

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

NORMATIVA E IMPATTO AGRONOMICO DEGLI IMPIANTI AGRIVOLTAICI

Relatore: Prof. Teofilo Vamerli
Correlatore: Dr.ssa Anna Panozzo

Laureando:
Giacomin Alberto
Matricola: 2000008

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

| | |
|--|-------|
| INDICE | |
| Riassunto | 4 |
| Abstract | 5 |
| Introduzione | 6 |
| Capitolo 1: L'agrivoltaico | 7 |
| 1.1 Definizione..... | 7 |
| 1.2 Benefici dell'agrivoltaico..... | 8 |
| 1.3 Descrizione dell'impianto..... | 9-11 |
| Capitolo 2: Requisiti dei sistemi agrivoltaici ed Incentivi | 12 |
| 2.1 Linee guida e requisiti espressi dal Mite..... | 12 |
| A) Impianto definito agrivoltaico..... | 12 |
| B) Produzione energetica ed agricola..... | 13 |
| C) Disposizione dei moduli fotovoltaici..... | 14 |
| D/E) Sistemi di monitoraggio..... | 15-17 |
| 2.2 Linee guida e requisiti espressi dalla Regione Veneto..... | 17 |
| 2.2.1) Indicatori delle aree di idoneità..... | 18 |
| 2.3 Incentivi agrivoltaico..... | 18-19 |
| Capitolo 3: Colture e Sperimentazioni | 20 |
| 3.1 Tipologia colturale..... | 20 |
| 3.2 Resa colturale..... | 21-23 |
| 3.3 Caratteristiche del suolo..... | 24 |
| Conclusioni | 25 |
| Bibliografia | 26 |
| Sitografia | 27 |

RIASSUNTO

Il sistema agrivoltaico è una recente tecnologia utilizzata per combinare contemporaneamente produzione agricola e produzione energetica. L'inizio dell'utilizzo di questi sistemi si è innescato a seguito dell'incremento demografico che ha portato a cementificazione spropositata di aree urbane e sub urbane limitando a sua volta l'espansione di aree ad interesse agricolo ed energetico. In Italia, i primi impianti sono stati costruiti già nel primo decennio degli anni 2000 senza però richiamare gran interesse della popolazione ed enti promotori. A seguito dei effetti dei cambiamenti climatici in atto da decenni, la recente crisi energetica legata al conflitto Russia Ucraina, ci si è resi conto dell'urgenza della transizione ecologica. Questi provvedimenti a livello europeo e mondiale sono già stati predisposti ed in agricoltura, si stanno analizzando le potenzialità di diverse tipologie di sistemi agrivoltaici limitando il consumo di suolo prezioso per la produzione di alimenti.

Questi sistemi sono ad oggi al centro di una importante innovazione tecnologia ed energetica in agricoltura, che è in continua espansione per effetto della richiesta crescente di materie prime. L'obiettivo della tesi è quello di descrivere che cos'è un impianto agrivoltaico concentrandosi principalmente sulle linee guida nazionali del MITE e la legge regionale del Veneto per la realizzazione di tali impianti, raccogliendo dati bibliografici sulle specie agrarie di maggior interesse coltivabili in combinazione con la produzione di energia elettrica da fotovoltaico. In particolare vengono descritti gli effetti agronomici su alcune colture erbacee in raffronto ai risultati ottenuti in pieno sole.

ABSTRACT

Legislation and agronomic impact of agrivoltaic systems

The agrivoltaic system is a recent technology used to combine agricultural production and energy production at the same time. The beginning of the use of these systems was triggered as a result of the demographic increase which led to the disproportionate overbuilding of urban and sub-urban areas, in turn limiting the expansion of areas of agricultural and energy interest. In Italy, the first plants were already built in the first decade of the 2000s without, however, showing great interest in the population and promoting bodies. Still today, following the repeated effects of climate change that has already been underway for decades but with increasingly marked effects, it has been realized that it is necessary to take measures to avoid creating even more disastrous conditions. These provisions at European and World level have already been prepared and in agriculture we have realized how agri-voltaic systems could be of great help for the combination of both production categories without subtracting other precious soil for the production of food.

These systems are still at the center of technological and energy innovation in agriculture which is constantly expanding following the increasingly marked demand for raw materials.

The aim of the thesis is to describe what is an agrivoltaic system , focusing mainly on the guidelines expressed by Mite for their realization and providing data on the most interesting agricultural species that can be cultivated below these systems.

The thesis was structured in 3 chapters; the first focuses on the theme of agri-voltaics with the definition, characteristics and benefits it can bring; the second summarizes the guidelines expressed by the Mite to which the guidelines expressed by the Veneto Region have been added and finally any incentives issued by the PNRR; in the third chapter the most suitable crops for these types of systems are stated, also providing experimental data on the yields compared with the open field.

INTRODUZIONE:

In questo elaborato verrà affrontato il tema dell'agrivoltaico, ovvero un sistema caratterizzato da un utilizzo ibrido dei terreni agricoli per ottenere produzione agricola e di energia elettrica tramite impianti fotovoltaici situati sui medesimi terreni. Il principio di funzionamento di questa tipologia di impianti prevede l'installazione nei terreni agricoli di una struttura costituita da pannelli fotovoltaici sopraelevati ad un'altezza tale da permettere la coltivazione di specie agrarie ed il passaggio dei relativi macchinari al sotto di essa. L'utilizzo dei terreni è di fondamentale importanza al fine di incrementare la produzione di energia rinnovabile sempre più carente a causa dell'incremento della popolazione e dai cambiamenti climatici in atto. È per questo motivo che nel 2015 gli stati membri delle Nazioni Unite hanno sottoscritto l'agenda 2030 per uno Sviluppo Sostenibile costituita da 17 obiettivi. In particolar modo l'obiettivo 7 parla di "Energia pulita ed accessibile, ossia assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni" e come traguardi prevede:

7.1 garantire entro il 2030 accesso a servizi energetici che siano convenienti, affidabili e moderni;

7.2 aumentare considerevolmente entro il 2030 la quota di energie rinnovabili nel consumo totale di energia;

7.3 raddoppiare entro il 2030 il tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica.

