

REGIONE SICILIANA

Libero Consorzio Comunale di
Ragusa



COMUNE DI ACATE E VITTORIA



NOME PROGETTO

VICTORIA SOLAR FARM



TITOLO PROGETTO

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
E L'ESERCIZIO DI UN PARCO
AGROVOLTAICO DA 190 MWP NEI
COMUNI DI ACATE E VITTORIA E
DELLE OPERE DI CONNESSIONE
ALLA RETE DI TRASMISSIONE
NAZIONALE**

N. ELABORATO

R30

N. REVISIONE

01

TITOLO ELABORATO

**Attività di ricerca agronomica e monitoraggio per il
mantenimento dell'utilizzo agricolo primario**

N. GENERALE

122

GRADO PROG.

PD

AMBITO

UNI

TIPO ELAB.

R

SCALA

-

IDENTIFICATORE

VSF122UNIR30

VISTI E APPROVAZIONI

PROGETTAZIONE

METRAN srls
Via Gen. C. A. Dalla Chiesa n. 40
90143 Palermo
CF e P. IVA 06514460820
PEC: metran@pec.it



ING. F. TRENTACOSTI
Ordine Ingegneri Palermo
n. 8363

ING. G. DI MARTINO
Ordine Ingegneri Palermo
n.7391

SOGGETTO PROPONENTE

EDPR Sicilia PV s.r.l.

Via Lepetit n. 8-10
20124 Milano
CF e P. IVA 11064600965
pec: edprsiciliapvsrl@legalmail.it

edp renewables

COLLABORAZIONE SPERIMENTALE



**UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA**

Dipartimento
di Agricoltura,
Alimentazione
e Ambiente
Di3A

data:

oggetto:

Eseguito:

Validato:

EMISSIONE

FEBBRAIO 2022

P.U.A. - art. 27 D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii.

ing. Di Martino - Trentacosti

ing. Di Martino - Trentacosti

REV. 1

SETTEMBRE 2023

Progetto di un impianto agri-fotovoltaico denominato ‘Victoria Solar Farm’ da realizzarsi nei comuni di Vittoria (RG) e Acate (RG).



Relazione sulle attività di ricerca agronomica e di monitoraggio da implementare ai fini del mantenimento dell’utilizzo agricolo primario delle superfici interessate

Gruppo di lavoro

Prof. Paolo Guarnaccia, responsabile scientifico

Dott.ssa Silvia Zingale, aspetti relativi alla valutazione della sostenibilità

Dott. Antonio Favara, aspetti agronomici e ambientali

Dott. Giuseppe Indovino, aspetti relativi alla qualità del suolo

9 SETTEMBRE 2023



Sommario

1. Premessa	1
2. Il contesto normativo e strategico	2
2.1. Direttiva 2018/2001/UE ‘RED II’	3
2.2. Quadro 2030 per il clima e l'energia.....	4
2.3. Strategia a lungo termine per il 2050.....	5
2.4. Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima (Dicembre 2019)	5
2.5. Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).....	7
2.6. L’European Green Deal e i nove obiettivi della PAC	9
3. I sistemi agrivoltaici	13
3.1. Stato dell’arte sulla ricerca scientifica	13
3.2. Caratteristiche dei sistemi agrivoltaici integrati con l’agricoltura	16
3.2.1. Disponibilità di irraggiamento.....	16
3.2.2. Fertilità del suolo	17
3.2.3. Integrazione tra attività agricola e gestione dell’impianto fotovoltaico.....	19
3.2.4. Digitalizzazione dei sistemi agricoli.....	20
3.3. Linee guida e standard di organismi internazionali sui sistemi agrivoltaici	21
3.3.1. National Solar Centre (BRE), Inghilterra.....	21
3.3.2. Fraunhofer Institute for solar energy systems (ISE), Germania.....	22
3.3.3. Clean Energy Council, Australia	24
3.3.4. Solar Power Europe (SPE), Belgio	25
3.3.5. Institut de l’Elevage (IDELE), Francia	26
3.3.6. Deutsches Institut fur Normung (DIN), Germania	28
3.3.7. Label ‘Projet Agrivoltaique’, Afnor Certification	30
3.3.8. Linee guida in materia di impianti agrivoltaici del MITE, Italia.....	31
3.3.9. La Prassi di riferimento UNI/PdR 148:2023	37
4. L’impianto agri-fotovoltaico ‘Victoria Solar Farm’	39
4.1. Inquadramento territoriale.....	39
4.2. Il piano colturale del sistema agri-fotovoltaico ‘Victoria Solar Farm’.....	43
4.3. Rispondenza ai requisiti previsti dalle Linee guida del MITE.....	46
4.4. La gestione operativa del sistema agro-silvo-pastorale	48



5. Attività di ricerca agronomica.....	50
5.1. Prove sperimentali in campo ed in laboratorio.....	50
5.2. Protocolli per la gestione sostenibile del sistema agrivoltaico.....	51
6. Attività di monitoraggio dei parametri agro-ambientali.....	52
6.1. Monitoraggio delle produzioni agricole.....	52
6.2. Monitoraggio della qualità del suolo	54
6.3. Monitoraggio della biodiversità	55
6.4. Calcolo dell'impronta di carbonio del sistema agrivoltaico	56
6.4.1. La norma UNI EN ISO 14067:2018	57
6.4.2. I Carbon credits.....	58
7. Considerazioni conclusive	60
Riferimenti bibliografici.....	62



1. Premessa

La convenzione tra il Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente (Di3A) dell'Università di Catania e la società EDPR Sicilia PV S.r.l. prevede, tra le altre attività, la progettazione agronomica di sistemi colturali e dei relativi indirizzi produttivi da implementare all'interno di impianti agrivoltaici sviluppati dalla suddetta società al fine di integrare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili al mantenimento di un'attività agricola produttiva e innovativa nell'ottica della sostenibilità economica, ambientale e sociale del sistema nel suo complesso.

Nella presente relazione, dopo aver approfondito il contesto normativo e strategico a livello nazionale e internazionale sulle fonti energetiche rinnovabili, aver riportato lo stato dell'arte sulla ricerca scientifica, le linee guida recentemente pubblicate relative alle buone pratiche realizzate in diverse realtà e descritto i requisiti che devono possedere i sistemi agrivoltaici, vengono definite le attività di ricerca agronomica e di monitoraggio dei principali parametri agroambientali con l'obiettivo di valorizzare la risorsa suolo e tutelare la biodiversità mantenendo l'utilizzo agricolo primario delle superfici interessate.

2. Il contesto normativo e strategico

Le Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) svolgono un ruolo di primo piano nell'ambito del sistema energetico italiano. Lo sviluppo delle FER è funzionale ad un sistema energetico più sostenibile ed efficiente, meno dipendente dai combustibili fossili e dunque meno inquinante.

Le misure di promozione adottate negli ultimi anni hanno prodotto risultati importanti: l'Italia è tra i Paesi con le migliori performance in termini di sfruttamento delle energie rinnovabili, avendo raggiunto in anticipo, sin dall'anno 2014, gli obiettivi europei al 2020. L'attuale target italiano per il 2030 è pari al 30% dei consumi finali, rispetto al 20% del 2020. L'inquadramento strategico e l'evoluzione futura del sistema sono forniti nel Piano Nazionale integrato Energia e Clima (PNIEC) e nella Strategia di Lungo Termine per la Riduzione delle Emissioni dei Gas a Effetto Serra, entrambi in fase di aggiornamento per riflettere sul nuovo livello di ambizione definito in ambito europeo.

Appare opportuno evidenziare come il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), di recente presentazione, nell'ambito dell'obiettivo di lungo termine della progressiva decarbonizzazione di tutti i settori, si prefigge, attraverso il finanziamento di progetti mirati e l'adozione di riforme di sistema, di incidere in modo sostanziale sull'ulteriore incremento della quota di energia prodotta da fonte rinnovabile in linea con la recente evoluzione del quadro europeo.

Il pacchetto legislativo adottato dalle Istituzioni europee tra la fine del 2018 e la prima metà del 2019, il cosiddetto *Winter package* o *Clean energy package*, fissa il quadro regolatorio della governance dell'Unione per l'energia e il clima funzionale al raggiungimento dei nuovi obiettivi europei al 2030 in materia e al percorso di decarbonizzazione (economia a basse emissioni di carbonio) entro il 2050.

Il meccanismo di governance delineato in sede UE prevede che ciascuno Stato membro sia chiamato a contribuire al raggiungimento degli obiettivi comuni attraverso la fissazione di propri target 2030. A tale fine, sono commissionati i Piani nazionali integrati per l'energia e il clima - PNIEC, che coprono periodi di dieci anni a partire dal decennio 2021-2030.

Il Governo Italiano ha inviato il proprio PNIEC per gli anni 2021-2030 alle Istituzioni europee a gennaio 2020, a seguito di un dialogo con le istituzioni nazionali ed europee ed una consultazione pubblica. A livello legislativo interno, sono poi in corso di recepimento le Direttive europee del cd. *Winter package*.

A gennaio 2020, con la comunicazione sul *Green Deal* (COM(2019)640), la Commissione UE ha delineato una roadmap volta a rafforzare l'ecosostenibilità dell'economia dell'Unione europea attraverso un ampio spettro di interventi che insistono prioritariamente sulle competenze degli Stati membri e interessano prevalentemente l'energia, l'industria (inclusa quella edilizia), la mobilità e l'agricoltura. Il Green Deal intende, in sostanza, superare quanto già stabilito dal Quadro 2030 per il clima e l'energia, che dovrà conseguentemente essere rivisto.

Sull'attuazione del Green Deal europeo e sulle risorse finanziarie destinate a realizzarlo, ha inciso la crisi pandemica e la necessità dell'UE di predisporre un piano di ripresa dell'economia europea per far fronte ai danni economici e sociali causati dall'epidemia. Le risorse per l'attuazione del Green Deal rientrano nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, costituendone una delle priorità: sostenere la transizione verde e digitale e promuovere una crescita sostenibile. I progetti e le iniziative nell'ambito dei Programmi nazionali di ripresa e resilienza dovranno dunque essere conformi alle priorità di policy legate alle transizioni verde e digitale, oltre che coerenti con i contenuti del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC).

2.1. Direttiva 2018/2001/UE 'RED II'

La direttiva (UE) 2018/2001 (cd. RED II) sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (testo modificativo e di rifusione della pregressa Direttiva 2009/28/UE, cd. RED I) fa parte del pacchetto di interventi legislativi adottato in sede europea, il già menzionato *Winter package* o *Clean energy package*.

In questo quadro, il maggiore ricorso all'energia rinnovabile costituisce una parte integrante delle misure volte alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra nell'ambito degli impegni assunti con l'accordo di Parigi del 2015 sui cambiamenti climatici e delle politiche dell'energia e del clima al 2030.

Il Quadro regolatorio 2030 per il clima e l'energia è in via di aggiornamento con la revisione al rialzo degli obiettivi in materia di energie rinnovabili e di efficienza energetica ivi previsti. E' infatti in corso di esame presso le istituzioni dell'Unione europea la proposta di regolamento per una "legge europea sul clima", presentata nell'ambito del Green Deal e volta a sancire l'obiettivo giuridicamente vincolante della neutralità climatica entro il 2050.

In avvio del semestre europeo 2021, nella Strategia annuale della Crescita sostenibile 2021 (*Annual Growth Sustainable Strategy*, di settembre 2021) sono stati inoltre lanciati dalla Commissione europea i principi fondamentali e prioritari per la redazione dei Piani nazionali per la ripresa e la resilienza: si tratta di programmi bandiera dell'Unione (*Flagship programmes*), che fissano degli obiettivi intermedi al 2025 tra cui:

- 'Power up' (premere sull'acceleratore), iniziativa faro che mira ad incrementare di 500 GW la produzione di energia rinnovabile entro il 2030, e chiede agli Stati membri di realizzare quasi il 40 % di questo obiettivo entro il 2025. Coerentemente con la Strategia europea sull'idrogeno, si chiede di sostenere l'installazione di 6 GW di capacità di elettrolizzatori e la produzione e il trasporto di 1 milione di tonnellate di idrogeno rinnovabile in tutta l'UE entro il 2025.
- 'Renovate' (ristrutturare) dove si chiede di migliorare l'efficienza energetica e delle risorse degli edifici pubblici e privati, con un raddoppio entro il 2025 del tasso di ristrutturazione e la promozione delle ristrutturazioni profonde.

- *'Recharge and refuel'* (ricaricare e rifornire) che ha come obiettivo, entro il 2025, di costruire 1 milione di punti di ricarica sui tre milioni necessari nel 2030 e metà delle 1.000 stazioni di idrogeno necessarie.

La Direttiva (UE) 2018/2001 dispone che gli Stati membri provvedano collettivamente a far sì che, nel 2030, la quota di energia da fonti rinnovabili nel consumo finale lordo di energia dell'Unione sia almeno pari al 32% e la quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti sia almeno pari al 14% del consumo finale in tale settore. Gli Stati membri devono, ciascuno, fissare i contributi nazionali per conseguire collettivamente l'obiettivo vincolante UE 2030 nell'ambito dei loro Piani Nazionali Integrati per l'Energia e il Clima (PNIEC).

Funzionali al raggiungimento degli obiettivi 2030, sono le norme, contenute nella Direttiva stessa, che forniscono agli Stati membri i principi e i criteri per disciplinare. La Direttiva fissa altresì criteri di sostenibilità e di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra per i biocarburanti, i bioliquidi e i combustibili da biomassa. Strumentale alla nuova disciplina è il quadro definitorio integrato, rispetto alla Direttiva 2009/28/UE, in base alle novità introdotte tra cui la più dettagliata definizione di energia rinnovabile quale l'energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare (solare termico e fotovoltaico) e geotermica, energia dell'ambiente, energia mareomotrice, del moto ondoso e altre forme di energia marina, energia idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas.

2.2. Quadro 2030 per il clima e l'energia

Il Quadro 2030 per il clima e l'energia comprende traguardi e obiettivi strategici a livello dell'UE per il periodo dal 2021 al 2030. Nell'ambito del Green Deal europeo, nel settembre 2020 la Commissione ha proposto di elevare l'obiettivo della riduzione delle emissioni di gas serra per il 2030, compresi emissioni e assorbimenti, ad almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990.

Ha preso in considerazione tutte le azioni necessarie in tutti i settori, compresi un aumento dell'efficienza energetica e dell'energia da fonti rinnovabili, e avvierà il processo per formulare proposte legislative dettagliate al fine di mettere in atto e realizzare questa maggiore ambizione.

Ciò consentirà all'UE di progredire verso un'economia climaticamente neutra e di rispettare gli impegni assunti nel quadro dell'Accordo di Parigi aggiornando il suo contributo determinato a livello nazionale.

Il livello di ambizione attuale del Quadro 2030 per il clima e l'energia prevede i seguenti Obiettivi chiave per il 2030:

- una riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990)
- una quota almeno del 32% di energia rinnovabile

- un miglioramento almeno del 32,5% dell'efficienza energetica.

L'obiettivo della riduzione del 40% dei gas serra è attuato mediante il sistema di scambio di quote di emissione dell'UE, il regolamento sulla condivisione degli sforzi con gli obiettivi di riduzione delle emissioni degli Stati membri, e il regolamento sull'uso del suolo, il cambiamento di uso del suolo e la silvicoltura. In tal modo tutti i settori contribuiranno al conseguimento dell'obiettivo del 40% riducendo le emissioni e aumentando gli assorbimenti.

Tutti e tre gli atti legislativi riguardanti il clima verranno aggiornati allo scopo di mettere in atto la proposta di portare l'obiettivo della riduzione netta delle emissioni di gas serra ad almeno il 55%. La Commissione presenterà le proposte nel luglio 2021.

2.3. Strategia a lungo termine per il 2050

Il 28 novembre 2018, in vista del vertice delle Nazioni Unite sul clima (COP 24) che si è tenuto dal 2 al 14 dicembre a Katowice in Polonia, La Commissione Europea ha presentato la sua visione strategica a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra entro il 2050 (28/11/2018 - COM (2018) 773 - Un pianeta pulito per tutti).

La strategia evidenzia come l'Europa possa avere un ruolo guida per conseguire un impatto climatico zero, investendo in soluzioni tecnologiche realistiche, coinvolgendo i cittadini e armonizzando gli interventi in settori fondamentali, quali la politica industriale, la finanza o la ricerca - garantendo allo stesso tempo equità sociale per una transizione giusta.

Facendo seguito agli inviti formulati dal Parlamento europeo e dal Consiglio europeo, la visione della Commissione per un futuro a impatto climatico zero interessa quasi tutte le politiche dell'UE ed è in linea con l'obiettivo dell'Accordo di Parigi di mantenere l'aumento della temperatura mondiale ben al di sotto i 2°C e di proseguire gli sforzi per mantenere tale valore a 1,5°C.

La visione strategica della Commissione è un invito rivolto a tutte le istituzioni dell'UE, ai parlamenti nazionali, alle imprese, alle organizzazioni non governative, alle città e alle comunità locali, così come ai singoli cittadini e, soprattutto ai giovani, affinché diano il loro contributo per garantire che l'UE possa continuare ad avere un ruolo guida in questo ambito, incoraggiando gli altri partner internazionali a fare lo stesso.

2.4. Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (Dicembre 2019)

Da tempo l'Italia persegue il più ampio ricorso a strumenti che migliorino insieme sicurezza energetica, tutela dell'ambiente e accessibilità dei costi dell'energia, contribuendo agli obiettivi europei in materia di energia e ambiente. L'Italia è ben consapevole dei potenziali benefici insiti nella vasta diffusione delle rinnovabili e dell'efficienza energetica, connessi alla riduzione delle



emissioni inquinanti e climalteranti, al miglioramento della sicurezza energetica e alle opportunità economiche e occupazionali per le famiglie e per il sistema produttivo, e intende proseguire con convinzione su tale strada, con un approccio che metta sempre più al centro il cittadino, anche nella veste di “*prosumer*” (in qualità di destinatario di beni e di servizi che non si limita al ruolo passivo di consumatore, ma partecipa attivamente alle diverse fasi del processo produttivo) e le imprese, in particolare medie e piccole.

Questa evoluzione sarà guidata dalla costante attenzione all’efficienza e sarà agevolata dalla riduzione dei costi di alcune tecnologie rinnovabili, tra le quali crescente importanza assumerà il fotovoltaico, in ragione della sua modularità e del fatto che utilizza una fonte ampiamente e diffusamente disponibile. L’Italia condivide pertanto l’orientamento comunitario teso a rafforzare l’impegno per la decarbonizzazione dell’economia e intende promuovere un *Green New Deal*, inteso come un patto verde con le imprese e i cittadini, che consideri l’ambiente come motore economico del Paese.

Lungo questo percorso strategico condiviso e consolidato si terranno in debita considerazione aspetti di sostenibilità economica e sociale, nonché di compatibilità con altri obiettivi di tutela ambientale. In aggiunta, si presterà la dovuta attenzione per assicurare la compatibilità tra gli obiettivi energetici e climatici e gli obiettivi di tutela del paesaggio, di qualità dell’aria e dei corpi idrici, di salvaguardia della biodiversità e di tutela del suolo. Gli interventi necessari per la crescente decarbonizzazione del sistema richiedono impianti e infrastrutture che possono avere impatti ambientali. Se, per un verso, alcuni di tali impatti possono essere attenuati - ad esempio promuovendo la diffusione del fotovoltaico su superfici già costruite o comunque non idonee ad altri usi - per altro verso la stabilità del sistema energetico richiede anche, almeno per il medio termine, una serie di infrastrutture fisiche per la cui realizzazione occorrerà promuovere forme di dialogo e condivisione con i territori per costruire i grandi impianti (aggiuntivi rispetto a quelli distribuiti, ma comunque necessari) e le altre infrastrutture fisiche, in modo da assicurare una ordinata e tempestiva realizzazione degli interventi, in coerenza con il percorso di raggiungimento degli obiettivi.

All’interno del Piano sono quindi contenuti, tra gli altri, gli obiettivi 2030 per l’Italia in materia di consumo di energie rinnovabili. Nel dettaglio, il PNIEC si prefigge:

- una percentuale di energia da FER nei Consumi Finali Lordi di energia pari al 30%;
- una quota di energia da FER nei Consumi Finali Lordi di energia nei trasporti del 22%, obiettivo più alto del target UE (14%). Si consideri che tale obiettivo consiste in un obbligo che gli Stati membri devono imporre in capo ai fornitori di carburante per assicurare che entro il 2030 la quota di energia da FER fornita sia almeno il 14 % del consumo finale di energia nel settore dei trasporti.

Il Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima intende concorrere a un’ampia trasformazione dell’economia, nella quale la decarbonizzazione, l’economia circolare, l’efficienza e l’uso razionale ed equo delle risorse naturali rappresentano insieme obiettivi e strumenti per un’economia più rispettosa delle persone e dell’ambiente, in un quadro di

integrazione dei mercati energetici nazionale nel mercato unico e con adeguata attenzione all'accessibilità dei prezzi e alla sicurezza degli approvvigionamenti e delle forniture.

2.5. Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)

Il 30 aprile 2021 il Governo italiano ha ufficialmente trasmesso il testo definitivo del PNRR alla Commissione europea. Il Piano delinea un “pacchetto completo e coerente di riforme e investimenti”, necessario ad accedere alle risorse finanziarie messe a disposizione dall'Unione europea con il Dispositivo per la ripresa e la resilienza (*Recovery and Resilience Facility* - RRF), perno della strategia di ripresa post-pandemica finanziata tramite il programma Next Generation EU (NGEU).

Le misure previste dal Piano si articolano intorno a tre assi strategici condivisi a livello europeo: digitalizzazione e innovazione, transizione ecologica, inclusione sociale. Seguendo le linee guida elaborate dalla Commissione europea, inoltre, il Piano raggruppa i progetti di investimento e di riforma in 16 Componenti, raggruppate a loro volta in 6 Missioni:

1. Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo
2. Rivoluzione verde e transizione ecologica
3. Infrastrutture per una mobilità sostenibile
4. Istruzione e ricerca
5. Coesione e inclusione
6. Salute.

