altre essenze. La veccia è anche un'ottima pianta da sovescio, la classica tecnica agricola praticata in alternanza alla concimazione chimica, per favorire la rigenerazione del terreno, migliorandone la fertilità e la struttura. Per la semina della veccia è consigliabile avvalersi di sistemi meccanici e macchine agricole dedicate, per evitare che i semi e i germogli possano essere danneggiati dalla presenza degli uccelli. Trattandosi di una tipica pianta da erbaio, in genere viene coltivata in contemporanea con diverse essenze, un miscuglio frequente può essere quello di veccia, avena e piselli, in una percentuale variabile in relazione all'ambiente e al

clima. Risulta essere una pianta che si sviluppa facilmente, e permette di ricavare un abbondante raccolto. Di solito, nella rotazione delle colture più importanti, come grano e mais, la veccia viene inserita periodicamente come coltura da erbaio. La pianta offre risultati migliori con una buona preparazione del terreno, e soprattutto con l'accortezza di evitare la formazione di ristagni di acqua, estremamente dannosi per questo tipo di leguminose. Mantenere il terreno livellato contribuisce ad evitare la formazione di pozze d'acqua, mentre la concimazione può essere limitata ad uno scarso apporto di fosforo e potassio, considerando la capacità della pianta di fissare l'azoto nel terreno. La semina della veccia è preferibile che avvenga in autunno nelle regioni dalla temperatura più elevata, o in primavera nelle zone più settentrionali, dove il clima è meno favorevole, esistono comunque diverse varietà della pianta, alcune delle quali offrono un'ottima resistenza anche in caso di clima più rigido. La veccia è una pianta molto rustica, piuttosto resistente alla siccità, che riesce ad attecchire anche sui terreni calcarei e aridi. Per quanto oggi venga utilizzata soprattutto come foraggio animale e pianta da sovescio o da erbaio, o per le sue qualità di trattenere l'azoto nel terreno, in epoche più antiche era ampiamente utilizzata anche per l'alimentazione umana, e in particolare per la panificazione, in sostituzione del normale frumento. Per favorirne lo sviluppo, è consigliabile evitare i dislivelli del terreno, somministrare piccole quantità di acqua e affinare spesso la superficie del terreno.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico: Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte alla semina, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti, il controllo delle erbe infestanti, gli interventi di irrigazione non sono previsti.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, non sussiste particolare importanza e rilievo la scelta della varietà, l'importante che sia una varietà a rapido accrescimento, precoce e di elevato sviluppo.

- *Trifoglio violetto*

Trifoglio violetto (*Trifolium pratense* L.)

Il trifoglio pratense o violetto è senz'altro da tempo una delle leguminose foraggere più diffuse in Europa ed in alcuni Paesi del vecchio continente raggiunge estensioni di alcune centinaia di migliaia di ettari. In Italia, comunque, la coltura pura di questa leguminosa da prato è andata progressivamente perdendo di interesse nel corso degli ultimi venti anni. Di non antichissima coltivazione, il trifoglio pratense giunse in Europa probabilmente attraverso la Spagna e, di qui, si estese alla Francia, alla Germania e ai Paesi Bassi. Già conosciuto come pianta foraggera, il trifoglio pratense non fu però mai estesamente coltivato e assurse a pianta di primaria importanza solamente quando, introdotto in Inghilterra verso la metà del 1600, venne inserito nell'avvicendamento in sostituzione del maggese nudo. Le conseguenze di tale accorgimento furono duplici: da un lato esso provocò un sensibile aumento delle disponibilità foraggere e, dall'altro, grazie alla sua capacità azotofissatrice ed al conseguente arricchimento del tenore in azoto del terreno, consentì un incremento di tutta la produzione agraria.

Il sistema radicale del trifoglio pratense è costituito da un piccolo fittone molto ramificato, per cui è piuttosto superficiale. Gli steli sono eretti, ramificati, cavi, alti fino a 0,8 m. le foglie sono trifogliate, con foglioline ovali a margine intero, recanti sulla loro faccia superiore una banda a V di colore verde chiaro. Le infiorescenze sono globose, a capolino, composte da numerosi (80-100) fiori piccoli, tubolari, di colore roseo più o meno intenso, tendente al violaceo. La fecondazione, esclusivamente incrociata, è assicurata da insetti impollinatori (api, bombi). Il frutto è un piccolo legume uniseminato, i semi sono piccoli (1000 pesano 1,6-1,8 g), di forma quasi a pera (globosa da una parte, più sottile

dalla parte opposta), di colore brillante giallo con sfumature di violetto variabilissime da seme a seme e da una parte all'altra di uno stesso seme. Il trifoglio pratense è specie fisiologicamente poliennale, in pratica, però, si comporta come una specie biennale, in quanto alla fine del 2° anno quasi tutte le piante sono morte o per siccità o per attacchi di funghi. Pertanto il trifoglio pratense nei paesi dell'Europa meridionale dura in coltura soltanto due anni, solo nel Nord-Europa le varietà locali durano 4-5 anni. Il trifoglio pratense ha un'area di distribuzione più settentrionale di quella dell'erba medica, in quanto resiste meglio al freddo, ma non si adatta ai climi caldi e siccitosi per il suo apparato radicale piuttosto superficiale. Quanto al terreno, preferisce quello di medio impasto, fresco, sopporta bene terreni umidi, molto pesanti, poco calcarei, acidi (pH 5-7,5, optimum 6-7), inadatti all'erba medica. Il trifoglio pratense è un'ottima coltura miglioratrice che, perciò, è adatta a seguire e precedere il frumento o un altro cereale affine. È impossibile coltivare trifoglio pratense su un terreno che lo abbia ospitato poco tempo prima, perciò è assolutamente indispensabile che il trifoglio pratense entri in rotazioni lunghe, nelle quali cioè passi un lungo periodo (almeno 5 anni) tra due colture successive di questa leguminose. Data la brevità del ciclo produttivo e la lentezza del suo sviluppo nel 1° anno, non c'è convenienza a seminare il trifoglio pratense in coltura specializzata, in Italia la tecnica normale era la semina in bulatura in mezzo ad un cereale, ma con la coltura intensiva del frumento scarse sono le possibilità di sopravvivenza della leguminose in esso traseminata. L'epoca più usuale per la semina è febbraio-marzo, per la semina si adoperano 30-35 kg/ha di seme. Nel trifoglio pratense la fecondazione incrociata è la regola assoluta in quanto le piante sono totalmente autoincompatibili. In ogni regione esistevano popolazioni locali ("ecotipi") ben adattati alle condizioni d'ambiente particolari. Oggi possono essere commerciate solo varietà selezionate. Ecotipi italiani rinomati sono stati il Bolognino o Pescarese, lo Spadone. La produzione nel 1° anno è scarsissima, si hanno solo stoppie inerite che, al massimo, possono essere sfruttate con un prudente pascolamento. La produzione piena, falciabile, si ottiene solo nel 2° e ultimo anno in cui il prato dà due ottimi sfalci, uno a metà maggio, l'altro a fine giugno, solo in ambienti e annate molto favorevoli talora può aversi un modestissimo terzo taglio. Le rese in fieno sono di 5-6 t ha⁻¹. Un fieno ottimo di trifoglio violetto tagliato a inizio fioritura ha un contenuto di s.s di 86% circa, di protidi grezzi del 17-18% (su s.s.) e un valore nutritivo di 0,6-0,65 U.F. per kg di s.s. Il seme di trifoglio pratense si produce sul 2° taglio con produzioni di circa 100-200 kg ha⁻¹.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico:

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte alla semina, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti, il controllo delle erbe infestanti, gli interventi di irrigazione non sono previsti.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, non sussiste particolare importanza e rilievo la scelta della varietà, l'importante che sia una varietà a rapido accrescimento, precoce e di elevato sviluppo.

- Erba mazzolina

Erba mazzolina (*Dactylis glomerata* L.)

Origine e diffusione

Originaria dell'Europa e delle zone temperate asiatiche e africane, l'erba mazzolina è una graminacea d'importanza mondiale e certamente tra le più interessanti per quasi tutti gli ambienti italiani.

Caratteri botanici

Pianta vivace di taglia alta (60-140 cm), dotata di sistema radicale profondo e persistente, è provvista di cespi robusti e compatti di color verde glauco con culmi eretti appiattiti alla base, foglie scabre con ligula bianca allungata e senza orecchiette. L'infiorescenza è una canicola ramificata con spighe

che si dispongono caratteristicamente a mazzetti e sono provviste di 2-6 fiori. Semi piccoli (peso di 1000 semi = 1,1 g) vestiti, brevemente ristati e incurvati, di facile distacco dal rachide dopo la maturazione.

Esigenze ambientali e tecnica colturale

Di insediamento un po' lento, l'erba mazzolina non forma subito cotici serrati, ma ricaccia prontamente producendo foglie in abbondanza. Ha una longevità compresa fra i 5 e gli 8 anni ed un'elevata produttività. Dotata di ottima resistenza al freddo (tranne che allo stadio di plantula) e discreta resistenza alla siccità e per di più poco sensibile all'ombreggiamento, l'erba mazzolina ha un'ampia adattabilità, palesando difficoltà solo nei terreni molto acidi o in quelli soggetti a ristagni idrici.

Varietà e utilizzazione

La composizione chimica del foraggio è più soddisfacente e l'appetibilità buona, purché utilizzata tempestivamente in quanto il peggioramento qualitativo dopo la spigatura è molto rapido. Alquanto aggressiva, controlla bene le infestanti sia in coltura pura che in consociazione e si presta bene a miscugli oligofiti o polifiti con erba medica, trifoglio violetto, trifoglio bianco, lupinella e sulla. La gamma di precocità si estende per oltre un mese. Il grande adattamento dell'erba mazzolina è dovuto all'estrema variabilità di forme naturali originatesi sia in zone nordiche che mediterranee. Nell'Europa meridionale si trova anche la specie *D. hispanica* Roth. di taglia ridotta e adatta al pascolo. La serie di varietà oggi disponibili, di origine europea, americana ed australiana, è assai ampia: nel Registro Ufficiale Europeo ne figurano un'ottantina, in quella italiana 25. notevoli le differenze per tipo di utilizzazione, precocità e resistenza alle ruggini (piuttosto temibili in questa graminacea). Fra le varietà italiane ricordiamo: "Dora", precoce taglia alta, a rapido ricaccio, da sfalcio; "Cesarina", intermedia, da pascolo. "Jana", "Dama" e "Padania"; fra le straniere: "Curie", australiana di adattamento mediterraneo; "Phyllox", danese e "Prairie", francese, queste due ultime a ciclo tardivo.

- *Festuca*

***Festuca arundinacea* (*Festuca arundinacea* Schreb.)**

Origine e diffusione

Graminacea di origine incerta, si trova spontanea in Europa, Asia e Nord Africa; la *Festuca arundinacea* è stata introdotta in coltura in America settentrionale e meridionale, quindi in Europa e, più recentemente, in Italia.

Caratteri botanici

Pianta vivace, cespitosa di taglia ragguardevole (80-170 cm), la *Festuca arundinacea* ha un sistema radicale molto profondo, steli eretti, foglie larghe e portamento rigido, ruvide al tatto per la presenza di scaglie silicee, con nervature mediana accentuata, ligule corte, orecchiette forti e denticolate. L'infiorescenza è un pannicolo con spighe provviste di 3-10 fiori, semi piuttosto piccoli (1.000 semi = 2,5 g) con rachide a sezione circolare.

Esigenze ambientali e tecnica colturale

Caratteristica saliente di questa graminacea è l'estrema rusticità che la rende interessante in tutti gli ambienti. Infatti, si adatta benissimo al freddo, alla siccità e a tutti i terreni, compresi quelli acquitrinosi, purché non troppo superficiali. È certamente fra le graminacee più produttive e anche fra le più longeve potendo fornire buone rese per 6-10 anni. Per contro essa presenta due notevoli difetti: il lento insediamento, che può rendere pressoché improduttivo il primo anno, e la scarsa appetibilità del foraggio che, pur presentando una buona composizione chimica, viene sovente rifiutata dal bestiame oltre lo stadio di spigatura. L'impianto e l'utilizzazione di questa graminacea costituiscono quindi due problemi piuttosto delicati.

Varietà e utilizzazione

L'alta taglia e il rapido accrescimento rendono la *Festuca arundinacea* più adatta allo sfalcio che al pascolamento, che è attuabile solo se condotto razionalmente. Specie precoce, ma con un ventaglio fra le cultivar di circa tre settimane, la *Festuca arundinacea* può essere impiegata in coltura pura o in consociazione con erba medica o trifoglio bianco oppure, in ambienti marginali, far parte di miscugli polifiti. Il miglioramento genetico sta lavorando attivamente per migliorarne l'appetibilità e l'elasticità di utilizzazione. Le varietà oggi disponibili possono dividersi in due gruppi: quello tipo continentale, ottenute soprattutto in Nord America e Francia e vegetanti in primavera-estate; e quelle di tipo mediterraneo, di origine Nord-africana e a utilizzazione invernale. Il Registro italiano comprende 26 varietà. Oltre alle cultivar italiane "Penna", "Celone", "Erika", "Magno", "Sibilla" e "Tanit" (questa ultima di tipo mediterraneo), sono da citare la varietà francese "Ondine", la danese "Finelawn" e le statunitensi "Carol" e "Safari".