Tra le svariate energie rinnovabili, l'energia solare è quella con maggiore disponibilità ed abbondanza. In particolare il fotovoltaico si sta sviluppando in modo esponenziale, con maggiore rapidità e continuerà a crescere grazie ad alcuni motivi, quali ad esempio:

- tempo di vita prolungato dei pannelli (25 anni circa)

- fonte di energia a basso costo, stabile ed abbondante.

Nonostante questo, il fotovoltaico presenta anche elementi a sfavore come, forse il più impattante, che gli impianti fotovoltaici ubicati a terra necessitano di ampie superfici sottraendo così terreno per la coltivazione di piante alimentari.

Grazie a recenti e nuovi sviluppi tecnologici che hanno permesso di migliorare l'interazione tra produzione agricola e quella energetica ci si è resi conto di come l'agrivoltaico potesse essere una soluzione e non un problema. Infatti, il DECRETO-LEGGE 31 maggio 2021, n. 77 Articolo 31, comma 5 parla di Novità Agrivoltaica e specifica che:

"Tali impianti devono adottare soluzioni integrative, innovative con montaggio dei moduli elevati da terra, anche prevedendo la rotazione (inseguimento solare) dei moduli stessi, comunque in modo da non compromettere la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale, consentendo l'applicazione di strumenti di agricoltura digitale e di precisione. L'accesso agli incentivi per gli impianti è inoltre subordinato alla contestuale realizzazione di

sistemi di monitoraggio che consentano di verificare l’impatto sulle colture, il risparmio idrico, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture e la continuità delle attività delle aziende agricole interessate”.

CAPITOLO 1: AGRIVOLTAICO

1.1 DEFINIZIONE:

Per impianto agrivoltaico si intende un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica che adotta soluzioni, nel rispetto dell’uso agricolo e/o zootecnico del suolo, in modo da non compromettere la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione garantendo la ripresa agricola, zootecnica e la biodiversità, e ottimizzando l’uso dello stesso suolo sui cui insiste l’impianto.

Esso viene definito avanzato (fig. 1) quando è presente un sistema costituito da opere necessarie per lo svolgimento, in una determinata area, di attività agricola e fotovoltaica creata da una struttura con moduli elevati da terra ed orientabili installati su quest’ultima che, grazie a particolari scelte tecnologiche e spaziali integri produzione elettrica e produzione agricola. La caratteristica di avere moduli sopraelevati ed orientabili permette dunque di far crescere le piante sottostanti all’area e la capacità di orientamento risulta efficace per fornire la quantità di radiazione necessaria alla coltura. Inoltre, per molte coltivazioni si deve prevedere anche il passaggio dei mezzi meccanici. Lo scopo di questi impianti è quello di attribuire valore produttivo ad entrambi i sistemi garantendo la continuità dell’attività agricola propria dell’area.



Fig. 1. Esempio di sistema agrivoltaico

1.2 BENEFICI DELL'AGRIVOLTAICO

I benefici che un sistema agrivoltaico (Fig. 2) può fornire vengono a crearsi grazie al coinvolgimento diretto fin da subito del mondo agricolo con la pianificazione degli impianti. Le innovazioni tecnologiche ed un'attenta progettazione di questi impianti ci permettono di conoscere quali colture possono essere considerate le più adatte alla presenza del fotovoltaico, come organizzare la disposizione dei moduli, a quale altezza collocarli e che sistemi fotovoltaici utilizzare in base alla scelta colturale per consentire le lavorazioni culturali sottostanti.

I benefici che questi progetti possono fornire riguardano principalmente la protezione delle colture ed il fabbisogno idrico. Questi impianti possono proteggere le colture da eventi atmosferici estremi incrementando la resa a fine ciclo colturale; possono ridurre l'evapotraspirazione generata dall'ombreggiamento dei pannelli con conseguente innalzamento dell'umidità del suolo nei mesi più caldi; infine è possibile migliorare e valorizzare l'azienda agricola ed eventuali terreni abbandonati o marginali.

Per gli operatori agricoli alcuni dei vantaggi principali oltre a quelli sopra elencati possono essere:

- fornire nuove risorse finanziarie per espandere o rinnovare attività aziendali;
- sviluppare nuove competenze professionali con la possibilità di creare lavoro;
- disporre di un partner solido per ripararsi da mutazioni climatiche talvolta disastrose.

Per questi motivi i sistemi agrivoltaici sono considerati sistemi tecnologici innovativi e positivi da presentare agli agricoltori ed introdurre come sistema produttivo.

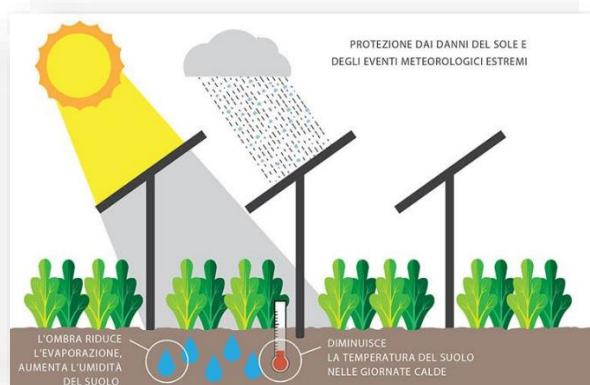


Fig. 2- Schema di impianto fotovoltaico a inseguimento solare.

1.3 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Gli impianti agrivoltaici prevedono l'installazione di moduli fotovoltaici sopraelevati, ad alcuni metri d'altezza, al fine di permettere lo svolgimento di attività agricole e pastorali nell'area sottostante.