Il Governo richiede all'Unione europea il massimo delle risorse RRF disponibili per l'Italia, pari a 191,5 miliardi di euro, di cui 68,9 miliardi in sovvenzioni e 122,6 miliardi in prestiti. A tali risorse, si aggiungono circa 13 miliardi di euro del programma REACT-EU e circa 30,62 miliardi di euro derivanti dal Piano nazionale per gli investimenti complementari finalizzato ad integrare con risorse nazionali gli interventi del PNRR. Con queste risorse, il Governo intende sia affrontare i problemi macroeconomici del Paese, più volte evidenziati dall'Unione europea con l'analisi approfondita svolta dalla Commissione europea nell'ambito della Procedura sugli squilibri macroeconomici, sia rispondere alle Raccomandazioni specifiche per paese (*Country Specific Recommendations* - CSR) rivolte all'Italia dal Consiglio dell'Unione europea, in particolare, nel 2019 e nel 2020.

Il Piano affronta inoltre tutte le tematiche considerate di punta dalla Commissione europea in quanto sfide comuni a tutti gli Stati membri. Si tratta dei sette programmi di punta (“*Flagship programs*”) europei:

1. *Power up* (Accendere);
2. *Renovate* (Ristrutturare);
3. *Recharge and refuel* (Ricaricare e Ridare energia);
4. *Connect* (Connettere);
5. *Modernise* (Ammodernare);

6. *Scale-up* (Crescere);
7. *Reskill and upskill* (Dare nuove e più elevate competenze).

Il Piano prevede inoltre un pacchetto di riforme destinate, nelle intenzioni del Governo, a concorrere al conseguimento degli obiettivi generali del PNRR attraverso la riduzione degli oneri burocratici e la rimozione dei vincoli all'aumento della produttività.

Con il programma Next Generation EU il Governo vuole anche affrontare una serie di ritardi storici del Paese che riguardano le persone con disabilità, i giovani, le donne e il Sud. A tale fine, le 6 Missioni del PNRR condividono delle priorità trasversali relative alle pari opportunità generazionali, di genere e territoriali. L'impatto sul recupero del potenziale dei giovani, delle donne e dei territori rappresenteranno fondamentali criteri di valutazione delle misure adottate. Tali obiettivi corrispondono anche alle raccomandazioni specifiche del 2019 e del 2020.

Nel PNRR, i progetti d'investimento in materia di transizione energetica e fonti rinnovabili sono enunciati nella Missione 2. In particolare, nella Componente C1 "Economia circolare e agricoltura sostenibile", sono previsti investimenti sui 'parchi agricoli' (1,5 miliardi), e, nella Componente C2 "Energia rinnovabile, Idrogeno, Rete e Mobilità sostenibile", hanno sede la quasi totalità dei programmi di investimento e ricerca per le FER tra cui, oltre lo sviluppo della filiera dell'idrogeno, le reti e le infrastrutture di ricarica per la mobilità elettrica, è previsto il sostegno allo sviluppo dei 'sistemi agrivoltaici' (M2-C2-1.1) (1,1 miliardi) attraverso l'installazione a regime di una capacità produttiva da impianti agro-voltaici pari a 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. La misura prevede:

- l'implementazione di sistemi ibridi agricoltura-produzione di energia senza compromissione dei terreni dedicati all'agricoltura, anche valorizzando i bacini idrici con soluzioni galleggianti;
- il monitoraggio delle realizzazioni e della loro efficacia, con la raccolta dei dati sia sugli impianti fotovoltaici sia sulla produzione e l'attività agricola sottostante. A tale fine, saranno concessi contributi a fondo perduto fino a 764 milioni di euro e prestiti agevolati fino a 336 milioni.

I costi di approvvigionamento energetico, ad oggi stimati pari a oltre il 20 per cento dei costi variabili delle aziende e con punte ancora più elevate per alcuni settori foraggeri e cerealicoli (30 per cento), verrebbero ridotti. L'investimento sarà attuato dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE), in stretto coordinamento con il Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali (MiPAAF), attraverso procedure aperte. I destinatari sono: le imprese e le organizzazioni (cooperative, consorzi, ecc.) che intendono realizzare impianti fotovoltaici a carattere sperimentale, anche in collaborazione con associazioni, enti pubblici e di ricerca. Inoltre, per questi interventi, si stimano 7.700 dipendenti

Come evidenzia il PNRR, i progetti in materia di energie rinnovabili, reti di trasmissione e distribuzione, filiera dell'idrogeno contribuiscono complessivamente alla creazione di occupazione, in particolare giovanile. In tale ambito, vengono comunque finanziati, con risorse ad hoc, progetti per le imprese start-up e venture capital attive nella transizione

ecologica (M2-C2-5.4). Quanto alla coesione sociale e territoriale, in alcuni casi è indicato specificamente il riparto delle risorse con priorità per le aree del Sud, come per i progetti in materia di Rafforzamento *smart grid* (M2-C2-2.1), di Produzione di idrogeno in aree industriali dismesse (M2-C2-3.1) e degli IPCEI *Important Projects of Common European Interest* (M4-C2-2.1); mentre in altri casi, le finalità di coesione sociale trovano motivazione all'interno della descrizione dell'intervento, ovvero sono individuabili sulla base dell'ambito territoriale in cui si svilupperanno alcuni progetti: questo è il caso dei progetti in materia di Promozione delle fonti rinnovabili per le comunità energetiche e l'auto-consumo (M2-C2-1.2), tra le cui finalità rientra quella di sostenere le piccole realtà territoriali a rischio di spopolamento e gli interventi sulla resilienza climatica delle reti elettriche (M2-C2-2.2), nonché i progetti in materia di fotovoltaico ed eolico (M2-C2-5.1), nonché il progetto sull'utilizzo dell'idrogeno in settori hard-to-abate (M2-C2-3.2) che vede coinvolta l'industria siderurgica italiana.

Quali riforme di settore, connesse agli interventi, il Piano prospetta, in linea con la delega al Governo per il recepimento della Direttiva RED II:

- la semplificazione delle procedure di autorizzazione per gli impianti rinnovabili onshore e offshore, e l'adozione di un nuovo quadro giuridico per sostenere la produzione da fonti rinnovabili e la proroga dei tempi e dell'ammissibilità degli attuali regimi di sostegno (M2-C2-R.1.1);
- l'adozione di una nuova normativa per la promozione della produzione e del consumo di gas rinnovabile (biometano) (M2-C2-R.1.2)
- la semplificazione amministrativa e la riduzione degli ostacoli normativi alla diffusione dell'idrogeno (M2-C3-R.3.1)
- l'adozione di misure volte a promuovere la competitività dell'idrogeno (M2-C3-R.3) incidono sullo stesso ambito di intervento.

2.6. L'European Green Deal e i nove obiettivi della PAC

La transizione verso un settore agricolo e alimentare più sostenibile è stata identificata come una delle priorità del Green Deal europeo. I sistemi agrivoltaici possono contribuire a questa ambizione e contemporaneamente accelerare la decarbonizzazione del settore energetico dell'UE.

Agricoltura sostenibile

La proposta della Commissione europea di modernizzare la PAC è strettamente legata all'ambizione di "rendere più verde" la politica agricola dell'UE, adattandola ai cambiamenti necessari per affrontare le sfide socio-economiche, energetiche e climatiche. In questa luce, la Commissione europea ha proposto che il pilastro della PAC incentrato sullo "sviluppo rurale" cerchi di raggiungere 9 obiettivi specifici che si concentrano sulla vitalità economica, la

resilienza e il reddito delle aziende agricole, su una migliore performance ambientale e climatica e sul rafforzamento del tessuto socioeconomico delle zone rurali.



Figura 1. I nove obiettivi della PAC

L'attuale uso della terra e delle risorse idriche nell'UE non è ottimale. Circa 80.000 ettari di terra coltivabile sono andati persi ogni anno nel periodo tra il 2000 e il 2017, a causa dell'abbandono della terra e dell'espansione delle aree urbanizzate. Per affrontare questo problema, nel 2011 la Commissione europea ha proposto di fissare un obiettivo di "consumo netto di terra pari a zero". L'agricoltura, la silvicoltura e la pesca rappresentano la parte del leone nel consumo di acqua nell'UE, con circa il 40% delle risorse idriche nel 2015. La gestione sostenibile delle scarse risorse idriche sarà essenziale per mantenere le pratiche agricole nell'UE.

L'agricoltura è uno dei settori socio-economici più dipendenti dal clima, e il cambiamento climatico influisce sul settore in modi complessi. L'agricoltura è particolarmente vulnerabile al cambiamento climatico, a causa della maggiore instabilità della quantità e dei tempi delle precipitazioni e del ripetersi di eventi climatici e meteorologici estremi (temperature medie più elevate e lunghe siccità). Tra il 2007 e il 2016, le temperature dei terreni in Europa sono state di circa 1,6°C più calde rispetto all'epoca preindustriale. Essa è ulteriormente colpita dalla crisi ecologica e ambientale che mette in pericolo gli insetti impollinatori, aumenta la minaccia dei parassiti sulle piante sotto stress e colpisce i microrganismi che rigenerano la capacità produttiva del suolo.

Anche le popolazioni rurali stanno diminuendo in tutta l'UE. Tra il 2013 e il 2017, circa 500.000 persone hanno lasciato le zone rurali a favore di centri urbani più grandi. Le prospettive di lavoro nelle zone rurali sono basse. In molti Stati membri, il reddito degli agricoltori dell'UE è ancora significativamente inferiore alla media e la disoccupazione giovanile è in forte aumento con un tasso medio del 18%, tra il 2015-2017.

Agrivoltaico e agricoltura sostenibile

Gli impianti agrivoltaici possono accelerare la transizione verso un sistema agricolo sostenibile che contribuisca al raggiungimento degli obiettivi del Green Deal europeo, in particolare quelli



della legge europea sul clima, della direttiva sulle energie rinnovabili, della PAC, della strategia sulla biodiversità e della strategia Farm to Fork. In particolare, i sistemi agrivoltaici possono:

1. Contribuire ad un uso responsabile delle risorse naturali come la terra e l'acqua.

I progetti agrivoltaici sono un modo responsabile di gestire la terra e l'acqua. Se progettati e gestiti in modo sostenibile, possono migliorare la produttività per ettaro, riducendo contemporaneamente il degrado del suolo, il consumo di acqua o l'uso di plastica monouso. I sistemi agrivoltaici, che associano un impianto fotovoltaico e un'attività agricola sostenibile, possono contribuire a ridurre il fabbisogno idrico dell'agricoltura schermando le colture dal calore e riducendo l'evapotraspirazione. L'ombreggiamento in eccesso è particolarmente vantaggioso per le aree aride e con limitazioni idriche, e per proteggere da gravi siccità in specifiche aree geografiche. Uno studio ha indicato che, a seconda del livello di ombreggiamento da parte dei pannelli fotovoltaici, il risparmio di acqua potrebbe raggiungere tra il 14-29%. Le piante con una minore densità di radici e un alto tasso fotosintetico netto sono candidati ideali per essere coltivate all'interno di un sistema agrivoltaico.

2. Promuovere pratiche agricole sostenibili.

Gli impianti agrivoltaici possono prevedere misure fisiche di controllo dei parassiti, come le reti, e quindi ridurre l'uso di prodotti chimici per il controllo dei parassiti e possono contribuire alla sicurezza alimentare e alla protezione della biodiversità. Una recente ricerca dell'associazione tedesca per l'innovazione del mercato energetico (BNE) ha dimostrato che gli impianti fotovoltaici su larga scala, se progettati per essere compatibili con la natura, hanno effetti positivi sulla biodiversità, rispetto alla maggior parte degli usi convenzionali e monoculturali. I sistemi agrivoltaici possono anche contribuire a una maggiore cattura del carbonio, che è stata identificata dal Gruppo internazionale sui cambiamenti climatici (IPCC) come un potenziale significativo per ridurre le emissioni di gas serra.

3. Aumentare la resilienza dell'agricoltura dell'UE al cambiamento climatico e ad altri shock e stress.

Le soluzioni agrivoltaiche possono essere progettate per affrontare gli effetti negativi del cambiamento climatico sull'agricoltura. Pertanto, possono proteggere e ombreggiare le attività agricole da eventi meteorologici inaspettati ed estremi come la grandine, l'eccessiva radiazione solare, e da parassiti e malattie.

4. Sostenere lo sviluppo sostenibile nelle aree rurali attraverso rendimenti più alti e nuove opportunità di business.

La combinazione intelligente di infrastrutture solari e agricole può permettere alle comunità rurali di diventare più competitive e sostenibili. La coniugazione di agricoltura e fotovoltaico permette di ottenere una maggiore efficienza nell'uso del suolo. Le simulazioni indicano che i sistemi agrivoltaici possono aumentare l'efficienza dell'uso del suolo fino al 60-70% rispetto ai monosistemi equivalenti. Un sistema agrivoltaico sperimentale con coltivazione di patate in Germania ha portato a un rendimento del 103% rispetto a un controllo, mentre i sistemi fotovoltaici hanno generato l'83% dell'elettricità che sarebbe stata generata su un appezzamento



di terreno simile, portando a un aumento dell'86% dell'efficienza nell'uso della terra. Pur mantenendo l'uso agricolo come uso primario della terra, il suo doppio uso serve anche a diversificare i redditi degli agricoltori, proteggendo i redditi e lo sviluppo socioeconomico delle comunità rurali anche in caso di estrema siccità. Un ulteriore vantaggio comprende la riduzione del costo dell'assicurazione da un potenziale fallimento del raccolto. L'accoppiamento di colture che tollerano l'ombreggiamento con i sistemi agrivoltaici aumenta il valore economico delle aziende agricole rispetto alle pratiche agricole convenzionali. Collocare i pannelli fotovoltaici sopra le colture aiuta a stabilizzare i rendimenti delle colture e in alcuni casi può persino aumentare il rendimento elettrico dell'impianto fotovoltaico grazie all'effetto di raffreddamento delle piante sui pannelli fotovoltaici. Il reddito extra va a beneficio delle comunità rurali e migliora le infrastrutture rurali, le catene del valore e la fornitura distribuita di elettricità, che a sua volta può promuovere l'agricoltura locale. Uno studio del 2017 mostra che importanti benefici potrebbero arrivare agli agricoltori, specialmente nel sud dell'Europa. Nel caso specifico della Spagna, la redditività di un'azienda agricola ha registrato un aumento del 9,89%, che salirebbe al 14,1% se gli investimenti fossero sostenuti da aiuti statali. Un altro studio ha indicato che l'implementazione di sistemi agrivoltaici può aumentare il reddito agricolo di oltre il 30%.

Il fotovoltaico, come la tecnologia di energia pulita più scalabile e conveniente, può permettere agli agricoltori di essere al centro del Green Deal europeo e della ripresa verde post-COVID. Il fotovoltaico crea più posti di lavoro per megawatt di potenza installata rispetto a qualsiasi altra fonte di energia. I modelli agrivoltaici di business possono, inoltre, contribuire alla creazione di nuove comunità agricole di energie rinnovabili.

3. I sistemi agrivoltaici

3.1. Stato dell'arte sulla ricerca scientifica

Nel 2015 tutti gli Stati membri delle Nazioni Unite (ONU) hanno adottato l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile [1], che definisce 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, SDGs), per la pace e la prosperità per le persone e il pianeta, ora e nel futuro. Tre anni dopo (2018), nel suo Rapporto sui progressi rispetto ai SDGs, l'ONU ha evidenziato che i conflitti e il cambiamento climatico sono stati i principali fattori che hanno portato a un numero crescente di persone ad affrontare la fame e l'emigrazione forzata, oltre a ridurre i progressi verso l'accesso universale ai servizi idrici e sanitari di base [2].

Il Gruppo di lavoro internazionale delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (IPCC), ha dichiarato che le attività umane hanno causato circa 1.0 °C di riscaldamento globale al di sopra dei livelli preindustriali ed è probabile che il riscaldamento raggiunga 1,5 °C tra il 2030 e il 2052 se continua ad aumentare al ritmo attuale [3]. L'energia rinnovabile (RE) ha un grande potenziale per mitigare il cambiamento climatico riducendo l'uso di combustibili fossili, e, potenzialmente, può generare feedback positivi se implementata correttamente, contribuendo allo sviluppo sociale ed economico, all'accesso all'energia, alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla riduzione degli impatti negativi sull'ambiente e salute) [4]. D'altra parte, se non attuate correttamente, alcune tecnologie rinnovabili comportano emissioni di GHG superiori ai combustibili fossili con cui sono in competizione [5], soprattutto per quanto riguarda l'utilizzo di biomasse per la produzione di energia a causa di problematiche relative a emissioni di particolato [6] o eutrofizzazione [7] che non sono sempre adeguatamente identificate e comunicate ai decisori politici [8].

Nel 2019, per il quarto anno consecutivo, la capacità di generazione di energie rinnovabili ha superato quella dei combustibili fossili e del nucleare. Sono stati installati circa 100 GW di solare fotovoltaico (PV) che rappresenta il 55% delle fonti di energia rinnovabile, seguito dall'eolico (28%) e dall'idroelettrico (11%). Nel complesso, l'energia rinnovabile è cresciuta fino a rappresentare oltre il 33% della capacità di generazione installata a livello mondiale [9].

Uno degli aspetti da prendere in considerazione è l'impatto delle energie rinnovabili sull'occupazione di terreno, questa può risultare contenuta nel caso di impianti fotovoltaici installati sugli edifici [10]. In generale, le turbine eoliche occupano meno terreno dei sistemi solari (circa la metà) mentre la produzione di energia da biomassa determina la più alta occupazione di suolo; Dijkman [11] ha trovato un rapporto tra produzione di energia e utilizzo di suolo pari rispettivamente a 100, 42 e 1 per l'eolico, il solare e le biomasse).

Nel 2018 l'Unione Europea ha fissato obiettivi ambiziosi nella strategia di produzione energetica al 2030 con le rinnovabili che dovrebbero coprire il 32% del consumo energetico totale [12]; l'Italia prevede di realizzare numerosi impianti fotovoltaici per raggiungere i suoi obiettivi climatici [13].

Nonostante la sua intima connessione con lo sviluppo sostenibile [14], la produzione di energia rinnovabile non è immune dalle critiche, soprattutto quando interferisce con l'uso effettivo del suolo, come dimostrato dal dibattito *fuel vs food* [15].

Tra le energie rinnovabili, il solare fotovoltaico (PV) è la tecnologia di generazione di energia che mostra il maggiore tasso di crescita [16]. Molti studi hanno affrontato i potenziali impatti degli impianti fotovoltaici, in particolare per quanto riguarda il conflitto che gli impianti fotovoltaici su larga scala possono generare sui terreni agricoli [17-20] mentre Calvert e Mabee [21] hanno sviluppato una metodologia per confrontare il potenziale di produzione e l'efficienza dell'uso del suolo delle soluzioni fotovoltaiche e bioenergetiche.

Sebbene l'energia fotovoltaica abbia un basso fabbisogno di terra rispetto ad altre opzioni di energia rinnovabile [22], la sua integrazione nel paesaggio dovrebbe essere concepita per ridurre al minimo i cambiamenti negativi nell'uso del suolo e favorire l'accettazione da parte della comunità [23]. La combinazione della produzione di energia fotovoltaica e delle attività agricole ha molte potenziali declinazioni [24].

Mentre l'integrazione dei pannelli fotovoltaici con le infrastrutture agricole, ad esempio nei sistemi di essiccazione [25], nella depurazione delle acque reflue [26] o per il sollevamento dell'acqua [27], si è dimostrata tecnicamente fattibile e fornisce molteplici vantaggi [24], l'uso di terreni agricoli per l'installazione di impianti fotovoltaici a terra, in alcuni casi, è stato limitato dai governi e dalle autorità locali per evitare il consumo di suolo, l'impatto sul paesaggio e la concorrenza con la produzione alimentare [28].

Ad oggi, gli impianti fotovoltaici progettati per combinare la produzione di energia fotovoltaica con le colture alimentari nella stessa installazione sono principalmente legati alle applicazioni in serra, come strategia di risparmio energetico [29] o per aumentare il reddito dell'agricoltore [30]. Le serre fotovoltaiche sono molto diffuse in Europa meridionale [31] e hanno visto una rapida espansione in Cina [32] grazie alle tariffe incentivanti applicate.

Al contrario, pochi sistemi fotovoltaici sono stati progettati per superare la concorrenza tra energia e cibo combinando la produzione fotovoltaica di energia con le colture in pieno campo, un concetto che è stato proposto per la prima volta da Goetzberger e Zastrow [33].

Il sistema sperimentale, proposto dagli autori nel 1982, combinava pannelli fotovoltaici statici installati a 4 m dal suolo con le colture coltivate nel terreno sotto i pannelli [34; 35], venne definito per la prima volta come 'sistema agrivoltaico'. Tali sistemi sono basati sul concetto che un'ombreggiatura parziale può essere tollerata dalle colture e potrebbe ridurre il consumo di acqua per evapotraspirazione durante il periodo estivo e in condizioni di siccità [36]. È stato anche dimostrato che una coltura tollerante l'ombreggiamento, come la lattuga, coltivata sotto i pannelli fotovoltaici, adatta la sua morfologia (ad esempio producendo foglie più larghe) senza riduzione della resa, e che l'energia elettrica complessiva abbinata alla produzione di lattuga in agricoltura ha generato un aumento del 30% rispetto al valore economico di una coltivazione convenzionale.

È stato proposto che i vantaggi dei sistemi agrivoltaici potrebbero essere legati alla loro somiglianza con i sistemi agroforestali [37]; i pannelli fotovoltaici potrebbero contribuire alla protezione delle colture dal calore eccessivo e mitigare la temperatura del suolo [38], il che potrebbe rendere i sistemi agrivoltaici più resistenti ai cambiamenti climatici rispetto alle monocolture [37].

