



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E
FORESTALI
(DAFNE)**

Tesi di Dottorato

in Ecosistemi e Sistemi Produttivi
curriculum Ingegneria dei Sistemi Agrari e Forestali
AGR/09

XXX Ciclo

**INNOVAZIONE TECNOLOGICA RIVOLTA ALLE
PICCOLE E MEDIE IMPRESE TRAMITE LA
DIGESTIONE ANAEROBICA E IL RECUPERO DI
SERRE FOTOVOLTAICHE**

Tesi di Dottorato di:
Dott. Gianluca Egidi

Coordinatore del corso:
Prof. Silvio Franco

Tutor
Prof. Danilo Monarca

Sommario

INTRODUZIONE	4
LE FASI DEL PROGETTO	6
progettazione integrata tra produttori di serre e di moduli FV.....	6
Tipologie di Serre	23
Tipologie di Pannelli fotovoltaici	28
1.1 progettazione e realizzazione prototipo di serra FV	30
1.2 (collaudo moduli FV innovativi)	40
1- Simulazione di impianto FV con reti ombreggianti a differente gradazione di ombreggio (periodo: 23/03/15-25/05/15)	40
2- Prova sotto impianto FV parziale (periodo: 26/10/2015 - 22/02/2016).....	46
3- Prova sotto impianto FV completo (periodo: 18/07/2016 - 31/10/2016)	47
1.3 modelli sostenibili di recupero di serre già esistenti).....	67
a. Aumento dell'efficienza dei moduli fotovoltaici nel breve/medio periodo.....	75
b. Aumento della vita media dei moduli e degli impianti	75
c. Maturazione delle tecnologie produttive.....	75
d. Diminuzione dei prezzi grazie a.....	75
e. Modifica degli scenari economici:	75
f. Soddisfazione delle procedure tecniche e amministrative necessarie per procedere all'installazione.	75
2. verifica possibilità di sviluppare una Smart Grid per serre FV	88
5. DUEED (sviluppo di un approccio metodologico di supporto per verificare la possibilità di integrazione tra FV e coltivazione)	95
La due diligence	95
Le verifica tecniche sui progetti	97
Studio di valutazione dell'espansione di impianti fotovoltaici installati su terreni rurali in Italia 111	
2. Metodologia.....	112
3. Risultati	113
4. Conclusioni.....	117
LA DIGESTIONE ANAEROBICA.....	119
Obiettivi della ricerca	119
<i>PRIMA LINEA: co-digestione anaerobica di rifiuti solidi di frantoio con concime bovino e liquame bovino: analisi del potenziale per la produzione di bio-metano.</i>	120
1. Introduzione	120
2. Materiali e metodi	122
2.1 Configurazione sperimentale.....	123
3. Risultati	124
4. Conclusioni	131
<i>SECONDA LINEA: Caso studio per la realizzazione di un impianto di Biometano nella Provincia di Viterbo.</i>	131
1. Introduzione	131
2. Descrizione dettagliata del processo	132
TOTALE (T/anno) 63.117.....	132
3. Opportunità e riflessi indotti dalla scelta organizzativa e del regime fiscale	135
4. Descrizione dettagliata complessiva dell'impianto	138
4.1. Caratteristiche dimensionali e costruttive.....	139

Descrizione matrici previste nel processo produttivo biologico	145
4.2. Letame bovino (4.309 t/y)	145
4.3. Liquame bovino (8.208 t/y)	146
4.4. Siero di latte concentrato (4.600 t/y)	146
4.5. Vinacce di uva (3.000 t/y)	147
4.6. Sansa di olive (8.000 t/y)	150
4.7. Acque di vegetazione da frantoio (1.800 t/y)	156
4.8. Valori aggregati del processo biologico	160
Riferimenti Bibliografici	165

INTRODUZIONE

Le fonti rinnovabili utilizzabili in campo agricolo, ed in particolare nelle colture protette, sono diverse. Tra queste, le più largamente utilizzate sono tre:

- Fotovoltaico, per la produzione di energia elettrica
- Micro e Mini-eolico per la produzione di energia elettrica
- Solare-termico per la produzione di calore

La rapida evoluzione delle tecnologie e lo sviluppo di strategie volte ad incentivarne l'utilizzo hanno portato alla realizzazione di diversi prodotti applicabili in campo agricolo e che si stanno rilevando efficienti e con costi competitivi.

Le serre fotovoltaiche sono uno dei segmenti più promettenti nel campo delle energie alternative, nonostante il taglio degli incentivi sia particolarmente drastico nel settore del Fotovoltaico. Una scelta dettata dalla necessità per il legislatore di frenare la speculazione in atto. Tuttavia, le serre consentono di combinare il tradizionale reddito agricolo con le entrate derivanti dagli incentivi del Conto Energia.

La diffusione delle serre finora è stata frenata anche dai costi elevati per il riscaldamento, un altro ostacolo che si può superare con l'opzione fotovoltaica, che offre disponibilità in loco di energia a basso costo. Se si sceglie di installare i pannelli su una serra già esistenti, il processo autorizzativo è più rapido dell'impianto a terra che ormai risulta sorpassato, non essendo richiesta l'autorizzazione unica. Inoltre l'impianto è esente dal pagamento dell'Ici, purché i redditi prodotti dagli impianti fotovoltaici su serra siano connessi all'attività agricola". Secondo il Solar Energy, le serre fotovoltaiche hanno ampi spazi di crescita nel medio termine, con una stima al 2020 di 5,8 GW di potenza installata, contro i 459 MW censiti a fine 2010. Una quota che significa arrivare per quella data a coprire con pannelli fotovoltaici circa un quinto della superficie delle serre oggi esistenti. Previsioni ottimistiche che devono tuttavia fare i conti con il nuovo Conto Energia 2011-2013. Rispetto al sistema incentivante in uso fino al 31 dicembre di quest'anno, che considera gli impianti sulle serre come "totalmente integrati", dal 2011 le nuove installazioni possono contare su tariffe molto più basse, con valori calcolati secondo una formula complessa che porta il risultato vicino alla media aritmetica tra gli incentivi previsti per i pannelli su tetto e quelli destinati agli impianti a terra. Una decisione motivata dalla volontà di contrastare la speculazione, orientata a costruire sistemi fotovoltaici su delle serre che, in realtà, non avevano alcuna destinazione agricola. Proprio per questo motivo la normativa di settore si è fatta sempre più stringente: Affinché un impianto possa definirsi serra fotovoltaica sono richieste dimensioni e altezze minime che garantiscano le movimentazioni all'interno, oltre al rispetto di parametri precisi in tema di aereazione. Ci sono poi vincoli tecnici da considerare: "Il pannello crea ombreggiamenti sul terreno, quindi non tutte le piante possono essere coltivate in serra: vanno bene piante da sottobosco come fragoline e more, funghi e l'aloe, che vivono bene anche in condizioni di irraggiamento non diretto".

Occorre, poi, fare i conti con il vincolo temporale degli incentivi [1-20]: "Per usufruirne, è necessario garantire la produzione in serra per 20 anni", e questo può costituire un freno per l'imprenditore agricolo, un vincolo a coltivare anche qualora il business si dimostrasse poco produttivo.

Il progetto si basa quindi sulle seguenti forti esigenze:

- valutazione dello stato dell'arte presente sul territorio nazionale riferito alla presenza effettiva delle serre fotovoltaiche;
- determinazione di un nuovo processo di integrazione della tecnologia fotovoltaica in campo agricolo;
- valutazione delle tecnologie potenzialmente utilizzabili ai fini della riduzione della copertura in serra. Il progetto seguito nell'ambito della tesi di dottorato, nel suo complesso, è proceduto senza

significative variazioni degli obiettivi ed attività previsti. Si è stabilita una buona interazione tra le strutture che sta continuando in attività post- progetto. In particolare, è stata sottoposta una pubblicazione congiunta IRF- DAFNE-UNITUS presso riviste specializzate e qualificanti del settore. Presso l'IRF è tutt'ora attivo il prototipo di serra fotovoltaica realizzata nel corso del progetto; essa è oggetto di visite da parte di imprenditori e giovani tecnici-ricercatori e potrà essere soggetta a miglioramenti ed ampliamenti.

Di seguito il dettaglio delle diverse azioni che saranno dettagliate nei paragrafi successivi e che sono in accordo con il progetto operativo ed il cronoprogramma esteso ai mesi di proroga concessi dal Ministero e modificato a seguito della variante richiesta.

Azioni
2. SVIL (progettazione integrata tra produttori di serre e di moduli FV)
3. PROT (progettazione e realizzazione prototipo di serra FV)
4. COLL (collaudo moduli FV innovativi)
5. REC (modelli sostenibili di recupero di serre già esistenti)
6. SMGR (verifica possibilità di sviluppare una Smart Grid per serre FV)
7. DUED (sviluppo di un approccio metodologico di supporto per verificare la possibilità di integrazione tra FV e coltivazione)
8. CENS (censimento delle serre fotovoltaiche esistenti in Italia)
9. DIV (divulgazione risultati raggiunti)

Tabella 1 – Azioni del progetto

LE FASI DEL PROGETTO

L'articolazione della seguente tesi è stata suddivisa in fasi corrispondenti alle diverse azioni del progetto in modo da indicare per ognuna le metodologie, i risultati rispetto agli obiettivi prefissati

progettazione integrata tra produttori di serre e di moduli FV

La soluzione iniziale prevedeva l'installazione di pannelli mobili ad "inseguimento solare" posti all'interno della serra senza dover intervenire sulla copertura in vetro esistente. Tale soluzione tuttavia presentava delle criticità riguardo l'efficienza del sistema.

Si è optato allora per una soluzione che prevedesse l'installazione di una pannellatura ibrida, costituita da una parte fissa (pannelli FV posti all'esterno a sostituire la copertura in vetro esistente) e una parte mobile montata all'interno e in modo da permettere un minore o maggiore oscuramento dell'ambiente con conseguente variazione dell'efficienza di produzione energetica del sistema complessivo.

In particolare:

- la copertura FV ha interessato solo 2 file di vetri con una matrice 2x13 (totale 26 moduli da 116W cad.)
- ogni modulo è costituito da un vetro fisso (anteriore) avente potenza 58W e da un vetro mobile (posteriore) sempre di potenza 58W.
- L'installazione ha previsto la realizzazione di 2 generatori da 1500W, uno collegato in serie ai 26 moduli fotovoltaici fissi da 58W cad (tot 1508W) e l'altro collegato in serie ai 26 moduli fotovoltaici mobili da 58W cad. (tot 1508W)
- Per avere la massima "forbice" di ombreggiamento si è optato per 2 pannelli uguali come numero di celle, in questo caso è stato possibile ottenere:
 - o 33% di ombreggiamento con pannelli sovrapposti → potenza fotovoltaico max 1500 W (metà impianto non funziona in quanto totalmente ombreggiato)
 - o 66% di ombreggiamento con pannelli sfalsati → potenza fotovoltaico max 3000 W

La movimentazione è rimasta sempre una traslazione verticale del pannello mobile di circa 15cm (Figg. 1-2).