Questa tipologia di impianti prevede l'installazione nel terreno, fino ad un massimo del 15% di pendenza, di pali in acciaio zincato ad una profondità variabile di circa 5 metri ed un'elevazione da terra di circa 5/6 metri per un totale di 10/11 metri di palo portante. Lo scheletro della struttura quindi è costituito dal sistema a palizzata posto nel terreno al quale andranno montate poi le campate dotate di pannelli fotovoltaici. La distanza tra le file e sulla fila del sistema a palizzata è in funzione della tipologia di impianto scelto.

Gli impianti possono essere principalmente di due tipologie:

- A) agrovoltaico ad inseguimento solare (Tracker)
- B) agrovoltaico Suspended Fisso

Per quanto riguarda la prima tipologia di impianti è importante distinguere la tipologia Tracker 1.0 e Tracker 2.1. Con il termine Tracker si fa riferimento ad un sistema che prevede il montaggio di moduli fotovoltaici ad inseguimento solare al fine di intercettare la maggior quantità di radiazione solare giornaliera ed al contempo di generare un effetto ombreggiante alle colture per ridurre l'evapotraspirazione.

Tracker 1.0 (Fig. 3): è la prima tecnologia biassiale progettata nel 2009, prevede il montaggio di 10 moduli fotovoltaici installati su ciascun tracker, lunghezza dei tracker di 12 metri ed altezza 5 metri.

Tracker 2.1 (Fig. 4): essa è la seconda tecnologia biassiale progettata nel 2015 per creare un ombreggiamento controllato sul terreno. Presenta un'altezza di 5 metri o più, 2 pali verticali distanziati 14 metri, 1 profilo orizzontale in acciaio in modo da ruotare sul proprio asse lungo 14 metri (definito Tracker), 4 profili secondari montati perpendicolarmente all'asse orizzontale in grado di ruotare sul proprio asse, 24 moduli fotovoltaici bifacciali installati per ogni Tracker. Questo sistema 2.1 è stato introdotto per essere utilizzato nei seguenti casi d'uso:

- grandi colture/superfici;
- avere una gestione precisa dell'ombreggiamento, consentendo di ottimizzare la crescita e resa delle piante;
- occupare una porzione di suolo minima rispetto ad altre tecnologie preesistenti

- aumentare l'efficienza arrivando fino al 45% di produzione di energia in più rispetto ad un impianto fisso;
- possibilità di utilizzare macchinari avendo interfilari di 18 metri.

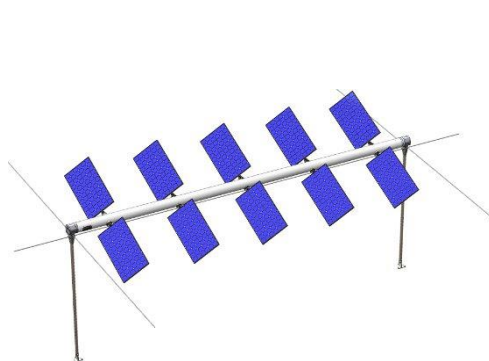


Fig. 3: Tracker 1.0

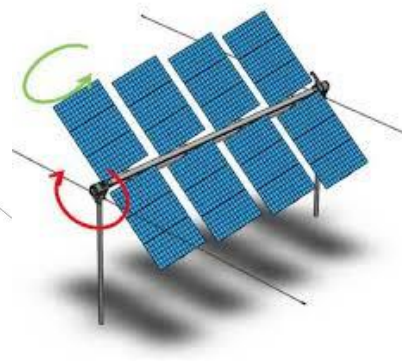


Fig. 4: Tracker 2.1.

La seconda tipologia di impianti prevede la distinzione tra AGV Fisso Lineare (Fig. 5) ed AGV Fisso a Scacchiera (Fig. 6). Questi termini servono ad identificare un sistema fisso con moduli fotovoltaici montati su funi metalliche sospese. La differenza tra lineare e scacchiera sta nella disposizione dei moduli stessi. La struttura è costituita da: strutture di supporto costituite da 2 pali distanziati di 15/25 metri, una altezza di 4/5 metri, moduli fotovoltaici singoli disposti in modo continuo lungo la fila (fisso lineare) o disallineati a scacchiera (fisso a scacchiera), distanza tra le file di 6 metri per la configurazione lineare e 3 metri per configurazione a scacchiera.

Questo sistema denominato fisso è particolarmente adatto per i seguenti casi d'uso:

- pendenza tra 3 e 15%;
- grandi colture/superfici;
- colture poco influenzate dalla gestione dell'ombreggiamento;
- utilizzo di macchinari ed attrezzature, in ragione delle ampie campate di 25 metri ed oltre.



Fig.5. Sistema AGV fisso lineare



Fig. 6. Sistema AGV fisso a scacchiera.

Viene prevista inoltre per entrambe le tipologie di impianto la messa a dimora di una cabina/accumulatore elettrico a bordo impianto al fine di consentire la possibilità di usufruire della corrente elettrica generata non immessa in rete.

CAPITOLO 2: REQUISITI DEI SISTEMI AGRIVOLTAICI ED INCENTIVI

2.1 LINEE GUIDA ESPRESSE DAL MITE

Per la realizzazione del sistema agrivoltaico è importante definire i requisiti al fine di ottenere prestazioni massimizzate sul sistema complessivo, considerando dimensione energetica e dimensione agronomica. Nel presente capitolo sono riassunti e trattati in dettaglio i diversi requisiti.

I requisiti possono essere definiti come Requisito A, B, C, D, E. Si ritiene che i requisiti A, B siano necessari per definire un impianto agrivoltaico; i requisiti A, B, C, D siano necessari per definirlo Agrivoltaico Avanzato, mentre i requisiti A, B, C, D, E sono precondizioni per l'accesso ai contributi del PNRR.