Dinesh e Pearce [36] hanno eseguito un'analisi tramite modelli matematici di simulazione della coltivazione della lattuga sotto i pannelli fotovoltaici anche in termini di resa della coltura e del bilancio energetico. Gli autori hanno dimostrato che il valore dell'elettricità generata dal sole abbinato alla produzione di colture tolleranti l'ombreggiamento, ha determinato un aumento di oltre il 30% del valore economico nelle aziende agricole che utilizzano sistemi agrivoltaici.

Majudmar e Pasqualetti [39] propongono l'implementazione di sistemi agrivoltaici come strategia sostenibile nelle aree periurbane per generare elettricità senza emissioni di carbonio, preservare i terreni agricoli fornendo un'opportunità di contenere la crescita urbana, di aumentare il valore della terra e produrre vantaggi per gli agricoltori. L'implementazione di successo di sistemi agrivoltaici dipende in ultima analisi dall'accettazione degli agricoltori, che è funzione della loro percezione dei benefici dei sistemi agrivoltaici.

L'aumento del valore della terra [36] e la produttività della terra [34] sono attribuiti molto convincenti dei sistemi agrivoltaici e, in questo contesto, società di servizi potrebbero ulteriormente stimolare lo sviluppo di questi sistemi attraverso incentivi per gli agricoltori [39].

La comprensione che la resa della coltivazione non è compromessa seriamente (in alcuni casi può rimanere uguale o aumentare) e che l'efficienza d'uso dell'acqua può essere maggiore [36], fornirebbero un'ulteriore spinta verso la diffusione dei sistemi agrivoltaici in pieno campo. La produzione di energia in aggiunta alle coltivazioni non trasformerebbe radicalmente le imprese degli agricoltori, ma consentirebbe l'integrazione del loro reddito, aumenterebbe il loro autoconsumo di energia e, infine, ridurrebbe la spesa pubblica per le energie rinnovabili [30].

Analisi modellistiche hanno dimostrato che la produzione di un sistema agrivoltaico può essere ottimizzata modificando l'architettura dei pannelli [36; 40] e che la produttività delle coltivazioni può essere stimolata regolando l'inclinazione del pannello durante il ciclo colturale [40]. L'installazione di pannelli che regolano automaticamente la loro inclinazione potrebbe consentire di massimizzare sia la produzione agricola che quella energetica [40]. Le prime ricerche sui sistemi agrivoltaici erano limitate a casi studio con pannelli fissi [35], solo recentemente sono state effettuate ricerche sui sistemi con dispositivi fotovoltaici mobili a 1 asse [40].

L'impatto dovuto all'ombreggiamento dei moduli fotovoltaici sulle attività agricole necessita di ulteriori ricerche al fine di valutare l'effetto sulla fisiologia delle colture, sul suolo e sulla produzione agricola [41].

I risultati di ricerche effettuate in questo settore indicano come l'ombreggiamento causato dai moduli fotovoltaici riduce l'evapotraspirazione e risulta benefico soprattutto durante la stagione estiva [42]. La presenza dei pannelli fotovoltaici (in analogia agli alberi) protegge le colture dal

riscaldamento eccessivo e determina una mitigazione della temperatura del suolo [43]. Marrou et al. [44] hanno rilevato che il tasso di crescita delle colture coltivate sotto gli impianti agrivoltaici non si riduce se non durante le prime fasi del ciclo biologico delle colture. Dupraz et al. [43] su frumento coltivato in un sistema agrivoltaico a due diverse densità di semina, hanno riscontrato sotto i moduli un decremento della resa del 19 e dell'8% rispettivamente per l'alta e la bassa densità, in confronto alla resa ottenuta in piena luce. Dinesh e Pierce hanno verificato che la resa della lattuga in condizioni parzialmente ombreggiate è diminuita tra lo 0 e il 42% rispetto alla piena luce, a seconda della densità dei pannelli fotovoltaici e della stagione di coltivazione [36]. Schindele et al. [41] ha riferito che l'effetto della coltivazione sotto un impianto agrivoltaico in Germania sulla resa di grano e patate poteva essere negativo o positivo a seconda delle condizioni meteorologiche.

Tuttavia, questi studi non hanno analizzato l'impatto dello stress idrico, a differenza di Amaducci et al. [42] dove è stata simulata la resa in granello del mais coltivato in condizioni di ombra parziale sotto un impianto agrivoltaico utilizzando un set di 40 anni di dati climatici di una località nel nord Italia. Confrontando i risultati ottenuti in condizioni di pioggia e irrigazione, è stato riscontrato che quando l'acqua è un fattore non limitante, la resa del mais negli impianti agrivoltaici era leggermente inferiore a quella del mais coltivato in piena luce; tuttavia, in presenza di condizioni di stress idrico, la resa media era più alta e più stabile sotto i moduli fotovoltaici che in condizioni di piena luce.

In una recente review Weselek et al. [44] concludono che considerando gli impatti del cambiamento climatico nelle condizioni colturali dei climi aridi, i sistemi agrivoltaici potranno apportare benefici per la produzione agricola dovuti all'ombreggiatura determinata dalla presenza dei moduli e ad una maggiore efficienza dell'uso dell'acqua da parte delle colture.

Ciò indica che gli impianti agrivoltaici, influenzando positivamente sulle rese delle colture, sulla produzione di energia pulita e sul risparmio idrico, potranno svolgere un ruolo significativo nel nesso energia-cibo-acqua, incrementando la resilienza del settore agricolo nei confronti dei cambiamenti climatici, prevedendo impatti maggiormente positivi nel momento in cui si svilupperanno sistemi, tecniche colturali e varietà più adatte alle condizioni degli impianti agrivoltaici.

3.2. Caratteristiche dei sistemi agrivoltaici integrati con l'agricoltura

3.2.1. Disponibilità di irraggiamento

Come descritto nella Prassi di riferimento UNI/PdR 148:2023 (UNI, Ente Italiano di Normazione, 2023), la disponibilità e l'omogeneità dell'irraggiamento a terra devono essere prese in considerazione in tutte le fasi di progettazione dell'impianto e verificate secondo la proposta colturale agricola, al fine di garantire un livello di irraggiamento sufficiente per la crescita delle colture.

Una questione fondamentale legata all'implementazione dei sistemi agrivoltaici è l'impatto dei pannelli fotovoltaici sulla produttività delle colture. Le strutture di un impianto agrivoltaico possono influenzare le condizioni micro-meteorologiche del campo, tra queste, i pannelli causano un ombreggiamento che riduce il livello di radiazione solare disponibile per le colture.

La radiazione intercettata delle piante è il principale motore della crescita e dello sviluppo delle colture; tuttavia, solo una frazione della radiazione viene effettivamente assorbita dalle piante durante la fotosintesi. L'idoneità delle specie vegetali alla coltivazione in agrivoltaico può essere basata sulle loro curve di risposta alla luce al fine di descrivere come il tasso di fotosintesi varia in funzione della luce. In particolare, le curve di risposta alla luce della CO₂ sono caratterizzate da due parametri significativi:

- il punto in cui l'attività fotosintetica della pianta eguaglia la respirazione, definito come Punto di Compensazione della Luce (LCP); e
- il Punto di Saturazione della Luce (LSP) in cui il tasso fotosintetico raggiunge il massimo, oltre il quale ulteriori incrementi di luce non aumentano l'assimilazione.

In generale, le colture sensibili all'ombra necessitano di un'intensità media giornaliera della Radiazione di Attivazione della Fotosintesi (PAR) superiore a LCP per ottenere una resa commerciabile. In letteratura, la riduzione relativa della resa osservata in varie condizioni sperimentali di agrivoltaico è stata riportata per diverse colture. Nella maggior parte dei casi, con una riduzione dell'intensità della radiazione tra il 20% e il 40%, la riduzione della resa è stata tra il 20% e il 25%.

Questi dati evidenziano una forte variazione nella risposta all'ombreggiamento tra le specie di colture. La verifica deve tenere conto di tutte le parti dei moduli fotovoltaici e della struttura portante che influiscono in modo significativo sulla disponibilità di luce. Ai fini del calcolo della superficie ombreggiante, le strutture dell'impianto sono da considerarsi elementi completamente ombreggianti, mentre i materiali di vetratura e incapsulamento tra le celle fotovoltaiche possono essere definiti come uno spazio libero da celle con una trasmittanza del 100%.

L'allineamento e le distanze tra le file dei moduli non sono soggetti a particolari limitazioni e/o requisiti e sono lasciati alla decisione del proponente, sempre nel rispetto dei requisiti tecnici. Tuttavia, questi devono essere pianificati e allineati in base alla disponibilità e all'omogeneità della luce.

Le distanze devono essere scelte in modo tale che gli effetti di sinergia tecnico-ecologica ottenuti attraverso l'ombreggiatura e l'omogeneità della luce siano il più elevati possibile e si evitino effetti negativi sulla crescita delle piante.

3.2.2. Fertilità del suolo

Secondo quanto riportato dalla certificazione Afnor per i sistemi agrivoltaici (Label Projet Agrivoltaique - Afnor, 2021) i risultati di un progetto agrivoltaico in termini di prestazioni



agricole possono essere misurati dopo la messa in funzione dell'impianto e talvolta il tempo necessario può essere maggiore di 4 o 5 anni in funzione del tipo di attività agricola. Infatti, ad esempio, se si tratta di colture perenni i risultati non possono essere valutati nel breve periodo.

Anche nel caso di valutazione della fertilità del suolo, questa analisi deve essere fatta nel medio lungo periodo in linea con la durata dell'impianto agrivoltaico. Quando si parla di fertilità del suolo per un sistema agrivoltaico devono essere soddisfatti determinati requisiti all'interno di tre fasi progettuali:

- fase di progettazione e sviluppo del progetto agrivoltaico;
- fase operativa;
- fine progetto agrivoltaico.

I requisiti da soddisfare durante la fase di progettazione e sviluppo del progetto sono da considerarsi in base alla tipologia di impianto agrivoltaico da installare e conseguenti lavorazioni necessarie (ad esempio movimentazione del suolo).

È importante valutare quali siano quelle operazioni che disturbino di meno la flora e la fauna presente nell'areale di installazione e il suolo stesso (es. minore compattamento, minore erosione) e anche il paesaggio al fine di poter avere una continuità agroecologica del sito di interesse.

Per un confronto adeguato, la fertilità dovrebbe essere monitorata anche in fase ante operam. Durante la fase operativa, sono necessari dei sistemi di monitoraggio per la produzione agricola atti a valutare la fertilità del suolo in base al tipo di coltivazione, al tipo di indirizzo produttivo scelto e al tipo di impianto installato.

È necessario valutare la fertilità del suolo in ambiente agrivoltaico e in funzione dell'attività agricola. In questo ultimo caso, la presenza di un'area di riferimento in pieno campo con la coltura scelta è utile a valutare la fertilità del suolo in condizioni di riferimento di coltivazione e confrontarla con le condizioni presenti in ambiente agrivoltaico in quanto, se le aree vengono gestite in egual modo, permettono una valutazione reale di come la fertilità del suolo può essere influenzata dalla presenza del sistema agrivoltaico.

Oltre alla valutazione della fertilità del suolo, quest'area è utile al monitoraggio durante tutto il ciclo colturale e per la valutazione della resa agricola ottenuta in condizioni agrivoltaiche e in condizioni di riferimento (pieno campo).

A fine progetto agrivoltaico è di fondamentale importanza valutare l'uso del suolo a seguito di un'installazione agrivoltaica. Questo requisito è da tenere in considerazione sia per le aree che sono da sempre state destinate all'uso agricolo, che soprattutto per quelle aree che, prima dell'installazione dell'impianto agrivoltaico, non erano utilizzate per l'attività agricola.

Questo aspetto è già indicato nelle Linee Guida MiTE (requisito E.1) ed è correlato ad un recupero della fertilità del suolo, ad esempio in termini di sostanza organica, stoccaggio di carbonio, fauna tellurica e quindi di produttività di un suolo agricolo. Il requisito E.1 indica

l'importanza di monitorare i casi in cui sia ripresa l'attività agricola su superfici agricole non utilizzate negli ultimi 5 anni.

Le misurazioni sulla fertilità del suolo sono richieste obbligatoriamente per gli impianti agrivoltaici avanzati che accedono ai fondi del PNRR (requisito E.1 delle Linee Guida MiTE). Tuttavia, si ritiene siano degli indicatori efficaci dell'impatto dell'agrivoltaico sulla capacità del suolo di fornire importanti servizi ecosistemici ed è quindi consigliabile monitorarli in tutti i sistemi agrivoltaici.

3.2.3. Integrazione tra attività agricola e gestione dell'impianto fotovoltaico

I risultati presenti in letteratura hanno dimostrato come colture coltivate in ambiente agrivoltaico riescono ad utilizzare l'acqua più efficientemente, tollerano meglio le temperature elevate e sono protette da eventi meteorologici quali ad esempio grandine, stress termico, siccità.

Inoltre, è stato dimostrato che il rapporto tra colture e pannelli fotovoltaici è sinergico e può portare a incrementi di produzione elettrica. Sono tre principalmente i vantaggi connessi all'incremento della produzione elettrica grazie alla presenza delle colture:

1. l'attività evapotraspirativa delle colture, riducendo la temperatura dell'aria in prossimità dei pannelli provoca un effetto di cooling della superficie del pannello che in questo modo permette un aumento dell'efficienza energetica;
2. la riduzione dell'accumulo di polvere e altri materiali sui pannelli grazie alla presenza delle colture rispetto a una condizione di suolo nudo (non coltivato). Infatti, una delle problematiche principali riportate per gli impianti fotovoltaici a terra è la diminuzione di produzione energetica a causa dell'accumulo di polveri sulla superficie del pannello fotovoltaico;
3. l'albedo delle colture che rappresenta un vantaggio per migliorare l'efficienza energetica dei pannelli fotovoltaici grazie alla presenza delle colture al di sotto dei pannelli fotovoltaici rispetto al suolo nudo. Infatti, la capacità delle colture di riflettere maggiormente la luce (albedo) rispetto ad un suolo nudo utilizzando pannelli bifacciali può incrementare la produzione energetica del sistema. Nei sistemi agrivoltaici, la gestione agronomica del suolo e delle colture può generare delle problematiche per l'accumulo di polveri sui moduli fotovoltaici, che si verifica con un impatto maggiore rispetto ad impianti su tetto o su asfalto, ma pur sempre in quantità minore rispetto a suolo non coltivato.

Infatti, attraverso le lavorazioni preparatorie, complementari e consecutive del suolo, le varie pratiche agronomiche durante il ciclo colturale (es. concimazione, trattamenti fitosanitari, ecc.) e in base alle fasi fenologiche delle colture (es. durante la fioritura in cui la presenza di polline è maggiore) possono causare l'accumulo di polveri sul pannello.

Vi sono tuttavia degli accorgimenti da poter attuare al fine di ridurre questo fenomeno, per esempio attraverso la gestione delle macchine e dell'inclinazione dei pannelli fotovoltaici durante le lavorazioni: aumentando l'inclinazione, il rischio che la polvere si accumuli risulta

minore. Un ulteriore accorgimento è quello di far combaciare, laddove possibile, l'ingresso in campo delle macchine per diverse attività agronomiche (per es. per concimazioni o trattamenti fitosanitari), così da evitare il ripetuto ingresso in campo delle macchine all'interno di un impianto agrivoltaico e quindi limitare l'accumulo di polveri in un preciso momento.

Questo accorgimento permetterebbe anche di prevedere la pulizia dei pannelli fotovoltaici in determinati intervalli di tempo evitando di effettuarla ogni qualvolta si effettuano delle operazioni agrarie. Un ulteriore aspetto da considerare per le operazioni di pulizia dei pannelli riguarda la definizione di interventi da effettuare in determinate fasi del ciclo colturale a seconda della coltura che si ha in campo. Infatti, se vi è una coltura che durante la fase di fioritura tende a rilasciare nell'aria una quantità di polline tale da accumularsi sui pannelli, è bene operare al termine di questa fase fenologica o successivamente alle varie fasi agronomiche. In questo modo, non solo si garantisce un ingresso per la pulizia dei pannelli in periodi definiti ma si evita un ulteriore compattamento del suolo a causa dell'ingresso delle macchine. Questo aspetto riguardante le fasi fenologiche non è da considerarsi tale solo per la fioritura ma è da valutare in base al tipo di coltura che si sta coltivando.

Inoltre, un altro aspetto riguardante le lavorazioni in campo da attenzionare riguarda la velocità di lavorazione delle macchine, in quanto maggiore è la loro velocità maggiore è il sollevamento di polvere dal suolo. Quindi, gestendo contemporaneamente gli aspetti precedentemente descritti è possibile migliorare la gestione del sistema agrivoltaico.

Altri aspetti da tenere in considerazione per una migliore integrazione dell'attività agricola con l'impianto fotovoltaico sono:

- la scelta delle macchine e degli organi lavoranti in base alla distanza fra i singoli tracker o in base all'altezza dei pannelli;
- la pratica agronomica scelta (per es. minimum tillage, zero tillage, strip-tillage, ecc.) in base al tipo di coltura e di suolo così da gestire efficacemente l'impianto agrivoltaico;
- l'altezza delle colture in base al tipo di sistema agrivoltaico;
- le diverse soluzioni tecnologiche che possono essere utilizzate al fine di poter migliorare l'integrazione del sistema agrivoltaico con l'attività agricola.

Una di queste riguarda l'utilizzo dell'acqua piovana. Un sistema di raccolta dell'acqua dalla superficie dei moduli fotovoltaici del sistema agrivoltaico può svolgere una doppia funzione: utilizzare l'acqua raccolta per pulire i moduli dalla polvere e dall'accumulo di altri materiali e fornire una riserva irrigua specialmente nei mesi siccitosi. L'uso dell'acqua raccolta, combinata a sistemi di microirrigazione, consentirebbe un'ulteriore efficienza nell'utilizzo d'acqua da parte delle colture.

3.2.4. Digitalizzazione dei sistemi agricoli

Il processo di digitalizzazione delle imprese, che era già in atto ancor prima della pandemia, ha subito nel corso dell'emergenza sanitaria un'accelerazione notevole per il necessario ricorso a forme di lavoro agile. Anche se ovviamente questo processo non si può applicare integralmente

con la stessa modalità e intensità in agricoltura, per l'impossibilità di remotizzare gran parte delle attività lavorative, la digitalizzazione consente la modernizzazione dei sistemi agricoli. I sistemi agrivoltaici, e in particolare quelli avanzati per i quali si richiede l'obbligo dell'uso di sistemi di monitoraggio su entrambe le produzioni, si prestano ad adottare una organizzazione del lavoro basata su questi criteri.

A tale proposito, le Linee Guida del MiTE - al punto 3.3 - presentano un'ampia sintesi dei vantaggi prodotti dall'applicazione dei moderni concetti dell'agricoltura di precisione. Anche la digitalizzazione dell'energia può essere di valido aiuto ai sistemi agrivoltaici.

La manutenzione predittiva dell'impianto fotovoltaico con l'uso della sensoristica rende possibile raccoglierne in tempo reale i segnali, inviarli su un cloud o su una piattaforma e quindi monitorare con l'uso di software innovativi l'impianto, osservarne eventuali dati anomali e, quindi, individuandone tempestivamente i potenziali rischi. La manutenzione predittiva, grazie alla quale gli interventi riparativi possono essere eseguiti senza fretta e nei momenti in cui interferiscono meno con l'attività produttiva, risulterebbe estremamente importante per i sistemi complessi come sono i sistemi agrivoltaici, consentendo di ridurre al minimo l'interferenza reciproca delle due attività.

L'individuazione in *real-time* di inefficienze consente un miglioramento delle performance e dell'efficienza dell'intero sistema. Per quanto riguarda il trasporto e la distribuzione dell'elettricità prodotta la digitalizzazione spinta ha portato allo sviluppo delle *smart grid*, che consentono una gestione efficiente e moderna del sistema elettrico e rappresentano una soluzione particolarmente importante per le fonti rinnovabili intermittenti come il FV favorendo una maggiormente integrabilità nella rete.

I sistemi agrivoltaici si inseriscono bene in questo scenario dove la rete diventa sempre più flessibile e decentrata passando dal vecchio schema *top-down*, in cui l'energia fluiva in modo unidirezionale dal produttore al consumatore, a un modello di generazione distribuita in cui sono sempre più numerosi i piccoli produttori e i consumatori sono in grado di immettere elettricità nella rete.

3.3. Linee guida e standard di organismi internazionali sui sistemi agrivoltaici

3.3.1. National Solar Centre (BRE), Inghilterra

Questo documento [45] pubblicato nel mese di luglio 2014, descrive le esperienze e i principi delle buone pratiche ad oggi realizzate per la gestione del bestiame di piccola taglia nei parchi fotovoltaici installati su terreni agricoli, terreni abbandonati o marginali e terreni precedentemente edificati.

Il documento fu proposto inizialmente come appendice al '*Planning guidance for the development of large scale ground mounted solar PV systems*' [46]. Esso dovrebbe essere preso in considerazione unitamente ad un altro documento del BRE National Solar Centre dal titolo '*Biodiversity Guidance for Solar Development*' [47].

Questa guida è stata sviluppata e approvata da una serie di importanti organizzazioni che operano nel settore degli impianti fotovoltaici nel Regno Unito e che si occupano di agricoltura e gestione del territorio.

In conformità con i “10 Impegni” di buona pratica stabiliti dalla Solar Trade Association, la maggioranza degli sviluppatori di parchi solari incoraggiano attivamente l'utilizzo multiuso del suolo, attraverso la prosecuzione dell'attività agricola o misure agroambientali che supportino la biodiversità, producendo benefici sia economici che ecologici.