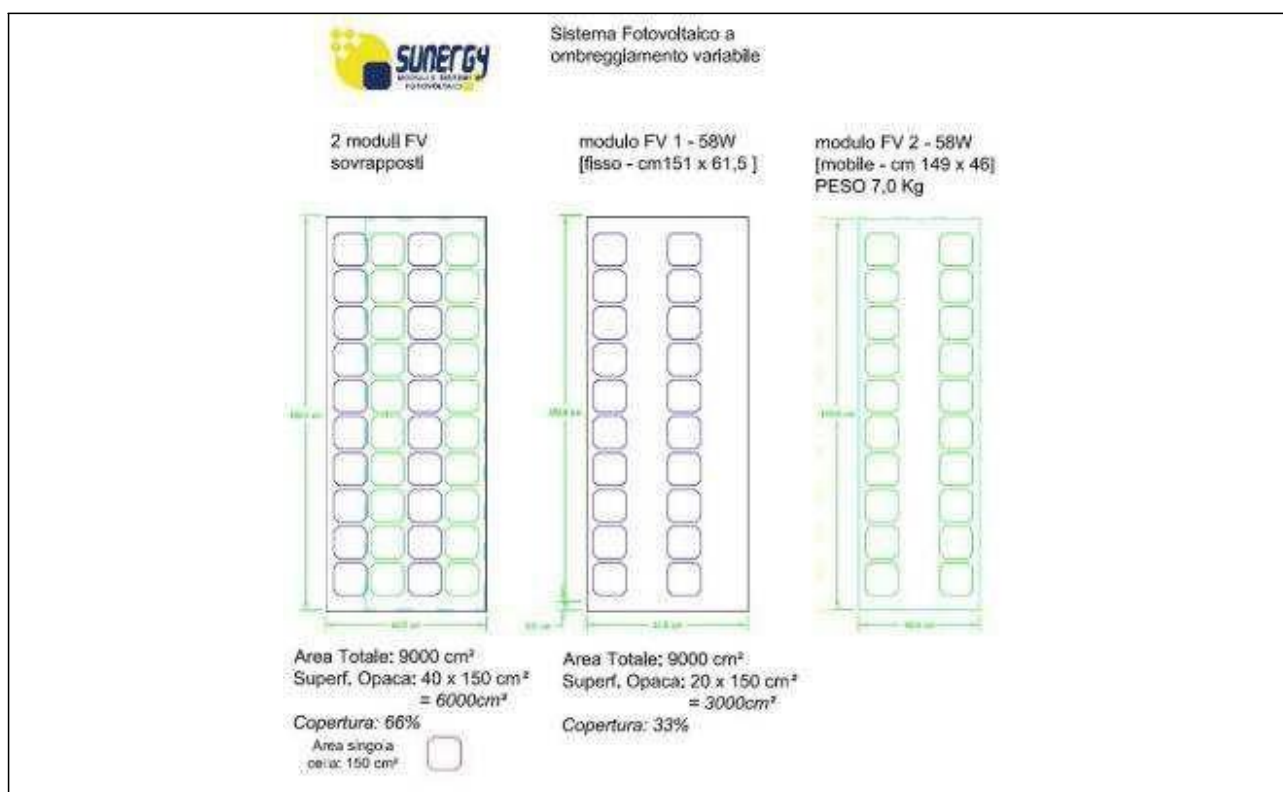


Fig. 1 - Layout dei pannelli

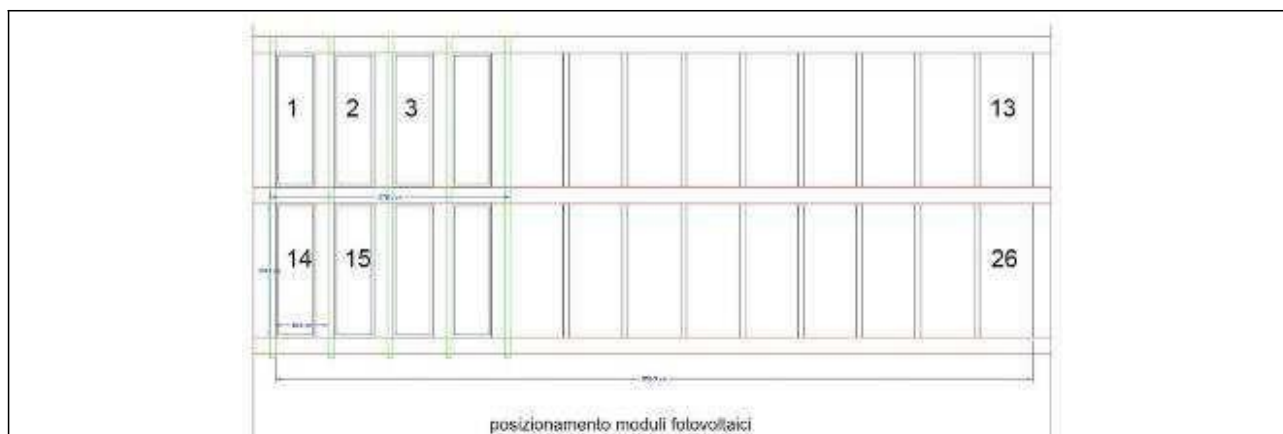


Fig. 2 – Schema di installazione dei pannelli

Il lavoro di sviluppo ha prodotto un risultato immediatamente cantierabile e applicabile che ha tenuto conto di:

- luminosità interna delle serre
- movimento dei coni d'ombra realizzati dalle pannellature fotovoltaiche e dimensionamento dei pannelli FV
- trasparenza dei pannelli FV
- disegno specifico delle superfici fotovoltaiche rispetto alle superfici trasparenti.

Protocollo tecnico applicato

- Luminosità interna delle serre
 - Sono stati recuperati i **dati di luminosità** (quantità e qualità della radiazione totale,

quantità di PAR, UVA, UVB e UVC, LUX) disponibili in letteratura, o raccolti nel corso di precedenti lavori di ricerca e sperimentali dai partner di progetto, e rapportandoli con i dati di copertura fotovoltaica presente sulle serre oggetto delle misure.

- ii. Sono stati raccolti **nuovi dati**, visitando serre fotovoltaiche già esistenti sul territorio nazionale, agendo come indicato al punto (i.).
- iii. Sono state richieste alle principali aziende produttrici di pannelli fotovoltaici **campioni di materiali** (pannelli fotovoltaici finiti o profilati plastici e vetrosi impiegati per la produzione dei pannelli stessi) su cui sono state eseguite misurazioni delle caratteristiche di trasparenza alla luce (quantità e qualità della radiazione totale, quantità di PAR, UVA, UVB e UVC, LUX). Questi dati hanno concorso, con la collaborazione delle aziende fotovoltaiche stesse e con i costruttori di serre, alla **individuazione dei prodotti che hanno mostrato il miglior rapporto tra costi, caratteristiche di trasparenza alla radiazione luminosa, caratteristiche di trasparenza/opacità nel campo degli UV (UVA, UVB e UVC) e degli IR.**
- iv. È stata valutata una **progettazione innovativa di serre fotovoltaiche** dotate di sistemi dedicati alla massimizzazione della produzione elettrica e della conseguente potenziale ricaduta sull'ombreggiamento a terra dell'impianto fotovoltaico.
- v. Di tutte le serre sottoposte alle verifiche di cui ai punti [22, 25] sono stati anche acquisiti i **dati termici più significativi** (temperatura dell'aria, temperatura della superficie del suolo e temperatura dei pannelli FV). Allo scopo è stata adottata la termografia a infrarossi, al posto della rilevazione termica convenzionale.

- b. Movimento dei coni d'ombra realizzati dalle pannellature fotovoltaiche e dimensionamento dei pannelli FV.

Grazie alla collaborazione con il Politecnico di Torino è stato realizzato un **modellino di simulazione** che ha prodotto i seguenti risultati:

- stima dell'ombreggiamento diretto a terra delle celle/pannelli fotovoltaici
- stima della quantità di luce disponibile
- contributo alla stima della copertura massima

c. Trasparenza dei pannelli FV

Il metodo operativo di questo punto è già contenuto ed è stato sviluppato nel punto (a)

d. Disegno specifico delle superfici fotovoltaiche rispetto alle superfici trasparenti

Il risultato delle indagini descritte ai punti (a), (b), e (c) è stato fatto confluire in proposte di layout di moduli fotovoltaici e di serre fotovoltaiche [33-35]

Risultati raggiunti

Questa azione ha prodotto la progettazione del pannello fotovoltaico, tenuto conto delle condizioni ambientali, strutturali e tecnologiche necessarie, compreso lo studio del movimento e della dimensione delle ombre.

Le immagini sotto riportate (Figg. 3-8) descrivono il risultato ultimo di tale azione:

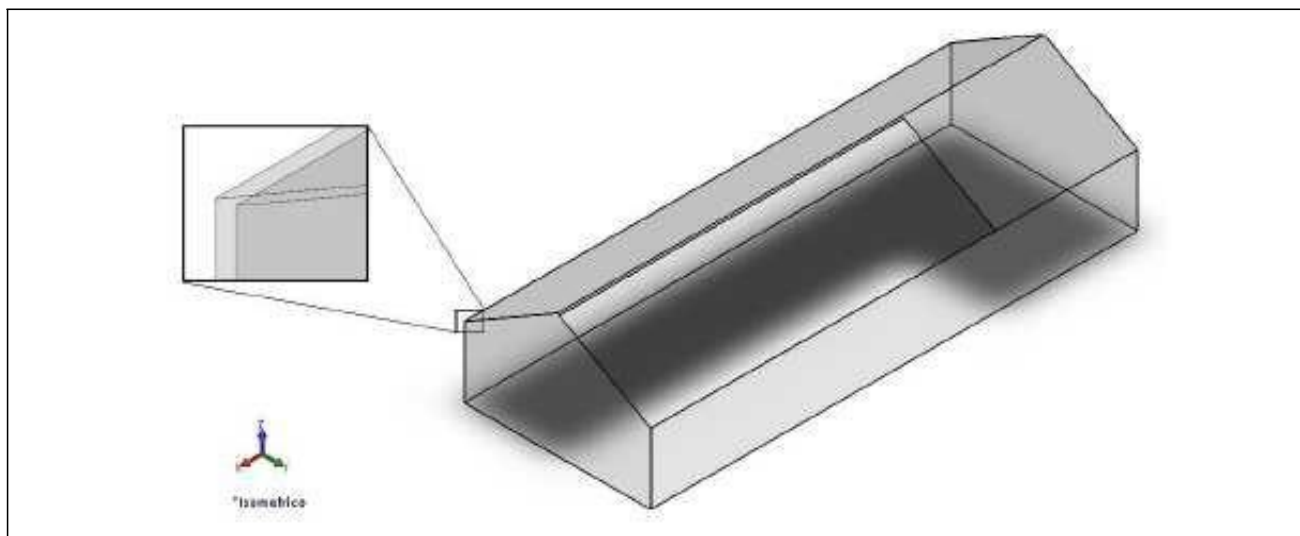


Fig.3 - Realizzazione del modello di serra in ambiente solid works

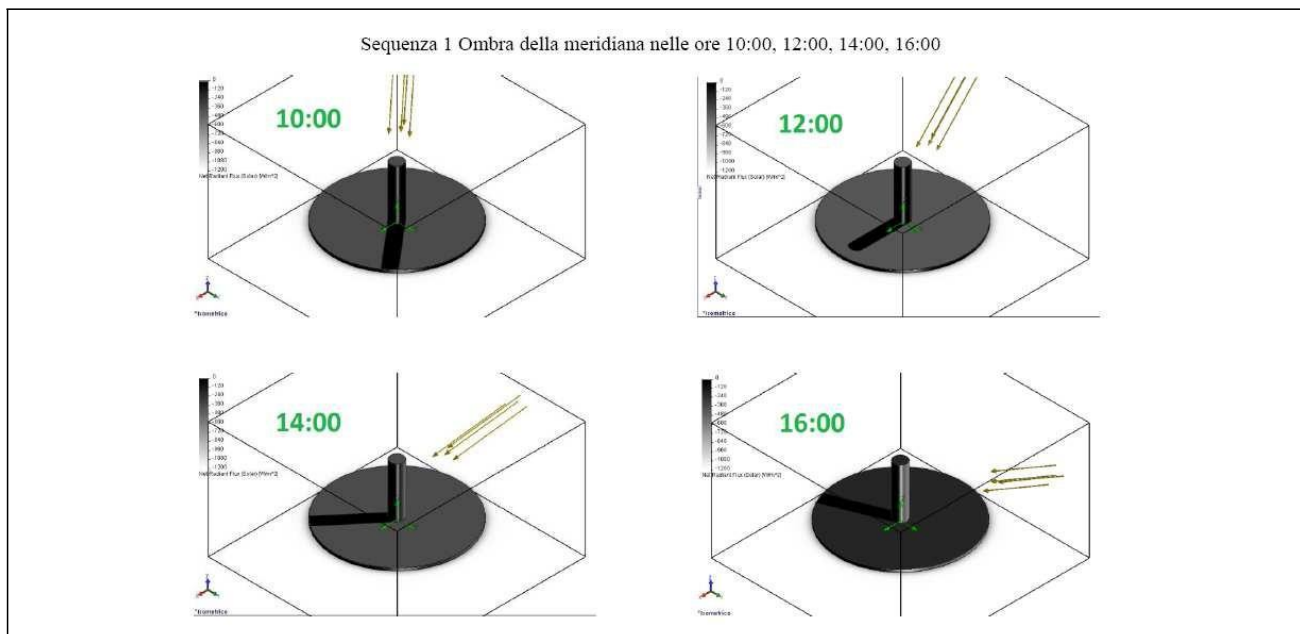


Fig.4 - Analisi illuminotecnica con sistema Flow Simulation, in ambiente solid works

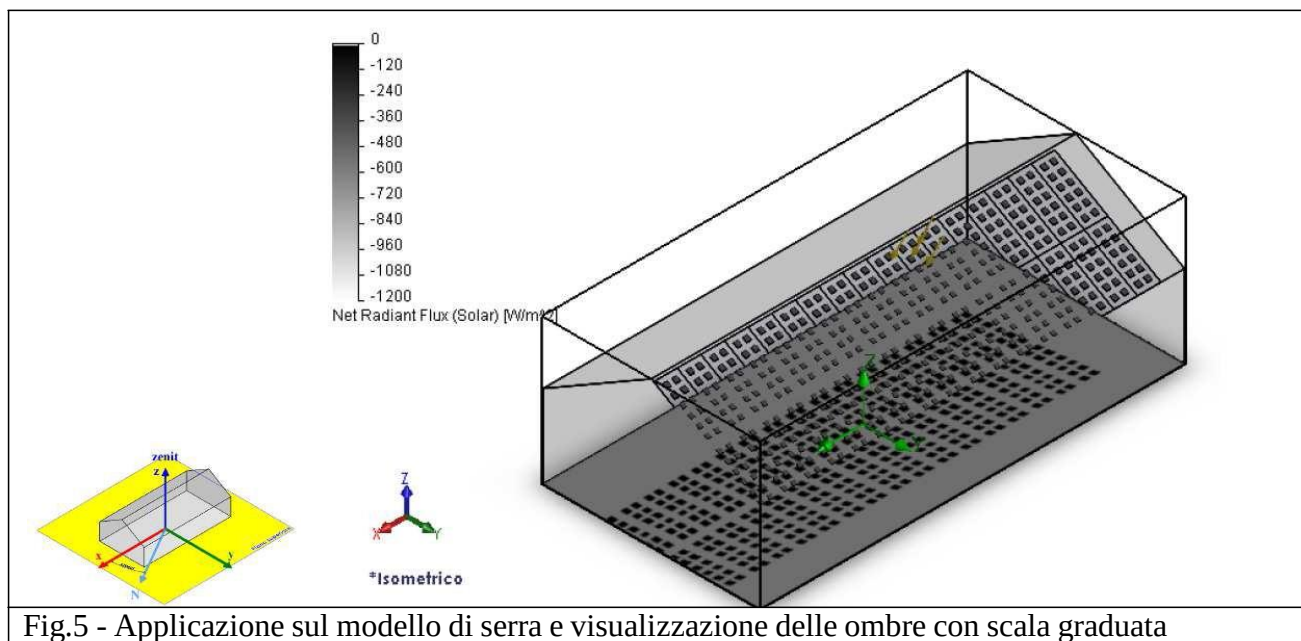


Fig.5 - Applicazione sul modello di serra e visualizzazione delle ombre con scala graduata

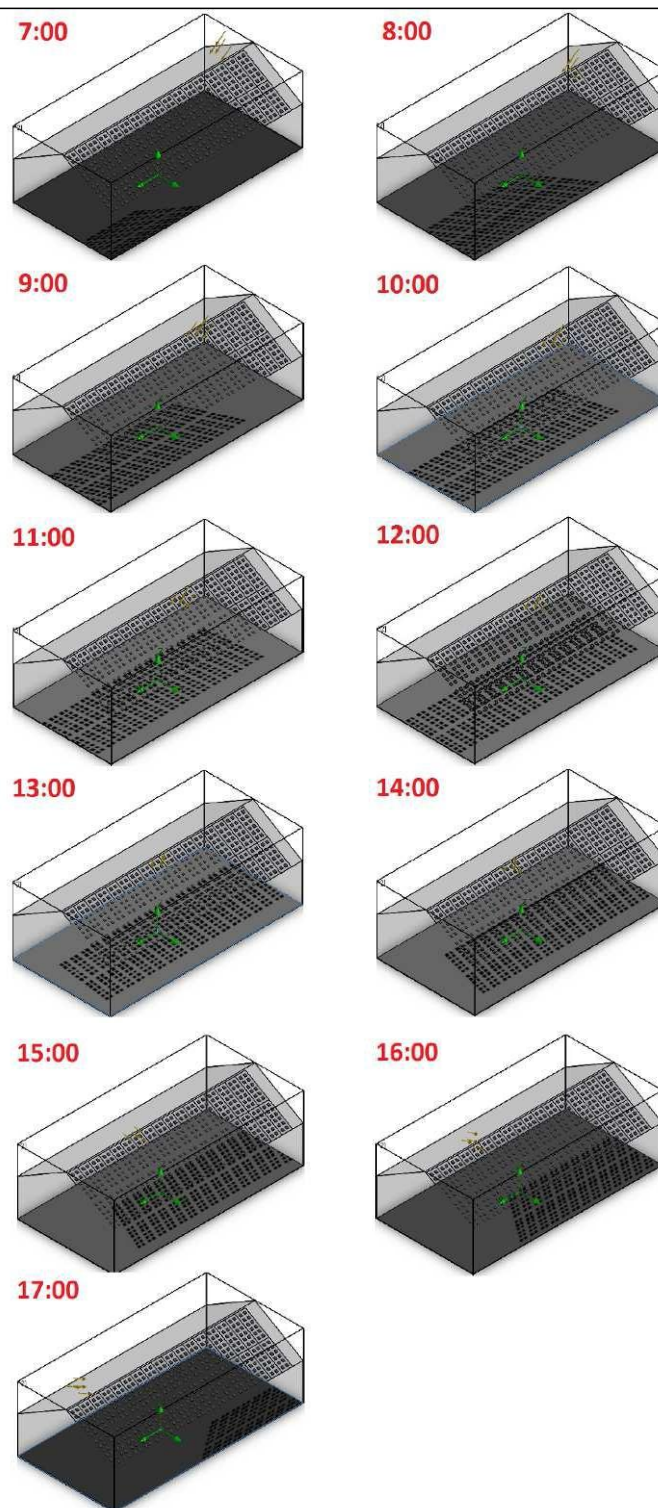


Fig.6 - Configurazione delle ombre in relazione all'orientamento spaziale della serra e al parametro temporale