REQUISITO A: IMPIANTO DEFINITO AGRIVOLTAICO

Questo requisito esprime l'obiettivo per definire l'impianto con il termine Agrivoltaico. L'obiettivo è quello di non compromettere l'attività agricola e pastorale, garantendo contemporaneamente la produzione di energia elettrica. Esso è basato su due parametri;

A.1) Prevede una superficie minima coltivata. Questa condizione si verifica in aree in cui tutta la vita tecnica dell'impianto agrivoltaico è dedicata a coltivazioni agricole, floricoltura e pascolo del bestiame. La superficie minima da garantire sugli appezzamenti oggetto di intervento è del 70%, ovvero che il 70% della superficie sia destinata ad attività agricola, nel rispetto delle buone pratiche agronomiche.

$$S.\text{agricola} \geq 70\% * S.\text{totale}$$

A.2) Prevede una limitazione della percentuale di superficie complessiva coperta da moduli fotovoltaici (LAOR). Con il termine LAOR si fa riferimento alla % di superficie complessiva coperta da moduli ed è utilizzata per valutare la densità dell'applicazione fotovoltaica rispetto al terreno di installazione. Tale parametro prevede di adottare un limite massimo di LAOR del 40%

$$LAOR \leq 40\%$$

| TIPOLOGIA IMPIANTO | COLTURE | DENSITA' POTENZA (MW/ha) | POTENZA MODULI (W) | SUP. SINGOLO MODULO (m ²) | DENSITA' MODULI (m ² /KW) | SUP. MODULI (m ² /ha) | % LAOR |
|--------------------|---------|---------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------|
| Agrivoltaico 1 | / | 0,4 | 250 | 1,7 | 6,8 | 3000 | 30% |
| Agrivoltaico 2 | / | 0,6 | 350 | 1,7 | 4,9 | 3000 | 30% |

REQUISITO B: IL SISTEMA AGRIVOLTAICO, NEL CORSO DELLA VITA TECNICA, DEVE GARANTIRE PRODUZIONE SINERGICA DI ENERGIA ELETTRICA E PRODOTTI AGRICOLI.

Con questo requisito si intende che nel corso della vita tecnica devono essere rispettate le condizioni di integrazione delle due attività. Tali condizioni sono enunciate nei sotto requisiti B.1 e B.2.

B.1) Questo parametro prevede la continuità dell'attività agricola e pastorale sul terreno oggetto dell'intervento. Gli elementi presi in considerazione sono:

- B.1.a) ESISTENZA E RESA DELLA COLTIVAZIONE: per soddisfare questo requisito è importante soddisfare la destinazione produttiva agricola dei terreni oggetto di installazione dei sistemi agrivoltaici. Esso può essere valutato attraverso il valore della produzione agricola dell'area in euro/ha o euro/UBA confrontando la produzione agricola negli anni solari post-intervento con quelli pre-intervento a parità di indirizzo produttivo. In assenza di dati sulla produzione pre-intervento ci si può basare sulla produttività media dell'area geografica circostante
- B.1.b) MANTENIMENTO DELL'INDIRIZZO PRODUTTIVO: questo requisito prevede che le aree sottoposte a questi progetti mantengano l'indirizzo produttivo attuale o possano passare ad altro indirizzo produttivo di valore economico più elevato. L'eventuale conversione da sistema intensivo ad estensivo o l'abbandono di denominazioni DOP o DOCG non soddisfano questo requisito.

B.2) Il parametro B.2 prevede una producibilità elettrica minima espressa in GWh/ha/anno. La producibilità elettrica dell'impianto agrivoltaico non deve essere inferiore al 60% della produttività di un sistema fotovoltaico standard.

Producibilità AGV \geq 60% * Producibilità fotovoltaico standard

REQUISITO C: SOLUZIONI INTEGRATE ED INNOVATIVE CON MODULI SOPRAELEVATI.

Questo requisito enuncia la configurazione spaziale del sistema agrivoltaico, principalmente l'altezza minima dei moduli da terra la quale influenza la scelta colturale e lo svolgimento delle attività agricole su tutta l'area interessata. Esso è suddiviso a sua volta in sotto requisiti che, nelle considerazioni sottostanti, fanno riferimento alle colture, ma analoghe considerazioni possono essere utilizzate per l'allevamento zootecnico.

C.1) Tale parametro prevede, a livello teorico, che sia presente un'altezza minima dei moduli fotovoltaici da terra creando una condizione di doppio uso del suolo. I moduli svolgono una funzione complementare alla coltura che viene definita protettiva (es. da radiazione solare elevata, grandine, vento, ecc). Per questo motivo la superficie occupata dai moduli e quella occupata dalla coltura coincidono (Fig. 7).

C.2) Il requisito C.2, essendo riferito ad impianto fotovoltaico a terra, che non svolge alcuna funzione sinergica alla coltura, non viene preso in considerazione.

C.3) Questo parametro prevede l'utilizzo di moduli disposti verticalmente rispetto al piano colturale. La loro altezza non incide significativamente sulla coltura ma influenza soprattutto il settore zootecnico con la movimentazione dei capi. Questa tipologia di architettura può offrire vantaggio come barriera frangivento. (Fig. 8)

I valori di altezza minima dei moduli (qualora a inseguimento solare fa fede il punto più basso del pannello alla massima inclinazione) per rientrare nella categoria C.1 e C.3 sono:

- 1,3 metri per attività zootecnica
- 2,1 metri per attività colturale

Riferimenti ad una eventuale altezza massima non sono previsti, vengono presi in considerazione i riferimenti enunciati nel capitolo 1, paragrafo 1.3.



Fig. 7. Criterio C1 del MITE (coincidenza dell'area).



Fig. 8. Criterio C3 del MITE (barriere verticali).

REQUISITO D / E: SISTEMI DI MONITORAGGIO

Entrambi i requisiti prevedono l'introduzione di sistemi di monitoraggio agronomici ed economici utilizzati per la rilevazione di effetti benefici sulle colture.