- *Loietto perenne*

Loietto perenne (*Lolium perenne* L.)

È una pianta monocotiledone della famiglia delle Poacee.

Il *Lolium perenne* o Loietto è una graminacea microterma comunemente utilizzata per la costituzione dei tappeti erbosi. E' caratterizzato da una lamina fogliare di dimensioni medie, molto apprezzata per la rapidità di insediamento e la resistenza al calpestio ed all'usura. Generalmente viene utilizzata nelle semine per la costituzione dei prati ornamentali e sportivi in consociazione con *Poa pratensis* e *Festuche*. L'habitus di crescita è generalmente cespitoso, ma negli ultimi anni si sono sviluppate varietà chiamate striscianti, in quanto presentano la capacità di sviluppare stoloni e/o pseudostoloni. La specie presenta una elevata velocità di insediamento; la semina può avvenire in primavera, se consociata a leguminose o a fine estate (non oltre metà settembre) se in purezza.

E' una specie perenne di breve longevità, originaria delle fasce temperate del continente euroasiatico, ma è stata introdotta e coltivata anche nel Nord e sud dell'America, in nord dell'Africa, Australia e Nuova Zelanda. Tra le essenze da tappeto erboso è sicuramente quella che ha avuto il più grande impiego e la maggiore diffusione. Europa e U.S.A., nonostante il *Lolium perenne* sia utilizzato in tutto il mondo, sono gli stati che ne impiegano la maggiore quantità. La coltura necessita di concimazioni azotate di 30–60 kg/ha all'impianto e di 100–200 kg/ha negli anni successivi.

- *Phacelia tanacetifolia*

Phacelia (*Phacelia tanacetifolia* Benth)

Caratteri botanici e biologia

La phacelia è una pianta erbacea della famiglia botanica delle *Boraginaceae*. Appartiene allo stesso raggruppamento della borragine e ha un ciclo di vita annuale. La sua fioritura è molto gradita alle api e agli altri insetti impollinatori, grazie all'ottima presenza di polline e nettare, tanto da essere considerata una delle migliori piante mellifere. È inoltre facile da coltivare e ha alcune caratteristiche peculiari che la rendono ottima anche come coltura da sovescio e/o da foraggio. La *Phacelia tanacetifolia* è una pianta che sviluppa fusti eretti, alti in media 50 cm ma che possono arrivare anche fino a 1 m. Il suo apparato radicale è misto, con un fittone centrale che scende in profondità. Ha inoltre numerose radichette laterali, fini e fascicolate, ottime per ristrutturare suoli stanchi e sfruttati. I fusti hanno forma cilindrica e dentro sono vuoti (cavi), ricoperti in alto da peli ispidi o ghiandolosi. Sempre sul fusto sono inserite le foglie, numerose alla base, più rade man mano che si sale. Hanno l'aspetto simile alle foglie della felce e del tanaceto (da cui il nome *tanacetifolia*). Sono altresì alterne, bipennatosette e completamente divise in segmenti lanceolati o dentati. I fiori della facelia nascono su una tipica infiorescenza detta scorpiode, una spirale con la caratteristica di aprirsi, srotolandosi dalla base verso la cima. In pratica, con la phacelia abbiamo una fioritura scalare, che perdura per 4/5 settimane, situazione ottimale per chi pratica apicoltura.

I fiori sono di un bel colore violetto-bluastrò, tanto che vengono usati come fiori recisi, sia freschi che secchi. La crescita della pianta è molto veloce, e difatti la fioritura inizia circa 6-8 settimane dopo il germogliamento. Considerando come epoca di semina l'inizio della primavera, avremo un'abbondante fioritura a partire dal mese di giugno. Una caratteristica della phacelia è quella di riprodursi per disseminazione, disperdendo i semi dopo la fioritura. Il seme non germoglia con il freddo e, soprattutto, se resta esposto alla luce. Necessita, infatti, di essere leggermente interrato (per cui, ha bisogno del buio). Allo stato spontaneo, ciò avviene in maniera naturale, con il tempo, è lo stratificarsi della sostanza organica, visto che i semi restano attivi per molti anni. Questi semi sono di piccole dimensioni, con particolari zigrinature e forma ovale, la parte finale più appuntita e quella basale tondeggiante.

Tecnica colturale

La phacelia viene coltivata sostanzialmente per tre diverse finalità, ovvero: come riserva mellifera in apicoltura, come coltura da foraggio e come coltura da sovescio. Le modalità di semina e coltivazione sono simili, quando però la piantiamo per il sovescio, l'interramento della coltura, per beneficiare della sostanza organica presente nel terreno, deve avvenire prima della fioritura. Nei primi due casi, invece, la coltura viene interrata o sfalcata dopo la fioritura, in modo da garantire la disseminazione per l'anno successivo. Studiamo meglio questa modalità colturale. La phacelia si semina a inizio primavera al Nord, mentre al Sud si può anche attendere l'autunno (ma germoglierà sempre in primavera). La preparazione del terreno richiede lavorazioni minime, con l'erpice, se il terreno è stato coltivato in precedenza. Altrimenti, si esegue un'aratura superficiale (20/25 cm) e una successiva erpicatura. Anche con attrezzi più piccoli del trattore, come motozappa e motocoltivatore, è importante che il suolo sia lavorato finemente in superficie. Il terreno ideale è sciolto e ben drenato. La semina può avvenire a spaglio, seguita da un'erpatura per interrare il seme. Adoperando, invece, la seminatrice da cereali, può avvenire dopo il passaggio dell'erpice. La seminatrice, inoltre, interra il seme alla giusta profondità (3-6 cm) e in modo più regolare, evitando spreco di semente.

Per una buona copertura del suolo e una fioritura abbondante si utilizzano circa 10 kg di semi per ettaro. Il ciclo vegetativo della phacelia è prettamente primaverile, per cui non c'è bisogno di irrigazione artificiale. Anche la concimazione di fondo è superflua. Alla fine della fioritura ci sono diverse possibilità per l'agricoltore/apicoltore. Si può effettuare lo sfalcio e poi preparare le ballette, se stiamo coltivando la phacelia per il foraggio. Possiamo interrare direttamente la copertura erbacea, passando una trincia ed effettuando in seguito una lavorazione superficiale. In questo modo, in pratica, stiamo seminando direttamente per la stagione successiva. Avendo a disposizione i macchinari adeguati (come una trebbiatrice) si può, in alternativa, decidere di raccogliere il seme per il successivo riutilizzo nell'azienda agricola o per la vendita.

Tecnica agronomica suggerita nel sistema Agrivoltaico

Nello specifico caso del sistema consociato complesso Agrivoltaico su questa coltura saranno applicate tutte le tecniche agronomiche concepite in un approccio agroecologico indirizzate a ottenere una condizione di elevati livelli di sostenibilità, intesa in termini dei tre principali pilastri su cui si fonda, e miglioramento dei livelli di qualità del suolo. In particolare, le lavorazioni del suolo effettuate in modo limitato e ridotte alla semina, gli interventi fitosanitari tese a controllare patogeni e insetti, gli interventi di irrigazione, il controllo delle erbe infestanti non sono previsti.

In relazione alle ipotetiche varietà da adottare, non sussiste particolare importanza e rilievo sulla scelta della varietà.

10.5 Perimetro del sistema consociato complesso Agrivoltaico, ipotetiche specie adottabili

- *Alloro*

Alloro (*Laurus nobilis* L.)

L'alloro è una tipica pianta ornamentale sempreverde mediterranea, ideale per formare siepi fitte, ma anche come arbusto isolato. Questa coltura è conosciuta fin dall'antichità e oltre alla valenza estetica regala a chi la mette in giardino le sue foglie aromatiche. È una pianta sempreverde che assume solitamente un portamento arbustivo, ma che lasciata crescere liberamente diviene un albero dalla taglia relativamente contenuta, raggiungendo al massimo 10-12 metri. La pianta è un simbolo della nostra cultura occidentale fin dall'antichità e associata ai poeti e alle persone di grande cultura. Non a caso il termine "laureato" significa proprio cinto di alloro, e, infatti, nel giorno della laurea, è usanza comune indossare una corona di alloro. La pianta di alloro forma una vegetazione molto folla, con rami ravvicinati dalla corteccia liscia e fogliame fitto, e questa caratteristica la rende molto adatta alla formazione di siepi. Le foglie sono piuttosto spesse e coriacee, lucide, di colore verde scuro nella pagina superiore, più chiaro in quella inferiore e di forma ovale appuntita dai margini leggermente seghettati. Botanicamente l'alloro è una pianta dioica: possiamo trovare individui unicamente maschili e individui unicamente femminili, portanti rispettivamente infiorescenze che producono polline e infiorescenze che hanno l'ovario e producono i frutticini dopo l'impollinazione. Il frutto delle piante femminili assomiglia ad una piccola oliva di colore nero. L'alloro è una specie rustica e adattabile, che non presenta esigenze molto particolari, anche se essendo un'essenza mediterranea sicuramente trova le sue condizioni ideali lungo la costa, in pianura o prima collina, al massimo fino a 800 metri slm. Tuttavia, in inverno è in grado di tollerare abbassamenti di temperatura sotto lo zero, purché non troppo prolungati. Si adatta a svariati tipi di terreno, purché non asfittici, e quindi pur nella variabilità devono essere drenanti a sufficienza, mentre come posizione può crescere facilmente sia in pieno sole sia in mezz'ombra.

Se si intende creare una siepe, è consigliato acquistare delle piantine già abbastanza cresciute e metterle a dimora tra ottobre e marzo, evitando però i periodi molto piovosi e quelli freddi. Per il trapianto si procede mettendo a dimora le piantine in buche abbastanza profonde avendo cura di disporre accuratamente il terreno mescolato a compost o letame in prossimità delle radici. Dopo la messa a dimora della pianta di alloro, è importante seguirla nelle prime fasi per garantirle condizioni favorevoli di crescita, però non ci sono da fare interventi particolarmente impegnativi. Come molte altre piante da siepe si tratta di una specie adattabile e resistente, capace di crescere in buona autonomia. Le irrigazioni devono essere somministrate con regolarità solo agli esemplari giovani, dopodiché le precipitazioni di solito sono sufficienti per rispondere ai fabbisogni della pianta, che non sono comunque alti, e questo ci dà la possibilità di intervenire nei casi di siccità persistente, con irrigazioni di soccorso.

- *Biancospino*

Biancospino (*Crataegus monogyna* Jacq.)

Il *C. monogyna*, è una pianta della famiglia delle Rosacee che, una volta completata la sua crescita, può raggiungere anche i 6 metri di altezza (di solito comunque si aggira intorno ai 3-5 metri). Si caratterizza per avere un fusto con molte ramificazioni dotate di spine ma tutti lo distinguiamo facilmente per i suoi bei fiorellini bianchi o (in altri periodi dell'anno) per le caratteristiche bacche rosse. Il Biancospino è una di quelle piante autoctone dell'Europa che viene impiegata per formare siepi campestri. A causa dei suoi rami spinosi le siepi che si formano sono praticamente impenetrabili agli animali. In passato, dunque, le siepi di questa specie venivano molto utilizzate come recinzioni di appezzamenti di terreno. Oggi il Biancospino viene impiegato nelle siepi naturali, ad esempio nelle fattorie o nelle case di campagna. Il Biancospino è una pianta con poche esigenze, la quale cresce in quasi tutte le condizioni. In primavera il Biancospino si riempie di fiori bianco-rosati. La pianta del

biancospino è un arbusto o un piccolo albero spinoso. La corteccia è grigia chiara nei giovani esemplari, bruna nelle piante adulte. Le foglie sono verde brillante e presentano 3-5 lobi più o meno marcati. I fiori, riuniti in corimbi, compaiono in primavera e hanno cinque petali bianchi o rosati, molto profumati. I frutti sono delle piccole drupe rosse dalla polpa farinosa e insipida. Il biancospino è un arbusto molto comune nelle zone temperate dell'emisfero nord. Il biancospino selvatico si può facilmente incontrare nei terreni incolti al limitare dei boschi.