Viene comunemente proposto nei progetti di parchi solari che il terreno tra e sotto le file dei moduli fotovoltaici sia disponibile per il pascolo di animali di piccola taglia. Animali da fattoria più grandi come cavalli e bovini sono considerati inadatti in quanto hanno il peso e la forza per rimuovere i sistemi di montaggio standard, mentre i maiali o le capre possono causare danni ai cavi, ma il pascolo di animali come pecore e pollame è già stato sperimentato con successo nei parchi fotovoltaici, dimostrando che un duplice uso del suolo è possibile.

La produzione di fieno o insilato, coltivazioni a strisce ad alto reddito come ortaggi o colture non-food come la lavanda necessiterebbero di un'accurata progettazione sia per quanto riguarda le dimensioni dei macchinari necessari per la loro coltivazione sia per quanto riguarda gli schemi di rotazione agraria.

Altre opzioni produttive come l'apicoltura sono già state testate. In alcuni casi, i parchi agrivoltaici possono effettivamente determinare un aumento del valore agricolo del terreno quando, in siti marginali o recentemente riqualificati, sono stati introdotti sistemi di pascolamento produttivi.

È auspicabile che i termini di un accordo sui parchi solari garantiscano la prosecuzione dell'accesso al terreno da parte dell'agricoltore, idealmente in una forma che consenta di richiedere il pagamento di base nell'ambito dello schema di sostegno all'agricoltura della PAC.

3.3.2. Fraunhofer Institute for solar energy systems (ISE), Germania

Il Fraunhofer Institute for solar energy systems (ISE) nel mese di ottobre 2020 ha pubblicato il documento ‘Agrivoltaics: opportunities for agriculture and the energy transition. A guideline for Germany’ [48]

L'agricoltura in Germania affronta la sfida di sempre più scarse risorse di terra arabile. Uno dei motivi è lo sviluppo di nuovi insediamenti e strade. Tuttavia, la transizione energetica richiederà in futuro maggiori superfici per la produzione di energia solare. A causa della crescente domanda di terra, i canoni di locazione dei terreni agricoli sono in aumento.

Regioni attraenti per l'agricoltura grazie al loro terreno fertile e il clima mite sono adatte per la realizzazione di impianti fotovoltaici a terra grazie alla alta radiazione solare che sta facendo aumentare la domanda di terreno per gli impianti fotovoltaici a terra. Nel frattempo, grazie alla diminuzione dei costi, questi sistemi sono diventati economicamente redditizi anche senza i sussidi statali.



Il settore agricolo si sta spostando sempre più al centro dell'attenzione come uno dei maggiori emettitori di gas serra, in particolare metano e protossido di azoto. Appare evidente come queste sfide debbano essere affrontate nel contesto delle risoluzioni della Conferenza sul clima di Parigi del 2015 e gli ambiziosi obiettivi climatici del governo tedesco.

Il duplice uso dei seminativi è un possibile approccio; con i sistemi agrivoltaici, i grandi impianti fotovoltaici a terra sono installati su un terreno agricolo che viene utilizzato contemporaneamente per la produzione di cibo. L'aumento della capacità fotovoltaica è essenziale in quanto è visto come un importante pilastro del futuro approvvigionamento energetico nel lungo termine.

Secondo i calcoli del *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems*, la capacità degli impianti fotovoltaici in Germania deve essere aumentata di un fattore da otto a dieci entro il 2050 per raggiungere l'obiettivo di un sistema energetico climaticamente neutro.

Allo stesso tempo, l'integrazione efficiente offerta dagli impianti agrivoltaici può proteggere le piante e il suolo contro gli impatti ambientali negativi, contribuendo nello stesso tempo al contrasto ai cambiamenti climatici e alla creazione di sistemi agricoli più resilienti.

Il prof. dr. Adolf Goetzberger, fondatore del Fraunhofer ISE e il dr. Armin Zastrow sono stati i primi a proporre questa doppia forma di uso del suolo nel 1981 in un articolo pubblicato sulla rivista "Sonnenenergie" dal titolo "*Kartoffeln unter dem Kollektor*" (Patate sotto il collettore).

Nel 2014 il gruppo di innovazione APV-RESOLA ("Agrivoltaico: contributo all'uso efficiente del suolo") raccolse questa idea degli anni '80, ampliando la ricerca per affrontare ulteriori aspetti. Il Ministero Federale dell'Istruzione e della Ricerca (BMBWF) ha finanziato il progetto nell'ambito del programma di ricerca FONA (ricerca per lo sviluppo sostenibile). In questo progetto, gli aspetti economici, tecnici, sociali ed ecologici della tecnologia agrivoltaica sono stati esaminati in un impianto pilota in condizioni realistiche fino al 2020.

I partner del progetto erano Fraunhofer ISE (gestione e coordinamento), l'Università di Hohenheim, l'Istituto per la valutazione della tecnologia e l'analisi dei sistemi (ITAS), il Karlsruhe Institute of Technology (KIT), BayWa r.e. Solare Projects GmbH, Regionalverband Bodensee-Oberschwaben, Elektrizitätswerke Schönau e Hofgemeinschaft Heggelbach.

L'obiettivo del progetto era quello di ricercare le basi fondamentali della tecnologia agrivoltaica e dimostrare la sua fattibilità. Con l'installazione dell'impianto pilota a Heggelbach nella Regione del Lago di Costanza nel 2016, i partner del progetto hanno studiato la combinazione tra la produzione di elettricità solare e la raccolta di piante sullo stesso appezzamento di terreno. 720 moduli bifacciali con una capacità installata di 194 kilowatt picco (kWp) sono stati installati con un'altezza libera di cinque metri su un terzo di ettaro di seminativo. Nel 2017 e 2018, i risultati hanno mostrato un aumento dell'efficienza nell'uso del suolo tra il 60 e l'84 per cento e una migliore adattabilità durante i periodi di siccità. Il sistema è attualmente utilizzato per ulteriori ricerche.

Le linee guida presentano i risultati chiave della ricerca del Progetto APV-RESOLA, forniscono informazioni sulle possibilità e vantaggi della tecnologia, mostrano una panoramica dello stato

attuale della tecnologia e della sua potenzialità e offrono consigli pratici sull'uso della tecnologia per gli agricoltori, i Comuni e le aziende. Inoltre, sono riportati esempi di applicazioni di successo e vengono sottolineati gli ostacoli e le sfide per la diffusione dei sistemi agrivoltaici in Germania. Infine, sono presentate alcune proposte per la promozione dei sistemi agrivoltaici.

3.3.3. *Clean Energy Council, Australia*

Il Clean Energy Council australiano, nel mese di marzo 2021, ha pubblicato il documento dal titolo *'Australian Guide To Agrisolar For Large-Scale Solar, for proponents and farmers'* [49]. Questa guida è stata sviluppata per condividere le conoscenze provenienti da esperienze sui sistemi agrivoltaici realizzate in Australia ed in altre parti del mondo, per assistere i promotori di impianti solari su larga scala, i proprietari terrieri e gli agricoltori che lavorano con loro, al fine di integrare efficacemente le attività agricole nei progetti di parchi solari.

Poiché il *'solar grazing'* è la forma più diffusa di sistema agrivoltaico su larga scala, questa guida pone una forte attenzione alla condivisione delle esperienze dei progetti australiani realizzati fino ad oggi, fornendo:

- casi di studio di parchi solari che attualmente impiegano il *'solar grazing'*;
- informazioni sui vantaggi del *'solar grazing'* per i proponenti e gli agricoltori;
- guida pratica per entrambi, proponenti e agricoltori, che sostengono il *'solar grazing'*.

Un ulteriore obiettivo della guida è quello di contribuire alla conoscenza delle tendenze e della ricerca internazionale sui sistemi agrivoltaici che potrebbe essere considerati adeguati al contesto australiano.

Dalla metà degli anni 2010, l'Australia ha visto lo sviluppo di molti impianti fotovoltaici nelle aziende agricole, di riflesso al forte calo del costo della tecnologia fotovoltaica, che l'ha resa la fonte di elettricità più economica. Il pascolo di bestiame su terreni impiegati per grandi impianti fotovoltaici a terra è la forma più diffusa di uso complementare del suolo.

Man mano che il settore cresce, aumenta l'interesse ad esplorare e promuovere nuovi modelli per la combinazione di energia solare e produzione agricola.

Questo accoppiamento è noto con termini intercambiabili, tra cui *'agrisolar'*, *'agrivoltaico'*, *'agrofotovoltaico'* e "condivisione solare".

Il solare su scala industriale (generalmente maggiore di 5 MW) tipicamente richiede l'accesso ad un terreno relativamente pianeggiante o in leggera pendenza in zone vicine ai punti di allaccio delle reti elettriche, dove gli impatti sulla biodiversità possono essere evitati o ridotti al minimo.

Molte aziende australiane che lavorano nel settore solare su scala industriale, si sono impegnate a ridurre al minimo gli impatti su terreni agricoli altamente produttivi e a esplorare le opportunità di integrazione continua della produzione agricola nei progetti.

Dove vengono proposti e sviluppati parchi solari, c'è un crescente interesse nell'esplorare le opportunità per le attività agricole complementari che possono beneficiare di una serie di preziose caratteristiche dei pannelli solari, tra cui:

- l'ombreggiamento parziale e la protezione dagli agenti atmosferici (inclusi sole, pioggia, grandine e vento)
- protezione dai predatori per le pecore
- migliore ritenzione dell'umidità del suolo, che può portare a un miglioramento della crescita della vegetazione per alcune colture sotto i pannelli, come mostrato in studi internazionali.

L'agrivoltaico è stato proposto per la prima volta in Germania nel 1981. Da allora, sperimentazioni e ricerche internazionali, soprattutto negli ultimi cinque anni, hanno dimostrato che l'energia solare e la produzione agricola possono essere altamente compatibili e reciprocamente vantaggiose.

Programmi di finanziamento del governo in tutto il mondo hanno portato a un rapido aumento di agrivoltaico da 5 MW di potenza installata nel 2012 ad almeno 2,8 GW nel 2020.

Con l'implementazione di grandi parchi fotovoltaici iniziata in Australia circa dal 2015, l'esperienza locale sulle pratiche agrivoltaiche è ancora in via di sviluppo e attualmente dominata dal pascolo di pecore nelle fattorie solari. Il primo parco solare australiano dove è stata implementata la pratica agrivoltaica è stato il 'Royalla Solar Farm', dove le pecore hanno iniziato a pascolare sin dal 2015. Da allora, ci sono stati più di una dozzina di parchi solari che hanno introdotto il pascolo, che si è dimostrato essere una pratica efficace sia per gli allevatori che per i costruttori di parchi solari.

Mentre il "pascolo solare", come è noto, è la forma prevalente di uso complementare del suolo per i parchi solari su larga scala, ad oggi, i parchi agrivoltaici integrati con orticoltura, viticoltura, acquacoltura e coltivazione sono in genere molto piccoli, quindi non ancora validati su scala industriale.

3.3.4. Solar Power Europe (SPE), Belgio

SolarPower Europe – Leading the Energy Transition (www.solarpowereurope.org) è un'organizzazione guidata dai propri associati che mira a garantire che entro il 2030 venga generata più energia dal solare che da qualsiasi altra fonte energetica. Nel mese di **maggio 2021** ha pubblicato il rapporto dal titolo '***Agrisolar, Best Practices Guidelines - Version 1.0***' [50] con l'obiettivo di unire le forze dei due grandi settori della nostra società ed economia, l'agricoltura e l'energia, e comprendere meglio come lavorare più strettamente insieme, potenziando le sinergie per avanzare la transizione energetica e climatica.

Migliorare la cooperazione tra il mondo solare e quello agricolo è essenziale per affrontare una delle più importanti questioni al centro del nostro sostentamento moderno, della produzione di cibo e della generazione di elettricità: l'accesso alla terra.

L'agrivoltaico permette di allontanarci dalla tradizionale competizione sull'uso della terra verso un nuovo paradigma basato sulle sinergie tra l'agricoltura e le energie rinnovabili dando una spinta tanto necessaria allo sviluppo rurale sostenibile e aumentando la protezione della biodiversità.

SolarPower ha lanciato il *workstream* nell'aprile 2020 in mezzo alla più grande crisi sanitaria ed economica degli ultimi cento anni; ma il 2020 è stato anche l'anno del *Green Deal* europeo, che mette l'Unione europea sulla strada per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. L'intenzione è quella di sfruttare l'ambizione dell'energia rinnovabile dell'UE per raggiungere i nove obiettivi della Politica Agricola Comune promuovendo un'agricoltura più sostenibile, di più elevata qualità e più rispettosa dell'ambiente, per far fronte ai crescenti rischi ambientali legati al cambiamento climatico e permettere agli agricoltori di essere al centro dell'*European Green Deal* e della ripresa verde post-COVID.

L'obiettivo del rapporto è quello di attingere alle esperienze passate, per fare il punto su "cosa funziona" e "cosa non funziona", al fine di consigliare gli attori locali e internazionali per sviluppare con successo i sistemi agrivoltaici.

Il rapporto si rivolge a imprese solari e agricole, investitori, proprietari terrieri, dipartimenti governativi, autorità locali, associazioni, federazioni, associazioni degli industriali, centri di ricerca scientifica, società di consulenza, fornitori e, più in generale, a qualsiasi parte interessata ai sistemi agrivoltaico.

I requisiti minimi, le migliori pratiche e le raccomandazioni presentate in questa Guida sono tratti dalle esperienze dei membri del gruppo di lavoro 'Agrisolar' di SolarPower Europe, nella speranza che questo documento possa contribuire significativamente alla qualità, alle prestazioni, all'affidabilità e alla sostenibilità degli impianti agrivoltaici in tutta l'UE e nel mondo.

3.3.5. Institut de l'Élevage (IDELE), Francia

In risposta alle crescenti richieste di supporto tecnico da parte delle aziende che gestiscono allevamenti fotovoltaici, l'Institut de l'Élevage, in associazione con la Fédération Nationale Ovine (FNO) e tre aziende partner che gestiscono impianti fotovoltaici (Neoen, TSE, Voltalia), il 2 settembre 2021 ha pubblicato una guida pratica incentrata sulla co-attività della produzione fotovoltaica con l'allevamento dei ruminanti dal titolo '***Guide pratique : L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants. Un outil à destination des éleveurs et des gestionnaires de centrales photovoltaïques au sol***'.

I progetti agrivoltaici, che combinano l'allevamento di ruminanti e la produzione di elettricità fotovoltaica a terra, stanno emergendo in tutta la Francia. In questo contesto, le aziende che gestiscono impianti fotovoltaici e gli attori del settore dell'allevamento stanno cercando risorse e supporto tecnico per essere assistiti in questi progetti.



Questo documento costituisce una base tecnica per la progettazione dei sistemi agrivoltaici e fornisce informazioni per la loro realizzazione, dalle caratteristiche dell'impianto alla gestione del sistema di allevamento, compreso l'aspetto del partenariato. Inoltre, solleva domande che rimangono senza risposta e che mostrano l'importanza di condurre esperimenti per avere riferimenti documentati e condivisibili nei vari contesti pedoclimatici francesi.

Sostenute da un quadro strategico e politico nazionale favorevole, le energie rinnovabili sono in piena espansione in Francia, in particolare la produzione fotovoltaica a terra. Le linee guida nazionali stanno spingendo gli sviluppatori di impianti fotovoltaici a puntare principalmente e prioritariamente su aree non agricole senza conflitti d'uso, e in particolare su ex siti industriali (discariche tecniche, terreni industriali dismessi, cave, discariche, ecc.). L'accesso a queste aree tradizionalmente utilizzate per la costruzione di impianti solari a terra sta diventando sempre più difficile, e i gestori si stanno rivolgendo ai terreni agricoli per realizzare i loro progetti. In questo contesto, e ispirandosi all'approccio agroforestale, i gestori hanno iniziato a creare progetti agrivoltaici che combinano la produzione fotovoltaica e l'attività agricola. La co-attività dell'allevamento e della produzione fotovoltaica richiede la considerazione delle questioni dei vari attori e una riflessione sulle disposizioni da prendere in fase di progettazione.

Nel documento si sottolinea come, in linea di principio, i progetti che combinano fotovoltaico e allevamento di ruminanti possono offrire interessanti sinergie e benefici per i vari attori coinvolti.

Per gli sviluppatori, la co-attività con l'allevamento del bestiame permette prima di tutto l'accesso ai terreni agricoli preservando la loro natura primaria di produzione agricola. Inoltre, la gestione della copertura vegetale, di solito effettuata meccanicamente, in questi progetti è realizzata dagli animali, il che riduce il costo e gli impatti ecologici della manutenzione, nonché il rischio di danni attrezzature (lancio di pietre, ecc.). La presenza regolare dell'allevatore permette anche di monitorare l'impianto poiché l'agricoltore può segnalare qualsiasi malfunzionamento all'operatore dell'impianto. Infine, l'agrivoltaico ha un'immagine piuttosto positiva presso il pubblico in generale e le autorità pubbliche locali, che possono facilitare l'accettazione di progetti di sviluppo a livello locale.

Per gli allevatori, gli impianti fotovoltaici possono rappresentare nuove opportunità di pascolo in un contesto in cui le tensioni sulle risorse di foraggio stanno diventando sempre più presenti, contribuendo così alla resilienza dell'allevamento al cambiamento climatico. L'uso di aree recintate può anche permettere agli allevatori di ridurre il loro carico di lavoro e anche i costi del lavoro associati alla pastorizia. L'agricoltore è sollevato dalla responsabilità della manutenzione delle recinzioni, attività costosa e dispendiosa in termini di tempo. Inoltre, la recinzione sicura offre tranquillità per l'agricoltore in un contesto di crescente predazione. Infine, la remunerazione della pratica del pascolo in un parco fotovoltaico permette la diversificazione e una maggiore sicurezza del reddito nel contesto di un settore in difficoltà. Il consolidamento del reddito può assicurare progetti di installazione, rafforzare lo sviluppo del bestiame attivo e garantire un più facile accesso alla terra.

Per gli animali allevati, l'infrastruttura fotovoltaica può rappresentare un riparo in caso di caldo, vento freddo o maltempo. Le recinzioni degli impianti fotovoltaici sono alte e offrono un'interessante protezione della mandria contro i predatori.

3.3.6. Deutsches Institut für Normung (DIN), Germania

Nel maggio 2021 l'organizzazione tedesca Deutsches Institut für Normung E.V. (German National Standard, www.din.de) ha pubblicato lo standard DIN SPEC 91434 dal titolo '*Agri-photovoltaic systems - Requirements for primary agricultural use*' [50]. Questo documento è stato sviluppato attraverso la collaborazione tra diverse aziende agricole, imprese del settore fotovoltaico, enti di ricerca e organismi di certificazione coordinati da Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar), l'associazione tedesca dell'industria solare che rappresenta gli interessi di circa 1000 aziende del settore (www.solarwirtschaft.de). Lo standard DIN SPEC 91434 era stato inizialmente sviluppato dagli esperti del Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE e dell'Università di Hohenheim.

L'amministratore delegato di BSW-Solar, Carsten Körnig, vide la definizione di nuovi standard come un importante prerequisito per accelerare lo sviluppo del mercato dell'agrivoltaico in vista delle nuove gare d'appalto per l'innovazione che il governo tedesco sta attualmente organizzando nell'ambito della legge sulle energie rinnovabili del paese, la cosiddetta EEG.

Le attuali disposizioni normative per i bandi per l'innovazione richiedono che l'Agenzia federale delle reti (Bundesnetzagentur) elabori definizioni per ciò che può essere considerato agrivoltaico. BSW-Solar suggerisce di utilizzare lo standard DIN SPEC 91434 come base per questo.

Lo standard DIN SPEC 91434, pubblicato da Beuth Verlag GmbH, Berlino (www.beuth.de), stabilisce i requisiti per i principali usi agricoli nei progetti agrivoltaici e include standard per la pianificazione, il funzionamento, la documentazione e il monitoraggio operativo. Vengono inoltre, riportati gli indicatori di misurazione da utilizzare per le procedure di garanzia della qualità.

Il documento non prende in considerazione i convenzionali impianti fotovoltaici costruiti a terra su terreni agricoli o le serre solari ma si riferisce esclusivamente ai 'sistemi agrivoltaici' dove l'utilizzo combinato della medesima superficie di terreno, sia per la produzione agricola come destinazione d'uso primaria che per la produzione di energia elettrica tramite un impianto fotovoltaico come destinazione d'uso secondaria, determina non solo una maggiore efficienza di sfruttamento del terreno dal punto di vista ecologico ed economico ma, a livello pratico, può anche apportare effetti sinergici positivi tra la produzione agricola e l'impianto fotovoltaico.

A seconda del design dell'impianto, la struttura può assumere importanti funzioni protettive (ad es. protezione dalla grandine), nonché, tramite appositi dispositivi, contribuire alla raccolta dell'acqua piovana. Negli anni caldi e nelle regioni con clima arido si prevede anche una ridotta evaporazione dell'umidità del terreno grazie all'ombreggiamento creato dall'impianto. Tale

aspetto acquisirà in futuro un'importanza sempre più rilevante in vista dei cambiamenti climatici.

La tecnologia alla base dei sistemi agrivoltaici si è evoluta negli ultimi decenni trasformandosi da un'idea (1981), a un'invenzione (2016) e quindi a un'innovazione (2019). Progetti di ricerca e dimostrativi condotti in tutto il mondo hanno messo alla prova la funzionalità della tecnologia. Il prossimo passaggio necessario nel processo di innovazione dei sistemi agrivoltaici consiste nella messa a punto, a livello scientifico, di un programma di monitoraggio e valutazione affinché i vari approcci tecnologici, economici e fito-fisiologici dei singoli progetti implementati nel settore possano essere tra loro confrontati, valutati e pubblicati. La definizione dei requisiti dei sistemi agrivoltaici, può contribuire a ridurre al minimo il rischio di sistemi fraudolenti, nonché i connessi effetti di trascinamento e la scarsa accettazione dell'agrivoltaico presso la popolazione in generale.