In particolar modo il requisito D prevede che sia installato un adeguato sistema per il monitoraggio di:

D.1) RISPARMIO IDRICO

Con l'utilizzo dei sistemi agrivoltaici si possono adottare importanti soluzioni sulla gestione della risorsa idrica in quanto il fabbisogno idrico può essere ridotto per effetto del maggior ombreggiamento del suolo. È possibile, dove previsto, creare un'efficace infrastruttura per il recupero delle acque meteoriche con sistemi di raccolta specifici. Gli utilizzi idrici sono in funzione del tipo di coltura, tecnica colturale, apporti idrici naturali, evapotraspirazione e tecniche di irrigazione.

Per il monitoraggio del risparmio idrico si può far riferimento ad aree agricole con medesima coltura in assenza di impianto agrivoltaico. Per questo motivo è stato emesso il Decreto Ministeriale del 31/07/2015: "Linee guida per la regolamentazione da parte delle Regioni delle modalità di quantificazione dei volumi idrici ad uso irriguo" che prevede tecniche di quantificazione sull'utilizzo dell'acqua.

Il monitoraggio prevede la rilevazione periodica, la quantificazione e la trasmissione dei dati alla piattaforma SIGRIAN dei volumi idrici a scopo irriguo utilizzati.

| Tipologie di misuratori | |
|---|--|
| Tipologie di manufatto | Tipologia di strumentazione |
| Presa da acque superficiali/ distribuzione mediante canale | Stramazzo o risalto con associata sonda di livello - previa taratura con misure di portata - altro |
| Presa da acque superficiali/ distribuzione mediante condotte in pressione | Venturimetro, sensore magnetico (installato opportunamente lontano da pompe e curve), sensore ultrasuoni - altro |
| Presa da acque superficiali/ distribuzione mediante condotte a pelo libero | Sensore sonico - altro |
| Presa da pozzo | Contatore totalizzatore woltman e tangenziale, analogico o digitale, elettromagnetico, a flusso libero - altro |
| Presa da sorgente | Venturimetro / elettromagnetico / ultrasuoni / contatore su tubazioni di derivazione - stramazzo con sonda - previa taratura con misure di portata |

D.2) MONITORAGGIO DELLA CONTINUITÀ DELL'ATTIVITÀ AGRICOLA

Esso prevede che ci siano due elementi specifici da monitorare durante la vita dell'impianto attraverso una relazione tecnica con cadenza stabilita e coordinata da un agronomo. Essi sono:

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

Questo requisito è stato introdotto con il DM 12/01/2015 n°162 in materia di: "Piano culturale aziendale o Piano di coltivazione" già in atto per aziende agricole.

Il requisito E, introdotto dal PNRR, prevede il monitoraggio di:

E.1) RECUPERO DELLA FERTILITÀ DEL SUOLO

In questo parametro si fa riferimento in particolare al recupero di terreni abbandonati o non coltivati che potrebbero rientrare in produzione grazie alla redditività garantita dai sistemi agrivoltaici.

E.2) MICROCLIMA

Con questo parametro viene evidenziato l'impatto che un impianto così tecnologico può recare sulle colture limitrofe e sottostanti. Una variazione del microclima locale può venirsi a creare grazie alla diminuzione della superficie utile per la coltivazione a causa della struttura a palizzata, quantità di luce, precipitazioni e circolazione dell'aria intercettate al di sotto dell'impianto.

Questi aspetti possono essere monitorati grazie a sensori di temperatura, umidità e velocità dell'aria confrontandoli con zone limitrofe in assenza di impianto. Il monitoraggio riguarda:

- temperatura dell'ambiente esterno: misurata con sensore ogni 15 minuti ed incertezza di errore +/- 0.5°C;
- temperatura retro modulo: misurata con sensore ogni 15 minuti ed incertezza di +/- 0.5°C;
- umidità dell'aria retro modulo ed ambiente esterno: misurata con sensore ogni 15 minuti;
- velocità dell'aria retro modulo ed ambiente esterno: misurata con anemometri.

2.2 LINEE GUIDA DELLA REGIONE VENETO IN MATERIA DI AGRIVOLTAICO.

La regione Veneto ha emanato la Legge Regionale 19 luglio 2022 n°17 che riguarda "Norme per la disciplina e realizzazione di impianti fotovoltaici con moduli ubicati a terra"; in particolare si fa riferimento alla descrizione di impianti fotovoltaici.

Per impianto fotovoltaico si intende un impianto che porta alla produzione di energia elettrica tramite la conversione di radiazione solare attraverso moduli fotovoltaici. Ai fini della legge, gli impianti fotovoltaici sono suddivisi in:

- fotovoltaico con moduli a terra (non trattato perché non pertinente con il tema agrivoltaico);
- fotovoltaico flottante o galleggiante (non trattato perché non pertinente con il tema agrivoltaico);
- agrivoltaico.

2.2.1) INDICATORI DI NON IDONEITA' DI AREE UTILIZZABILI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI

- A) Aree individuate come patrimonio storico-architettonico; il riferimento si protrae verso paesaggi agrari storici e terrazzati ed aree e beni di interesse culturale elevato individuate nel Codice dei beni culturali e del paesaggio.
- B) Aree ad interesse ambientale; in particolar modo di zone umide d'importanza internazionale, aree incluse nella Rete Natura 2000, aree naturali protette che svolgono la funzione di conservazione/protezione/ripopolamento della biodiversità individuate dal Piano Faunistico Venatorio.
- C) Aree ad interesse agrario nella quale rientrano zone agricole interessate da produzioni agroalimentari di qualità (principalmente per fotovoltaico a terra), paesaggi iscritti al registro nazionale dei paesaggi rurali storici ed infine aree in cui giacciono sistemi agricoli tradizionali iscritti alla lista del Patrimonio dell'Umanità.