La disposizione del biancospino deve essere in aree soleggiate o semi ombreggiate, l'importante è che il biancospino sia raggiunto dal sole per alcune ore ogni giorno. Per quanto riguarda le annaffiature, queste vanno garantite alla pianta due volte al mese in inverno e due volte a settimana in estate. Non bisogna però assolutamente esagerare con l'acqua in quanto è una pianta che soffre per eventuali ristagni. Se è raggiunto da sufficiente acqua piovana si può anche evitare l'annaffiatura del biancospino. In generale, comunque, il biancospino è una pianta che non necessita di grande manutenzione, soprattutto se ha già almeno 3 o 4 anni di vita. Il biancospino tende a formare una chioma di forma tondeggiante e in alcuni casi c'è necessità di ritoccarla. La potatura della pianta, per pulirla e rinforzarla, è comunque sempre consigliata. Si tolgono in questo modo anche i rami più rovinati da vento, pioggia, freddo o neve. Si consiglia di effettuare la potatura del biancospino una volta l'anno, alla fine dell'estate tagliando i rami laterali inferiori. Se si intende sistemare la chioma, invece, si può potare anche in autunno-inverno.

10.6 Realizzazione dell'inerbimento controllato nelle colture erbacee e arboree

Se in un sistema colturale gli individui della popolazione sono organizzati in un sistema di impianto a densità bassa, in uno stato monocolturale, si vengono a creare ampi spazi tra le piante (tra le file e nelle file) con terreno senza vegetazione. Queste superfici, che costituiscono nicchie ecologiche libere, sono conseguentemente colonizzate dalle specie erbacee native, normalmente qualificate come erbe infestanti. Considerando che l'effettivo periodo del ciclo vegetativo delle colture agrarie è limitato a una parte dell'anno, la gestione monocolturale è di fatto una soluzione che comporta una parziale utilizzazione della radiazione solare e delle altre risorse native. Solo un sistema più complicato, che preveda almeno l'introduzione di due o più specie a ciclo sfalsato o parzialmente sovrapposto, può condurre a una maggiore efficienza d'uso della radiazione solare lungo l'arco dell'anno occupando le nicchie ecologiche libere e impedendo lo sviluppo di erbe infestanti. La complicazione del sistema colturale (bio-intensificazione) determinata con l'aggiunta di uno o più componenti comporta, se ben strutturata e organizzata, vantaggi molteplici sull'intera struttura e funzionalità del sistema (Caporali et al., 2010). Questo presupposto è configurabile sia con specie coltivate arboree sia erbacee determinando situazioni favorevoli di consociazioni temporanee o permanenti con altre specie, in genere leguminose, capaci di offrire vantaggi insospettati in termini di migliore utilizzazione delle risorse native, di aumento delle rese, riduzione degli input di energia ausiliaria e di più generali benefici agroambientali.

Ai sistemi di colture pure è strettamente connessa una serie di problemi che riguardano la conservazione del suolo e la sua fertilità, la eutrofizzazione e l'inquinamento delle acque, la rottura degli equilibri biologici a vari livelli. Molti di questi problemi associati con i sistemi di colture pure possono essere quantomeno ridimensionati con l'adozione della consociazione che rappresenta una soluzione alternativa per la conduzione di sistemi agrari compatibili con il rispetto ambientale.

Da un punto di vista prettamente agronomico, l'effetto che maggiormente giustifica la consociazione è quello del conseguimento su una stessa superficie di una produzione superiore coltivando una mescolanza di due o più componenti rispetto al caso di una loro coltivazione separata (Caporali et al., 2010). Si tratta quindi di perseguire un miglior risultato produttivo attraverso la semplice associazione

di biotipi appropriati con disposizione e in proporzione relativa tali da consentire una più completa utilizzazione delle risorse native.

La funzione delle colture di copertura (o cover crop) è quella di recare beneficio all'intero agroecosistema attraverso un ricoprimento più uniforme e persistente della superficie destinata alla coltivazione rispetto a quanto si ottiene con la coltivazione delle sole colture. Nelle colture arboree specializzate ed erbacee poliennali l'introduzione di una fascia erbacea può essere oggi largamente giustificata dalla esigenza di migliorare le prestazioni agroecologiche del sistema in termini di maggiore autonomia e stabilità, di riduzione degli input esterni e dei rischi ambientali e sanitari.

La biomassa erbacea che si accumula può essere lasciata in loco come pacciamatura o sovesciata. In ogni caso, poiché l'intento principale è quello di migliorare le condizioni di fertilità e stabilità fisica e biotica del sistema, il ruolo della fascia erbacea deve essere inteso come prevalentemente protettivo. L'introduzione di una fascia erbacea significa in pratica coprire il suolo con un'ulteriore quantità di superficie fotosintetizzante. Ciò ha riflessi immediati sia sul grado di utilizzazione delle risorse native che sugli aspetti di protezione e conservazione ambientale. L'introduzione di una fascia erbacea rappresenta una soluzione che normalizza il ciclo idrologico, argina le perdite di fertilità del suolo, potenzia contemporaneamente la base biologica del sistema, attraverso l'incremento del pool di sostanza organica. I benefici attesi saranno probabilmente tanto maggiori quanto più a lungo sarà possibile mantenere il suolo in regime sodivo (Caporali et al., 2010).

La scelta della o delle specie erbacee da consociare deve essere tra piante annuali, che svolgano la maggior parte del loro ciclo in maniera complementare rispetto alla coltura. L'ambiente mediterraneo è ricco di piante *terofite* evolute in questa particolare condizione e costituiscono una vera e propria risorsa vegetale non ancora adeguatamente sfruttata nei sistemi agrari. Le *terofite* sono specie annuali il cui ciclo inizia con la germinazione del seme in autunno, si accresce durante l'autunno e l'inverno, fiorisce e fruttifica in primavera e termina con la disseminazione all'inizio dell'estate. Molte *terofite* annuali sono leguminose autoriseminanti, appartenenti ai generi *Trifolium* e *Medicago*, capaci quindi di fissare l'azoto atmosferico e di autoriseminarsi, acquisendo così un comportamento perennante. In pratica sono seminate in un sistema agrario e poi sono in grado di permanere gli anni successivi. Tali caratteristiche preziose consentono a queste specie di essere inserite proficuamente in sistemi di consociazione (arboree/erbacee ed erbacee/erbacee), per elevare il grado di utilizzazione delle risorse native, di produttività e compatibilità ambientale. Tra le leguminose annuali autoriseminanti sono molte le specie e le cultivar di *Trifolium* e *Medicago* che possono ottimamente svolgere il ruolo di coltura di copertura in consociazione con molte specie coltivate. La scelta della cultivar è funzione delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo e della coltura principale.

10.7 Allevamento animali da adottare ipoteticamente sia in aree con pannelli sia in aree esterne ai pannelli

Il bestiame in allevamento è uno strumento di gestione vegetativa molto efficace per i sistemi di energia solare di comunità e di pubblica utilità. Il bestiame è considerato in alcuni progetti Agrivoltaici, ma in genere sono le pecore a essere utilizzate per il pascolamento dei sistemi foraggeri perché possono facilmente muoversi sotto e intorno ai pannelli solari.

I pascoli e i terreni coltivati situati in agroecosistemi temperati sono classificati come i posti migliori in cui installare pannelli solari per la massima produzione di energia. Pertanto, i sistemi Agrivoltaici (produzione agricola sotto pannelli solari) sono progettati per avvantaggiare reciprocamente l'energia solare e la produzione agricola nella stessa posizione per un duplice uso del terreno. Tuttavia, sia gli allevatori di animali che le aziende energetiche necessitano di informazioni per l'applicazione di pratiche di gestione efficiente del bestiame sotto pannelli solari.

Diversi studi hanno rivelato che sono possibili sistemi Agrivoltaici di successo laddove l'allevamento di ovini e la produzione di energia possono essere prodotti simultaneamente sullo stesso terreno. Una crescita comparabile di agnelli primaverili e una produzione di peso vivo per ettaro da pascoli aperti e solari dimostrano che i sistemi Agrivoltaici non diminuirebbero il valore di produzione e il potenziale del terreno. Al contrario, il LER indica che la gestione a duplice scopo consente di aumentare la produttività del terreno fino a 1,81 per la produzione di pascolo e 2,04 per la produzione di agnelli primaverili combinando il pascolo delle pecore e la produzione di energia solare sullo stesso terreno rispetto ai sistemi monouso. Oltre all'aumento della produttività del terreno e al miglioramento del benessere degli animali, i risultati di questo studio supportano i vantaggi dell'Agrivoltaico come sistema agricolo sostenibile. Nel complesso, le rese inferiori del pascolo in aree completamente ombreggiate sotto i pannelli solari sono in genere la causa principale della produzione inferiore del pascolo nei siti Agrivoltaici. Quando si progettano pascoli per sistemi Agrivoltaici, si dovrebbe prendere in considerazione una selezione di specie di pascolo che non siano solo tolleranti all'ombra ma anche persistenti sotto il traffico intenso. Limitare il tempo di pascolo giornaliero o pascoli con pascolamento a rotazione con bassa intensità di carico possono essere opzioni praticabili per un pascolo sostenibile.

Una componente importante è il pastore che sappia gestire con competenza e sicurezza il pascolo delle pecore in un progetto Agrivoltaico. Sebbene il pascolo delle pecore in un progetto Agrivoltaico non sia eccessivamente complesso, richiede pianificazione e competenze che vanno oltre la semplice installazione di recinzioni temporanee e lo spostamento delle pecore nel sito.

Il pascolo delle pecore nei sistemi consociati complessi Agrivoltaici offre vantaggi economici e ambientali a tutti i partner coinvolti, dall'azienda solare all'agricoltore. Non c'è bisogno di scegliere tra l'uso del suolo solo per l'agricoltura o solo per l'energia. Nei sistemi consociati complessi Agrivoltaici si realizza la combinazione di attività agricola e generazione di energia solare, dove le specie vegetali vengono coltivate e il bestiame allevato sotto e accanto ai pannelli solari, con conseguenti evidenti e significativi vantaggi per tutti i componenti del sistema. L'industria solare collabora con scienziati e agricoltori per individuare le migliori soluzioni per coltivare le specie vegetali nei campi con pannelli solari. Nei vari studi condotti, il pascolo delle pecore ha dimostrato di essere una delle soluzioni più adeguate. Questa combinazione offre numerosi vantaggi di carattere ambientale e rappresenta anche opportunità per agricoltori e industria solare di utilizzare le superfici destinate alle attività agrarie in modo più efficiente.

11 APPLICAZIONE DI UN IPOTETICO ORDINAMENTO CULTURALE

Le condizioni ambientali, i sistemi agricoli e i contesti socio-economici sono aspetti che influenzano la progettazione di un sistema Agrivoltaico. Fisicamente, la disposizione dei pannelli fotovoltaici deve essere ottimizzata per consentire il soddisfacimento di intercettazione della radiazione solare sia alla componente fotovoltaica sia alla componente agraria consociate. Ciò dipenderà sia dalla quantità di radiazione solare nel luogo che dalla tolleranza all'ombra delle colture target, ad esempio un sistema Agrivoltaico in un'area che riceve un'ampia PAR e colture tolleranti all'ombra in crescita saranno in grado di comprendere un layout di pannelli fotovoltaici più denso rispetto a un sistema Agrivoltaico a latitudini più elevate e con colture sottostanti meno tolleranti all'ombra. L'elevazione dei pannelli per facilitare l'agricoltura sottostante dipenderà anche dalle attività pianificate; le coltivazioni di specie agrarie a taglia alta o l'agricoltura meccanizzata avranno bisogno di una struttura di montaggio del pannello più alta rispetto alle specie a portamento prostrato o in caso di raccolta manuale. I sistemi più alti saranno più costosi da costruire e laboriosi da mantenere e potrebbero non essere necessari se il sistema agricolo comprende esclusivamente specie a sviluppo determinato e contenuto in altezza oppure con adeguata meccanizzazione. L'orientamento dei sistemi agrivoltaici deve considerare anche i modelli di radiazione solare diurna. Molti parchi solari convenzionali montati a terra comprendono schiere (file) di pannelli fotovoltaici su un asse est-ovest, con i pannelli inclinati staticamente a un angolo ottimale per la massima radiazione solare, o che seguono meccanicamente il sole per migliorare ulteriormente la conversione di energia. Tuttavia, questo orientamento significherebbe che alcune colture ricevono principalmente PAR diretto durante il giorno, mentre quelle all'ombra ricevono PAR principalmente diffuso. Gli impianti Agrivoltaici progettati con array orientati Nord-Sud (con pannelli ancora ottimamente inclinati), soprattutto a latitudini più basse, assicurerebbero una distribuzione più uniforme della luce solare nell'arco della giornata per le colture consociate. Sulla base delle caratteristiche pedoclimatiche e orografiche del sito e in considerazione di presupposti scientifici di base, con approccio agroecologico delle componenti biotiche e abiotiche da considerare nella progettazione degli agroecosistemi che andranno a costituire il sistema consociato complesso Agrivoltaico. Nell'area oggetto di intervento saranno inserite le più adeguate specie agrarie da gestire con tecniche agronomiche sostenibili al fine di ottenere una produzione della componente cibo soddisfacente e al contempo il miglioramento delle caratteristiche di qualità del suolo con l'intento di incrementarne le potenzialità produttive e quindi conseguentemente della PAU. Le componenti biotiche coltivate prese in considerazione e descritte nel paragrafo precedente possono essere raggruppate in specie coltivate arboree, erbacee e arbustive. Il sistema consociato complesso Agrivoltaico sarà strutturato combinando differenti sistemi culturali singolarmente organizzati in modo da ottenere condizioni di buon livello di biodiversità.