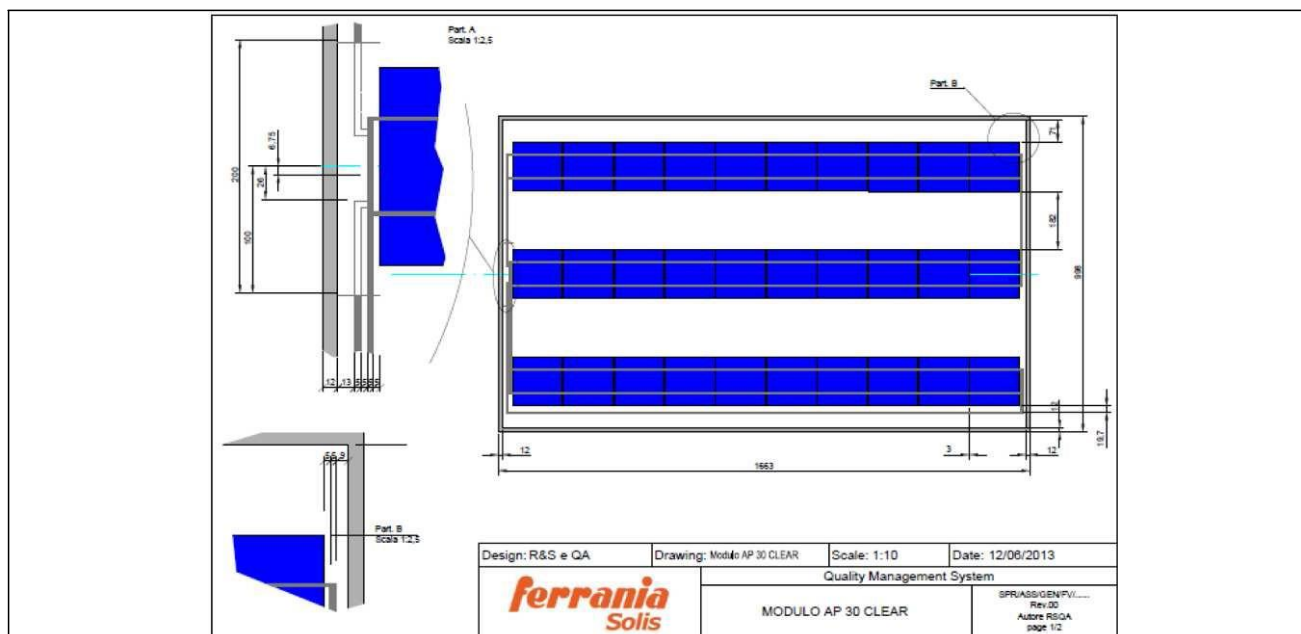


Fig.7 - Layout generale del pannello fotovoltaico semitrasparente progettato

Type		AP-30	
Prestazioni in Condizioni Standard (STC): Irraggiamento 1000 W/m²; Temperatura del Modulo 25°C; AM 1.5			
Potenza nominale	P _{nom} (W)	125	
Tensione alla massima potenza	V _{mpp} (V)	15.10	
Corrente alla massima potenza	I _{mpp} (A)	8.30	
Tensione a circuito aperto	V _{oc} (V)	18.74	
Corrente di corto circuito	I _{sc} (A)	8.90	
Fill Factor	%	75.0	
Efficienza modulo	%	7.53	
Temperatura di lavoro	(°C)	-40 / +85	
Massima tensione	(V _{bc})	1000	
NOCT	(°C)	43 ± 2	
Prestazioni alla NOCT: Irraggiamento 800 W/m²; Temperatura del Modulo 43°C; AM 1.5			
Potenza nominale	P _{nom} (W)	91.75	
Tensione alla massima potenza	V _{mpp} (V)	14.67	
Corrente alla massima potenza	I _{mpp} (A)	6.23	
Tensione a circuito aperto	V _{oc} (V)	17.66	
Corrente di corto circuito	I _{sc} (A)	6.76	
Design, Dimensioni e Ombreggiamento			
Celle	Silicio multicristallino - 156 x 156 mm		
numero Cella	n.	30	
numero Stringhe	n.	3	
ombreggiamento	%	74	
Strato Frontale	Vetro temprato 4 mm ad alta trasparenza		
Strato Dorsale	Backsheet ad alta trasparenza		
Incapsulante	EVA (copolimero Etilene - Vinilacetato)		
Scatola di Giunzione	IP 65 (IEC 60529) - Classe II (DIN VDE0106) - da 1 a 3 diodi di by-pass		
Cavi	2 cavi unipolari - sezione 4 mm ² - innesto rapido- lunghezza 1 m		
Lunghezza	mm	1663	
Larghezza	mm	998	
Spessore cornice	mm	45	

Coefficienti di temperatura

di I_{sc} (α) = 0.06 % / °C // 5.429 mA / °C

di V_{oc} (β) = -0.31 % / °C // -0.116 V / °C

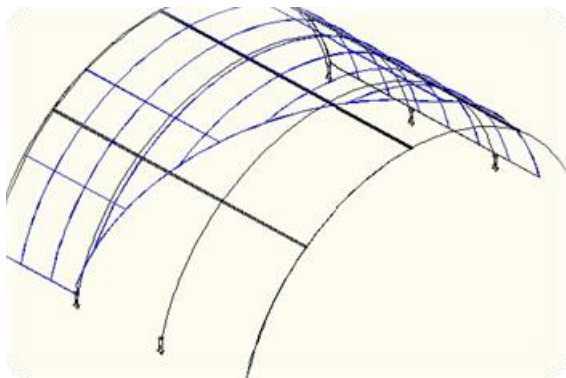
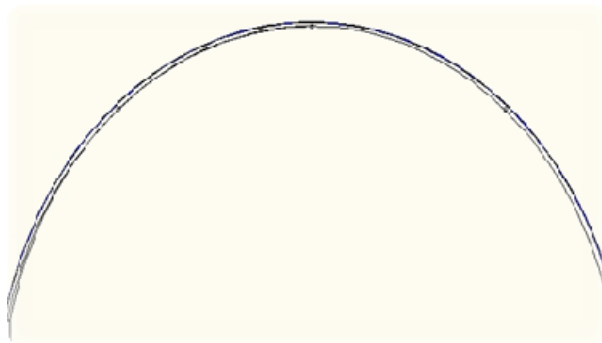
di P_{max} (γ) = -0.43 % / °C // 0.969 W / °C

Fig.8 - Caratteristiche elettriche del pannello fotovoltaico semitrasparente progettato

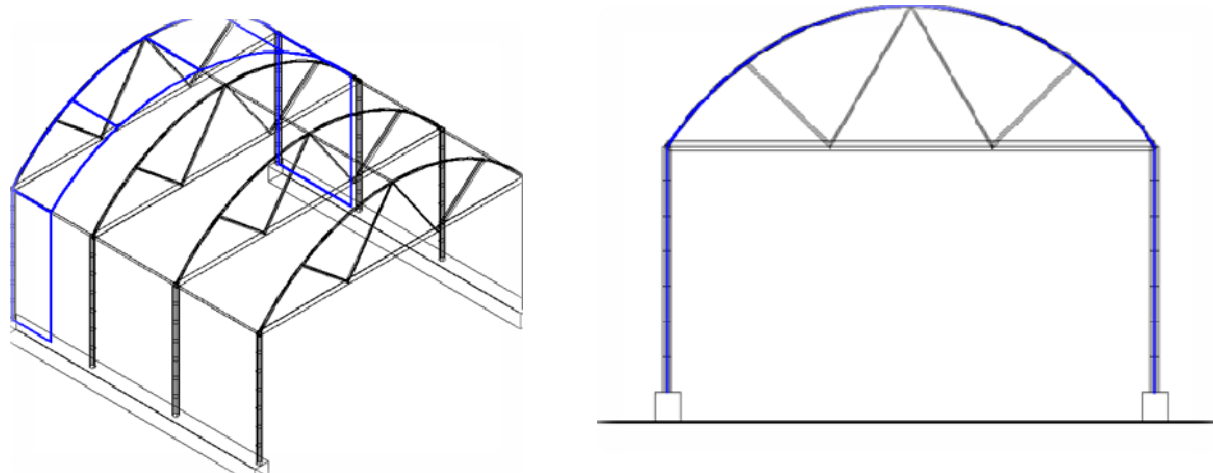
Tipologie di Serre

In base alla sezione trasversale di una serra si possono distinguere tre tipologie fondamentali di strutture:

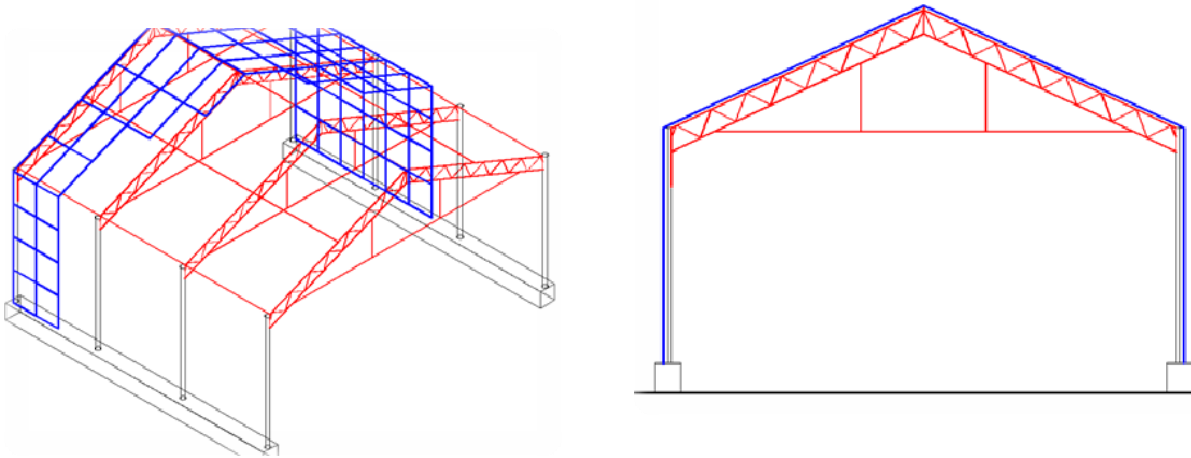
- **Serre tunnel:** sono strutture con sezione a settore circolare con arco più o meno ribassato la cui struttura portante risulta costituita da tubi in acciaio zincato a curvatura continua o costante (sezione policentrica) di norma realizzate a campata singola con materiali plastici e aperture laterali per la ventilazione. Meno diffusa è la tipologia cosiddetta a mansarda nella quale le pareti longitudinali, seppure inclinate, sono costituite da elementi strutturali rettilinei. Nel caso di serre tunnel le fondazioni utilizzate sono di tipo a vite e non quelle a trave o plinto che invece vengono utilizzate nelle altre tipologie costruttive di serre. Mentre, per quanto concerne i materiali di copertura, gli unici a poter essere utilizzati sono quelli in plastica.