Questi tre punti sono validi per le due tipologie di impianti fotovoltaici (con moduli a terra e impianti flottanti o galleggianti). Per quanto riguarda l'impianto agrivoltaico gli indicatori di presunta non idoneità delle aree non sono validi a condizione che ci sia il mantenimento delle produzioni agroalimentari di qualità e/o coltivazioni biologiche nell'area agricola interessata. Per gli impianti agrivoltaici inoltre è obbligatorio che sia presentata una relazione agronomica da un tecnico competente e vengano installati sistemi di monitoraggio della continuità dell'attività agricola.

Gli impianti agrivoltaici installati su questi terreni possono essere di potenza superiore o uguale ad 1 MW, altrimenti se inferiori la realizzabilità avviene senza applicazione del regime di asservimento.

2.3 INCENTIVI AGRIVOLTAICO

In materia di incentivi essi vengono esposti dal Piano Nazionale Ripresa e Resilienza (PNRR) come "Rivoluzione verde e transizione ecologica". Per lo sviluppo dell'agrivoltaico si prevedono investimenti per 1,1 miliardi di euro, una capacità produttiva di 2,43 GW, con benefici in termini di riduzione delle emissioni di gas serra (circa 1,5 milioni di tonnellate di CO₂) e dei costi di approvvigionamento energetico.

I beneficiari sono catalogati come:

- imprese agricole (singole o associate) che realizzano tale progetto al fine di ridurre e contenere i propri costi di produzione, salvo l'utilizzo di terreni agricoli di proprietà.
- Associazione Temporanea di Imprese (ATI) costituita da imprese agricole e/o energetiche che mettono a disposizione terreni propri per la costruzione dell'impianto.

CAPITOLO 3: COLTURE PIU' ADATTE E SPERIMENTAZIONI CULTURALI NELL'AGRIVOLTAICO

3.1 TIPOLOGIA CULTURALE

Ciò che influenza la scelta colturale e le colture di per sé sono principalmente i moduli fotovoltaici. Facendo da copertura, i pannelli fotovoltaici riducono l'evapotraspirazione delle piante consentendo di avere un risparmio idrico.

I sistemi agrivoltaici possono infatti migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua da parte delle colture e del suolo. Per la realizzazione di qualsiasi tipologia di impianto è obbligatoria una descrizione dell'area che comprenda: descrizione del terreno con eventuale grado di pendenza, percentuale di superficie occupata, tipologia di coltura, numero di cicli da realizzare, esposizione a raggi solari e presenza di eventuali vincoli nell'appezzamento.

Non tutte le specie vegetali sono adattabili alla condizione di ombreggiamento.

Per questo motivo nel paragrafo 2.1A è stata descritta la densità di copertura (LAOR) la quale deve garantire un'equilibrata produttività di energia elettrica e redditività della coltura. Attraverso questo equilibrio è possibile avere un'aumento dell'umidità dell'aria nelle zone sottostanti ai moduli che, oltre a produrre effetti favorevoli sulla crescita vegetale riduce la temperatura dei moduli con un vantaggio nel loro rendimento.

Una classificazione delle colture più o meno adatte alla copertura da moduli fotovoltaici può essere riassunta nel seguente elenco (www.qualenergia.it):

- Colture non adatte: si fa riferimento a specie vegetali con elevato fabbisogno di luce (eliofile) alle quali è possibile avere una forte diminuzione della resa nel caso in cui ci sia una densità di copertura troppo elevata. Queste colture sono ad esempio il frumento, farro, mais, girasole, alberi da frutto, cavolo rosso, cavolo cappuccio, miglio e zucca.
- Colture poco adatte: principalmente barbabietola da zucchero, barbabietola rossa e cavolfiore.
- Colture adatte: per le quali un ombreggiamento moderato non ha quasi alcun effetto sulle rese. Tra queste abbiamo segale, orzo, avena, colza, pisello, cavolo verde, asparago, carota, ravanella, porro, sedano, finocchio, tabacco.
- Colture mediamente adatte: come cipolla, fagiolo, cetriolo e zucchine.
- Colture molto adatte: in questo caso l'ombreggiamento ha effetti positivi sulle rese. Queste particolari condizioni si possono riscontrare su patata, spinaci, insalata, luppolo, fave, agrumi ed uva.

3.2 RESA COLTURALE

In questo capitolo vengono illustrate le conclusioni di prove sperimentali effettuate su varie colture sotto sistemi agrivoltaici (www.remtec.energy). Durante i percorsi sperimentali si è riusciti a ricavare dati sul range di variazione percentuale della produzione con agrivoltaico rispetto al pieno campo.

| COLTURE | IMPIANTO AGROVOLTAICO (CON MASSIMIZZAZIONE PRODUZIONE ENERGIA) |
|-------------|--|
| | Rango di variazione % della produzione rispetto al pieno campo |
| VITE | da +15% a +30% |
| INSALATA | da +15% a +38% |
| MAIS | da 0% a +5% |
| FRUMENTO | 0% |
| FORAGGIO | da 0% a +10% |
| SOIA | 0% |
| ERBA MEDICA | da 0% a +5% |

Nel 2021 test effettuati in campo (Fig.9) hanno dimostrato anche un aumento del peso di uva prodotta per singola pianta grazie a sistemi agrivoltaici. Un aumento significativo della quantità di uva prodotta porta ad un aumento significativo di produzione di vino a parità di superficie rispetto al campo aperto.

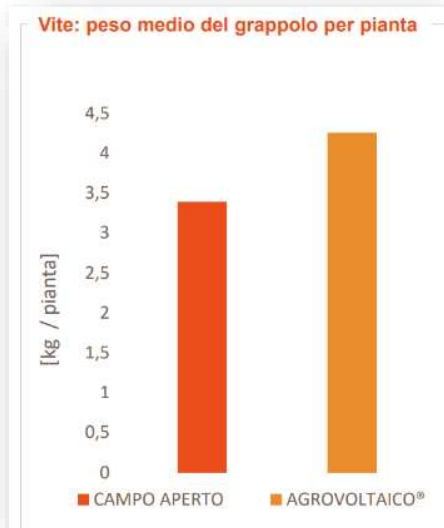


Fig. 9. Risposta della produzione di uva con agrivoltaico.