La scelta delle specie vegetali da coltivare nei sistemi culturali e le specie animali da introdurre che costituiscono il sistema consociato complesso Agrivoltaico è effettuata al fine di ottenere elevati livelli di biodiversità strutturale entro i campi e tra i campi e anche in funzione delle esigenze previste anche per l'inserimento dell'allevamento zootecnico. In particolare, nella ipotesi di inserimento dell'allevamento animale le specie vegetali coltivate e di rilievo devono essere in maniera prevalente quelle del gruppo foraggiere e/o comunque specie vegetali riconducibili alla produzione ad uso foraggero.

L'individuazione delle aree con presenza di pannelli fotovoltaici e aree senza la presenza di pannelli fotovoltaici, le fasce di rispetto e gli elettrodotti è riportata nell'elaborato grafico in figura 17.

Figura 17a – Disposizione dei pannelli nelle aree di intervento

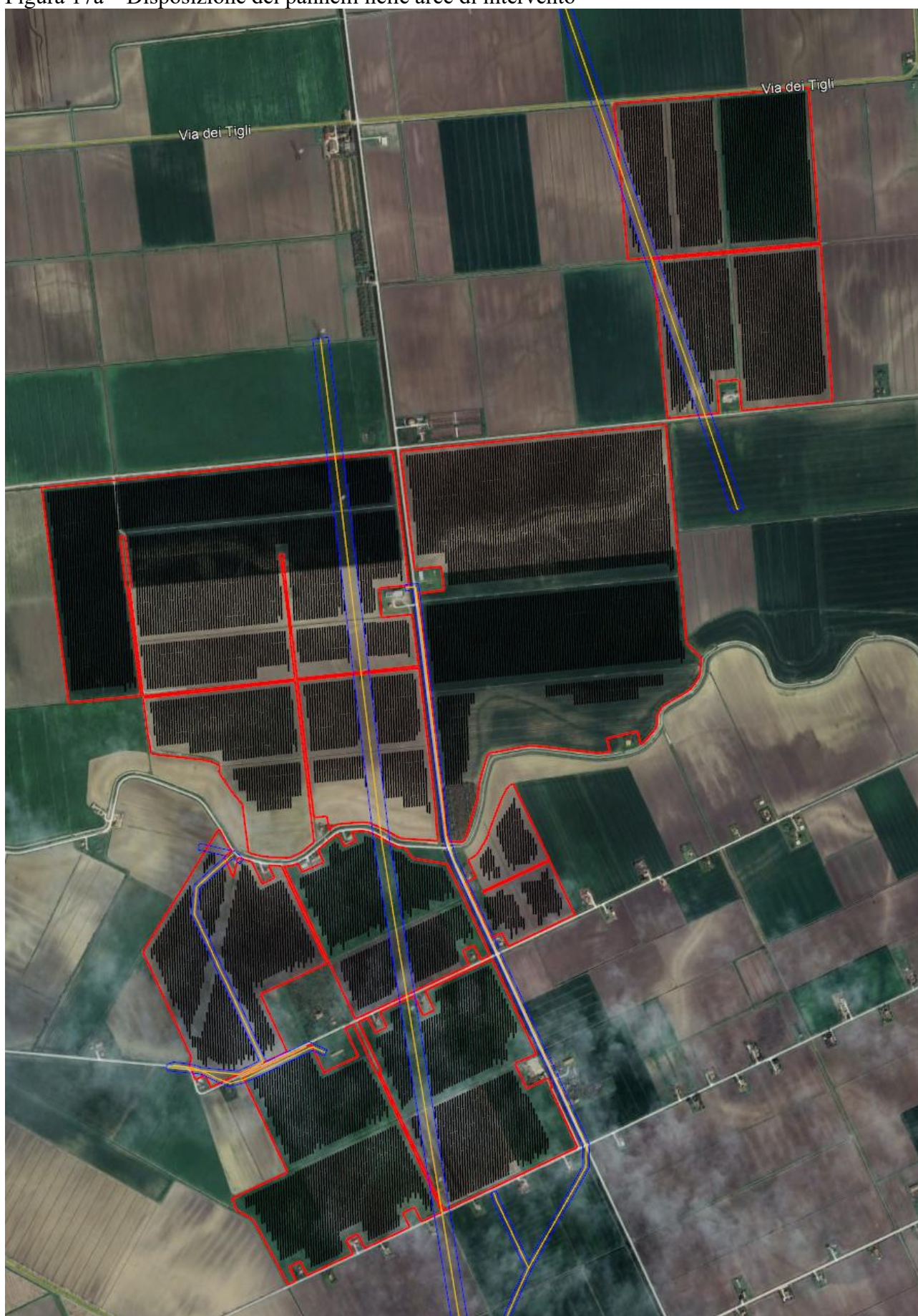





Figura 17b - Destinazione delle aree di intervento

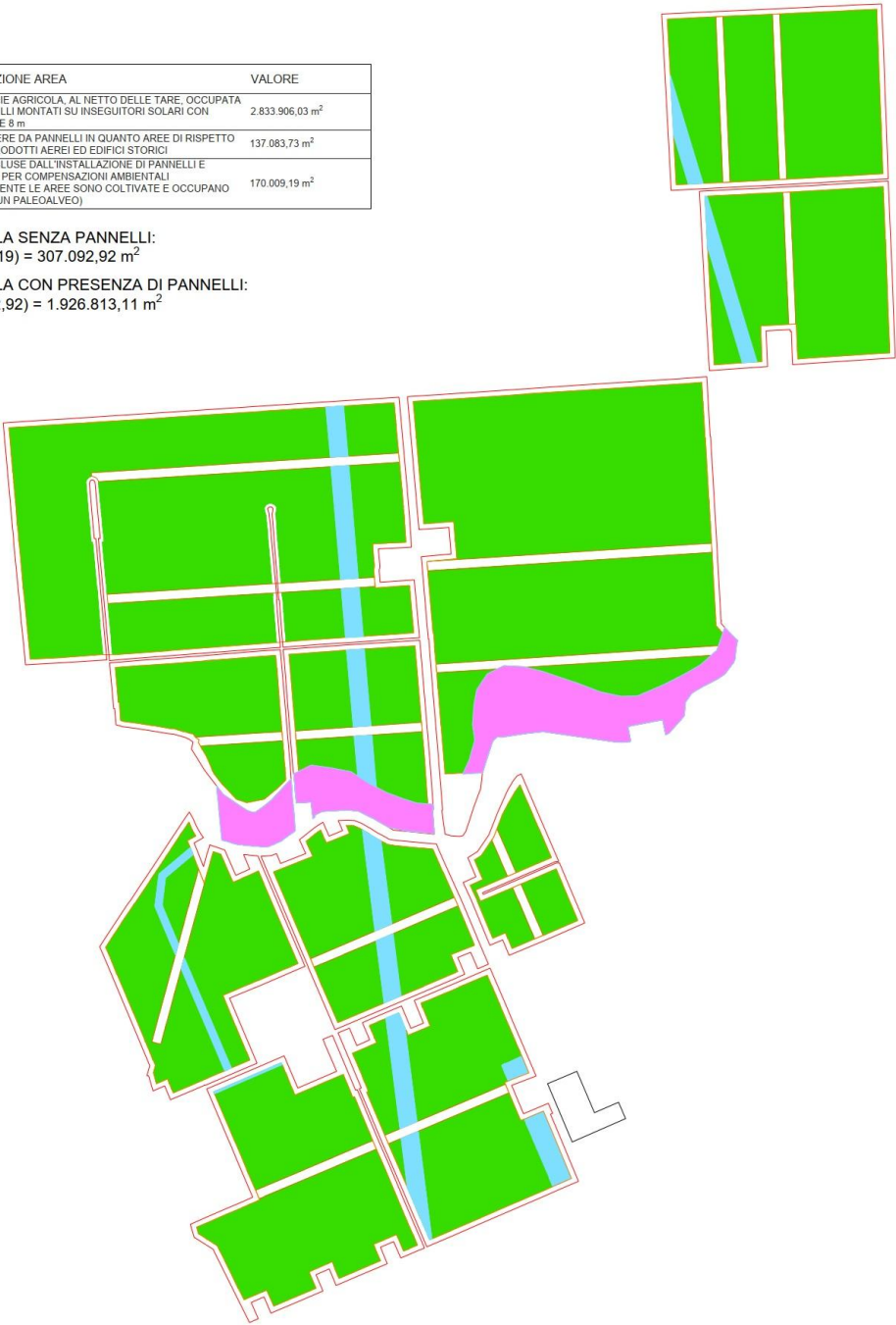
| COLORE / SIMBOLO | DESCRIZIONE AREA | VALORE |
|---|--|-----------------------------|
|  | SUPERFICIE AGRICOLA, AL NETTO DELLE TARE, OCCUPATA DA PANNELLI MONTATI SU INSEGUITORI SOLARI CON INTERASSE 8 m | 2.833.906,03 m ² |
|  | AREE LIBERE DA PANNELLI IN QUANTO AREE DI RISPETTO DI ELETTRODOTTI AEREI ED EDIFICI STORICI | 137.083,73 m ² |
|  | AREE ESCLUSE DALL'INSTALLAZIONE DI PANNELLI E PREVISTE PER COMPENSAZIONI AMBIENTALI (ATTUALMENTE LE AREE SONO COLTIVATE E OCCUPANO DOSSI DI UN PALEOALVEO) | 170.009,19 m ² |

SUPERFICIE AGRICOLA SENZA PANNELLI:

(137.083,73 + 170.009,19) = 307.092,92 m²

SUPERFICIE AGRICOLA CON PRESENZA DI PANNELLI:

(2.833.906,03 - 307.092,92) = 1.926.813,11 m²



11.1 Struttura organizzativa ipotetica del sistema consociato complesso Agrivoltaico in progetto

Le superfici relative all'opera di intervento sono ripartite come di seguito:

| | | Superficie ha |
|---------------------------------|--|---------------|
| Superficie Area Impianto | Superficie indicata come area d'impianto (esclude mitigazione, viabilità perimetrale, aree vincolate dal dosso) | 311,6 |
| SAU | Superficie Agricola Utilizzata, valutata lotto per lotto escludendo la viabilità per mezzi e macchinari agricoli e capifosso | 290,31 |
| S_{TOT} | Superficie del sistema agrivoltaico, calcolata sottraendo le tare delle (scoline), dalla SAU; $S_{TOT} = SAU - Tare$ | 283,39 |
| S_N | Superficie non utilizzata per l'attività agricola, comprensiva di riduzione secondo par. 6.2 (CEI 82-93 2023-12) | 37,89 |
| S_{AGRICOLA} | Superficie totale del sistema agrivoltaico S_{TOT} al netto della superficie non utilizzata per l'attività agricola S_N ; $S_{AGRICOLA} = S_{TOT} - S_N$ | 245,5 |
| S_{PV} | Superficie totale individuata dalla proiezione al suolo del profilo esterno massimo di tutti i moduli fotovoltaici costituenti l'impianto (compresa quota struttura) | 75,23 |

Inoltre, la distinzione in aree con presenza e assenza di pannelli fotovoltaici risulta:

- superficie totale 311,60 ha
- superficie con presenza di pannelli fotovoltaici 283,39 ha
- superficie con assenza di pannelli fotovoltaici, 13,71 ha

Nello stato di fatto del progetto sussistono le condizioni per ipotizzare un sistema consociato complesso con una struttura aziendale agraria in cui sono integrate diverse specie vegetali. Il sistema consociato complesso Agrivoltaico con un ordinamento colturale ampio consente la gestione aziendale tesa verso un approccio agroecologico di apprezzabile sostenibilità finalizzato alla produzione di agroalimenti di qualità.

Nell'ultimo ventennio la Commissione Europea ha posto sempre più l'attenzione verso i prodotti agroalimentari di qualità intesa come concetto complesso in cui il processo produttivo sostenibile riveste un ruolo sostanziale. Ne consegue che una gestione sostenibile in accorso a regolamenti e/o disciplinari di produzione specifici (Biologico, Sistema di Qualità Nazionale Produzione Integrata - SQNPI-, DOP, IGP) determina anche un valore aggiunto alle produzioni. A ciò, conseguentemente, si associa anche l'implementazione della biodiversità poiché è un elemento direttamente correlato alla sostenibilità agraria. Pertanto, l'incremento e conservazione della biodiversità consente di per garantire anche l'implementazione dei servizi ecosistemici a vantaggio della società che ne trae gli ovvi vantaggi.