S-1	SERRA TUNNEL
 	
<u>Tipologia di fondazione:</u> a vite <u>Struttura:</u> tubolari a curvatura continua in acciaio zincato a sezione circolare ($\Phi=80/100$ mm) <u>Luce campata:</u> 6,00 – 12,00 m <u>Lunghezza:</u> 60,00 – 100,00 m <u>Altezza di gronda:</u> - <u>Altezza di colmo:</u> 3,00 - 4,00 m <u>Materiale di copertura:</u> □ materiali plastici ⊙ film plastici flessibili: polietilene (PE), cloruro di polivinile (PVC) ed etilene vinil acetato (EVA) ⊙ laminati semi-rigidi: poliestere (PRFV), cloruro di polivinile (PVC), polimetilmetacrilato (PMMA). <u>Pendenza falde:</u> -	

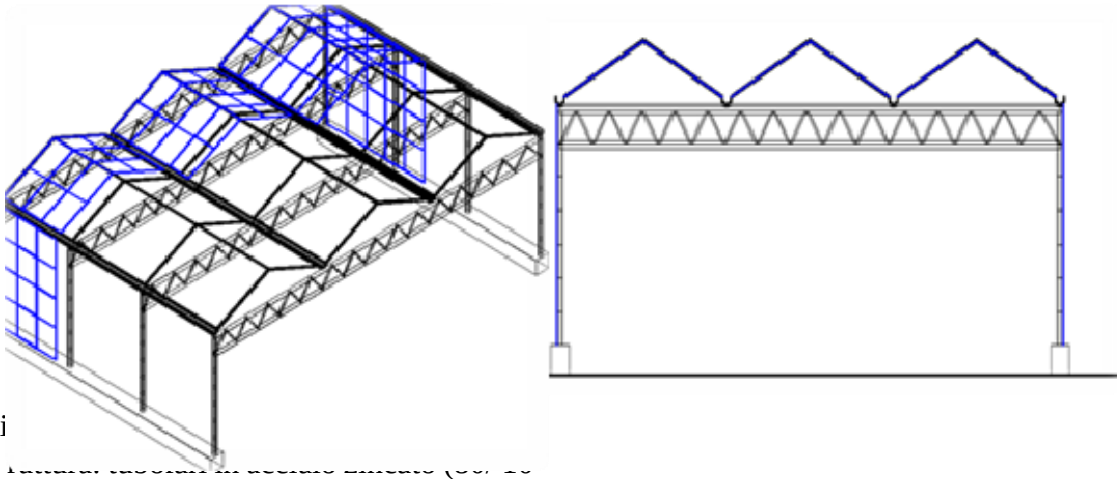
- Serre a tetto curvilineo: sono strutture caratterizzate da un tetto a profilo curvilineo i cui elementi portanti, in tubo di acciaio zincato ad arco ribassato o di tipo gotico, si innestano su montanti verticali; quest'ultima soluzione consente, rispetto alla tipologia precedente, di realizzare serre a campate multiple. Un ulteriore vantaggio rispetto alla tipologia precedente è offerto dalla possibilità di coltivare piante a sviluppo verticale anche in prossimità delle pareti longitudinali. Anche in questo caso il materiale di copertura è di tipo plastico e le fondazioni sono realizzate con il sistema costruttivo del plinto o della trave rovescia.

S-2	SERRA A TETTO CURVILINEO
	
<u>Tipologia di fondazione</u>: trave continua; plinto <u>Struttura</u>: tubolari semicircolari in acciaio zincato a sezione circolare ($\Phi=80/100$ mm) <u>Luce campata</u>: 6,40 - 9,60 m <u>Lunghezza</u>: 30,00 - 42,00 m <u>Altezza di gronda</u>: 2,00 - 3,00 m <u>Altezza di colmo</u>: 3,00 - 5,00 m <u>Materiale di copertura</u>: □ Materiali plastici ⊙ film plastici flessibili: polietilene (PE), cloruro di polivinile (PVC) ed etilene vinil acetato (EVA) ⊙ laminati semi-rigidi: poliestere (PRFV), cloruro di polivinile (PVC), polimetilmetacrilato (PMMA). <u>Pendenza falde</u>: -	

- Serre con tetto a falde piane: questa tipologia di serre è riconducibile a due fondamentali schemi costruttivi:
 - ① le serre a padiglione: strutture con tetto a due falde simmetriche, a campata singola o multipla. La singola campata, generalmente, ha una larghezza minima di 6 m fino ad un massimo di 15 m. La circolazione dell'aria è garantita da aperture laterali e di colmo. In questa tipo di serre possono essere utilizzate tutte le tipologie di materiali di copertura (vetro e plastica). Le fondazioni sono realizzate anche in questo caso tramite plinti o trave rovescia.

S-3	SERRA A PADIGLIONE
	
<u>Tipologia di fondazione</u>: trave continua; plinto <u>Struttura</u>: tubolari in acciaio zincato (80/ 100 mm) <u>Luce campata</u>: 9,60 - 12,80 m <u>Lunghezza</u>: 30,00 - 100,00 m <u>Altezza di gronda</u>: 3,00 – 5,00 m <u>Altezza di colmo</u>: 4,50 – 7,50 m <u>Materiale di copertura</u>: ☐ Vetro ☐ Materiali plastici ① Film plastici flessibili: polietilene (PE), cloruro di polivinile (PVC) ed etilene vinil acetato (EVA) ① Laminati semi-rigidi: poliestere (PRFV), cloruro di polivinile (PVC), polimetilmetacrilato (PMMA). ① Lastre rigide <u>Pendenza falde</u>: 40% (22°)	

- ⑩ le serre tipo 'Venlo': strutture formate da un portale costituito da colonne verticali e una trave reticolare orizzontale sul cui estradosso poggia la struttura portante secondaria del tetto, costituito da due o più ordini di falde simmetriche. Questo tipo di serre viene di norma realizzato con campate multiple. La copertura e le fondazioni sono uguali alla tipologia precedente di serra.

S-3	SERRA TIPO VENLO
i	
<u>T</u> <u>St</u>	<u>to</u> 0 mm)
<u>Luce campata:</u> 9,60 - 12,80 m <u>Lunghezza:</u> 30,00 - 100,00 m <u>Altezza di gronda:</u> 3,00 – 5,00 m <u>Altezza di colmo:</u> 4,50 – 7,50 m <u>Materiale di copertura:</u>	☐ Vetro ☐ Materiali plastici ⑩ Film plastici flessibili: polietilene (PE), cloruro di polivinile (PVC) ed etilene vinil acetato (EVA) ⑩ Laminati semi-rigidi: poliestere (PRFV), cloruro di polivinile (PVC), polimetilmetacrilato (PMMA). ⑩ Lastre rigide
<u>Pendenza falde:</u> 40% (22°)	

In Tabella 1 sono riportati i principali parametri dimensionali e costruttivi delle serre (ENEA e Ministero dello sviluppo economico 2014).

Tabella 1. Parametri dimensionali e costruttivi delle serre

	SERRA TUNNEL	SERRA A TETTO CURVILINEO	SERRA A PADIGLIONE	SERRA VENLO
Tipologia fondazione	Fondazione a vite	Trave continua; plinto		
Struttura	Tubolari in acciaio zincato (80/100 mm)			
Luce campata	6,40 - 9,60 m	6,40 - 9,60 m	9,60 - 12,80 m	9,60 - 12,80 m
Lunghezza	30,00 - 42,00 m	30,00 - 42,00 m	30,00 - 100,00 m	30,00 - 100,00 m
Altezza di gronda	2,00 - 3,00 m	2,00 - 3,00 m	3,00 – 5,00 m	3,00 – 5,00 m
Altezza di colmo:	3,00 - 5,00 m	3,00 - 5,00 m	4,50 – 7,50 m	4,50 – 7,50 m
Materiale di copertura:	Materiali plastici Film plastici flessibili Laminati semi- rigidi	Materiali plastici Film plastici flessibili Laminati semi- rigidi	Vetro Film plastici flessibili Laminati semi- rigidi Lastre rigide	Vetro Film plastici flessibili Laminati semi- rigidi Lastre rigide
Pendenza falde:	-	-	40% (22°)	40% (22°)

Tipologie di Pannelli fotovoltaici

- a) Pannelli fotovoltaici monocristallini e policristallini: le celle monocristalline sono fatte di wafer di silicio. Un wafer è una sottile fetta di materiale semiconduttore, come ad esempio un cristallo di silicio, sulla quale vengono costruiti circuiti integrati attraverso drogaggi.

P-1	PANNELLO FOTOVOLTAICO MONOCRISTALLINO E POLICRISTALLINO
	
<u>Materiali celle:</u> silicio monocristallino e policristallino; gallio; cadmio <u>Dimensioni:</u> 1,50 m x 0,99 m / 1,65 m x 1,05 m <u>Superficie:</u> 1,48 - 1,73 m² <u>Spessore:</u> 4,6 - 4,2 mm <u>Peso:</u> 18 - 20 kg <u>Potenza nominale:</u> 100 - 320 W <u>Efficienza:</u> 13,5 - 20 %	

- b) Pannelli fotovoltaici semitrasparenti: realizzati sempre con tecnologia in silicio policristallino. I diversi gradi di trasparenza dipendono dal fatto che questo pannello è privo della cornice. Le principali applicazioni di questo tipo di pannello possono essere: serre, tettoie, parking, soffitte e facciate di edifici.

P-2	PANNELLI FOTOVOLTAICI SEMITRASPARENTI
	
<u>Materiali celle:</u> silicio monocristallino e policristallino; gallio; cadmio <u>Dimensioni:</u> 1,35 x 0,80 / 1,65 m x 1,10 m <u>Superficie:</u> 1,08 - 1,80 m² <u>Spessore:</u> 4,0 - 7,0 mm <u>Peso:</u> 17,5 - 19,5 kg <u>Potenza nominale:</u> 150 - 250 W <u>Efficienza:</u> 15,5 - 20 %	

- c) Film fotovoltaici flessibili: l'assenza di vetro e di cornice rende queste strutture molto flessibili e quindi facilmente adattabili alle superfici curve.

P-3	FILM FOTOVOLTAICI FLESSIBILI
	
	
<u>Materiali celle:</u> silicio amorfo; tellururo di cadmio (CdTe); solfuro di cadmio (CdS); arseniuro di gallio (GaAs); diseleniuro di indio rame (CIS); diseleniuro di indio rame gallio (GICS) <u>Dimensioni:</u> 0,96 x 0,60 m / 1,10 x 0,75 m <u>Superficie:</u> 0,57 – 0,82 m² <u>Spessore:</u> 1,00 - 3,00 mm <u>Peso:</u> 1,9 – 2,5 kg <u>Potenza nominale:</u> 140 - 220 W <u>Efficienza:</u> 6 - 12 %	

1.1 _progettazione e realizzazione prototipo di serra FV

Progettazione e realizzazione di un prototipo di serra fotovoltaica capace di rispondere contemporaneamente alle normative attualmente in vigore, in merito all'incentivazione del fotovoltaico sulle serre, e alle esigenze di sviluppo e di produzione della maggior parte delle specie ornamentali e da fiore.

Il primo prototipo (**PROTOTIPO 1**) è già stato realizzato al **CeRSAA** sulla base degli studi e collaborazioni sviluppate dallo stesso CeRSAA all'azione SVIL.