Oltre a questo è stato studiato in particolar modo la resa del mais sotto questa tipologia di sistemi (Fig. 10). Le conclusioni sono state, dopo simulazione su 39 anni con diversi dati climatici, che sebbene il mais sia indicato tra le colture non adatte, la riduzione delle radiazioni ha influenzato la temperatura media, l'evapotraspirazione e bilancio idrico del suolo, fornendo condizioni più favorevoli per la crescita delle piante rispetto alla piena luce (Amaducci et al., 2018). Di conseguenza, in condizioni di pioggia, la resa media è risultata maggiore e più stabile in agrivoltaico che in campo aperto. Si trae conclusione che i sistemi agrivoltaici potrebbero aumentare la resilienza delle colture ai cambiamenti climatici.

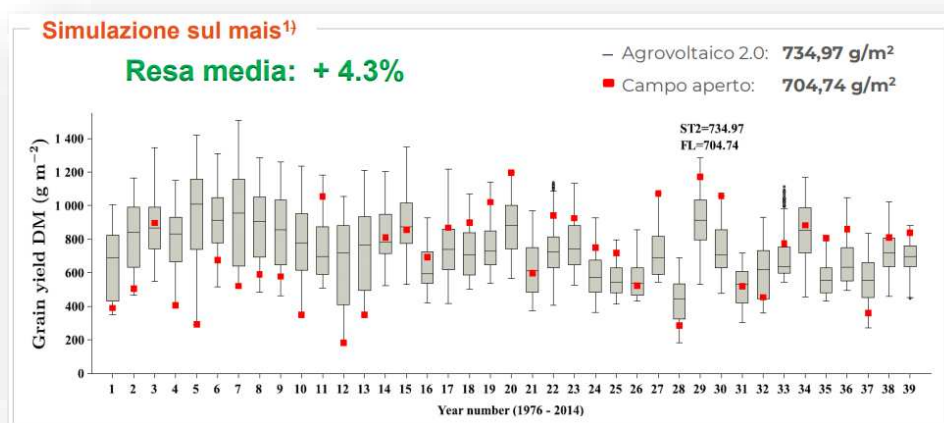


Fig. 10. Simulazione della resa del mais in agrivoltaico.

Altri studi effettuati dal progetto di ricerca APV-RESOLA (Fraunhofer ISE, 2022) hanno evidenziato gli effetti dell'agrivoltaico su sedano, patate, frumento invernale ed erba di trifoglio. Il progetto si è sviluppato confrontando le colture in annate differenti: 2017 (molto piovoso ed umido) e 2018 (molto caldo e secco). Si sono confrontati inoltre siti differenti per la coltivazione: pieno campo e pieno campo con agrivoltaico. I risultati hanno mostrato che le condizioni meteorologiche locali e la posizione geografica sono un fattore significativo che influisce sulla resa. I dati rilevati negli appezzamenti con le strutture hanno evidenziato una radiazione solare inferiore di 30% rispetto al pieno campo e la temperatura del suolo inferiore sia in primavera che in estate anche se la temperatura dell'aria esterna era rimasta la stessa.

Al momento della raccolta del prodotto sotto sistemi agrivoltaici le rese sono state:

- produzione di patate da meno 20% nel 2017 a più 11% nel 2018;
- produzione dell'erba di trifoglio inferiore del 5% in entrambe le annate;
- produzione del grano variabile da meno 18% nel 2017 a più 3% nel 2018;
- produzione del sedano variabile da meno 19% nel 2017 a più 12% nel 2018.

Dai risultati ottenuti è ben evidente l'effetto delle condizioni climatiche sulla resa colturale, in particolare con crescite importanti nelle annate siccitose.

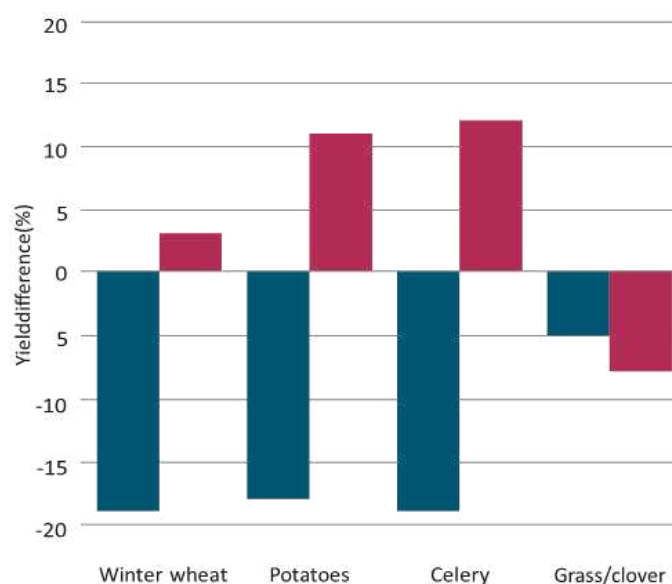


Fig. 11. Rappresentazione grafica della differente resa tra 2017 (blu) e 2018 (rosso) in agrivoltaico

3.3 UMIDITA' E TEMPERATURA DEL SUOLO

I sistemi agrivoltaici hanno effetti benefici su umidità e temperatura del suolo (Fig. 11). Questo grazie ai moduli fotovoltaici che creano un ombreggiamento variabile il quale a sua volta influenza le condizioni dell'area sottostante.

Le sperimentazioni sono state effettuate mettendo a confronto sistemi agrivoltaici con ombreggiamento al 60% e 30% con il campo aperto. Dai risultati ottenuti ci si è resi conto che un ombreggiamento maggiore comporta variazioni di temperatura e mantenimento di una maggiore umidità del suolo ottenendo così a sua volta una riduzione dell'acqua utilizzata a scopo irriguo.