Per le attività agrarie sono disponibili 283,39 ha con presenza di pannelli fotovoltaici e 13,71 ha con assenza di pannelli fotovoltaici.

Nella strutturazione di un ipotetico ordinamento colturale applicabile *ex post* alla realizzazione del progetto bisogna tener conto di quanto definito dalla Linee Guide del ministero in merito alla continuità dell'attività agricola in riferimento alla possibilità di sussistenza di congrua resa della coltivazione e, al contempo, il mantenimento dell'indirizzo produttivo. Nello specifico, le colture prevalenti in essere allo stato *ex ante* risultano essere mais, frumento e riso. È anche il caso di specificare che l'area oggetto è sita a breve distanza dall'areale di coltivazione dell'Aglio di Voghiera DOP, pertanto, seppur al di fuori del territorio definito dal disciplinare DOP, questa coltura riveste interesse sia da punto di vista agrario sia da quello commerciale. Naturalmente, nella scelta delle

specie da adottare dovrà essere prestata molta attenzione facendo riferimento alla tipicità, qualità, caratteristiche alimentari e nutrizionali, denominazione di origine protetta (DOP), a indicazione geografica protetta (IGP), nonché alla possibilità di operare con tecniche dell'agricoltura biologica ai sensi del regolamento (UE) 2018/848.

Conseguentemente, viste le caratteristiche strutturali, pedoclimatiche e socioeconomiche delle aree oggetto dell'opera si può prevedere una ipotesi di ordinamento colturale con due indirizzi produttivi:

A) produzione nelle aree in cui sono presenti i pannelli fotovoltaici, con coltivazione di asparago (per 5 anni), pomodoro, mais, frumento, aglio;

B) produzione nelle aree in cui non sono presenti pannelli fotovoltaici, con coltivazione di riso (per 6 anni), pomodoro, mais, frumento, aglio.

Pertanto, con tale ipotetico ordinamento colturale, la ripartizione delle superfici potrebbe essere la seguente:

| | |
|--------------------------------------|---------------|
| <i>aree con presenza di pannelli</i> | 252,22 |
| Asparago | 20,18 |
| Pomodoro | 20,18 |
| Mais | 103,41 |
| Frumento | 105,93 |
| Aglio | 2,52 |
| | |
| <i>aree con assenza di pannelli</i> | 13,02 |
| Riso | 6,51 |
| Pomodoro | 1,63 |
| Mais | 1,63 |
| Frumento | 1,63 |
| Aglio | 1,63 |
| | |
| totale | 265,24 |

12 CONTO ECONOMICO

La parte relativa al conto economico colturale si ritiene sia utile per dare indicazioni sulla sostenibilità del sistema consociato complesso Agrivoltatico e andare anche oltre quelle che sono le indicazioni delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici" pubblicate online dal Ministero della Transizione Ecologica il 27/06/2022 (<https://www.mite.gov.it/notizie/impianti-agri-voltaici-pubblicate-le-linee-guida>).

Naturalmente, al fine di consentire all'imprenditore agrario e all'imprenditore industriale giuste scelte nella definizione delle componenti agrarie e delle componenti energetiche, si ritiene utile e necessario procedere tenendo conto dello stato di progetto Agrivoltaico *ex ante* sulle colture agrarie presenti ed *ex post* prevedendo una ipotetica sequenza colturale in rotazione, per arrivare a definire per ogni coltura il conto economico estimativo annuale a regime su base unitaria (ha) di superficie equivalente. In questo modo si può definire la valenza del reddito netto in un intero ciclo di rotazione del sistema colturale nella realtà produttiva agraria oggetto di progetto Agrivoltaico sia *ex ante* sia *ex post*. In aggiunta, lo schema semplificato di conto economico colturale adottato consente di essere utilizzato anche in fase di validazione degli agroecosistemi in progetto e monitoraggio futuro attraverso l'adeguamento dei valori alla realtà del territorio e del momento nella condizione del sistema consociato complesso Agrivoltaico e anche a confronto della condizione di agricoltura convenzionale in terreni dell'areale.

Nello specifico, le schede relative al conto economico estimativo colturale delle colture nello stato *ex ante* e nella situazione di rotazione colturale ipotizzata in *ex post* sono impostate sulla condizione di attività a regime (nell'unità di tempo annuale) e per superficie equivalente (nell'unità spaziale dell'ettaro) proprio per consentire l'adeguamento dei valori stimati alle condizioni strutturali reali definiti dall'imprenditore. Inoltre, partendo dai valori stimati su base di superficie equivalente potrà essere possibile determinare anche l'efficienza d'uso del sistema consociato complesso Agrivoltaico attraverso il concetto del Land Equivalent Ratio (LER) che consente di quantificare l'efficienza d'uso del suolo dei sistemi consociati.

Per quanto concerne i valori di mercato, per le produzioni agroalimentari delle principali colture, sono stati definiti partendo dai prezzi ufficiali del MIPAAF integrati con i dati ottenuti da indagini di mercato.

12.1 Conto economico relativo allo stato di progetto ex ante

Dalla indagine effettuata in campo, nell'area oggetto di progetto Agrivoltaico allo stato attuale, nell'ultimo quinquennio, risulta adottata la coltivazione di frumento, mais, riso. A seguire si riportano le schede relative al conto economico estimativo annuale a regime delle colture adottate prima del progetto Agrivoltaico.

Conto economico estimativo annuale a regime (per ha di superficie equivalente), riferiti al 2024

Coltura:
Mais

| Ricavi | | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|--|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | | 4.095 | |
| Reimpieghi | | | | 0 | |
| Vendite nette | | | | | 4.095 |
| Costi | | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | | 2.708 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | | 361 | |
| Totale Costi | | | | | 3.069 |
| Reddito netto | | | | | 1.026 |

Conto economico estimativo annuale a regime (per ha di superficie equivalente), riferiti al 2024

Coltura:
Grano Duro

| Ricavi | | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|--|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | | 2.400 | |
| Vendite nette | | | | | 2.400 |
| Costi | | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | | 1.275 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | | 208 | |
| Totale Costi | | | | | 1.483 |
| Reddito netto | | | | | 917 |

Conto economico estimativo annuale a regime (per ha di superficie equivalente), riferiti al 2024

Coltura:
Riso (arborio)

| Ricavi | | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|--|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | | 5.950 | |
| Vendite nette | | | | | 5.950 |
| Costi | | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | | 2.750 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | | 510 | |
| Totale Costi | | | | | 3.260 |
| Reddito netto | | | | | 2.690 |

12.2 Conto economico relativo allo stato di progetto ex post con ordinamento colturale ipotizzato

L'area oggetto di progetto Agrivoltaico si presta a una moltitudine di possibili soluzioni di coltivazione. Pertanto, ai fini del conto economico estimativo si ipotizza la soluzione di ordinamento colturale di seguito:

- A) produzione nelle aree in cui sono presenti i pannelli fotovoltaici, con coltivazione di asparago (per 5 anni), pomodoro, mais, grano, aglio;
- B) produzione nelle aree in cui non sono presenti pannelli fotovoltaici, con coltivazione di riso (per 6 anni), pomodoro, mais, grano aglio.

A seguire si riportano le schede relative al conto economico estimativo annuale a regime delle colture ipotizzate.

Conto economico estimativo annuale a regime
(per ha di superficie equivalente), riferiti al 2024

Coltura:
Asparago generico

| Ricavi | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | 26.325 | |
| Vendite nette | | | | 26.325 |
| Costi | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | 16.800 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | 2.316 | |
| Totale Costi | | | | 19.116 |
| Reddito netto | | | | 7.209 |

Conto economico estimativo annuale a regime
(per ha di superficie equivalente), riferiti al 2024

Coltura:
Riso (arborio)

| Ricavi | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | 5.950 | |
| Vendite nette | | | | 5.950 |
| Costi | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | 2.750 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | 510 | |
| Totale Costi | | | | 3.260 |
| Reddito netto | | | | 2.690 |

Conto economico estimativo annuale a regime
(per ha di superficie equivalente), riferiti al 2024

Coltura:
Mais

| Ricavi | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | 4.095 | |
| Reimpieghi | | | 0 | |
| Vendite nette | | | | 4.095 |
| Costi | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | 2.708 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | 361 | |
| Totale Costi | | | | 3.069 |
| Reddito netto | | | | 1.026 |

Conto economico estimativo annuale a regime
(per ha di superficie equivalente), riferiti al 2024

Coltura:
Grano Duro

| Ricavi | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | 2.400 | |
| Vendite nette | | | | 2.400 |
| Costi | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | 1.275 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | 208 | |
| Totale Costi | | | | 1.483 |
| Reddito netto | | | | 917 |

Conto economico estimativo annuale a regime
(per ha di superficie equivalente), riferiti al 2024

Coltura:
Pomodoro da industria generico

| Ricavi | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | 24.570 | |
| Vendite nette | | | | 24.570 |
| Costi | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | 15.350 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | 2.157 | |
| Totale Costi | | | | 17.507 |
| Reddito netto | | | | 7.063 |

Conto economico estimativo annuale a regime
(per ha di superficie equivalente), riferiti al 2020

Coltura:
Aglio

| Ricavi | Quantità | Prezzo | Valore | Totale |
|-----------------------------|----------|--------|--------|--------|
| Produzione lorda vendibile | | | 22.500 | |
| Vendite nette | | | | 22.500 |
| Costi | | | | |
| COSTI ESPLICITI (diretti) | | | | |
| Totale Costi Espliciti | | | 12.790 | |
| COSTI CALCOLATI (indiretti) | | | | |
| Totale Costi Calcolati | | | 1.960 | |
| Totale Costi | | | | 14.750 |
| Reddito netto | | | | 7.750 |

12.3 Valenza del reddito in un periodo di tempo del sistema colturale ex ante rispetto ad uno stesso periodo di tempo nello stato ex post

Al fine di comprendere la valenza del reddito netto a regime di produzione, della componente agraria del progetto Agrivoltaico, si compara per un periodo di tempo specifico il sistema colturale ex ante con sistema colturale nello stato ex post. Nei calcoli sintetici dei conti economici si fa riferimento alle superfici potenzialmente ed effettivamente coltivate con le differenti colture inserite nell'ipotetico ordinamento colturale. Nello stato ex ante le superfici effettivamente utilizzate sono state misurate su foto aeree con GIS, escludendo le tare (strade interpoderali, capezzagne, canali, e le altre superfici fuori campo). Nello stato ex post, le differenti aree considerate tare (strade interpoderali, capezzagne, canali, e le altre superfici fuori campo) sono state ipotizzate nel 10-12% e, quindi, escluse ai fini dei calcoli delle produzioni.

A tal uopo si ipotizzano le seguenti superfici impegnate con le differenti colture:

| situazione <u>ex ante</u> | Superficie (ha) (SAU) |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Frumento | 117,79 |
| Mais | 117,79 |
| Riso | 117,79 |
| totale | 353,37 |
| | |
| situazione <u>ex post</u> | |
| <i>aree con presenza di pannelli</i> | 252,22 |
| Asparago | 20,18 |
| Pomodoro | 20,18 |
| Mais | 103,41 |
| Frumento | 105,93 |
| Aaglio | 2,52 |
| | |
| <i>aree con assenza di pannelli</i> | 13,02 |
| Riso | 6,51 |
| Pomodoro | 1,63 |
| Mais | 1,63 |
| Frumento | 1,63 |
| Aaglio | 1,63 |
| | |
| totale | 265,24 |

L'ipotesi di comparazione viene effettuata su periodo annuale e, poiché lo scopo è di comparazione delle situazioni ex ante ed ex post, non è effettuata la capitalizzazione dei valori.