Secondo lo standard DIN SPEC 91434I i sistemi agrivoltaici possono essere suddivisi in quattro categorie di utilizzo (Tabella 1):

- A. colture permanenti o poliennali,
- B. colture annuali,
- C. prato permanente con utilizzo per sfalcio
- D. prato permanente con utilizzo come pascolo

Tra le colture permanenti rientrano le colture che sono escluse dalla rotazione colturale, vengono coltivate per almeno cinque anni sui terreni e forniscono rese ricorrenti. Oltre alle colture permanenti, per prato permanente si intendono superfici che per almeno cinque anni sono escluse dalla rotazione colturale e servono alla produzione di erba o altre piante da foraggio verde. L'attività agricola comprende la coltivazione di prodotti agricoli oppure il mantenimento delle superfici in un buono stato agricolo (ed ecologico), come specificato nelle disposizioni di "cross-compliance" dell'Unione Europea [52 e 53] e nei rispettivi regolamenti nazionali.

Tabella 1. Esempi di coltivazione tra le file dell'impianto fotovoltaico

Colture permanenti o poliennali	Colture annuali (seminativi)	Prato permanente con utilizzo per sfalcio	Prato permanente con utilizzo per pascolo
Frutticoltura	Colture Food (cereali, leguminose da granella)	Coltivazioni per la produzione di foraggio fresco	Pascolo permanente
Coltivazione di frutti di bosco	Colture No Food (specie da fibra, da biomassa per energia, officinali)	Coltivazioni per la produzione di fieno o insilato	Pascolo razionato (bovini, ovini, caprini, suini e pollame)
Viticultura	Colture orticole		
Specie officinali arboree o arbustive	Colture prative temporanee		

Nell'ambito dei sistemi agrivoltaici, gli impianti fotovoltaici possono essere di due categorie:

1. impianti con elevazione ad altezza libera: i moduli solari possono essere installati ad angolazioni e in posizioni differenti e coprire parzialmente o interamente la superficie utilizzabile ai fini agricoli (AL); la superficie non utilizzabile ai fini agricoli (AN) si limita alla superficie degli elementi di elevazione e alle zone che, a seguito della lavorazione del campo, in conformità al progetto di utilizzo ai fini agricoli non sono più a disposizione per una lavorazione tradizionale;
2. impianti con elevazione a livello del suolo (*ground mounted*): questi impianti sono sostenuti da pali inseriti nel terreno e la coltivazione agricola ha luogo tra le file dell'impianto; a tale riguardo si opera una distinzione tra impianti in cui i moduli solari sono posizionati in modo fisso ad una determinata angolazione su pali e impianti in cui i moduli solari sono posizionati verticalmente o sono inclinabili (*tracking*) in modo da poter seguire la posizione del sole dall'alba al tramonto; qualora sussistano le circostanze tecniche necessarie, la coltivazione può essere eseguita fino alla struttura di sostegno.

Nel progetto di utilizzo ai fini agricoli deve essere descritta la modalità di lavorazione della superficie.

3.3.7. Label 'Projet Agrivoltaique', Afnor Certification

Nel mese di dicembre 2021 la società francese *Afnor Certification* ha pubblicato le linee guida per la certificazione denominate 'Label Projet Agrivoltaique' che viene assegnata a progetti agrivoltaici che promuovono la produzione agricola e migliorano in modo sostenibile le prestazioni di appezzamenti di terreno e aziende agricole.

Il marchio si applica dalla fase di progettazione fino alla fase operativa e rappresenta una garanzia di fiducia e trasparenza per gli stakeholder del progetto, che misura la priorità agricola e la qualità del progetto convalidando le leve e le risorse richieste dalla fase di sviluppo e conferma l'impatto durante il funzionamento.

Questo marchio viene introdotto in un contesto di crescita significativa dei progetti fotovoltaici su terreni agricoli. Questi progetti assumono forme diverse e hanno impatti diversi sull'agricoltura. Come sottoinsieme della grande famiglia degli impianti fotovoltaici, i cosiddetti progetti "agrivoltaici" mirano principalmente a fornire un servizio agricolo all'azienda agricola (ad esempio, protezione contro i rischi climatici, contro gli effetti del cambiamento climatico, ecc.).

Essendo una tecnologia in rapido sviluppo, la progettazione e l'implementazione delle fattorie solari richiede un quadro di riferimento per garantire che ogni progetto dia la priorità alle prestazioni agricole e quindi integri le esigenze dell'azienda agricola partner.

Parallelamente alle specifiche richieste dai bandi, l'obiettivo di questo marchio è quello di stabilire un quadro qualitativo e trasparente al fine di:

- evidenziare i progetti agrivoltaici che sono positivi per l'azienda agricola,

- incoraggiare il loro sviluppo
- strutturare il settore emergente.

Gli standard sono stati concepiti per garantire che la valutazione di un progetto convalidi le risorse impiegate fin dalla fase di progettazione e assicuri che l'impatto previsto durante la fase operativa sia realistico. Il documento funge da garanzia di qualità e da veicolo di trasparenza per l'intero ciclo di vita dei progetti agrovoltaici.

Tutti i proprietari di progetti sono eleggibili per il marchio e possono far etichettare i loro progetti. I vantaggi e benefici del marchio per i progetti agrovoltaici comprendono:

- creare fiducia tra le parti interessate
- fornire un quadro di riferimento per l'industria
- promuovere le nuove innovazioni che hanno dimostrato il loro valore a livello di dimostratori
- beneficiare del marchio fin dalla fase di progettazione, facilitando la valutazione dei progetti.
- promuovere progetti esemplari
- arricchire questo settore altamente dinamico.

L'iter per l'ottenimento della certificazione si articola nelle seguenti fasi:

1. Sviluppo del progetto: valutazione del progetto rispetto ai requisiti nella fase di sviluppo.
2. Messa in servizio del progetto: valutazione dell'applicazione dei criteri di implementazione dell'impianto e delle disposizioni adottate per il suo funzionamento.
3. Fase operativa: valutazione dei requisiti della fase operativa e convalida dell'impatto del progetto sul valore agricolo.

3.3.8. Linee guida in materia di impianti agrovoltaici del MITE, Italia

Come definito dal decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 199 (di seguito anche decreto legislativo n. 199/2021) di recepimento della direttiva RED II, l'Italia si pone come obiettivo quello di accelerare il percorso di crescita sostenibile del Paese, al fine di raggiungere gli obiettivi europei al 2030 e al 2050. L'obiettivo suddetto è perseguito in coerenza con le indicazioni del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) e tenendo conto del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

In tale ambito, risulta di particolare importanza individuare percorsi sostenibili per la realizzazione delle infrastrutture energetiche necessarie, che consentano di coniugare l'esigenza di rispetto dell'ambiente e del territorio con quella di raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione. Fra i diversi punti da affrontare vi è certamente quello dell'integrazione degli impianti a fonti rinnovabili, in particolare fotovoltaici, realizzati su suolo agricolo.

Una delle soluzioni emergenti è quella di realizzare impianti c.d. "agrovoltaici", ovvero impianti fotovoltaici che consentano di preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione, garantendo, al contempo, una buona produzione energetica

da fonti rinnovabili. A riguardo, è stata anche prevista, nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, una specifica misura, con l'obiettivo di sperimentare le modalità più avanzate di realizzazione di tale tipologia di impianti e monitorarne gli effetti.

Il tema è rilevante e merita di essere affrontato in via generale, anche guardando al processo di individuazione delle c.d. "aree idonee" all'installazione degli impianti a fonti rinnovabili, previsto dal decreto legislativo n. 199 del 2021 e, dunque, ai diversi livelli possibili di realizzazione di impianti fotovoltaici in area agricola, ivi inclusa quella prevista dal PNRR. In tutti i casi, gli impianti agrivoltaici costituiscono possibili soluzioni virtuose e migliorative rispetto alla realizzazione di impianti fotovoltaici standard.

In tale quadro, nel mese di Giugno 2022 è stato elaborato e condiviso il presente documento, prodotto nell'ambito di un gruppo di lavoro coordinato dal Ministero della Transizione Ecologica - Dipartimento per L'energia, e composto dal CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria; dal GSE - Gestore dei servizi energetici S.p.A.; dall'ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile e da RSE - Ricerca sul Sistema Energetico S.p.A.

Il lavoro prodotto ha lo scopo di chiarire quali sono le caratteristiche minime e i requisiti che un impianto fotovoltaico dovrebbe possedere per essere definito agrivoltaico, sia per ciò che riguarda gli impianti più avanzati, che possono accedere agli incentivi PNRR, sia per ciò che concerne le altre tipologie di impianti agrivoltaici, che possono comunque garantire un'interazione più sostenibile fra produzione energetica e produzione agricola.

I requisiti previsti dalle Linee guida del MITE sono riportati di seguito.

REQUISITO A

Il sistema è progettato e realizzato in modo da adottare una configurazione spaziale ed opportune scelte tecnologiche, tali da consentire l'integrazione fra attività agricola e produzione elettrica e valorizzare il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi;

Tale risultato si deve intendere raggiunto al ricorrere simultaneo di una serie di condizioni costruttive e spaziali. In particolare, sono identificati i seguenti parametri:

A.1) Superficie minima coltivata: è prevista un rapporto minimo tra la superficie coltivata e quella totale (0,7);

A.2) LAOR massimo: è previsto un rapporto massimo fra la superficie dei moduli e quella agricola (0,4);

REQUISITO B

Il sistema agrivoltaico è esercito, nel corso della vita tecnica, in maniera da garantire la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli e non compromettere la continuità dell'attività agricola e pastorale;

In particolare, dovrebbero essere verificate:

B.1) Continuità dell'attività agricola e pastorale sul terreno oggetto dell'intervento

Per verificare il rispetto del requisito B.1, l'impianto dovrà inoltre dotarsi di un sistema per il monitoraggio dell'attività agricola rispettando, in parte, le specifiche indicate al requisito D.

a) Esistenza e resa della coltivazione

Al fine di valutare statisticamente gli effetti dell'attività concorrente energetica e agricola è importante accertare la destinazione produttiva agricola dei terreni oggetto di installazione di sistemi agrivoltaici. In particolare, tale aspetto può essere valutato tramite il valore della produzione agricola prevista sull'area destinata al sistema agrivoltaico negli anni solari successivi all'entrata in esercizio del sistema stesso espressa in €/ha o €/UBA (Unità di Bestiame Adulto), confrontandolo con il valore medio della produzione agricola registrata sull'area destinata al sistema agrivoltaico negli anni solari antecedenti, a parità di indirizzo produttivo. In assenza di produzione agricola sull'area negli anni solari precedenti, si potrebbe fare riferimento alla produttività media della medesima produzione agricola nella zona geografica oggetto dell'installazione. In alternativa è possibile monitorare il dato prevedendo la presenza di una zona di controllo che permetterebbe di produrre una stima della produzione sul terreno sotteso all'impianto.

b) Mantenimento dell'indirizzo produttivo

Ove sia già presente una coltivazione a livello aziendale, andrebbe rispettato il mantenimento dell'indirizzo produttivo o, eventualmente, il passaggio ad un nuovo indirizzo produttivo di valore economico più elevato. Fermo restando, in ogni caso, il mantenimento di produzioni DOP o IGP. Il valore economico di un indirizzo produttivo è misurato in termini di valore di produzione standard calcolato a livello complessivo aziendale; la modalità di calcolo e la definizione di coefficienti di produzione standard sono predisposti nell'ambito della Indagine RICA per tutte le aziende contabilizzate. A titolo di esempio, un eventuale riconversione dell'attività agricola da un indirizzo intensivo (es. ortofloricoltura) ad uno molto più estensivo (es. seminativi o prati pascoli), o l'abbandono di attività caratterizzate da marchi DOP o DOCG, non soddisfano il criterio di mantenimento dell'indirizzo produttivo.

B.2) Producibilità elettrica dell'impianto agrivoltaico, rispetto ad un impianto standard e il mantenimento in efficienza della stessa.

In base alle caratteristiche degli impianti agrivoltaici analizzati, si ritiene che, la produzione elettrica specifica di un impianto agrivoltaico (FVagri in GWh/ha/anno) correttamente progettato, paragonata alla producibilità elettrica specifica di riferimento di un impianto

fotovoltaico standard (FVstandard in GWh/ha/anno), non dovrebbe essere inferiore al 60 % di quest'ultima: $FV_{agri} \geq 0,6 \cdot FV_{standard}$

Ove sia già presente una coltivazione a livello aziendale, andrebbe rispettato il mantenimento dell'indirizzo produttivo o, eventualmente, il passaggio ad un nuovo indirizzo produttivo di valore economico più elevato. Fermo restando, in ogni caso, il mantenimento di produzioni DOP o IGP. Il valore economico di un indirizzo produttivo è misurato in termini di valore di produzione standard calcolato a livello complessivo aziendale; la modalità di calcolo e la definizione di coefficienti di produzione standard sono predisposti nell'ambito della Indagine RICA per tutte le aziende contabilizzate.

A titolo di esempio, un eventuale riconversione dell'attività agricola da un indirizzo intensivo (es. ortofloricoltura) ad uno molto più estensivo (es. seminativi o prati pascoli), o l'abbandono di attività caratterizzate da marchi DOP o DOCG, non soddisfano il criterio di mantenimento dell'indirizzo produttivo.

REQUISITO C

La configurazione spaziale del sistema agrivoltaico, e segnatamente l'altezza minima di moduli da terra, influenza lo svolgimento delle attività agricole su tutta l'area occupata dall'impianto agrivoltaico o solo sulla porzione che risulti libera dai moduli fotovoltaici.

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

Si possono esemplificare i seguenti casi:

Tipo 1

L'altezza minima dei moduli è studiata in modo da consentire la continuità delle attività agricole (o zootecniche) anche sotto ai moduli fotovoltaici. Si configura una condizione nella quale esiste un doppio uso del suolo, ed una integrazione massima tra l'impianto agrivoltaico e la coltura, e cioè i moduli fotovoltaici svolgono una funzione sinergica alla coltura, che si può esplicitare nella prestazione di protezione della coltura (da eccessivo soleggiamento, grandine, etc.) compiuta dai moduli fotovoltaici. In questa condizione la superficie occupata dalle colture e quella del sistema agrivoltaico coincidono, fatti salvi gli elementi costruttivi dell'impianto che poggiano a terra e che inibiscono l'attività in zone circoscritte del suolo.



Sistema agrivoltaico in cui la coltivazione avviene tra le file dei moduli fotovoltaici, e sotto a essi (TIPO 1). Fonte: A. Scognamiglio, ENEA

Tipo 2

L'altezza dei moduli da terra non è progettata in modo da consentire lo svolgimento delle attività agricole al di sotto dei moduli fotovoltaici. Si configura una condizione nella quale esiste un uso combinato del suolo, con un grado di integrazione tra l'impianto fotovoltaico e la coltura più basso rispetto al precedente (poiché i moduli fotovoltaici non svolgono alcuna funzione sinergica alla coltura).



Sistema agrivoltaico in cui la coltivazione avviene tra le file dei moduli fotovoltaici, e non al di sotto di essi (TIPO 2). Fonte: A. Scognamiglio, ENEA

Tipo 3

I moduli fotovoltaici sono disposti in posizione verticale. L'altezza minima dei moduli da terra non incide significativamente sulle possibilità di coltivazione (se non per l'ombreggiamento in determinate ore del giorno), ma può influenzare il grado di connessione dell'area, e cioè il possibile passaggio degli animali, con implicazioni sull'uso dell'area per attività legate alla zootecnia. Per contro, l'integrazione tra l'impianto agrivoltaico e la coltura si può esplicare nella protezione della coltura compiuta dai moduli fotovoltaici che operano come barriere frangivento.



Sistema agrivoltaico in cui i moduli fotovoltaici sono disposti verticalmente. La coltivazione avviene tra le file dei moduli fotovoltaici, l'altezza minima dei moduli da terra influenza il possibile passaggio di animali (TIPO 3). Fonte: A. Scognamiglio, ENEA

Per differenziare gli impianti fra il tipo 1) e il 2) l'altezza da terra dei moduli fotovoltaici è un parametro caratteristico.

In via teorica, determinare una soglia minima in termini di altezza dei moduli da terra permette infatti di assicurare che vi sia lo spazio sufficiente per lo svolgimento dell'attività agricola al di sotto dei moduli, e di limitare il consumo di suolo. Tuttavia, come già analizzato, vi possono essere configurazioni tridimensionali, nonché tecnologie e attività agricole adatte anche a impianti con moduli installati a distanze variabili da terra.

Considerata l'altezza minima dei moduli fotovoltaici su strutture fisse e l'altezza media dei moduli su strutture mobili, limitatamente alle configurazioni in cui l'attività agricola è svolta anche al di sotto dei moduli stessi, si possono fissare come valori di riferimento per rientrare nel tipo 1) e 3):

- 1,3 metri nel caso di attività zootecnica (altezza minima per consentire il passaggio con continuità dei capi di bestiame);
- 2,1 metri nel caso di attività colturale (altezza minima per consentire l'utilizzo di macchinari funzionali alla coltivazione).

Si può concludere che:

- gli impianti di tipo 1) e 3) sono identificabili come 'impianti agrivoltaici avanzati' che rispondono al REQUISITO C;
- gli impianti agrivoltaici di tipo 2), invece, non comportano alcuna integrazione fra la produzione energetica ed agricola, ma esclusivamente un uso combinato della porzione di suolo interessata.

REQUISITO D

Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio che consenta di verificare l'impatto sulle colture attraverso la valutazione dei seguenti parametri:

D.1) risparmio idrico;

D.2) continuità dell'attività agricola, ovvero:

- produttività agricola per le diverse tipologie di colture o allevamenti
- continuità delle attività delle aziende agricole interessate.

REQUISITO E

Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio che, oltre a rispettare il requisito D, consenta di verificare le seguenti condizioni:

- recupero della fertilità del suolo,
- microclima,
- resilienza ai cambiamenti climatici.

In conclusione:

- il rispetto dei requisiti A, B è necessario per definire un impianto fotovoltaico realizzato in area agricola come “**agrivoltaico**”. Per tali impianti dovrebbe inoltre previsto il rispetto del requisito D.2;
- il rispetto dei requisiti A, B, C e D è necessario per soddisfare la definizione di “**impianto agrivoltaico avanzato**” e, in conformità a quanto stabilito dall'articolo 65, comma 1-quater e 1-quinquies, del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1, classificare l'impianto come meritevole dell'accesso agli incentivi statali a valere sulle tariffe elettriche;
- il rispetto dei A, B, C, D ed E sono pre-condizione per l'**accesso ai contributi del PNRR**, fermo restando che, nell'ambito dell'attuazione della misura Missione 2, Componente 2, Investimento 1.1 “Sviluppo del sistema agrivoltaico”, come previsto dall'articolo 12, comma 1, lettera f) del decreto legislativo n. 199 del 2021, potranno essere definiti ulteriori criteri in termini di requisiti soggettivi o tecnici, fattori premiali o criteri di priorità (cfr. Capitolo 4 delle Linee guida del MITE).

3.3.9. La Prassi di riferimento UNI/PdR 148:2023

La Prassi di riferimento UNI/PdR 148:2023 ‘Sistemi agrivoltaici - Integrazione di attività agricole e impianti fotovoltaici’ si propone di fornire requisiti relativi ai sistemi agrivoltaici partendo dal contesto tecnico normativo esistente in materia di impianti fotovoltaici e attività agricole, con particolare attenzione agli aspetti specifici correlati all'ambito di applicazione degli impianti agrivoltaici e sviluppo della tecnologia associati a tali impianti e relativi progetti. Si definiscono inoltre i requisiti di base per la redazione e presentazione di progetti inerenti impianti agrivoltaici e analisi multicriteria per la valutazione dei suddetti progetti.

Pubblicata il 3 agosto 2023 da UNI, Ente Italiano di Normazione, la presente prassi di riferimento non è una norma nazionale, ma è un documento, come previsto dal Regolamento UE n.1025/2012, che raccoglie prescrizioni relative a prassi condivise all'interno del seguente



soggetto firmatario di un accordo di collaborazione con UNI: ENEA, Università Cattolica del Sacro Cuore e Rem Tec srl.

La presente prassi di riferimento è stata elaborata dal Tavolo “Sistemi agrivoltaici: integrazione di attività agricole e impianti fotovoltaici” condotto da UNI ed è stata ratificata dal Presidente dell’UNI. Le prassi di riferimento, adottate esclusivamente in ambito nazionale, rientrano fra i “prodotti della normazione europea”, come previsti dal Regolamento UE n.1025/2012, e sono documenti che introducono prescrizioni tecniche, elaborati sulla base di un rapido processo ristretto ai soli autori, sotto la conduzione operativa di UNI.

Le prassi di riferimento sono disponibili per un periodo non superiore a 5 anni, tempo massimo dalla loro pubblicazione entro il quale possono essere trasformate in un documento normativo (UNI, UNI/TS, UNI/TR) oppure devono essere ritirate. Chiunque ritenesse, a seguito dell’applicazione della presente prassi di riferimento, di poter fornire suggerimenti per un suo miglioramento è pregato di inviare i propri contributi all’UNI, Ente Italiano di Normazione, che li terrà in considerazione.

La prassi UNI/PdR 148:2023 si propone di fornire requisiti relativi ai sistemi agrivoltaici partendo dal contesto tecnico normativo esistente in materia di impianti fotovoltaici e attività agricole, con particolare attenzione agli aspetti specifici correlati all’ambito di applicazione degli impianti agrivoltaici e sviluppo della tecnologia associati a tali impianti e relativi progetti.

La produzione energetica da fonti rinnovabili è da favorire e incrementare allo scopo di ridurre l’uso di energia derivante da fonti fossili e al contempo offrire soluzioni sostenibili alla crisi energetica attuale. Ne consegue che anche la valutazione dei sistemi agrivoltaici deve basarsi sul confronto tra diverse alternative progettuali tenendo conto di tre principali criteri:

1. la produzione di energia elettrica,
2. la produzione agricola del campo su cui insiste l’impianto agrivoltaico
3. la tutela del paesaggio.