Le variazioni di temperatura sotto sistema agrivoltaico e campo aperto hanno seguente range:

- da 1°C a 2.5°C in meno tra campo aperto ed ombreggiamento al 60%
- da 1°C a 2°C in meno tra campo aperto ed ombreggiamento al 30%
- da 1°C a 1.5°C in più tra ombreggiamento al 30% e 60%.

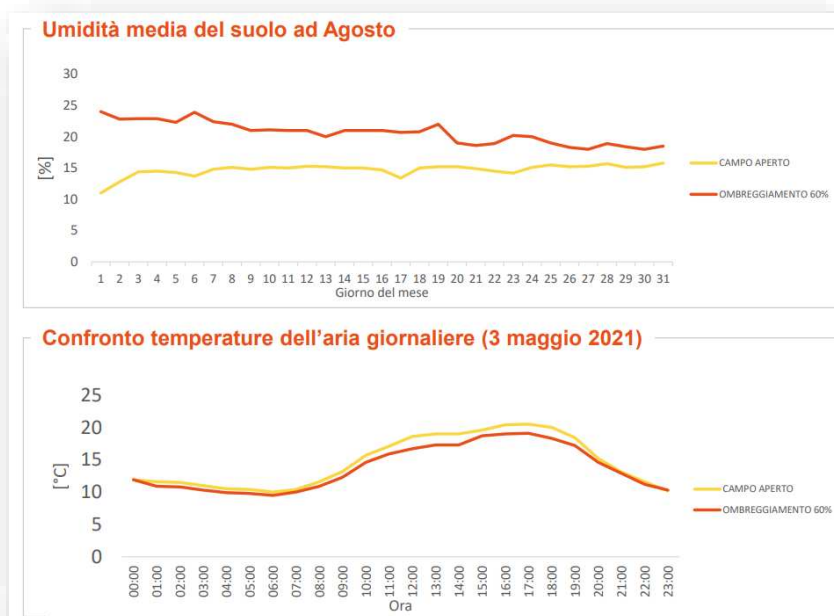


Fig. 12. Andamento della temperatura durante il giorno in agrivoltaico.

CONCLUSIONI

Alla luce del progetto analizzato si deduce che l'agrivoltaico è di particolare interesse nei paesi industrializzati e densamente popolati, dove l'espansione delle energie rinnovabili sta diventando sempre più importante, ma i terreni agricoli produttivi devono essere preservati. Per questo motivo in Italia questi impianti sono valutati molto positivamente perché consentono di guidare la decarbonizzazione del settore energetico senza sacrificare produzione agricola. La soluzione da cui si può trarre maggior vantaggio è quella di creare impianti con moduli tracker 2.1 dotati di capacità di rotazione sui propri assi al fine di essere più efficienti possibili nell'intercettare la radiazione solare.

Questi sistemi possono diventare una componente importante dei futuri sistemi agricoli, affrontando alcune delle principali sfide sociali e ambientali attuali e future, come il cambiamento climatico, la domanda globale di energia, la sicurezza alimentare e l'uso del suolo. In conclusione quindi la presenza dell'agrivoltaico è vista come un modello ecosostenibile e virtuoso in grado di favorire lo sviluppo della biodiversità e crescita di nuove figure professionali coinvolte all'interno di questi progetti che inizieranno ad espandersi a livello mondiale. Vanno ovviamente ben progettati, senza una eccessiva intensificazione, e vanno scelte oculatamente le colture più adatte.

BIBLIOGRAFIA

Amaducci S., Colauzzi M., Reboldi A., 2016.

Designing Agrivoltaico® solutions for conventional cereal cropping systems. Presented @ 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. EU PVSEC 2016.

Potenza E., Croci M., Colauzzi M. e Amaducci S.: 2022.

Agrivoltaic System and Modelling Simulation: A Case Study of Soybean (*Glycine max* L.) in Italy. Horticulturae, 8, 1160 : 1-12

Amaducci S., Yinb X., Colauzzia M., 2018.

Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. Applied Energy, 220: 545-561

Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S. et al., 2019.

Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. Agronomy for Sustainable Development 39/35 : 2-16

Fraunhofer ISE, 2022

Agrivoltaics: Opportunities for Agri-culture and the Energy Transition. Guideline for Germany, second edition: 26-30

SITOGRAFIA

FieragricolaTECH Convegni, 1/2 febbraio 2023

<https://www.fieragricola.it/category/fieragricola-tech/>

<https://bur.regione.veneto.it/BurvServices/Pubblica/DettaglioLegge.aspx?id=481082>

<https://cdn.qualenergia.it/wp-content/uploads/2022/02/3-QE-minireport-febbraio-2022.pdf>

<https://dipartimenti.unicatt.it/diproves-agronomia-6-agrofotovoltaico-9951>

<https://remtec.energy/en/agrovoltaiico>

<https://remtec.energy/website/download/29/rem-tec-presentazione-generale-2022-ita-rev-04pdf>

<https://sunagri.fr/>

<https://www.agrivoltaicosostenibile.com/>

<https://www.enelgreenpower.com/it/media/news/2022/06/modello-agrivoltaico-risultati-sperimentazione>

<https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/agrivoltaico-agrovoltaiico-agricoltura-energia-rinnovabile/>

https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/linee_guida_impianti_agri_voltaici.pdf

<https://www.qualenergia.it/wp-content/uploads/2022/03/Presentazione-delle-linee-guida-per-l%E2%80%99applicazione-dell%E2%80%99agro-fotovoltaico-in.pdf>

<https://www.qualenergia.it/wp-content/uploads/2022/03/RemTec-fieragricola.pdf>

<https://www.unisolargroup.com/post/agro-fotovoltaico-un-opportunita-per-gli-operatori-agricoli>

<https://www.youtube.com/watch?v=BIXPf-e1a0U>