Il secondo prototipo (**PROTOTIPO 2**) è stato realizzato ad **IRF** (Figg. 9-15) sulla base delle valutazioni condotte assieme a DAFNE-UNITUS e la collaborazione con la ditta Sunergy, che si è occupata della parte di progettazione, collaudo, installazione e allaccio alla rete.

In un primo momento (ottobre 2015) sono stati installati i pannelli fissi, mentre il montaggio della parte mobile ha subito ritardi da parte della ditta costruttrice a causa di problemi di collaudo in ditta, dovuti all'unicità del sistema. I tecnici della Sunergy sono riusciti ad installare e collaudare il sistema a fine Marzo 2016; in fase di collaudo è risultato tutto regolare, ma dopo poco tempo si è verificata la necessità di ulteriori interventi tecnici all'inverter; questo ha fatto sì che il sistema fosse pronto a metà del mese di maggio; questi ritardi hanno comportato ulteriori slittamenti che non hanno permesso l'allaccio in rete del sistema prima della fine del progetto, anche se il sistema è risultato essere funzionante e produttivo. In tutte queste fasi i tecnici IRF hanno tenuto rapporti costanti sia con la ditta installatrice che con DAFNE per accelerare i tempi ove possibile e mantenere continuamente sotto controllo l'andamento dei lavori.

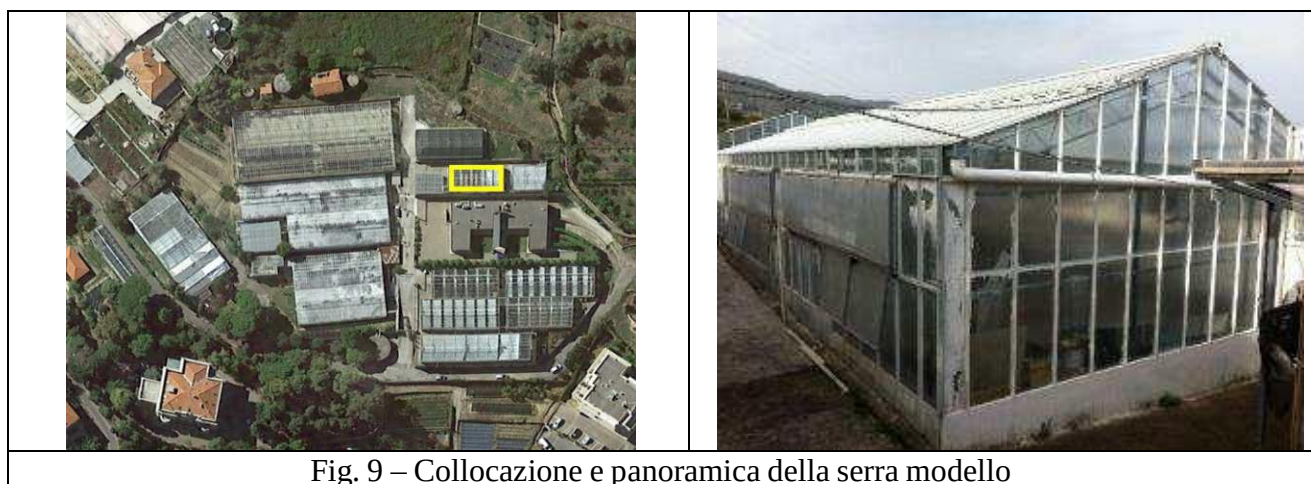


Fig. 10 – Pannelli FV fissi, con particolare delle celle fotovoltaiche stampate

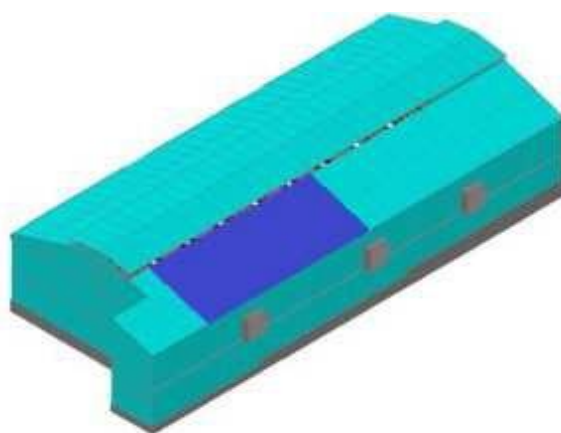


Fig. 11 – Schema 3D della serra modello, in evidenza la parte che sarà interessata dalla copertura FV.



Fig. 12 – Pannelli fissi installati



Fig. 13 – Sistema completo di pannelli mobili (modalità aperta)



Fig. 14 – Sistema a pannelli mobili completato (modalità chiusa)



Fig. 15 – Sistema di controllo e inverter

Sulla base dei risultati derivanti dall'azione 2 (SVIL) del progetto, è stato realizzato un prototipo di serra fotovoltaica capace di rispondere contemporaneamente alle normative attualmente in vigore, in merito all'incentivazione del fotovoltaico sulle serre, e alle esigenze di sviluppo e di produzione della maggior parte delle specie ornamentali e da fiore [25, 26].

Il prototipo è stato realizzato presso il CeRSAA che, con la realizzazione dell'impianto, ha avviato le conseguenti attività di collaudo prevista nell'azione 4 (COLL).

Gli impianti, frutto della progettazione integrata di cui all'azione 2, insistono su una superficie protetta pari a 200 m².

La progettazione e la realizzazione è stata eseguita con la partecipazione di tutti i soggetti imprenditoriali interessati allo sviluppo del modello. Il prototipo di pannello fotovoltaico è stato realizzato ed è stato installato su serre esistenti, al fine di poter avviare la fase di collaudo (Figg.16-19).



Fig. 16 – Prototipo di pannello fotovoltaico semitrasparente

La serra è stata appositamente modificata al fine di poter confrontare tutte le possibili condizioni che si verificano all'atto dell'installazione su una serra commerciale (Fig. 17):

1. parcella (a): vetro “stampato C” + pannello fotovoltaico semitrasparente
2. parcella (b): vetro “stampato C” senza pannello fotovoltaico semitrasparente
3. parcella (c): vetro “trasparente” + pannello fotovoltaico semitrasparente
4. parcella (d): vetro “trasparente” senza pannello fotovoltaico semitrasparente

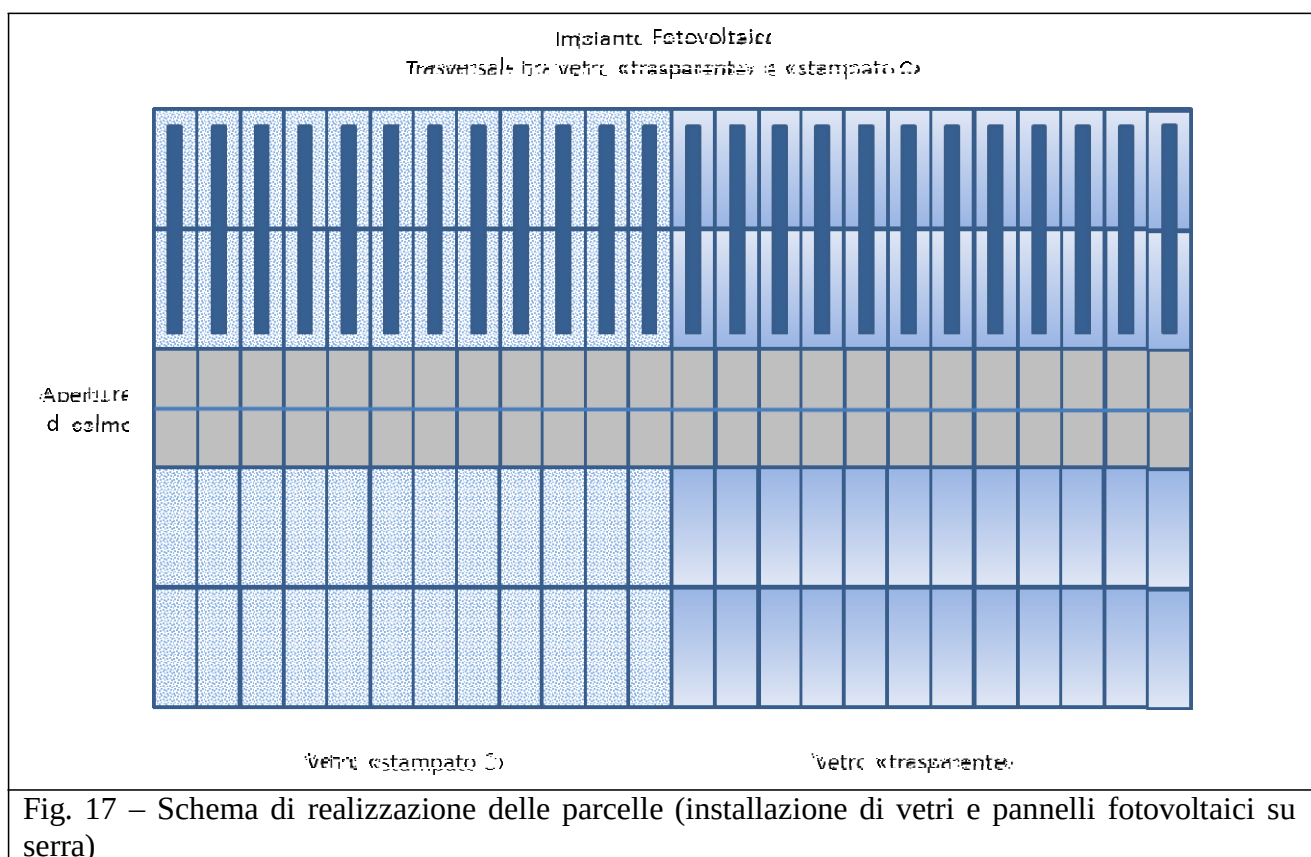


Fig. 17 – Schema di realizzazione delle parcelle (installazione di vetri e pannelli fotovoltaici su serra)