Il valore di stima del reddito netto *ex-ante* sull'intera superficie risulta nel periodo un anno come di seguito riportato:

| situazione <i>ex ante</i> | Area (ha) (SAU) | RN (€/ha/anno) | anni | RN totale nel periodo (€) |
|----------------------------------|-----------------|----------------|------|---------------------------|
| Frumento | 117,79 | 917 | 1 | 108.013 |
| Mais | 117,79 | 1.026 | 1 | 120.853 |
| Riso | 117,79 | 2.690 | 1 | 316.855 |
| TOTALE | 353,37 | | | 545.721 |

Il valore di stima del reddito netto *ex-post* sull'intera superficie risulta nel periodo un anno come di seguito riportato:

| situazione <i>ex post</i> | Area (ha) (SAU) | RN (€/ha/anno) | anni | RN totale nel periodo (€) |
|--------------------------------------|-----------------|----------------|------|---------------------------|
| <i>aree con presenza di pannelli</i> | | | | |
| Asparago | 20,18 | 7.209 | 1 | 145.459 |
| Pomodoro | 20,18 | 7.063 | 1 | 142.513 |
| Mais | 103,41 | 1.026 | 1 | 106.098 |
| Frumento | 105,93 | 917 | 1 | 97.139 |
| Aaglio | 2,52 | 7.750 | 1 | 19.547 |
| | | | | |
| <i>aree con assenza di pannelli</i> | | | | |
| Riso | 6,51 | 2.690 | 1 | 17.518 |
| Pomodoro | 1,63 | 7.063 | 1 | 11.499 |
| Mais | 1,63 | 1.026 | 1 | 1.670 |
| Frumento | 1,63 | 917 | 1 | 1.493 |
| Aaglio | 1,63 | 7.750 | 1 | 12.617 |
| | | | | |
| TOTALE | 265,2416 | | | 555.553 |

Una implementazione dell'ordinamento colturale secondo i presupposti di buona pratica agronomica e agroecologici certamente consentirebbe l'incremento significativo dei valori economici di produzione agraria.

13 VALIDAZIONE E VALUTAZIONE DEL PROGETTO

Oggi, i produttori di sistemi fotovoltaici per la produzione di energia contenuta nella radiazione solare hanno sviluppato sistemi di intercettamento atti a massimizzare la produzione di energia, tuttavia minore attenzione è stata dedicata alla valutazione delle prestazioni del raccolto tra i pannelli e sotto i pannelli. Essere in grado di monitorare e anticipare le prestazioni delle colture raccolte tra i pannelli e sotto i pannelli aiuterebbe a prendere decisioni sull'orientamento dei pannelli solari che ottimizzano la produzione di energia preservando la resa e la qualità delle produzioni agrarie. La valutazione dello stato di una coltura coltivata in consociazione con i pannelli fotovoltaici può essere eseguita con diversi metodi ma comunque devono mantenere il rispetto del rigoroso approccio scientifico. Le misurazioni sul campo dei parametri necessari a comprendere il comportamento delle colture in tali condizioni di gestione possono essere effettuate col prelievo di campioni e analisi in laboratorio oppure utilizzando sensori che rilevano i valori in tempo reale. Sebbene le misurazioni in campo forniscano informazioni in tempo reale e non possono essere utilizzate per prevedere il comportamento futuro dell'impianto, limitando la capacità dei coltivatori e dei produttori di energia elettrica di anticipare il comportamento degli impianti nell'ambito di politiche di orientamento dei pannelli differenti, queste rappresentano il primo passo fondamentale per la valutazione oggettiva della funzionalità dell'intero sistema Agrivoltaico.

I parametri che devono essere presi in considerazione per la validazione agronomica dei sistemi colturali costituenti un sistema consociato complesso Agrivoltaico in progetto e quindi comprendere le complesse interazioni tra le componenti biotiche e con le componenti abiotiche devono riguardare una rosa di aspetti più completa possibile, includendo, nel complesso sistema agroecologico, le valutazioni a carico del suolo, delle piante e dell'atmosfera. I parametri presi in considerazione possono essere tradotti in indicatori e indici che consentono di costruire un concreto sistema di supporto alle decisioni dell'imprenditore agricolo e facilitare le iniziative da intraprendere per portare alla efficienza massima il funzionamento della componente pannelli fotovoltaici per la produzione di energia e della componente colture per la produzione di cibo. In particolare, il vantaggio dell'utilizzo dei sistemi di supporto alle decisioni è determinato dalla possibilità di informare gli imprenditori agrari sui necessari adattamenti delle tecniche di coltivazione all'ambiente generato a seguito dell'installazione dei pannelli fotovoltaici come componenti consociate. Ad esempio, poiché i requisiti di irrigazione sono sostanzialmente ridotti sotto i pannelli, le raccomandazioni per l'irrigazione in condizioni di campo aperto non sono più valide sotto i pannelli o almeno sono modificate. Inoltre, il parziale ombreggiamento riduce l'evapotraspirazione delle piante modificando al ribasso i reali fabbisogni idrici delle colture. Peraltro, attraverso l'ausilio dell'andamento meteorologico (stime basate sui dati di lungo periodo) oggi ampiamente disponibili per il settore agrario, un sistema validato supporta con maggiore facilità la valutazione delle prestazioni del raccolto in base a una determinata azione di controllo della componente fotovoltaica nel sistema Agrivoltaico.

Il primo passo per la validazione agronomica di un impianto Agrivoltaico è identificare gli indicatori agronomici associati allo sviluppo delle colture presenti sotto e tra i pannelli fotovoltaici. L'obiettivo dell'imprenditore agricolo è ottenere una resa e una qualità ottimali del raccolto. Tuttavia, è difficile prevedere queste due variabili dall'inizio della stagione perché sono strettamente correlate a una serie di fattori biotici e abiotici, talvolta imprevedibili, che possono verificarsi durante la coltivazione, dalla semina fino alla raccolta. Pertanto, l'affidabilità delle stime agronomiche basate sulla resa e sulla qualità potrebbe non essere sufficientemente elevata durante la stagione per aiutare a prendere decisioni pertinenti. Pertanto, è necessario utilizzare ulteriori indicatori vegetali che possono garantire una valutazione dello status delle piante e che queste abbiano uno sviluppo efficiente durante tutta la stagione di coltivazione. Ovviamente, se gli indicatori vegetali mostrano una buona performance per tutta la stagione, si prevede l'agroecosistema in presenza di pannelli fotovoltaici mantiene le condizioni ottimali per il mantenimento/valorizzazione della resa e la qualità della produzione raccolta. Esistono numerosi indicatori vegetali che possono essere presi in considerazione, in particolare la produzione di biomassa aerea e radicale, il contenuto idrico, lo stato azotato,

temperatura della chioma, altezza della chioma e la quantità di carboidrati prodotti attraverso la fotosintesi possono essere considerati utili per definire le caratteristiche principali dello stato di una coltura che dovrebbero essere influenzate dai sistemi Agrivoltaici. Inoltre, sotto i pannelli solari, il potenziale idrico prima dell'alba (espresso in unità di -MPa) può aumentare (minore stress idrico) rispetto alle condizioni di campo aperto a causa della ridotta richiesta atmosferica di acqua, che è associata a una riduzione della quantità di acqua che evapora dal terreno e traspira dalla chioma della coltura. Pertanto, anche il potenziale idrico prima dell'alba indica se una coltura si trova entro i limiti dello stato idrico desiderato. Anche la quantità di clorofilla influisce sul tasso di fotosintesi, le piante in condizioni di illuminazione sfavorevole alla fotosintesi possono sintetizzare più clorofilla, per assorbire la luce necessaria gli effetti di alcune malattie delle piante influenzano la quantità di clorofilla, e quindi la capacità di una pianta di fotosintetizzare. Sotto i pannelli solari, la quantità di energia che raggiunge le foglie è inferiore rispetto alla radiazione diretta, a ciò si associa il fatto che all'aumentare l'intensità della luce aumenta il tasso di fotosintesi, finché qualche altro fattore - un fattore limitante - diventa scarso. Quindi, valori di clorofilla inferiori all'ottimale possono anche compromettere l'attività fotosintetica fogliare o ritardare lo sviluppo e la crescita dei frutti. L'indicatore della fotosintesi nelle foglie è utile per determinare se la coltura rientra nel suo range ottimale, dato il suo stadio fenologico. In sostanza, sussistono molteplici possibilità e vie di studio e analisi dei sistemi colturali attraverso indicatori per comprenderne l'effettivo funzionamento in base alla struttura e la loro efficienza in funzione del livello di sostenibilità. Nel caso specifico dei sistemi consociati complessi Agrivoltaici lo studio all'avvio si rende indispensabile per comprendere il loro effettivo reale funzionamento di quanto previsto in progetto e quindi arrivare nell'arco di due/tre anni a validarne l'efficienza. A tal uopo nel paragrafo che il PNRR dedica all'Agrivoltaico si legge che la misura di investimento nello specifico prevede:

- i) "l'implementazione di sistemi ibridi agricoltura-produzione di energia che non compromettono l'utilizzo dei terreni dedicati all'agricoltura, ma contribuiscono alla sostenibilità ambientale ed economica delle aziende coinvolte, anche potenzialmente valorizzando i bacini idrici tramite soluzioni galleggianti";
- ii) "il monitoraggio delle realizzazioni e della loro efficacia, con la raccolta dei dati sia sugli impianti fotovoltaici sia su produzione e attività agricola sottostante, al fine di valutare il microclima, il risparmio idrico, il recupero della fertilità del suolo, la resilienza ai cambiamenti climatici e la produttività agricola per i diversi tipi di colture".

13.1 Ricerca e validazione dei sistemi colturali in progetto

A partire dall'avvio del sistema consociato complesso Agrivoltaico saranno effettuati rilievi periodici, definiti in funzione dei cicli vegetativi delle specie in campo, su una serie di parametri (come per esempio umidità del suolo nel tempo, sostanza organica del suolo, contenuto di azoto nel suolo, clorofilla nella pianta, parametri microclimatici nelle colture, efficienza d'uso dell'acqua di precipitazione e di irrigazione, ecc.) che saranno poi considerati indicatori riguardanti le condizioni delle relazioni suolo-pianta-pannello fotovoltaico, al fine di studiare l'efficienza e comprendere l'effettivo reale funzionamento di quanto previsto in progetto per ogni sistema colturale e quindi arrivare nell'arco di due/tre anni a validare la funzionalità dell'intero agroecosistema. All'inizio delle attività di ricerca sul funzionamento dei sistemi colturali e loro validazione saranno individuati casualmente i punti di rilievo in ciascun sistema colturale di ogni specie coltivata. Nell'areale saranno individuate aziende con caratteristiche colturali simili utilizzate come riferimento e confronto della condizione di gestione convenzionale.

Lo schema sperimentale adottato per i rilievi e per le conseguenti elaborazioni statistiche dei dati sarà quello del transetto e conseguente applicazione del "side-by-side".

Ogni inizio e fine di ciclo colturale delle specie vegetali presenti nell'intero sistema consociato complesso Agrivoltaico saranno effettuati prelievi di campioni compositi di suolo. Durante il ciclo vegetativo delle specie vegetali coltivate saranno effettuate misure sulla pianta e sul suolo di parametri

che consentiranno la valutazione dell'efficienza del sistema suolo-pianta e dell'influenza esercitata da parte dei pannelli fotovoltaici, mentre alla fine di ogni ciclo vegetativo delle specie vegetali coltivate saranno prelevati campioni di biomassa per la valutazione delle rese e del contributo di sostanza organica a vantaggio del suolo ai fini del miglioramento della qualità.

Per la corretta gestione agronomica dei sistemi colturali e la relativa applicazione dei mezzi tecnici saranno utilizzati i dati rilevati dalla stazione agrometeorologica installata nel sistema Agrivoltaico (già descritta in precedenza). Inoltre, gli stessi dati agrometeorologici rilevati dalla stazione saranno utilizzati per comprendere i risultati dei dati rilevati sulle colture e sul suolo dopo analisi statistica.

13.2 Monitoraggio periodico dopo tre anni dall'avvio

Al fine di comprendere l'evoluzione del sistema consociato complesso Agrivoltaico, in seguito alla attività di studio e validazione, sarà avviato un processo di monitoraggio periodico.

Il monitoraggio dei suoli e delle specie vegetali presenti nei sistemi colturali all'interno dell'Agrivoltaico sarà effettuato sulla base di un programma di attività che permetta la raccolta e la sistemazione organica dei dati necessari alla verifica degli effetti del sistema consociato complesso Agrivoltaico su ognuna delle componenti che lo costituisce. Le risultanze degli studi scientifici indicano che i dati necessari a correlare funzionamento dei sistemi colturali sono quelli relativi alle rese in termini quantitative e qualitative, alla produzione di biomassa totale del vegetale e alle caratteristiche qualitative del suolo e relativa evoluzione temporale.

Le attività di monitoraggio nel tempo potrebbero essere effettuate su alcuni parametri annualmente e su altri con cadenza quinquennale. I parametri da rilevare annualmente potrebbero riguardare alcune specificità connesse agli aspetti legati alle produzioni vegetali, mentre su base quinquennale i parametri utili a definire l'evoluzione dei livelli di qualità del suolo.