Si definiscono inoltre i requisiti di base per la redazione e presentazione di progetti inerenti impianti agrivoltaici e l’analisi multicriteria per la valutazione dei suddetti progetti.

4. L'impianto agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm'

La Società EDPR SICILIA PV S.r.l. intende realizzare un impianto per la produzione di energia elettrica con tecnologia solare fotovoltaica, con una potenza nominale installata di 190 MWp in corrente continua nel territorio compreso tra i Comuni di Vittoria (RG) e Acate (RG) denominato 'Victoria Solar Farm'.

La sede legale della società è a Milano (MI) in via Roberto Lepetit n. 8/10 ed è iscritta nella sezione ordinaria della Camera di Commercio di Milano con numero REA MI-2576715, C.F. e P. IVA 11064600965.

I professionisti incaricati per la redazione del progetto sono l'ing. Giuseppe Di Martino iscritto al n. 7391 e ing. Flavio Trentacosti iscritto al n. 8363, entrambi dell'Ordine professionale degli Ingegneri della Provincia di Palermo.

4.1. Inquadramento territoriale

L'area in cui è prevista la realizzazione dell'impianto agri-fotovoltaico ricade interamente nei Comuni di Acate e Vittoria, in una zona prevalentemente pianeggiante avente una quota media di circa 190 m s.l.m., che si sviluppa complessivamente sui due lati della SP2 di collegamento tra Vittoria e Acate e a monte della SP 30 'Vittoria-Chiaramonte'.

Il totale della superficie disponibile per il progetto agri-fotovoltaico è pari a 333,60 Ha, tale superficie viene di seguito suddivisa in "superficie di impianto" coincidente con la superficie delimitata dal perimetro di impianto e "superficie di compensazione" costituita dalle superfici esterne all'area di impianto che verranno utilizzate per le compensazioni ambientali ed i reimpianti. Nella tabella che segue vengono riportate le superfici occupate dall'impianto e le opere accessorie, l'area destinata alla coltivazione tra i filari e nelle fasce perimetrali e le aree di compensazione.

Tabella 1. Suddivisione delle superfici dell'impianto agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm'

COD	Identificativo Superficie	U.M.	Superficie	% Sup
A	Superficie lorda occupata dai tracker fotovoltaici [A.1+A.2]	[ha]	182,3	59,3%
A.1	Superficie captante	[ha]	90,2	29,3%
A.2	Superficie tra i filari utile per la coltivazione	[ha]	92,0	29,9%
A.3	Superficie addizionale per la coltivazione sotto tracker	[ha]	28,6	9,3%
B	Superficie a verde TOTALE coltivata con specie arboree autoctone [B.1+B.2]	[ha]	109,7	35,7%
B.1	Area verde di mitigazione perimetrale (10m)	[ha]	44,5	14,5%
B.2	Altre superfici verdi all'interno dell'impianto	[ha]	65,2	21,2%
C	Superficie viabilità	[ha]	14,2	4,6%
D	Superficie cabine e sottostazione elettrica di elevazione	[ha]	1,3	0,4%
E	Superficie catastale impianto [A+B+C+D]	[ha]	307,5	100,0%
F	Superficie di compensazione ambientale	[ha]	32,4	/
G	Superficie TOTALE lotto catastale [E+F]	[ha]	339,9	/

L'inquadramento cartografico di riferimento comprende:

- Carta d'Italia dell'Istituto Geografico Militare in scala 1:25.000:
- Area di impianto: Tavoleta "ACATE" (foglio 273 quadrante III orientamento S.O.) e Tavoleta "VITTORIA" (foglio 276 quadrante IV orientamento N.O.)
- Cavidotto AT di connessione: Tavoleta "ACATE" (foglio 273 quadrante III orientamento S.O.) e Tavoleta "CHIARAMONTE GULFI" (foglio 273 quadrante III orientamento S.E.)
- SE Utente: Tavoleta "CHIARAMONTE GULFI" (foglio 273 quadrante III orientamento S.E.)
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000:
- Area di impianto: CTR n. 644140, 644150, 647020, 647030
- Cavidotto AT di connessione: CTR n. 644150, 644160, 644120
- SE Utente: CTR n. 644120

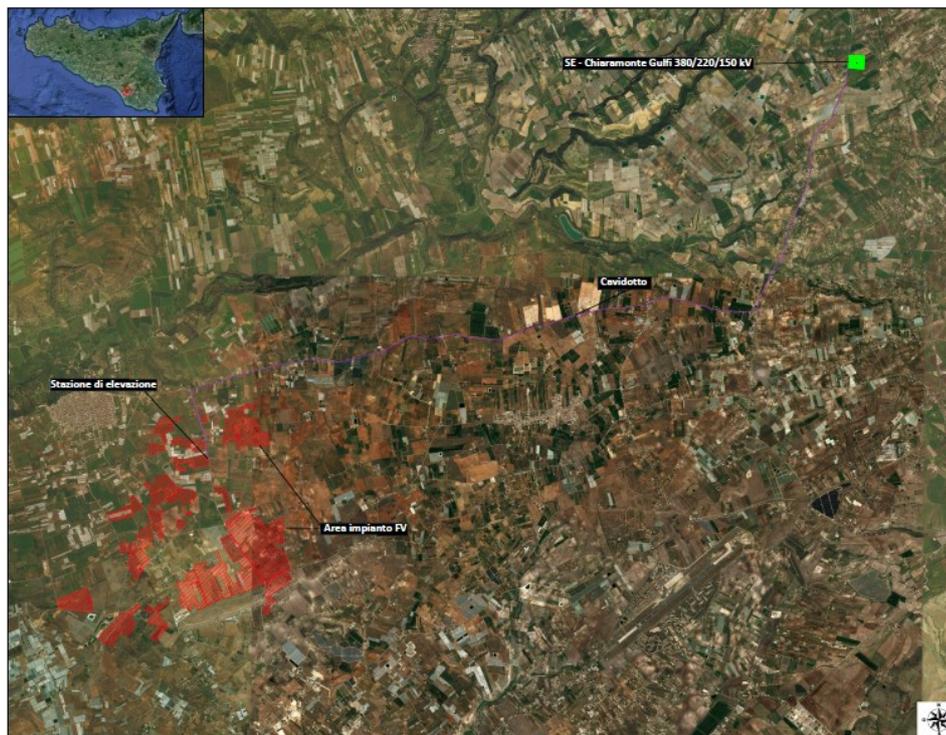


Figura 2. Inquadramento territoriale su area vasta - Lat. 37°02.76"N, Long. 14°30'49.05"E

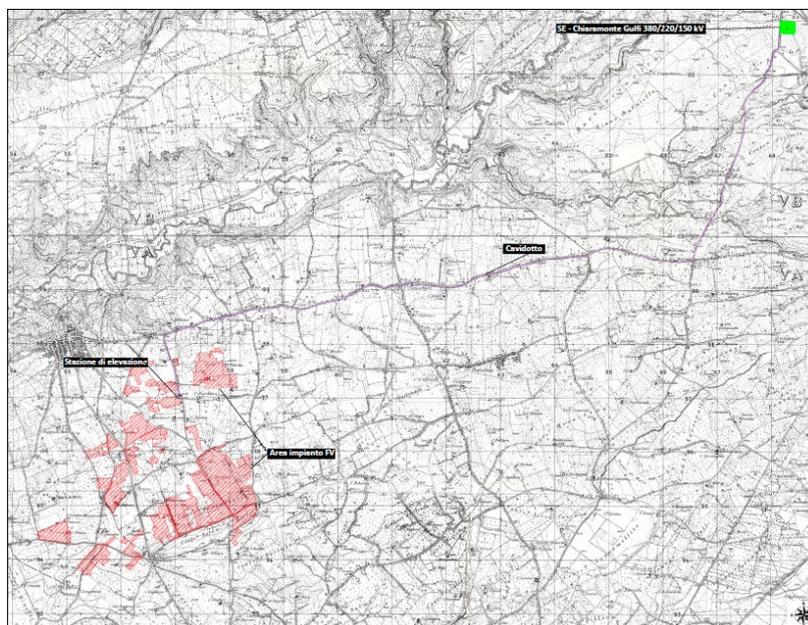


Figura 3. Inquadramento territoriale su stralcio I.G.M. tavoletta 273, quadrante III, sezione S.O. e S.E, tavoletta 276, quadrante IV, sezione N.O.



Figura 4. Ortofoto dell'area di impianto

I terreni ricadenti nell'area in esame risultano pianeggianti e fortemente antropizzati, sono caratterizzati da un paesaggio vegetale profondamente modificato dall'uomo a causa delle attività agricole, sono infatti presenti aree coltivate a seminativi (cereali, foraggere, orticole in pieno campo) e a colture arboree (olivo, vite, mandorlo, carrubo), oltre a diverse aree incolte.

Le classi di macro-uso del suolo ad uso agricolo che si riscontrano nell'area in esame sono le seguenti:

- Seminativo
 - Frumento duro
 - Colture foraggere
- Colture permanenti
 - Oliveto
 - Mandorleto
 - Carrubeto
 - Frutteto misto (olivo e mandorlo)
 - Vigneto – uva da vino
 - Vigneto – uva da tavola
 - Agrumeto
- Coltivazioni protette in serra
 - Ortive (pomodoro, melanzana, peperone, zucchina)
- Incolto produttivo

- Seminativo arborato

Tabella 2. Uso del Suolo nell'area interessata dal progetto 'Victoria Solar Farm'

*Macro-uso/ Coltura	Superficie ettari	% totale
Oliveto	28,33	8,29
Seminativo	197,98	57,96
Seminativo arborato	20,15	5,90
Mandorleto	39,21	11,48
Incolto produttivo	25,53	7,47
Coltivaz. protette in Serra	2,89	0,85
Vigneto-uva da tavola	1,63	0,48
Vigneto - uva da vino	18,98	5,56
Agrumeto	2,69	0,79
Frutteto misto	2,40	0,70
Carrubeto	1,78	0,52
TOTALE	341,57	100,00

4.2. Il piano culturale del sistema agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm'

Considerate le dimensioni relativamente ampie dell'interfila tra le strutture (5,37 m), tutte le lavorazioni del suolo, nella parte centrale dell'interfila, possono essere compiute tramite macchine operatrici convenzionali senza particolari problemi.

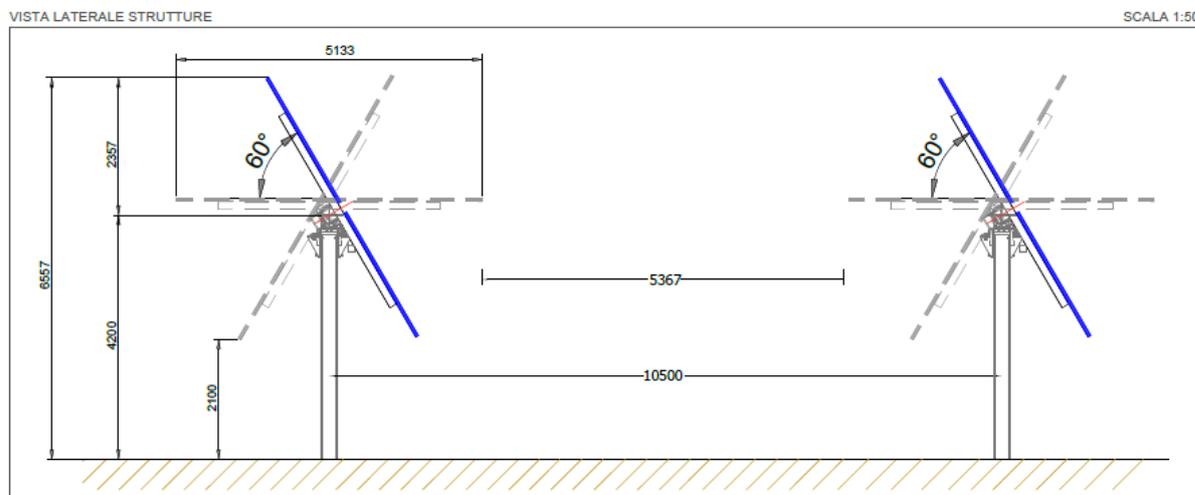


Figura 5. Vista laterale delle strutture fotovoltaiche (tracker monoassiali a inseguimento)

Al fine di incrementare la produttività, è stato previsto di coltivare anche una fascia minima di 70 cm a destra e sinistra sotto i tracker (Figura 6), pertanto le superfici da coltivare saranno:

- la superficie libera tra i filari dei tracker (seminativo)
- la fascia di 70 cm a destra e sinistra sotto i tracker (seminativo)
- la fascia di mitigazione perimetrale di larghezza pari a 10 m (colture arboree autoctone)
- altre superfici all'interno del perimetro catastale dell'impianto non occupate dai tracker (misto seminativo/arboreo)

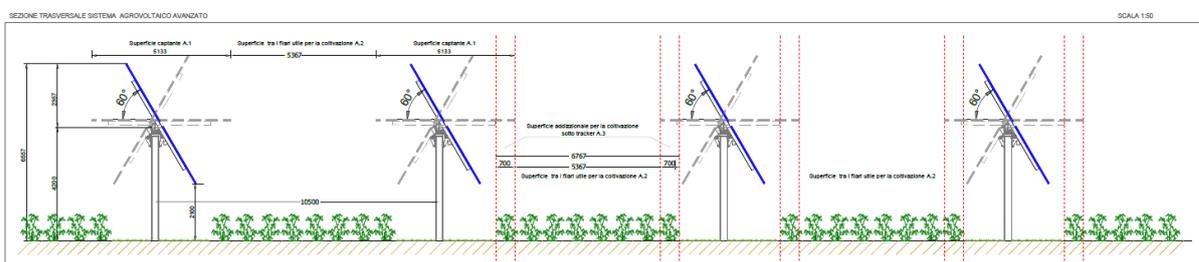


Figura 6. Vista laterale del sistema agri-fotovoltaico

Tra le colture potenzialmente coltivabili la scelta ricade verso colture ad elevato grado di meccanizzazione o del tutto meccanizzate (considerata anche l'estensione dell'area) quali: copertura con manto erboso e/o da foraggio oppure leguminose da granella (lenticchia, cece, ecc.).

Per una gestione sostenibile del suolo è auspicabile prevedere la rotazione colturale, con la messa in coltura di colture miglioratrici (leguminose) sfruttando la tecnica del sovescio per migliorare le caratteristiche fisico-chimiche del suolo di coltivazione oppure in miscuglio con altre specie di graminacee per la produzione di fieno.

Le rotazioni colturali accoppiate al sovescio porterebbero a buoni risultati, in quanto si integra la "coltivazione solare" con una gestione sostenibile del suolo agrario preservandone le caratteristiche fisico-chimiche e un aumento della redditività dei terreni.

Tabella 3. Piano colturale del sistema agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm'

Tipologia di superficie	Coltura	Superficie (ha)
Superficie tra i filari e sotto i tracker utile per la coltivazione	Specie foraggere leguminose e graminacee	185,80
Fascia di mitigazione perimetrale di larghezza pari a 10 m	Mandorlo	44,50
Superficie di compensazione ambientale	Olivo (3.000 esistenti) Carrubo (320 esistenti) Specie vegetali autoctone	32,40

Coltivazione di specie foraggere

La produzione agricola da destinare sia tra le interfile sia sotto i pannelli dell'impianto, su una superficie totale di 185,8 ha, riguarderà la coltivazione di specie foraggere per pascolo destinato all'allevamento di ovini finalizzato alla produzione di latte per l'ottenimento di formaggio Pecorino Siciliano DOP.

L'inerbimento tra i filari dei moduli fotovoltaici all'interno dell'area d'impianto sarà realizzato attraverso la semina di miscugli di 2-3 specie ben selezionate, che richiedono pochi interventi per la gestione. In particolare, si potrebbe optare per le seguenti specie:

- *Trifolium subterraneum* (trifoglio sotterraneo) e *Vicia sativa* (veccia) per quanto riguarda le leguminose;
- *Hordeum vulgare* (orzo) e *Avena sativa* (avena) per quanto riguarda le graminacee.

Queste specie potranno essere utilizzate per il pascolo degli ovini o come sovescio interrando la loro biomassa nel terreno per mezzo di apposite macchine; potranno anche essere raccolte per mezzo di una falcia-trincia-caricatrice per la produzione di foraggio verde; in alternativa, esse potranno essere utilizzate per la produzione di fieno utilizzando una falcia-condizionatrice che effettuerà lo sfalcio, convogliando il prodotto tra due rulli in gomma sagomati che ne effettuano lo schiacciamento e disponendolo poi, grazie a due semplici alette, in andane (strisce di fieno disposte ordinatamente sul terreno). Completata questa operazione, il foraggio si essiccherà in campo per circa 7-10 giorni e successivamente si procederà con l'imballaggio del fieno utilizzando una rotoimballatrice

Fascia perimetrale di rispetto

La fascia perimetrale di rispetto (44,50 ha) sarà interessata dalla messa a dimora di piante di mandorlo. Le piante saranno disposte su due file a quinconce con sesto di 5 m x 5 m. Le due file saranno disposte con uno sfalsamento di 2,50 m, per migliorare sia l'effetto di mitigazione visivo, sia per facilitare le operazioni meccaniche di raccolta con l'impiego della raccogliatrice meccanica anteriore. È prevista la messa a dimora di circa 11.500 piante di varietà autoctone di mandorlo di 5 anni di età.

Aree di compensazione ambientale

Le aree di compensazione ambientale (32,40 ha) saranno interessate dalla messa a dimora degli esemplari di olivo e carrubo (che saranno estirpati dalle aree di impianto) e da altre specie autoctone caratteristiche della macchia mediterranea come riportato nella seguente tabella:

Tabella 4. Specie la cui messa a dimora è prevista nelle aree di compensazione ambientale

Specie	N
<i>Olea europea (olivo)</i>	3.000
<i>Ceratonia siliqua (carrubo)</i>	320
<i>Quercus ilex</i>	4.300
<i>Quercus suber</i>	4.300
<i>Erica arborea</i>	18.000
<i>Pistacia lentiscus</i>	18.000

Allevamento di api

Tra le opere di progetto al fine di garantire una corretta ecocompatibilità ambientale vi è l'inserimento sperimentale all'interno del sito in oggetto, di n. 50 arnie per l'allevamento dell'*Apis mellifera Sicula*. Questa ape autoctona, oggi Presidio Slow Food, è molto produttiva alle temperature più estreme, tanto che permette di raccogliere il miele anche nei periodi invernali, potrebbe in via del tutto sperimentale dare buoni risultati aprendo nuovi scenari produttivi e di sostenibilità all'interno del progetto "agro-fotovoltaico".

4.3. Rispondenza ai requisiti previsti dalle Linee guida del MITE

La rispondenza delle caratteristiche tecnico-progettuali del sistema agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm' ai requisiti previsti dalle Linee guida in materia di impianti agrivoltaici emanate dal Ministero per la Transizione Ecologica nel mese di giugno 2022, è di seguito riportata:

REQUISITO A

Il sistema agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm' è stato progettato e sarà realizzato in modo da adottare una configurazione spaziale ed opportune scelte tecnologiche, tali da consentire l'integrazione fra attività agricola e produzione elettrica e valorizzare il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi. Vengono infatti soddisfatte le condizioni costruttive e spaziali previste dalle linee guida del MITE. In particolare, sono identificati i seguenti parametri:

A.1) Superficie minima coltivata:

SAGR [mq]	2.303.000	
STOT [mq]	3.075.000	≥ 0,70
SAGR/STOT	74,9%	SI

$SAGR/STOT = 74,9\%$ - maggiore di quella prevista dalle linee guida (70%).

A.2) Rapporto massimo fra la superficie dei moduli e quella agricola:

SPV [mq]	902.000	
STOT [mq]	3.075.000	≤ 0,40
LAOR	29,3%	SI

LAOR (SPV/STOT) = 29,3% - minore di quello massimo previsto dalle linee guida (40%);

REQUISITO B

Il sistema agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm' sarà esercito, nel corso della vita tecnica, in maniera da garantire la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli e non compromettere la continuità dell'attività agricola e pastorale. In particolare, sarà assicurata:

B.1) la continuità dell'attività agricola e pastorale sul terreno oggetto dell'intervento: l'impianto sarà dotato di un sistema per il monitoraggio dell'attività agricola per verificare:

- l'esistenza e la resa della coltivazione
- il mantenimento dell'indirizzo produttivo

B.2) la producibilità elettrica dell'impianto agrivoltaico, rispetto ad un impianto standard e il mantenimento in efficienza della stessa:

FVSTD [Gwh/Ha/a]	1,44	
FVAGRI [Gwh/Ha/a]	1,03	≥ 0,60
FVAGRI/FVSTD	0,71	SI

FVagri/FVstandard = 0,71 - maggiore di 0,60 limite minimo previsto dalle linee guida.

REQUISITO C

L'impianto agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm' adotta soluzioni integrate innovative con moduli mobili elevati da terra che presentano un'altezza minima di 2,10 m in modo da consentire la continuità delle attività agricole anche al di sotto dei moduli fotovoltaici (Tipo 1).

REQUISITO D

Il sistema agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm' sarà dotato di un sistema di monitoraggio per la verifica della rispondenza al requisito D.1) per la valutazione del risparmio idrico. Sarà, inoltre, dotato di un sistema di monitoraggio che consentirà di soddisfare il requisito D.2) per garantire "la continuità dell'attività agricola, ovvero: l'impatto sulle colture, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture o allevamenti e la continuità delle attività delle aziende agricole interessate".

REQUISITO E

Il sistema agri-fotovoltaico ‘Victoria Solar Farm’ sarà dotato anche di un sistema di monitoraggio che, oltre al rispetto dei requisiti D1 e D2, potrà consentire di analizzare e valutare l’incremento della fertilità del suolo (E1), il microclima (E2) e la resilienza ai cambiamenti climatici (E3).