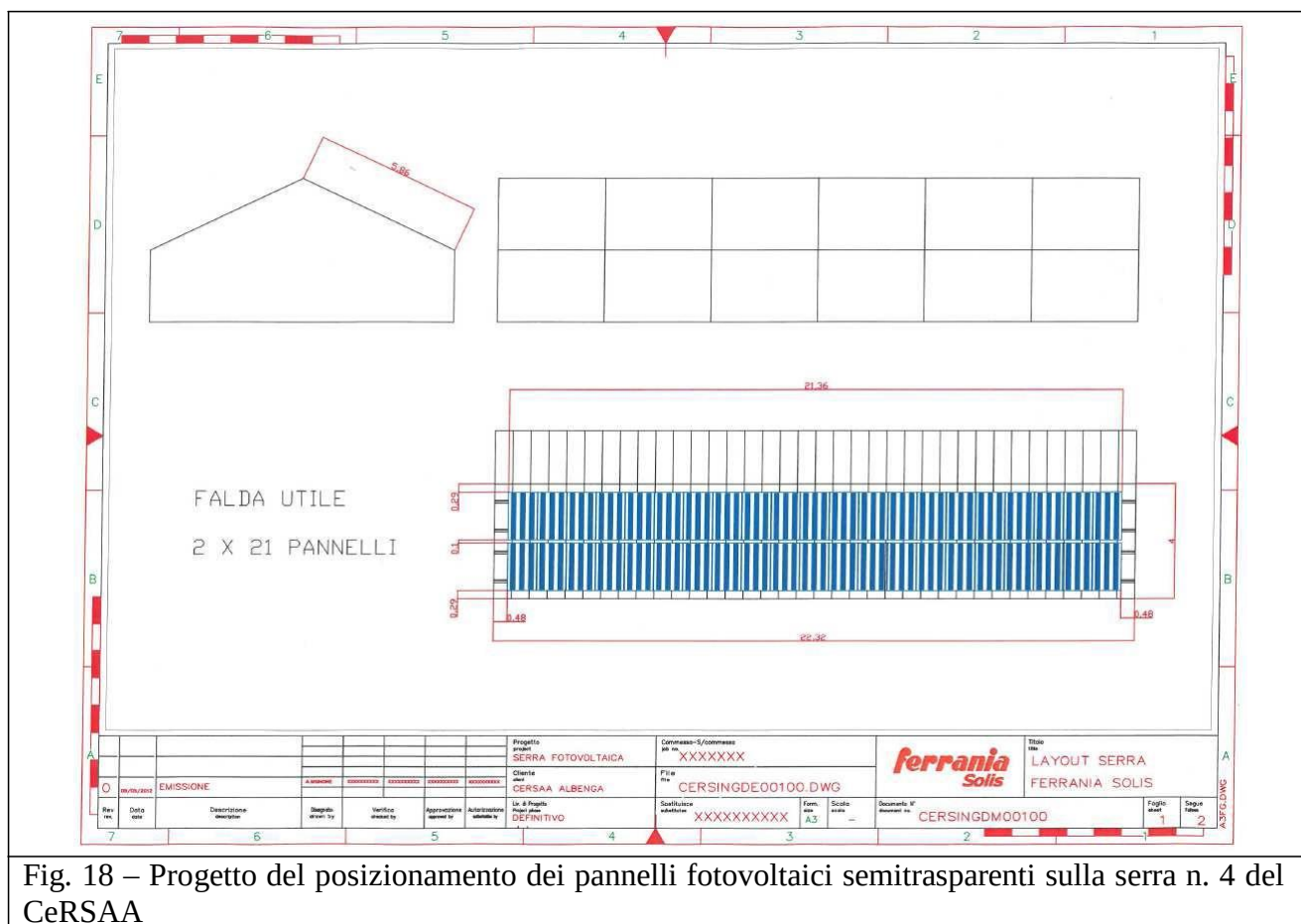


Fig. 18 – Progetto del posizionamento dei pannelli fotovoltaici semitrasparenti sulla serra n. 4 del CeRSAA



Fig. 19 – Installazione del prototipo completo in ogni sua parte



Fig. 20 – Modellino appositamente realizzato per rendere il sistema trasportabile (fiere, mostre, convegni, ...) e visibile in ogni sua parte anche da terra

Il prototipo è, di fatto, una serra completa e funzionante in ogni sua parte e adatta alla coltivazione delle colture individuate. La serra è stata dotata di opportuni sensori per il monitoraggio dei parametri termodinamici e di efficienza energetica.

Alcuni sensori sono integrati nei controlli generali automatizzati della serra (controllo e gestione temperatura, luce e umidità); altri sensori sono stati aggiunti per la lettura dei parametri dinamici luminosi (Fig.21).



Fig. 21 – Sensori per la lettura dei parametri dinamici luminosi della serra prototipo

Con l'attuale progetto, infatti, si è inteso verificare la bontà e l'applicabilità di quanto sviluppato nell'azione 2 (SVIL) in un'ottica di immediata ricaduta sulle imprese agricole e su apprestamenti già esistenti, come anche sottolineato nella successiva azione 6 (SMGR). Il **prototipo realizzato è stato posto a confronto** con le realizzazioni di serre fotovoltaiche disponibili presso il CeRSAA, al fine di validare il risultato della fase di sviluppo (SVIL).

Le immagini seguenti indicano le attuali installazioni fotovoltaiche del CeRSAA utilizzate in questa fase di confronto.

Fig. 22- Serra 2, impianto Silicio 30%
ombreggiamento



Fig. 23- Serra 2, impianto Silicio 60%
ombreggiamento



Fig. 24- Serra 3, Diseleniuro di rame e indio (CIS)



Fig. 25- Serra 4, Prototipo di progetto



Fig. 26- Serra 5 – Serra di confronto



Fig. 27- Serra CIGS – Diseleniuro di rame, indio e gallio



Fig. 28- Ombradio CIGS – Diseleniuro di rame, indio e gallio



Fig. 29- Ombradio di confronto



I dati di quantità e qualità della radiazione luminosa entrante nel prototipo di serra FV, nonché i risultati ottenuti con le attività di collaudo (COLL) sono stati utilizzati per perfezionare e correggere il lavoro di progettazione integrata (SVIL).

La ricerca è stata svolta in una serra tunnel situata presso l'Azienda Agraria didattico-Sperimentale "N. Lupori" dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo (Fig. 30).



Fig. 30 – Area oggetto di studio

Il tunnel è composto da archi in acciaio zincato a sezione circolare ($\Phi = 58 \text{ mm}$) distanti tra loro 2 m.

Le testate sono state realizzate in vetroresina e presentano una griglia (testata est) ed un estrattore (testata ovest) entrambi necessari per la ventilazione forzata dell'ambiente protetto. Il tunnel non presenta aperture per la ventilazione naturale.

L'estrattore ES80-RS di forma elicoidale presenta un diametro di 66 cm, un peso di 32 Kg ed è azionato da un motore trifase da 0,260 kW.

La portata di ventilazione è pari a $15000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. L'entrata dell'aria avviene attraverso una griglia a lamelle rotanti posta sulla testata est e azionata da un motore. Sia l'estrattore che la griglia sono collegati ad un sensore che rileva il valore di temperatura dell'aria interna e aziona il sistema di ventilazione al raggiungimento della temperatura 26°C . Il materiale di copertura è polycarbonato ondulato.

Sulla copertura sono stati appoggiati dei pannelli fotovoltaici flessibili trasparenti con una disposizione a scacchiera nel numero di 19 per ogni stringa (figura 31).



Fig. 31 – Tunnel fotovoltaico oggetto della ricerca

Le dimensioni della serra tunnel sono:

- larghezza: 8 m;
- lunghezza: 30 m;
- altezza massima: 3.20 m.

I pannelli fotovoltaici SL20 flessibili e semitrasparenti sono stati realizzati da Solbian srl di Avigliana (TO) utilizzando celle di silicio monocristallino, di efficienza massima pari al 18%, inglobate all'interno di tecnopolimeri a elevata resistenza. Le caratteristiche dei pannelli fotovoltaici sono riportati nelle tabelle seguenti (Tabella 2 e 3).

Tabella 2. Caratteristiche dei pannelli fotovoltaici SL20

CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	
Lunghezza	1114 mm
Larghezza	165 mm
Spessore	2 mm
Peso	0.4 Kg
Numero di celle	8

Tabella 3. Caratteristiche dei pannelli fotovoltaici SL20

CARATTERISTICHE ENERGETICHE	
Potenza di picco ($\pm 5\%$) – Pmax	20 W
Tensione nominale – Vmp	4.2 V
Corrente nominale – Imp	4.9 A
Tensione circuito aperto – Voc	5.0 V
Corrente di corto circuito – Isc	5.5 A
Coeff. Temp. Pmax	-0.44%/°C
Coeff. Temp. Voc	-0.33%/°C
Coeff. Temp. Isc	0.05%/°C
(STC: irradiance 1000 W m^{-2} , cell temperature 25°C , AM 1.5)	

La scelta di pannelli fotovoltaici semitrasparenti ha consentito di ridurre l'ombreggiamento sulla copertura della serra da parte del pannello di supporto alle celle fotovoltaiche, nei pannelli tradizionali ciò non si verifica ed anche la parte non occupata dalle celle ombreggia sensibilmente la copertura. I pannelli utilizzati, inoltre, presentano una notevole flessibilità e ciò consentirebbe anche una loro applicazione sulla copertura in film plastico. Ogni stringa è composta da 19 pannelli collegati tra loro da due sottili nastri in tessuto naturale al fine di mantenere uniforme la distanza tra un pannello e l'altro e consentirne il movimento e l'ancoraggio.

La disposizione a scacchiera consente di ridurre l'eccessivo ombreggiamento spesso deleterio per la maggior parte delle colture e allo stesso tempo rispettare i vincoli normativi sul rapporto tra ampiezza della copertura e ampiezza della superficie occupata dai moduli fotovoltaici. Infatti, secondo la normativa vigente, il tetto della serra fotovoltaica deve prevedere la copertura di moduli fotovoltaici per un massimo del 50% della superficie totale. Più precisamente (Legge Regionale del 12 agosto del 1996) “...*le serre devono avere un rapporto tra la proiezione al suolo della superficie totale dei moduli fotovoltaici installati e la proiezione al suolo della superficie complessiva del tetto della serra stessa inferiore o al massimo uguale al 50%.*”

1.2 (collaudo moduli FV innovativi)

Collaudo di prodotti fotovoltaici innovativi su scala pre-commerciale (silicio amorfo, film sottile, materiali ad alta flessibilità) su apprestamenti protetti esistenti, al fine di verificarne le possibilità d'uso nel settore agricolo.

Presso **IRF**, essendo il prototipo FV di nuova concezione, si sono rese necessarie una serie di prove intermedie al fine di valutare la situazione ambientale della serra e l'influenza delle variazioni luminose sulla crescita delle piante. Pertanto, in una prima fase, sono state programmate prove esplorative volte a valutare la crescita di piante modello sotto reti ombreggianti a diversa copertura: tali prove hanno permesso di elaborare ipotesi previsionali della crescita delle piante che hanno guidato la progettazione dei pannelli.