14 CONCLUSIONI RELATIVE ALLA PARTE DI PROGETTO

L'impianto Agrivoltaico combina, su una stessa superficie di suolo, colture adeguatamente progettare e strutturate e pannelli fotovoltaici dinamici al fine di ottimizzare le potenzialità del territorio senza determinare impatti negativi agli ecosistemi e agroecosistemi territoriali. Affrontando la necessità di strumenti agricoli efficienti per combattere gli effetti dei cambiamenti climatici, il sistema dinamico Agrivoltaico mira a fornire benefici reciproci ed equilibrati tra produzione di cibo e produzione di energia. I pannelli solari funzionano in tempo reale adattando la loro posizione alle esigenze di intercettare la radiazione solare e alle esigenze agronomiche che si manifestano durante il ciclo vegetativo delle colture. Questa soluzione ha un impatto positivo sulle produzioni delle colture, sul consumo di acqua e sulla qualità del raccolto, fornendo al contempo capacità di produzione di energia. Il "sistema consociato complesso" così strutturato non determina conflitti di uso del suolo tra produzione agraria e produzione di energia, consentendo il posizionamento delle strutture fotovoltaiche su terreni di qualità in cui si realizza comunque la produzione agroalimentare in modo sostenibile. Pertanto, il sistema Agrivoltaico correttamente progettato può rispondere alle principali sfide di gestione sostenibile. È importante tenere in considerazione la rotazione e la struttura delle colture prima dell'installazione dell'impianto Agrivoltaico per garantire la sostenibilità del sistema consociato complesso. Ogni coltura decisa prima della costruzione dell'impianto fotovoltaico deve rispettare i criteri qui menzionati.

In questo caso per la progettazione dell'intero sistema sono state prese in considerazione, analizzate e studiate innanzitutto le componenti abiotiche (suolo e clima) presenti nell'area di intervento al fine di comprendere le possibili soluzioni di specie coltivate da inserire. Quindi, una volta individuato il ventaglio di specie vegetali sono state identificate le migliori soluzioni varietali per le specie più adeguate all'ambiente oggetto di intervento. Conseguentemente, attraverso una analisi tecnico-scientifica è stata modellizzata la struttura delle singole componenti che andranno a costituire l'intero sistema consociato complesso. Nello specifico, puntando all'obiettivo di un elevato livello di diversità strutturale del sistema, si è giunti a identificare la componente biotica adeguata allo scopo. La gestione prevista di tutte le specie coltivate dovrà essere con i principi dell'agricoltura sostenibile (biologica o integrata).

I presupposti progettuali dell'agroecosistema consociato complesso Agrivoltaico sono concordanti con le caratteristiche enunciate nelle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici" pubblicate online dal Ministero della Transizione Ecologica il 27/06/2022 (<https://www.mite.gov.it/notizie/impianti-agri-voltaici-pubblicate-le-linee-guida>).

15 BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI

1. Abdel-Mawgoud, A.M., El-Abd, S.O., Singer, S.M., Abou-Hadid, A.F. e Hsiao, T.C. (1996). Effect of shade on the growth and yield of tomato plants. *Acta Hort.* 434, 313-320. DOI: 10.17660/ActaHortic.1996.434.38
2. Adeh, E.H., Good, S.P., Calaf, M., Higgins, C.W., (2019). Solar pV power potential is Greatest over croplands. *Scientific reports*, 9, 1-6.
3. American Solar Grazing Association, 2021. Promoting solar grazing URL <https://solargrazing.org/>.
4. Andrew, A.C., 2020. Lamb growth and pasture production in agrivoltaic production system. https://ir.library.oregonstate.edu/concern/honors_college_theses/v405sh87r
5. Andrew, A.C., Higgins, C.W., Bionaz, M., Smallman, M.A., Ates, S., 2021a. Pasture production and lamb growth in agrivoltaic system, AIP Conference Proceedings 2361, 060001 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0055889>
6. Andrew, A.C., Higgins, C.W., Smallman, M.A., Graham, M., Ates, S., 2021b. Herbage yield, lamb growth and foraging behavior in agrivoltaic production system. *Front. Sustain. Food Syst.* 5, 126 .
7. Armstrong, A., Ostle, N. J., and Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environ. Res. Lett.* 11:074016. doi: 10.1088/1748-9326/11/7/074016
8. Aroonsrimorakot, S., Laiphrakpam, M., Paisantanakij, W., (2020). Solar panel energy technology for sustainable agriculture farming: A review. *International Journal of Agricultural Technology*, 16(3): 553-562.
9. Barron-Gafford, G.A., Pavao-Zuckerman, M.A., Minor, R.L., Sutter, L.F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D.T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G.P., and Macknick, J.E., (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nat Sustain* 2, 848–855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
10. Bazilian M., Rogner H., Howells M., Hermann S., Arent D., Gielen D., et al. (2011). Considering the energy, water and food nexus: towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*;39:7896–906. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>.
11. Beatty, B., Macknick, J., McCall, J., Braus, G., and Buckner, D. (2017). Native Vegetation Performance Under a Solar PV Array at the National Wind Technology Center. Washington, DC: U.S. Department of Energy, doi: 10.2172/1357887
12. Breyer, C., Bogdanov, D., Gulagi, A., Aghahosseini, A., Barbosa, L. S. N. S., Koskinen, O., et al. (2017). On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios. *Prog. Photovoltaics Res. Appl.* 25, 727–745. doi: 10.1002/pip.2885
13. Campana, P.E., Stridh, B., Amaducci, S., Colauzzi, M., (2021). . Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*, 325 , 129091. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129091>
14. Campiglia E., Mancinelli R., Radicetti E., Marinari S., 2011a. Legume cover crops and mulches: effects on nitrate leaching and nitrogen input in a pepper crop (*Capsicum annuum* L.). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 89: 399–412. DOI 10.1007/s10705-010-9404-2
15. Campiglia E., Radicetti E., Mancinelli R., 2011b. Influence of no-tillage and organic mulching on tomato (*lycopersicon esculentum* mill.) production and nitrogen use in the Mediterranean environment of central Italy. *Scientia Horticulturae*, 130: 588-598.
16. Caporali F., Campiglia E., Mancinelli R., 2010. Agroecologia: Teoria e pratica degli agroecosistemi. De Agostini Scuola SpA, Novara. 222 pp. ISBN: 978-88-251-7352-9.
17. Caporali F., Campiglia E., Mancinelli R., Paolini R., 2004. Maize performance as influenced by winter cover crop green manuring. *Italian Journal of Agronomy*, 8(1), 37-45.
18. Caporali F., Mancinelli R. e Campiglia E., 2001. Legumes For Organic Cropping Systems. Proceeding of “XIX International Grassland Congress”, February 10-21, 2001, São Pedro, State of Sao Paulo, Brazil. ISBN: 85-7133-010-7

19. Chae, S.-H., Kim, H.J., Moon, H.-W., Kim, Y.H., Ku, K.-M., 2022. Agrivoltaic Systems Enhance Farmers' Profits through Broccoli Visual Quality and Electricity Production without Dramatic Changes in Yield, Antioxidant Capacity, and Glucosinolates. *Agronomy* 2022, 12, 1415. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061415>
20. Chamara, R.; Beneragama, C., (2020). Agrivoltaic systems and its potential to optimize agricultural land use for energy production in Sri Lanka: A Review. *J. Sol. Energy Res.*, 5, 417–431.
21. Costantini, E.A.C., Lorenzetti, R., (2013). Soil degradation processes in the Italian agricultural and forest ecosystems. *Italian Journal of Agronomy* 8: 28. <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e28>
22. Dayananda, S.R. (2018). Techno economics feasibility study on agrivoltaic electricity generation in Sri Lanka (Doctoral dissertation). Retrieved from <http://dl.lib.uom.lk/handle/123/13846>
23. Dazzi C, Lo Papa G, (2013). Soil threats. In: E.A.C. Costantini and C. Dazzi (eds) *The soils of Italy*. Springer, Berlin, Germany, pp 205-46.
24. Dinesh, H., Pearce J., 2016. The potential of agrivoltaic systems. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 54, 299-308.
25. Dumont, A.M., Wartenberg, A.C. & Baret, P.V., 2021. Bridging the gap between the agroecological ideal and its implementation into practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 32 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00666-3>
26. Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., and Ferard, Y., 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renew. Energy* 36, 2725–2732. doi: 10.1016/j.renene.2011.03.005
27. Edwards C. A., (1990). The importance of integration in sustainable agricultural systems. In: Edwards C.A., Lal R., Madden P., Miller R.H. e House G. Eds. "Sustainable Agricultural Systems". Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, 3-19.
28. Ellabban, O., Abu-Rub, H., and Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: current status, future prospects and their enabling technology. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 39, 748–764. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.113.
29. FAO, 2018. The 10 elements of agroecology guiding the transition to sustainable food and agricultural systems. <http://www.fao.org/agroecology>
30. Feuerbacher A., Laub M., Högy P., Lippert C., Pataczek L., Schindele S., Wieck C., Zikeli S., 2021. An analytical framework to estimate the economics and adoption potential of dual land-use systems: The case of agrivoltaics. *Agricultural Systems*, 192, 103193.
31. Gliessman S. R., (1990). *Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Springer-Verlag, New York.
32. Goetzberger, A., and Zastrow, A. (1982). On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. *Int. J. Sol. Energy* 1, 55–69. doi: 10.1080/01425918208909875
33. Handler R., Pearce JM, 2022. Greener sheep: Life cycle analysis of integrated sheep agrivoltaic systems. *Cleaner Energy Systems* 3 (2022) 100036.
34. Hassanpour Adeh E., Selker J.S., Higgins C.W., 2018. Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PLOS ONE* 13(11): e0203256. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203256>.
35. Hendarti, R., 2021. A study on PV floating solar system for Grouper Fish aquaculture in Pulau Panggang, Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794. IOP Publishing .
36. Hendriks K., Stobbelaar D. J. e van Mansvelt J. D., 2000. The appearance of agriculture. An assessment of the quality of landscape of both organic and conventional horticultural farms in West Friesland. *Agric., Ecosys. and Environment*, 77: 157-175.
37. Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., et al. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 29, 766–779. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.041

38. Hernandez, R. R., Hoffacker, M. K., Murphy-Mariscal, M. L., Wu, G. C., and Allen, M. F. (2015). Solar energy development impacts on land cover change and protected areas. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 112, 13579–13584. doi: 10.1073/pnas.1517656112
39. Hernandez, V., Hellin, P., Fenoll, J., Garrido, I., Cava, J. e Flores, P. (2015). Impact of Shading on Tomato Yield and Quality Cultivated with Different N Doses Under High Temperature Climate. *Procedia Environmental Sciences*, 29, 197-198.
40. Hikosaka, K. e Hirose, T. (1997). Leaf angle as a strategy for light competition: optimal and evolutionarily stable light-extinction coefficient within a leaf canopy. *Ecoscience*, 4(4), 501-7.
41. Howard J. e Mitchell C., 1980. Phyto-geomorphic classification of the landscape. *Geoforum*, 11(2): 85-106.
42. Hsiao, Y.J., Chen, J.L., Huang, C.T., 2021. What are the challenges and opportunities in implementing Taiwan's aquavoltaics policy? A roadmap for achieving symbiosis between small-scale aquaculture and photovoltaics. *Energy Policy* 153, 112264
43. Hudelson, T., Lieth, J.H., (2021). Crop production in partial shade of solar photovoltaic panels on trackers, AIP Conference Proceedings 2361, 080001 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0055174>
44. Irie, N., Kawahara, N., Esteves, A.M., 2019. Sector-Wide Social Impact Scoping of Agrivoltaic Systems: A Case Study in Japan. *Renew. Energy*, 139, 1463–1476
45. Jacobson, M. Z. (2009). Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy Environ. Sci.* 2, 148–173. doi: 10.1039/B809990C
46. Jung, D., Salmon, A., Gese, P., (2021). Agrivoltaics for farmers with shadow and electricity demand: Results of a pre-feasibility study under net billing in central Chile, AIP Conference Proceedings 2361, 030001 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0054962>
47. Kumpanalaisatit, M., Setthapun, W., Sintuya, H., & Jansri, S. N., 2022. Efficiency Improvement of Ground-Mounted Solar Power Generation in Agrivoltaic System by Cultivation of Bok Choy (*Brassica rapa* subsp. *chinensis* L.) Under the Panels. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(1), 103-110. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.41116>
48. Lagergren, F., Eklundh, L., Grelle, A., Lundblad, M., Molder, M., Lankreijer, H. and Lindroth A. (2005). Net primary production and light use efficiency in a mixed coniferous forest in Sweden. *Plant, Cell & Environment*, 28(3), 412-23.
49. Langenheim, J.H., Osmond, C.B., Brooks, A., Ferrar, P.J. (1984). Photosynthetic responses to light in seedlings of selected Amazonian and Australian rainforest tree species. *Oecologia*, 63(2), 215-24.
50. Lorenzo, P., Garcia, M.L., Sanchez-Guerro, M.C., Medrano, E., Caparros, I. e Giménez, M. (2006). Influence of mobile shading on yield, crop transpiration and water use efficiency. In *International Symposium on Greenhouse Cooling*, 719, 471-478.
51. Lytle, W., Meyer, T.K., Tanikella, N.G., Burnham, L., Engel, J., Schelly, C., Pearce, J.M., 2020. Conceptual Design and Rationale for a New Agrivoltaics Concept: Pastured-Raised Rabbits and Solar Farming. *J. Cleaner Prod.*, 124476 doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124476 .
52. MacArthur R. H., (1972). *Geographical ecology: patterns in the distribution of species*. New York: Harper and Row.
53. Macknick, J., Beatty, B., and Hill, G. (2013). *Overview of Opportunities for Co-Location of Solar Energy Technologies and Vegetation*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
54. Maia, A.S.C., de Andrade Culhari, E., Fonsêca, V.D.F.C., Milan, H.F.M., Gebremedhin, K.G., 2020. Photovoltaic panels as shading resources for livestock. *J. Cleaner Prod.* 258, 120551 .
55. Malu, P.R., Sharma, U.S., Pearce, J.M., 2017. Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, pp. 104-110.