Si ritiene dunque che il sistema agri-fotovoltaico ‘Victoria Solar Farm’, considerato il rispetto dei requisiti A1 e A2, B1 e B2, C e D2, implementato degli opportuni sistemi di monitoraggio in fase di progettazione esecutiva e realizzazione per la rispondenza agli ulteriori requisiti D1, D2 ed E, rientra nella definizione di **“impianto agrivoltaico avanzato”** per gli scopi di cui al DL 77/2021 e per l’accesso ai contributi del PNRR

4.4. La gestione operativa del sistema agro-silvo-pastorale

Coerentemente con la definizione introdotta dall’art. 31 della Legge 108/2021, il sistema agri-fotovoltaico ‘Victoria Solar Farm’ adotterà *“soluzioni integrative innovative con montaggio dei moduli elevati da terra, anche prevedendo la rotazione dei moduli stessi, comunque in modo da non compromettere la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale, anche consentendo l’applicazione di strumenti di agricoltura digitale e di precisione”*.

La gestione delle attività agricole e zootecniche saranno assegnate ad agricoltori o aziende agricole locali, possibilmente costituite in forma cooperativa o consortile, i cui partecipanti saranno individuati attraverso un processo di selezione volto a garantire le necessarie competenze, capacità manageriali e affidabilità.

Nella gestione delle attività agricole, particolare riguardo sarà rivolto agli aspetti della tutela della biodiversità, della qualità e vitalità del suolo e della impronta ecologica del sistema agrivoltaico.

In linea con quanto previsto dall’art. 31 della Legge 108/2021, saranno introdotte innovazioni tecnologiche digitali quali:

- mappatura dei campi con registrazione puntuale ed elaborazione dei dati (sistemi GIS) raccolti in tempo reale da sensori, per formulare decisioni personalizzate nel tempo e nello spazio;
- immagini satellitari utili per il telerilevamento dello stato di salute delle colture, attraverso l’elaborazione di indici di vegetazione (vigoria, stress idrico, livello di clorofilla);
- modelli previsionali che ottimizzano l’impiego degli input (acqua, fertilizzanti, fitofarmaci), previa elaborazione di dati ambientali, e consentono l’attuazione di interventi mirati, riducendo l’impatto ambientale ed incrementando la produttività e la qualità del prodotto (agricoltura di precisione).



In prospettiva, le attività di gestione non si limiteranno alla sola fase di produzione agricola, nel tempo, infatti, potranno gradualmente comprendere le fasi di trasformazione e confezionamento dei prodotti ottenuti anche attraverso la eventuale ristrutturazione e messa a norma degli immobili presenti sul fondo, attualmente inagibili, per arrivare a prodotti finiti da collocare direttamente sul mercato delle produzioni certificate da agricoltura biologica.

La creazione di un marchio per comunicare al consumatore la qualità ambientale dei prodotti ottenuti in un sistema agri-fotovoltaico dove sarà possibile produrre energia pulita da fonti rinnovabili senza sottrarre terreno alle produzioni agricole, potrebbe costituire un'importante leva di marketing per promuovere l'acquisto delle produzioni ottenute con il minimo impatto sull'ambiente.

5. Attività di ricerca agronomica

L'implementazione di un sistema agricolo integrato come quello precedentemente descritto, presuppone un'attività di ricerca e un miglioramento continuo nella fase esecutiva e di gestione volti all'individuazione delle varietà vegetali e delle razze animali che meglio esprimono la loro capacità di adattamento e potenzialità produttiva nell'ambiente oggetto dell'intervento e alla definizione degli interventi agronomici e zootecnici che possano consentire di aumentare le rese e le caratteristiche di qualità dei prodotti ottenuti compatibilmente con la salvaguardia degli equilibri ambientali.

Le attività di ricerca, inoltre, avranno come obiettivo la definizione dei protocolli di coltivazione e di trasformazione delle filiere produttive e la creazione di un sistema di monitoraggio e valutazione dei risultati produttivi ottenuti e degli indicatori di sostenibilità dei diversi settori produttivi e del sistema agrivoltaico nel suo complesso.

Il progetto di ricerca prevede una stretta collaborazione tra il Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente dell'Università di Catania e la società EDPR Sicilia PV S.r.l., finalizzata all'integrazione degli aspetti scientifici con la sperimentazione di campo, alla replicabilità in altre regioni del modello messo a punto ed alla diffusione dei risultati a livello regionale e nazionale ed internazionale anche attraverso la pubblicazione di articoli su riviste scientifiche.

Si prevede, inoltre, il coinvolgimento dei docenti e degli studenti dell'Istituto Agrario Secondario d'Istruzione 'E. Fermi' di Vittoria (RG) nelle attività di ricerca in campo e di analisi di alcuni parametri agronomici e ambientali presso i laboratori dell'Istituto al fine di sensibilizzare i ragazzi sui temi della sostenibilità e dell'innovazione in agricoltura.

5.1. Prove sperimentali in campo ed in laboratorio

La ricerca avrà come obiettivo generale l'ottimizzazione del sistema agro-silvo-pastorale proposto sotto il profilo agronomico, ambientale, economico e sociale.

Gli obiettivi specifici con riferimento alle coltivazioni saranno:

- la caratterizzazione agronomica e qualitativa delle specie foraggere che andranno a costituire il prato polifita permanente;
- la scelta delle varietà e la messa a punto della tecnica colturale per le specie erbacee annuali da pieno campo quali le leguminose da granella (cece e lenticchia) e le specie ortive (pomodoro e melone) nell'area destinata alla sperimentazione;
- la scelta varietale e la messa a punto della tecnica colturale per le specie arboree da mettere a dimora nella fascia perimetrale di mitigazione (mandorlo) e nelle arre di mitigazione ambientale (olivo e carrubo).
- adozione di tecniche di gestione conservative e rigenerative del suolo.

Gli obiettivi specifici con riferimento all'allevamento di api saranno:

- la definizione delle tecniche di gestione dell'allevamento stanziale di api;
- la valutazione della potenzialità nettarifera e pollinifera, in termini quantitativi, temporali e qualitativi delle specie arboree, ortive e foraggere oggetto di coltivazione.

5.2. Protocolli per la gestione sostenibile del sistema agrivoltaico

La scelta delle tecniche agronomiche da adottare nella gestione dei sistemi agrivoltaici terrà conto dei seguenti aspetti:

- opere preventive di sistemazione dei terreni declivi (fossi livellari) e pianeggianti (eliminazione delle acque in eccesso)
- introduzione di essenze vegetali che mostrino elevata capacità di adattamento all'ambiente e che siano compatibili con le operazioni di gestione e manutenzione dei moduli fotovoltaici
- gestione della copertura vegetale attraverso tecniche colturali che ottimizzino l'incremento della sostanza organica del terreno, il mantenimento della biodiversità vegetale e animale e che consentano di evitare, allo stesso tempo, il rischio di incendi
- adozione di pratiche colturali conservative e rigenerative della fertilità del suolo che comprendono in particolare l'utilizzo di *cover crops*, la trasemina di miscugli da sovescio di specie leguminose azotofissatrici e le tecniche di minima lavorazione del terreno
- impianto di specie arbustive officinali con elevata capacità mellifera per contribuire alla salvaguardia degli insetti pronubi
- controllo delle fitopatie tramite tecniche di lotta biologica e utilizzo di prodotti di origine vegetale o minerale
- concimazione del terreno attraverso il ricorso a fertilizzanti organici.

6. Attività di monitoraggio dei parametri agro-ambientali

Secondo le indicazioni riportate nelle Linee Guida MiTE, il monitoraggio di un sistema agrifotovoltaico deve essere funzionale a raccogliere i dati e le informazioni per l'allestimento dei dossier da presentare alle autorità competenti ai fini della fruizione di incentivi statali (DL 77/2021) secondo i seguenti requisiti:

- D.1) risparmio idrico;
- D.2) continuità dell'attività agricola, ovvero: l'impatto sulle colture, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture o allevamenti e la continuità delle attività delle aziende agricole interessate;
- E.1) recupero della fertilità del suolo;
- E.2) microclima;
- E.3) resilienza ai cambiamenti climatici.

6.1. Monitoraggio delle produzioni agricole

Prendendo in considerazione le Linee Guida MiTE, non è indicata la superficie dell'area di controllo esterna all'area del sistema agrifotovoltaico per monitorare e stimare la resa agricola in condizioni di riferimento di crescita delle colture agrarie. Nella DIN SPEC 91434 non vengono indicate le superfici delle aree di controllo ma sono presenti delle indicazioni riguardo due situazioni da prendere in considerazione:

- a) le colture sono già state coltivate sull'intera area del progetto o su altre aree dell'azienda. Per le colture permanenti e i pascoli, si calcola la media delle rese degli ultimi 3 anni. Nelle rotazioni di seminativi la resa deve essere valutata considerando la media produttiva nei 3 cicli precedenti di rotazione delle singole colture;
- b) le colture non sono ancora state coltivate nell'azienda: rese medie degli ultimi tre anni tratte da pubblicazioni pertinenti. Richiamando l'*Afnor Label Projet Agrivoltaïque*, invece, è possibile individuare un'area di controllo esterna al sistema agrifotovoltaico per monitorare la riduzione della produzione (posta entro 150 m dall'impianto).

Il confronto deve avvenire ogni anno per coltura per individuare come modalità della stima del calo produttivo in impianti agrifotovoltaici la resa media della produzione agricola che si è avuta sia negli anni precedenti o nelle aree circostanti con le stesse specie agrarie.

La DIN SPEC 91434 non prevede un vero e proprio piano di monitoraggio ma stabilisce che in fase di progettazione siano fissati dei criteri e un piano agronomico coerente con le caratteristiche dell'impianto (piano di utilizzo di tre anni dopo la costruzione dell'impianto). Il piano di utilizzo deve descrivere in dettaglio come verrà utilizzato il terreno nei tre anni successivi alla costruzione dell'impianto agrifotovoltaico, o nell'ambito di un ciclo di rotazione delle colture.

La proposta dovrà prestare particolare attenzione ai seguenti punti:

- installazione;
- perdita di suolo;
- fattibilità delle operazioni di lavorazione del terreno;
- disponibilità di luce e omogeneità;
- disponibilità di acqua;
- erosione del suolo;
- montaggio e smontaggio senza lasciare residui;
- calcolo dell'efficienza economica.

Nel documento '*Afnor Label Projet Agrivoltaïque*' viene suggerito di scegliere un'area con caratteristiche pedologiche non dissimili da quelle in cui avviene la coltivazione in agrivoltaico e con la stessa gestione agronomica (per es. stesso metodo di produzione agricola, biologico o convenzionale). L'area non dovrebbe subire l'ombreggiamento dell'impianto limitrofo e collocarsi, preferibilmente, nelle immediate vicinanze a una distanza non superiore a 150 metri. La dimensione dell'area è da differenziarsi a seconda della tipologia di colture:

- Area di controllo di 1000 m²:

- colture vegetali: funghi, erbe aromatiche, ortaggi a bulbo, a fiore, a foglia, a frutto, a radice, a stelo, a tubero e legumi da orto;
- piante aromatiche e medicinali;
- actinidia, frutti minori (es. lampone, more), vite;
- piante ornamentali.

- Area di controllo di 2000 m²:

- colture da pieno campo: cereali, colture foraggere, luppolo, mais, sorgo, oleaginose, piante da fibra, colture proteiche, tabacco, terreni a riposo, barbabietole;
- arboree: agrumi, alberi da frutta secca, drupacee, pomacee.

Se nello stesso sistema agrivoltaico sono presenti più coltivazioni, l'area di controllo deve essere rappresentativa per almeno 2 delle varietà più emblematiche, tenendo conto delle aree di controllo definite precedentemente.

Oltre alla misurazione della produzione commerciale (t ha⁻¹) è richiesto di valutare la qualità dei prodotti in termini di calibro, valore nutrizionale e caratteristiche estetiche. Come per la DIN SPEC 91434, anche l'*Afnor Label Projet Agrivoltaïque* richiede la valutazione di numerosi parametri agronomici al fine di dimostrare che l'impianto agrivoltaico migliora le condizioni di coltivazione.

In particolare, sono richieste:

- misure della temperatura per dimostrare la riduzione di stress termico nelle colture coltivate in agrivoltaico in estate e l'effetto di mitigazione sulle basse temperature di inverno;
- verifica della riduzione del consumo idrico e dell'evapotraspirazione delle colture;
- attenzione agli effetti sul suolo (soprattutto compattazione);
- valutazione degli effetti di mitigazione su condizioni climatiche avverse (riduzione delle scottature da caldo, dei danni da grandine, danni da gelo);
- verifiche sul rispetto dei vincoli paesaggistici, sulla conservazione della biodiversità, riduzione dell'uso dei prodotti fitosanitari, stimolo all'implementazione di pratiche agro-ecologiche.

6.2. Monitoraggio della qualità del suolo

Tra i numerosi indicatori fisici, chimici e biologici, la sostanza organica rappresenta uno dei più importanti indicatori di qualità. Il suo contenuto nel suolo, infatti, rappresenta un potenziale indicatore ambientale in quanto si correla con numerosi aspetti della produttività e sostenibilità degli agroecosistemi e della conservazione ambientale (Smith et al., 2000). In generale, alla presenza di elevate quantità di sostanza organica nel suolo vengono attribuiti molteplici benefici; la sostanza organica esplica infatti la propria azione sulle proprietà nutrizionali del terreno, sia perché costituisce una riserva di elementi nutritivi ed energetici per i microrganismi del suolo e di elementi nutritivi per le piante, sia perché attraverso i meccanismi di scambio, assorbimento, complessazione e chelazione, modula la disponibilità degli elementi medesimi.

Tuttavia, il solo contenuto di sostanza organica non è in grado di dare precise indicazioni in merito all'evoluzione di un terreno in risposta a precise strategie di gestione. Pertanto, è fondamentale attuare un processo di monitoraggio del terreno che riesca a interpretare ed integrare le tra componenti fondamentali della fertilità, ovvero quella fisica, chimica e biologica.

Il piano analitico comprende analisi delle principali componenti della fertilità:

aspetto fisico

- costituzione,
- stratigrafia,
- forma apparati radicali,
- suola di lavorazione,
- stato di aggregazione del suolo,
- colore,
- distribuzione e stabilità degli aggregati,
- infiltrazione dell'acqua,
- porosità)

aspetto chimico

- pH,
- calcare totale e attivo
- sostanza organica
- carbonio totale e attivo e contenuto di azoto, fosforo, potassio, calcio e magnesio,
- capacità di scambio cationico,
- rapporto carbonio/azoto
- rapporto tra i diversi elementi nutritivi

biologico

- respirazione del suolo
- analisi microbiologiche.

6.3. Monitoraggio della biodiversità

La continua perdita di biodiversità è una questione di crescente preoccupazione in Europa e misurarne l'entità e la minaccia che essa rappresenta è una sfida enorme. La diversità biologica va al di là della sola tutela di animali, piante, microorganismi e dei loro ecosistemi, ma coinvolge l'ampio spettro dei bisogni dell'uomo che vanno dal quello del cibo "sicuro", alla necessità di acqua e aria pulita, ecc.

Il progetto '*Streamlining European Biodiversity Indicators*' (SEBI) coordinato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) ha messo a punto un set di indicatori per misurare i progressi fatti per arrestare la perdita di biodiversità.

Il set di 26 indicatori, comprensibili anche per i non addetti ai lavori, è stato costituito a partire da un primo elenco di oltre 140 indicatori di biodiversità possibili, mostra, tra l'altro, la diversità genetica degli animali domestici, l'andamento della quantità e distribuzione della popolazione di alcune specie (uccelli e farfalle), l'estensione degli ecosistemi e degli habitat selezionati, comprese le aree protette. Altri indicatori, invece, valutano le minacce per la biodiversità e l'uso sostenibile delle risorse naturali.

L'utilizzo del set di indicatori permette di acquisire una conoscenza più articolata e complessa di come la natura sia influenzata dalle attività umane e dimostra che solo attraverso il giusto utilizzo delle informazioni possiamo definire le azioni necessarie per favorire il ripristino degli ecosistemi che ci sostengono.

Tabella 5. Set di indicatori per il monitoraggio della biodiversità

Table 2.1 SEBI 2010 indicators within CBD focal areas and EU headline indicators			
CBD focal area	Headline indicator	SEBI 2010 specific indicator	
Status and trends of the components of biological diversity	Trends in the abundance and distribution of selected species	1. Abundance and distribution of selected species a. Birds b. Butterflies	
	Change in status of threatened and/or protected species	2. Red List Index for European species 3. Species of European interest	
	Trends in extent of selected biomes, ecosystems and habitats	4. Ecosystem coverage 5. Habitats of European interest	
	Trends in genetic diversity of domesticated animals, cultivated plants, and fish species of major socioeconomic importance	6. Livestock genetic diversity	
	Coverage of protected areas		7. Nationally designated protected areas 8. Sites designated under the EU Habitats and Birds Directives
			9. Critical load exceedance for nitrogen
Threats to biodiversity	Nitrogen deposition	10. Invasive alien species in Europe	
	Trends in invasive alien species (numbers and costs of invasive alien species)	11. Impact of climatic change on bird populations	
	Impact of climate change on biodiversity	12. Marine Trophic Index of European seas	
Ecosystem integrity and ecosystem goods and services	Marine Trophic Index	13. Fragmentation of natural and semi-natural areas 14. Fragmentation of river systems	
	Connectivity/fragmentation of ecosystems	15. Nutrients in transitional, coastal and marine waters 16. Freshwater quality	
	Water quality in aquatic ecosystems		17. Forest: growing stock, increment and fellings 18. Forest: deadwood 19. Agriculture: nitrogen balance 20. Agriculture: area under management practices potentially supporting biodiversity 21. Fisheries: European commercial fish stocks 22. Aquaculture: effluent water quality from finfish farms
			23. Ecological Footprint of European countries
Sustainable use	Area of forest, agricultural, fishery and aquaculture ecosystems under sustainable management	24. Patent applications based on genetic resources	
Status of access and benefits sharing	Percentage of European patent applications for inventions based on genetic resources	25. Financing biodiversity management	
Status of resource transfers	Funding to biodiversity	26. Public awareness	
Public opinion (additional EU focal area)	Public awareness and participation		

6.4. Calcolo dell'impronta di carbonio del sistema agrivoltaico

La valutazione della sostenibilità del sistema agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm' sarà effettuata attraverso il calcolo della *carbon footprint* (impronta di carbonio), un indicatore che indica la somma delle emissioni di gas serra (CO₂ equivalente) emesse lungo tutto il ciclo di vita di un prodotto dalla culla (materie prime) alla tomba (fine vita del prodotto).

Verrà utilizzata la metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) e il software Simapro. Per la quantificazione e presentazione dei dati sulle emissioni, gli Standard ISO esistenti per LCA (ISO 14040/44, ISO 14025 e ISO 14064) sono indispensabili in quanto forniscono il quadro e i principi di base della valutazione del ciclo di vita e i requisiti tecnici. Sulla base di questi due standard, sono stati sviluppati altri standard specifici per il calcolo della *carbon footprint* quali il PAS2050 (2008) (British Standards Institution, 2008b); il protocollo GHG (2011) (WBCSD, 2011); la ISO 14067(2012) (ISO, 2012) e il IPCC (2006).

La quantificazione delle emissioni di carbonio, detta anche impronta di carbonio, è una forma specifica di diversi metodi di contabilità del carbonio che quantifica l'impatto del ciclo di vita di un prodotto, processo o sistema sul cambiamento climatico. È interessante notare che la carbon footprint o impronta di carbonio non è stata guidata dalla ricerca, ma piuttosto è stata promossa da ONG, aziende e varie iniziative private. Ciò ha portato a molte definizioni e suggerimenti su come l'impronta di carbonio debba essere calcolata.

Lo studio di Wiedmann and Minx (2007) suggerisce che il termine impronta di carbonio dovrebbe essere utilizzato solo per analisi che includono le emissioni di carbonio ma mostra, tuttavia, che la maggior parte delle definizioni attualmente includono anche altre emissioni attraverso indicatori equivalenti di biossido di carbonio (CO₂). Ciò è molto simile all'indicatore del potenziale di riscaldamento globale (GWP) utilizzato nella valutazione del ciclo di vita (LCA).

La metodologia LCA è stata sviluppata con l'obiettivo di creare un quadro olistico che evitasse il cosiddetto “*problem-shifting*”, ovvero risolvere un problema ambientale creandone uno nuovo nel processo. Perciò, con la metodologia LCA più sostanze sono valutate simultaneamente per comprendere meglio il loro contributo a vari problemi ambientali. Questa complessità è difficile da comunicare. Per gli esperti che lavorano con LCA, catturare i problemi in un unico indicatore è un'idea stimolante ma concentrarsi solo sul GWP in alcuni casi può fornire un quadro fuorviante degli impatti, rispetto all'approccio a più indicatori.

Nonostante ciò, la CF risponde a una crescente domanda del mercato di “*climate relevant information*” lungo le filiere ed è di semplice comprensione in quanto direttamente connessa ad una delle più riconosciute emergenze ambientali, ovvero il riscaldamento globale. Per questi motivi si propone di calcolare la CF del sistema fotovoltaico attraverso la metodologia LCA, seguendo lo standard ISO/TS 14067 e utilizzare questo indice insieme a quelli relativi alla qualità del suolo (caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche) nel programma di monitoraggio.

6.4.1. La norma UNI EN ISO 14067:2018

Le tematiche relative alla salvaguardia dell'ambiente hanno assunto un ruolo sempre più importante all'interno dell'economia mondiale, di conseguenza le organizzazioni possono evidenziare i propri obiettivi di sostenibilità ambientale attraverso un importante mezzo di comunicazioni: le certificazioni, che permettono all'azienda di comunicare ai propri clienti quale sia la politica aziendale adottata.