56. Mamun, M.A.A., Dargusch, P., Wadley, D., Zulkarnain, N.A., Aziz, M.A., 2022. A review of research on agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 161, 112351.
57. Mancinelli R., Campiglia E., Caporali F., Di Felice V., 2006a. Valutazione della sostenibilità in termini di diversità ecotopica in un'ecoregione del Lazio meridionale. 10a Conferenza Nazionale ASITA, 14 - 17 novembre 2006, Fiera di Bolzano, Bolzano. Atti, 1361-1366.
58. Mancinelli R., Campiglia E., Di Felice V., Caporali F., 2006b. Valutazione della biodiversità in un'ecoregione dell'Italia centrale. XVI Congresso SItE "Cambiamenti Globali, Diversità Ecologica e Sostenibilità", 19-22 settembre 2006, Università della Tuscia, Viterbo.
59. Mancinelli R., Campiglia E., Marinari S. e Paolini R., 2005a. Effetto delle colture di copertura sulla lisciviazione dell'azoto in ambiente mediterraneo. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo* 54 (1-2): 239 - 244.
60. Mancinelli R., Marinari S., Campiglia E., 2005b. Effetto del sovescio sulla disponibilità di azoto nitrico nel suolo e sulla produzione del peperone. Atti XXXVI Convegno SIA "Innovazione tecnologica e miglioramento delle produzioni vegetali: il contributo della ricerca agronomica", 20-22 settembre 2005, Foggia, 73-74. ISBN 88-7427-010-0
61. Mancinelli R., Campiglia E., Caporali F., Di Felice V., 2010a. Habitat patch diversity evaluation for sustainability: a case study of a rural area in Central Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 5(4): 341-352.
62. Mancinelli R., Campiglia E., Di Tizio A., Marinari S., 2010b. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by conventional and organic cropping systems in Mediterranean environment. *Applied Soil Ecology*, 46 (1): 64-72. doi: 10.1016/j.apsoil.2010.06.013
63. Mancinelli R., Marinari S., Di Felice V., Savin M.C., Campiglia E., 2013. Soil property, CO2 emission and Aridity Index as agroecological indicators to assess the mineralization of cover crop green manure in a Mediterranean environment. *Ecological Indicators*, 34: 31-40. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.04.011
64. Mancinelli R., Marinari S., Brunetti P., Radicetti E., Campiglia E., 2015 Organic mulching, irrigation and fertilization affect soil CO2 emission and C storage in tomato crop in the Mediterranean environment. *Soil & Tillage Research*, 152: 39-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.04.001>
65. Mancinelli R., Muleo R., Marinari S., Radicetti E., 2019. How Soil Ecological Intensification by Means of Cover Crops Affects Nitrogen Use Efficiency in Pepper Cultivation. *Agriculture* 2019, 9, 145. DOI: 10.3390/agriculture9070145
66. Marinari S., Mancinelli R., Campiglia E., Grego S., 2006. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators* 6: 701–711.
67. Marinari S., Mancinelli R., Brunetti P., Campiglia E., 2015. Soil quality, microbial functions and tomato yield under cover crop mulching in the Mediterranean environment *Soil & Tillage Research*, 145: 20-28. DOI: 10.1016/j.still.2014.08.002
68. Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C. and Wery, J., 2013a. Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117-32.
69. Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., and Dupraz, C. (2013b). Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *Eur. J. Agron.* 44, 54–66. doi: 10.1016/j.eja.2012.08.003
70. May R. M., 1986. The search for pattern in the balance of nature: Advances and retreats. *Ecology* 67: 1115-1127.
71. Mead, R., Willey, R. W., (1980). The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental Agriculture* 16, 217–228.
72. Moscatelli, M.C.; Marabottini, R.; Massaccesi, L.; Marinari, S. Soil properties changes after seven years of ground mounted photovoltaic panels in Central Italy coastal area. *Geoderma Reg.* 2022, 29, e00500

73. Mow, B., 2018. Solar Sheep and Voltaic Veggies: Uniting Solar Power and Agriculture State, Local, and Tribal Governments. NREL [WWW Document] |2020URL .
74. Murakami, K., Fukuoka, N. and Noto, S. (2017). Improvement of greenhouse microenvironment and sweetness of melon (*Cucumis melo* L.) fruits by greenhouse shading with a new kind of near-infrared ray-cutting net in mid-summer. *Scientia Horticulturae*, 218, 1-7.
75. Nations, U., 2015. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. United Nations, New York. New York.
76. Naveh Z. e Liebermann A., (1993). Landscape ecology: Theory and application. Springer Verlag, New York.
77. Neupane Bhandari, S.; Schlüter, S.; Kuckshinrichs, W.; Schlör, H.; Adamou, R.; Bhandari, R., (2021). Economic Feasibility of Agrivoltaic Systems in Food-Energy Nexus Context: Modelling and a Case Study in Niger. *Agronomy* , 11, 1906. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101906>
78. Nicholls CI, Altieri MA, Vazquez L (2016) Agroecology: principles for the conversion and redesign of farming systems. *J Ecosyst Ecography* S5:1–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.S5-010>
79. Niinemets, U. (2010). A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varying shade tolerance. *Ecological Research*, 25(4), 693-714.
80. Niinemets, U., Tobias, M., Cescatti, A., Sparrow, A. (2006). Size-dependent variation in shoot light-harvesting efficiency in shade-intolerant conifers. *International Journal of Plant Sciences*, 167(1),19-32.
81. Nordberg E.J., Caley M.J., Schwarzkopf L., 2021. Designing solar farms for synergistic commercial and conservation outcomes. *Solar Energy* 228, 586–593.
82. Ouzts, E., 2017. Farmers, experts: solar and agriculture ‘complementary, not competing’ in North Carolina [WWW Document]. *Energy News Network* URL .
83. Pascaris, A.S., Handler, R., Schelly, C., Pearce, J.M., 2021. Life cycle assessment of pasture-based agrivoltaic systems: emissions and energy use of integrated rabbit production. *Clean. Respons. Consump.* 3, 100030.
84. Pascaris, A.S., Schelly, C., Rouleau, M., Pearce, J.M., 2022. Do agrivoltaics improve public support for solar? A survey on perceptions, preferences, and priorities. *Green Technology, Resilience, and Sustainability* 2 8. doi: 10.1007/s44173-022-00007-x .
85. Prider, J.N. e Facelli, J.M. (2004). Interactive effects of drought and shade on three arid zone chenopod shrubs with contrasting distributions in relation to tree canopies. *Functional Ecology*, 18(1), 67-76.
86. Pringle, A.M., Handler, R.M., Pearce, J.M., 2017. Aquavoltaics: Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 80, 572–584 .
87. Proctor KW, Murthy GS, Higgins CW., 2021. Agrivoltaics Align with Green New Deal Goals While Supporting Investment in the US’ Rural Economy. *Sustainability*, 13(1):137. <https://doi.org/10.3390/su13010137>.
88. Radicetti E., Mancinelli R., Campiglia E. 2013a. Influence of winter cover crop residue management on weeds and yield in pepper (*Capsicum annuum* L.) in a Mediterranean environment. *Crop Protection*, 52: 64-71. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2013.05.010](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.05.010)
89. Radicetti E., Mancinelli R., Campiglia E., 2013b. Impact of managing cover crop residues on the floristic composition and species diversity of the weed community of pepper crop (*Capsicum annuum* L.). *Crop Protection*, 44: 109-119.
90. Radicetti E., Mancinelli R., Moschetti R., Campiglia E., 2016. Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melano-gen-a* L.) in Mediterranean environment. *Soil & Tillage Research*, 155: 329-338. DOI: [10.1016/j.still.2015.09.004](https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.004)

91. Radicetti E., Massantini R., Campiglia E., Mancinelli R., Ferri S., Moschetti R. 2016. Yield and quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) as affected by cover crop species and residue management. *Scientia Horticulturae*, 204: 161-171. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.04.005
92. Radicetti E., Campiglia E., Marucci A., Mancinelli R., 2017. How winter cover crops and tillage intensities affect nitrogen availability in eggplant. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 108 (2), 177–194. doi:10.1007/s10705-017-9849-7
93. Ravi, S. (2015). Resources: partner crop plants with solar facilities. *Nature* 524:161. doi: 10.1038/524161a
94. Ravi, S., Lobell, D. B., and Field, C. B. (2014). Tradeoffs and synergies between biofuel production and large solar infrastructure in deserts. *Environ. Sci. Technol.* 48, 3021–3030. doi: 10.1021/es404950n
95. Ravi, S., Macknick, J., Lobell, D., Field, C., Ganesan, K., Jain, R., et al. (2016). Colocation opportunities for large solar infrastructures and agriculture in drylands. *Appl. Energy* 165, 383–392. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.078
96. Renewable Energy World (REW), 2014. Getting Out of the Weeds: How To Control Vegetative Growth Under Solar Arrays. Retrieved February 7, 2020 from <https://www.renewableenergyworld.com/articles/2014/07/weed-control-at-solar-installations-what-works-best.html>
97. Rikhari, H.C. e Adhikari, B.S. (1998). Population structure and protective value of temperate forests in a part of central Himalaya. *Journal of Sustainable Forestry*, 7(3-4),5-21.
98. Rosales, M.A., Ruiz, J.M., Hernández, J., Soriano, T., Castilla, N. and Romero, L. (2006). Antioxidant content and ascorbate metabolism in cherry tomato exocarp in relation to temperature and solar radiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(10),1545-51.
99. Rosset PM, Altieri MA (2017) *Agroecology: science and politics*. Practical Action Publishing, Rugby.
100. Sandri, M.A., Andriolo, J.L., Witter, M. e Dal Ross, T. (2003). Effect of shading on tomato plants grow under greenhouse. *Horticultura Brasileira*, 21(4), 642-5.
101. Santra, P., Pande, P.C., Kumar, S., Mishra, D. and Singh, R.K. (2017). Agri-voltaics or Solar farming: the concept of integrating solar PV based electricity generation and crop production in a single land use system. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 7(2), 694-9.
102. Santra, P., Pande, P.C., Kumar, S., Mishra, D. e Singh, R.K. (2017). Agri-voltaics or Solar farming: the concept of integrating solar PV based electricity generation and crop production in a single land use system. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 7(2), 694-9.
103. Scognamiglio, A. Photovoltaic landscapes: Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 55, 629–661.
104. Steppler, H., e Lundgren, B., 1988 Agro-forestry: now and in the future. *Outlook Agric.*, 17 (4): 146-151.
105. Svanera, L., Ghidesi, G., Knoche, R., (2021). Agrovoltaico®: 10 years design and operation experience", AIP Conference Proceedings 2361, 090002 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0055869>
106. Trommsdorff, M., Vorast, M., Durga, N., Padwardhan, S., (2021). Potential of agrivoltaics to contribute to socio-economic sustainability: A case study in Maharashtra/India. AIP Conference Proceedings 2361, 040001 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0054569>
107. Turney, D., and Fthenakis, V. (2011). Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 3261–3270. doi: 10.1016/j.rser.2011.04.023
108. Valladares, F. e Niinemets, U. (2008). Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 237-57.

109. Walston, L. J., Mishra, S. K., Hartmann, H. M., Hlohowskyj, I., McCall, J., and Macknick, J. (2018). Examining the potential for agricultural benefits from pollinator habitat at solar facilities in the United States. *Environ. Sci. Technol.* 52, 7566–7576. doi: 10.1021/acs.est.8b00020
110. Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S. et al. Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 35 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>
111. Yasin, M., Rosenqvist, E. e Andreassen, C., (2017). The effect of reduced light intensity on grass weeds. *Weed Science*, 65(5), 603-13.
112. Zonneveld I. S., 1995. Land ecology: an introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation. SPB Academic Publishing, Amsterdam, 199 pp.

Prof. Dr. Agr. Roberto Mancinelli

Prof. Emanuele Radicetti

Documento firmato digitalmente