In ambito ambientale, in data 20 agosto 2018 è entrata in vigore la nuova norma internazionale UNI EN ISO 14067 “*Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification*” che ha sostituito la specifica tecnica ISO/TS 14067 e che definisce i principi, i requisiti e le linee guida per la quantificazione e la comunicazione dell'impronta di carbonio di un prodotto (CFP – *Carbon Footprint of a Product*).

Tale norma fornisce le indicazioni su come calcolare la impronta di carbonio dei prodotti e far meglio comprendere come è possibile ridurla. In particolare, la norma UNI EN ISO 14067 definisce quali sono i punti fondamentali da sviluppare per calcolare la impronta di carbonio, cioè: approccio di ciclo di vita, metodologia per la quantificazione della carbon footprint (CFP) e report sullo studio effettuato. L'applicazione di tale standard di riferimento permette di comprendere meglio le modalità con cui gestire e ridurre la propria CFP, di dimostrare le performance ambientali di prodotto e di comunicare i propri obiettivi di sostenibilità ambientale. Una volta definita la propria CFP, tale documentazione deve essere sottoposta a verifica e a validazione da parte di un organismo accreditato.

Lo studio della CFP (CFP study) consente di quantificare in termini di CO₂ equivalente l'impronta carbonica del prodotto considerato.

I punti fondamentali della norma riguardano:

- approccio di ciclo di vita
- metodologia per la quantificazione della carbon footprint di prodotto (CFP)
- report sullo studio CFP

L'attività di verifica è intesa come un'attività puntuale finalizzata a valutare l'attendibilità di dati relativi al calcolo della CFP in uno specifico arco temporale.

I vantaggi sono rappresentati da:

- possibilità di comprendere meglio le modalità con cui ridurre la CFP
- maggiore capacità di dimostrare le performance ambientali di prodotto
- credibilità della comunicazione ambientale
- riduzione del rischio greenwashing.

Come definito dall'Organizzazione internazionale per la standardizzazione (ISO), un LCA preciso segue generalmente quattro fasi:

1. Definizione di obiettivo e ambito
2. Analisi dell'inventario del ciclo di vita (LCI)
3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA)
4. Interpretazione (Azari Jafari et al., 2016)

6.4.2. I Carbon credits

A causa del rilascio in atmosfera di anidride carbonica e altri gas ad effetto serra il clima del pianeta Terra sta cambiando. La prevedibilità del meteo, su cui una volta gli agricoltori potevano fare un certo affidamento, è oggi stravolta. Lunghi periodi siccitosi si alternano a



fenomeni intensi, come le cosiddette bombe d'acqua. Venti forti e gelate primaverili tardive sono sempre più comuni, mentre le temperature estive toccano picchi mai raggiunti prima.

Se il settore industriale ed energetico è di gran lunga il più importante inquinatore, l'agricoltura viene considerata vittima e causa dei cambiamenti climatici, visto che contribuisce per circa il 10% all'emissione di gas serra. Eppure, il settore primario potrebbe essere anche uno dei principali attori della lotta ai cambiamenti climatici e gli agricoltori potrebbero guadagnare da questo loro sforzo a favore del clima.

Uno degli strumenti per raggiungere questi risultati è il mercato dei crediti di carbonio per compensare volontariamente quelle emissioni che non è possibile ridurre. Compensare le emissioni di CO₂ significa utilizzare dei crediti verdi generati da progetti ad impatto positivo per ridurre o neutralizzare l'impatto generato dalle proprie attività.

I crediti di carbonio (*carbon credits*) sono certificati negoziabili, ovvero titoli equivalenti ad una tonnellata di CO₂ non emessa o assorbita grazie ad un progetto di tutela ambientale realizzato con lo scopo di ridurre o riassorbire le emissioni globali di CO₂ e altri gas ad effetto serra. Acquistare crediti di carbonio significa finanziare e supportare dei progetti ad impatto positivo che concorrono al raggiungimento degli obiettivi internazionali di sviluppo sostenibile e che contribuiscano attivamente al miglioramento delle condizioni di vita delle comunità locali garantendo benefici sociali, economici ed ambientali su scala globale.

In questa logica, i crediti di carbonio soddisfano requisiti di solidità della rendicontazione aziendale delle proprie azioni di sostenibilità e tutela ambientale. Investire in *carbon credits* rappresenta un'opportunità di differenziazione sul mercato, per migliorare la competitività del proprio business ed il posizionamento aziendale sul mercato, in coerenza con la propria Corporate Social Responsibility (CSR).

7. Considerazioni conclusive

Nella odierna situazione climatica del pianeta la sfida per le imprese è quella di riuscire ad adattare il proprio modello di business rispetto alle nuove sfide legate al cambiamento climatico, in linea con gli Obiettivi dello Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030. L'Accordo di Parigi ha portato il mondo a impegnarsi per contenere il riscaldamento climatico globale entro i +2 °C rispetto all'era preindustriale. Si tratta di un obiettivo che per essere raggiunto richiede l'impegno e lo sforzo di tutti e delle imprese di ogni settore produttivo.

Implementare una strategia sulla integrazione tra produzione di energie rinnovabili e sistemi agricoli sostenibili, negativi in termini di bilancio del carbonio in quanto è possibile sequestrare questo elemento nel suolo, rappresenta un passo importante e decisivo nella direzione di una transizione graduale verso l'economia della '*carbon neutrality*'.

Il settore agricolo in particolare risente dei suoi effetti immediati. Ecco perché occorre agire sostenendo la ricerca e progettando misure di protezione del clima in modo che la sicurezza alimentare e la fornitura di energia sostenibile vadano di pari passo.

Nell'ambizioso obiettivo comunitario di raggiungere la neutralità dal punto di vista climatico entro il 2050, oltre ad incrementare l'utilizzo e la varietà delle fonti di energia rinnovabile, devono essere considerati anche gli aspetti relativi alla conservazione del suolo e ad un suo efficiente utilizzo.

I sistemi agrivoltaici rappresentano un'opportunità concreta per bilanciare gli interessi in competizione tra loro dell'uso del suolo per la produzione di alimenti, da un lato, e la produzione di energia rinnovabile, dall'altro. Questo compito sta diventando sempre più difficile in quanto l'uso di energia rinnovabile continua a crescere, e con esso aumenta la richiesta di terreni, anche agricoli, per l'installazione di impianti fotovoltaici.

I sistemi agrivoltaici riescono a coniugare entrambi i tipi di utilizzo. Il duplice uso della terra per l'agricoltura e la produzione di energia solare ha il potenziale per compensare la scarsità delle superfici utilizzabili e per contribuire allo sviluppo sostenibile delle aree rurali. Gli agricoltori avranno così l'opportunità di sviluppare nuove fonti di reddito senza rinunciare alle produzioni agricole e rendere le aziende agricole più resilienti di fronte al cambiamento climatico. Inoltre, i moduli fotovoltaici offrono protezione contro l'eccessiva radiazione solare, le alte temperature, l'aridità e la grandine; in estati molto calde e asciutte, per alcune colture è stato registrato un incremento delle rese nelle aree ombreggiate dai moduli rispetto a quelle in piena luce.

Il sistema agri-fotovoltaico 'Victoria Solar Farm' è stato progettato per ottimizzare l'utilizzo agricolo primario del suolo adottando un approccio agro-ecologico ed un sistema colturale 'agro-silvo-pastorale' attraverso l'integrazione di coltivazioni permanenti (prati polifiti per la produzione di foraggio fresco e fieno), coltivazione di leguminose da granella a ciclo annuale inserite in uno schema di rotazione agraria, allevamento di api (apiario stanziale per la produzione di miele e altri prodotti dell'alveare) e una coltivazione di mandorlo, colture tradizionalmente presenti nel territorio, da realizzare nelle aree esterne agli impianti.



Il sistema proposto è coerente con tutti e tre gli obiettivi ‘greening’ della Politica Agricola Comunitaria (PAC) che prevedono il ricorso ai pascoli permanenti, una maggiore diversificazione delle colture e la costituzione di aree di interesse ecologico (*Ecological Focus Area*, EFA). I sistemi agro-silvo-pastorali, ossia l’associazione nella stessa azienda di aree destinate a specie forestali, piante arboree, colture erbacee, prati permanenti e allevamenti, sono indicati come un modo efficace per realizzare diversi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell’Agenda 2030 dell’ONU e a questi sistemi complessi è stato assegnato il ruolo chiave di aiutare ad invertire il trend di degrado del suolo, contribuendo anche alla mitigazione dei cambiamenti climatici.

Il sistema agri-fotovoltaico ‘Victoria Solar Farm’, analizzato nei suoi aspetti agronomici, ambientali, economici e sociali, mostra numerosi vantaggi, tra cui la resilienza nei confronti delle condizioni di incertezza climatica; la valorizzazione delle risorse naturali e l’utilizzo efficace dei diversi fattori produttivi; la fornitura di una serie di servizi ecosistemici con particolare riferimento al mantenimento di un elevato livello di biodiversità sia vegetale che animale, di fertilità del suolo e di protezione degli insetti pronubi; l’accumulo di carbonio nel terreno sotto forma di humus stabile quale strumento efficace per la mitigazione dei cambiamenti climatici; l’integrazione con la presenza delle strutture portanti dei moduli fotovoltaici sfruttando favorevolmente le condizioni di ombreggiamento; la diversificazione delle produzioni per mantenere un reddito anche in situazione di crisi di mercato di determinati prodotti; la valorizzazione economica delle produzioni ottenute nelle aree di mitigazione dalle piante mellifere, officinali e arboree autoctone e la creazione di occupazione stabile attraverso la distribuzione dell’impiego di manodopera durante tutto l’anno.

L’implementazione di un sistema agricolo integrato, come quello precedentemente descritto, presuppone un’attività di ricerca e un miglioramento continuo in fase esecutiva e di gestione volti a elevare le rese e le caratteristiche di qualità dei diversi ordinamenti colturali individuati; definire i protocolli di coltivazione e di trasformazione delle filiere produttive e creare un sistema di monitoraggio e valutazione attraverso un set di indicatori di sostenibilità agronomica, ambientale, economica e sociale che, in futuro, potrebbero costituire la base per un sistema di certificazione dei sistemi agrivoltaici da parte di enti terzi.

Le attività di ricerca, che verranno svolte attraverso una stretta collaborazione tra il Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente dell’Università di Catania, la società EDPR Sicilia PV S.r.l. e gli agricoltori coinvolti nella gestione della parte agricola, saranno, inoltre, finalizzate all’integrazione degli aspetti scientifici con la sperimentazione di campo, alla replicabilità in altre regioni del modello messo a punto ed alla diffusione dei risultati a livello regionale, nazionale ed internazionale anche attraverso la pubblicazione di articoli su riviste scientifiche.



Riferimenti bibliografici

- [1] United Nations General Assembly. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Gen Assem 70 Sess 2015.
- [2] United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2018 | Multimedia Library - United Nations Department of Economic and Social Affairs 2018.
- [3] Myles A, Mustafa B, Yang C, de Coninck H. Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers. IPCC 2018.
- [4] Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Seyboth K, Eickemeier P, Matschoss P, et al. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Summary for Policymakers and Technical Summary; 2011.
- [5] Agostini A, Battini F, Giuntoli J, Tabaglio V, Padella M, Baxter D, et al. Environmentally sustainable biogas? The key role of manure co-digestion with energy crops. *Energies* 2015.
- [6] Giuntoli J, Agostini A, Caserini S, Lugato E, Baxter D, Marelli L. Climate change impacts of power generation from residual biomass. *Biomass Bioenergy* 2016;89.
- [7] Boulamanti AK, Donida Maglio S, Giuntoli J, Agostini A. Influence of different practices on biogas sustainability. *Biomass Bioenergy* 2013;53.
- [8] Agostini A, Giuntoli J, Marelli L, Amaducci S. Flaws in the interpretation phase of bioenergy LCA fuel the debate and mislead policymakers. *Int J Life Cycle Assess* 2019:1–19.
- [9] REN21. Renewables 2020 Global Status Report. 2020.
- [10] Petter Jelle B, Breivik C, Drolsum Røkenes H. Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Sol Energy Mater Sol Cells* 2012; 100:69–96.
- [11] Dijkman TJ, Benders RMJ. Comparison of renewable fuels based on their land use using energy densities. *Renew Sustain Energy Rev* 2010; 14:3148–55.
- [12] European Union. DIRECTIVE (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). 11 December 2018.
- [13] Ministero dello Sviluppo Economico. Proposta di Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima; 2019.
- [14] Dincer I. Renewable energy and sustainable development a crucial review. *Renew Sustain Energy Rev* 2000; 4:157–75.
- [15] Rajagopal D, Sexton S, Roland-Holst D, Zilberman D. Challenge of biofuel: filling the tank without emptying the stomach? *Environ Res Lett* 2007;2(4):1–9.
- [16] REN21. Renewables 2017 global status report, Paris: REN21 Secretariat. ISBN 978- 3-9818107-6-9.
- [17] Nonhebel S. Renewable energy and food supply: will there be enough land? *Renew Sustain Energy Rev* 2005; 9(2):191–201.



- [18] Rathmann RG, Szklo A, Schaeffer R. Land use competition for production of food and liquid biofuels: an analysis of the arguments in the current debate. *Renew Energy* 2007; 35(1):14–22.
- [19] Zanon B, Verones S. Climate change, urban energy and planning practices: Italian experiences of innovation in land management tools. *Land Use Policy* 2013; 32:343–55.
- [20] Sacchelli S, Garegnani G, Geri F, Grilli G, Paletto A, Zambelli P, et al. Trade-off between photovoltaic systems installation and agricultural practices on arable lands: an environmental and socio-economic impact analysis for Italy. *Land Use Policy* 2016; 56:90–6.
- [21] Calvert K, Mabee W. More solar farms or more bioenergy crops? Mapping and assessing potential land-use conflicts among renewable energy technologies in eastern Ontario, Canada. *Appl Geogr* 2015; 56:209–21.
- [22] Fthenakis V, Kim CK. Land use and electricity generation: a life-cycle analysis. *Renew Sustain Energy Rev* 2009; 13:1465–74.
- [23] Scognamiglio A. ‘Photovoltaic landscapes’: design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 55:629–61.
- [24] Xue J. Photovoltaic agriculture - new opportunity for photovoltaic applications in China. *Renew Sustain Energy Rev* 2017; 73:1–9.
- [25] Bennamoun L. Integration of photovoltaic cells in solar drying systems. *Drying Technol* 2013; 31(11):1284–96.
- [26] Han C, Liu J, Liang H, Guo X, Li L. An innovative integrated system utilizing solar energy as power for the treatment of decentralized wastewater. *J Environ Sci* 2013; 25(2):274–9.
- [27] Campana PE, Leduc KM, Olsson A, Zhang J, Liu J, Kraxner F, et al. Suitable and optimal locations for implementing photovoltaic water pumping systems for grassland irrigation in China. *Appl Energy* 2017; 185:1879–89.
- [28] Mondino EB, Fabrizio E, Chiabrando R. Site selection of large ground-mounted photovoltaic plants: a GIS decision support system and an application to Italy. *Int J Green Energy* 2015; 12(5):515–25.
- [29] Cuce E, Harjunowibowo D, Cuce PM. Renewable and sustainable energy saving strategies for greenhouse systems: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 64:34–59.
- [30] Sgroi F, Tudisca S, Di Trapani AM, Testa R, Squatrito R. Efficacy and efficiency of Italian energy policy: the case of PV systems in greenhouse farms. *Energies* 2014; 7:3985–4001.
- [31] Cossu M, Murgia L, Ledda L, Deligios PA, Sirigu A, Chessa F, et al. Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. *Appl Energy* 2014; 133:89–100.
- [32] Li C, Wang H, Miao H, Ye B. The economic and social performance of integrated photovoltaic and agricultural greenhouses systems: case study in China. *Appl Energy* 2017; 190:204–12.



- [33] Goetzberger A, Zastrow A. On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. *Int J Sol Energy* 1982;v1:55–69.
- [34] Dupraz C, Marrou H, Talbot G, Dufour L, Nogier A, Ferard Y. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renew Energy* 2011;36(10):2725–32.
- [35] Marrou H, Wery J, Dufour L, Dupraz C. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *Eur J Agron* 2012; 44:54–66.
- [36] Dinesh H, Pearce JM. The potential of agrivoltaic systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 54:299–308.
- [37] Dupraz C, Talbot G, Marrou H, Wery J, Roux S, Liagre F, et al. To mix or not to mix: evidences for the unexpected high productivity of new complex agrivoltaic and agroforestry systems 2011. In: *Proceedings of the 5th world congress of conservation agriculture: resilient food systems for a changing world*.
- [38] Marrou H, Guilioni L, Dufour L, Dupraz C, Wery J. Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agric For Meteorol* 2013; 177:117–32.
- [39] Majudmar D, Pasqualetti MJ. Dual use of agricultural land: introducing ‘agrivoltaics’ in Phoenix Metropolitan Statistical Area, USA. *Lands Urban Plan* 2018; 170:150–68.
- [40] Valle B, Simonneau T, Sourd F, Pechier P, Hamard P, Frisson T, et al. Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Appl Energy* 2017; 206:1495–507.
- [41] Schindele S, Trommsdorff M, Schlaak A, Obergfell T, Bopp G, Reise C, et al. Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Appl Energy* 2020.
- [42] Amaducci S, Yin X, Colauzzi M. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Appl Energy* 2018; 220:545–61.
- [43] Dupraz C, Marrou H, Talbot G, Dufour L, Nogier A, Ferard Y. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renew Energy* 2011; 36:2725–32.
- [44] Weselek A, Ehmann A, Zikeli S, Lewandowski I, Schindele S, H'ogy P. Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agron Sustain Dev* 2019.
- [45] BRE (2014) *Agricultural Good Practice Guidance for Solar Farms*. Ed J Scurlock
- [46] BRE (2013) *Planning guidance for the development of large scale ground mounted solar PV systems*. www.bre.co.uk/nsc
- [47] BRE (2014) *Biodiversity Guidance for Solar Developments* (eds. G.E. Parker and L. Greene).



- [48] Fraunhofer Institute for solar energy systems (ISE), 2020. Agrivoltaics: Opportunities For Agriculture And The Energy Transition, A Guideline For Germany.
- [49] Clean Energy Council, 2021. Australian Guide To Agrisolar For Large-Scale Solar, for proponents and farmers.
- [50] DIN SPEC 91434:2021-05. Agri-photovoltaic systems, Requirements for primary agricultural use. ICS27.160; 65.020.01
- [51] Smith et al., 2000. *Advances in Agronomy*, 69: 75-97
- [52] Regolamento (UE) n. 1306/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio
- [53] Regolamento (UE) n. 1307/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio, articolo 4
- [54] Amaducci S., Yinb X., Colauzzi M., 2018. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy* 220, 545–561
- [55] Adeg E.H., Good S.P., Calaf M. and Higgins C.W., 2019. Solar PV Power Potential is Greatest Over Croplands. *Nature Scientific Reports* 9:11442.
- [56] Agostini A., Colauzzi M., Amaducci S., 2021. Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy* 281 (2021) 116102
- [57] James Hansen, Makiko Sato, Pushker Kharecha, Karina von Schuckmann, David J. Beerling, Junji Cao, Shaun Marcott, Valerie Masson-Delmotte, Michael J. Prather, Eelco J. Rohling, Jeremy Shakun, Pete Smith, Andrew Lacis, Gary Russell, and Reto Ruedy, 2017. Young people’s burden: requirement of negative CO2 emissions. *Earth Syst. Dynam.*, 8, 577–616
- [58] The 17 Goals | Sustainable Development (<https://sdgs.un.org/>)
- [59] CEI EN 61557-8 Sicurezza elettrica nei sistemi di distribuzione a bassa tensione fino a 1000 V c.a. e 1500 V c.c. - Apparecchi per prove, misure o controllo dei sistemi di protezione - Parte 8: Dispositivi di controllo dell'isolamento nei sistemi IT
- [60] CEI EN 61557-9:2016-10 / CEI 85-30 Sicurezza elettrica nei sistemi di distribuzione a bassa tensione fino a 1000 V c.a. e 1500 V c.c. - Apparecchi per prove, misure o controllo dei sistemi di protezione - Parte 9: Apparecchi per la localizzazione di guasti di isolamento nei sistemi IT
- [61] 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. *Renewable Energy* 36(10), 2725–2732
- [62] Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S. et al. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges and opportunities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 35. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-019-0581-3>
- [63] Campillo, C., Fortes, R. and Henar Prieto, M. D. (2012). Solar Radiation Effect on Crop Production. *Solar Radiation*, 167-189



- [64] Wang, D., Sun, Y., Lin, Y. and Gao, Y. (2017). Analysis of light environment under solar panels and crop layout. 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)
- [65] Sekiyama, T. and Nagashima, A. (2019). Solar sharing for both food and clean energy production: performance of agrivoltaic systems for corn. A typical shade-intolerant crop. *Environments* 6(6), 65
- [66] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (2022). Agrivoltaics: opportunities for agriculture and the energy transition. Available at: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agrivoltaics-opportunities-foragriculture-and-the-energy-transition.html>
- [67] Willockx, B., Herteleer, B., Ronsijn, B., Uytterhaegen, B., and Cappelle, J. (2020). A standardized classification and performance indicators of agrivoltaic systems. EU PVSEC Proceeding. <http://dx.doi.org/10.4229/EUPVSEC20202020-6CV.2.47>
- [68] Willockx, B., Lavaert, C., & Cappelle, J. (2022). Geospatial assessment of elevated agrivoltaics on arable land in Europe to highlight the implications on design, land use and economic level. *Energy Reports*, 8, 8736–8751. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.076>
- [69] Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., Weselek, A., Högy, P. and Oberfell, T. (2021). Combining food and energy production: design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 140, 110694
- [70] Amaducci, S., Yin, X. and Colauzzi, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy* 220, 545–561
- [71] Tazawa, S. (1999). Effects of various radiant sources on plant growth. Part 1. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 163-176

Catania, 9 settembre 2023

Prof. Paolo Guarnaccia