Ulteriori prove esplorative sono state condotte durante le fasi di montaggio e collaudo del sistema di pannelli al fine di valutare come l'ambiente serra e la crescita delle piante potessero essere influenzati. Ad installazione completata è stata allestita infine la prova colturale volta a evidenziare il comportamento agronomico di piante modello allevate sotto il sistema FV prototipo.

Di seguito si danno alcuni dettagli delle prove esplorative condotte.

1- Simulazione di impianto FV con reti ombreggianti a differente gradazione di ombreggio (periodo: 23/03/15-25/05/15)

A marzo 2015 è stata messa in campo una prova preliminare per saggiare il comportamento di alcune piante fiorite in vaso simulando una copertura FV con reti ombreggianti a differente percentuale di oscuramento. Sono state approntate, all'interno della serra "prototipo", due strutture con rete ombreggiante a differente copertura, una al 30% e l'altra al 70%, per simulare i due differenti *range* di copertura previsti dal futuro sistema di pannelli FV mobili (Fig. 34). Le reti sono state posizionate sopra i bancali interessati dalla prova agronomica e non lateralmente, in modo da simulare l'ombreggiamento dei pannelli posti sul colmo della serra.

Per la prova agronomica sono state scelte specie interessanti dal punto di vista economico presenti sul mercato in quel periodo, in particolare: 3 differenti varietà di pelargonium, 2 di surfinia, 1 di impatiens e 1 di Verbena.

Le talee radicate sono state invase in vaso da 12 cm di diametro e disposte in lotti da 20 piante per varietà per ciascuna condizione di ombreggiamento (densità piante: 16 pt/m²), confrontate con un settore senza nessuna copertura (controllo).

Nei lotti sotto le due reti ombreggianti sono stati disposti i 2 gruppi di sensori per la lettura e la registrazione dei parametri dinamici luminosi. Determinazioni puntuali, con sensori portatili, sono state invece effettuate nella zona non interessata da copertura.

Le piante sono state allevate fino alla terza settimana di maggio per un periodo totale di 8 settimane (dalla settimana 14 alla 21), e al termine del periodo sono stati effettuati rilievi di sviluppo sulle piante pronte, per verificare le differenze di accrescimento e di fioritura del prodotto finito.

Sono stati inoltre registrati ed elaborati i dati delle misure ambientali rilevate (T °C, UR%, PAR, Radiazione Totale, Illuminamento, UVA) (Fig. 33).



Fig. 32 - Serra prototipo (vista interna)



Fig. 33 - Uno dei due gruppi di sensori luminosi

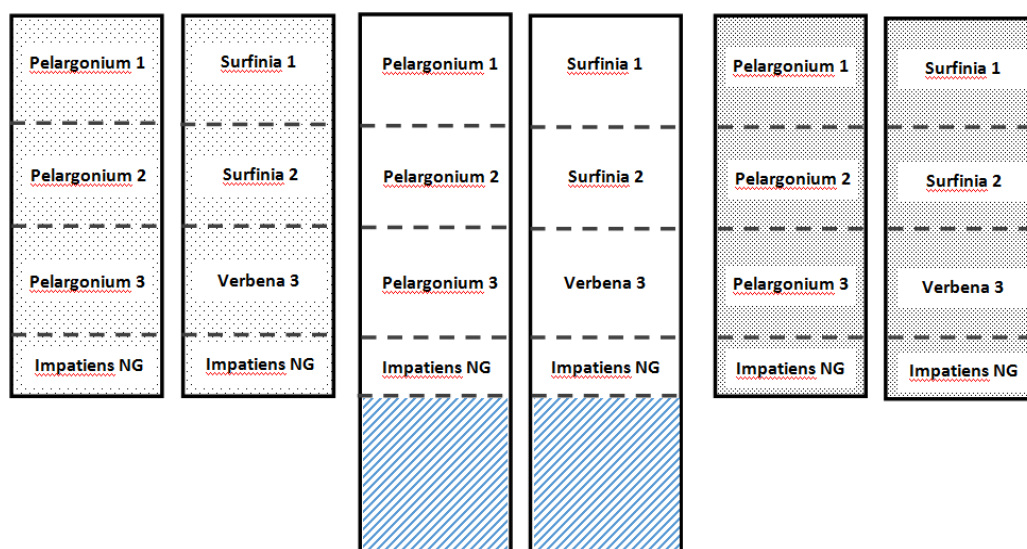
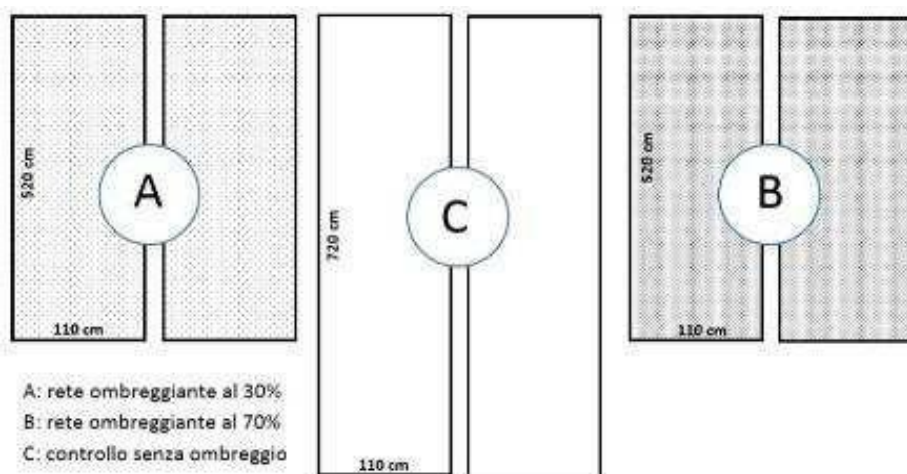


Fig. 34 - Piano sperimentale della prova

A titolo di esempio si riporta qualche immagine della prova:

CONTROLLO	OMBREGGIO AL 30%	OMBREGGIO AL 70%
		
		
Pelargonium (sett.18 sopra – sett.21 sotto)		
CONTROLLO	OMBREGGIO AL 30%	OMBREGGIO AL 70%
		
		
Impatiens (sett.18 sopra – sett.21 sotto)		

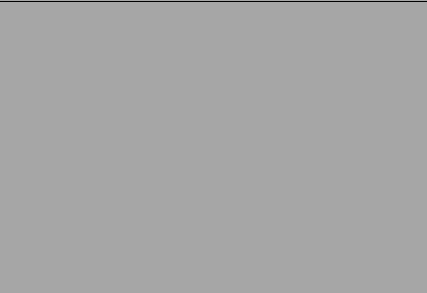
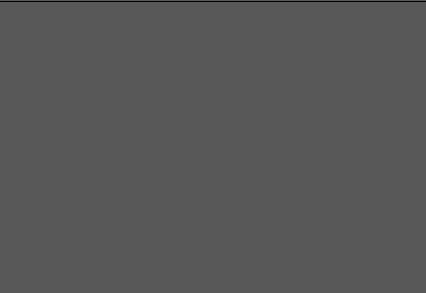
CONTROLLO	OMBREGGIO AL 30%	OMBREGGIO AL 70%
		
		
Surfinia 1 (sett.18 sopra – sett.21 sotto)		
CONTROLLO	OMBREGGIO AL 30%	OMBREGGIO AL 70%
		
		
Verbena (sett.18 sopra – sett.21 sotto)		

Fig. 35 – Piante di pelargonium, impatiens, surfinia e verbena a confronto per i differenti trattamenti in prova a confronto.

Analizzando i dati di luminosità, per quanto riguarda i parametri di illuminanza (lux incidenti), radiazione globale e PAR, considerando anche l'orientamento della serra (quasi perfettamente N-S),

che permetteva comunque alla luce, in alcuni momenti della giornata, di entrare senza essere filtrata dalle reti ombreggianti, i valori sono stati visibilmente e statisticamente più elevati nel settore interessato dalla copertura con rete ombreggiante al 30%, come è possibile vedere dai grafici che seguono (Figg. 36-38).

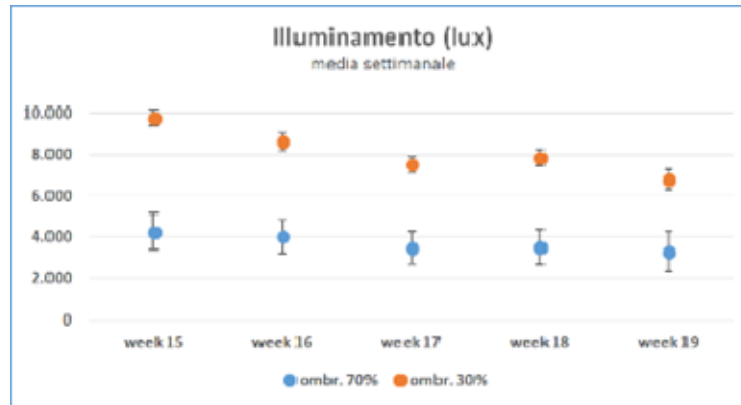


Fig. 36 – Lux incidenti, media settimanale

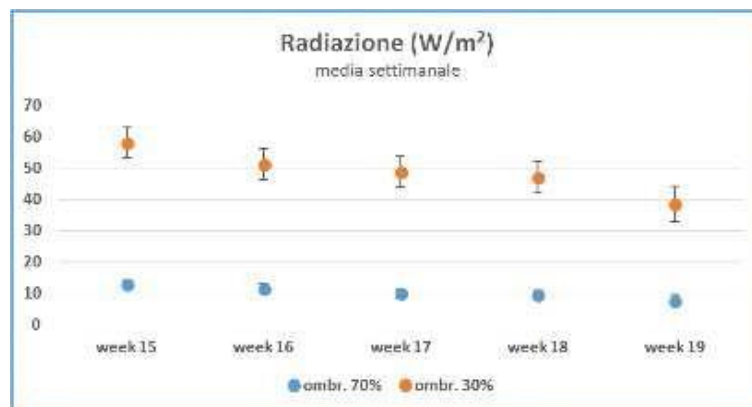


Fig. 37 – Radiazione globale, media settimanale



Fig. 38 – PAR, media settimanale

Alla settimana 21 la prova è stata considerata chiusa.

Sono stati pertanto effettuati rilievi sui parametri di crescita delle piante considerate pronte per la vendita. Sono stati considerati come parametri utili a questa valutazione:

- altezza della pianta
- diametro della pianta
- numero di internodi
- numero di fiori prodotti

Non per tutte le specie è stato possibile rilevare con precisione tutti questi parametri a causa della tipologia di crescita o dello sviluppo fiorale e vegetativo differente.

Nel caso del geranio, oltre alle analisi qualitative, sono state effettuate anche analisi di tipo quantitativo, di seguito riportate (Fig. 39).

Dalle osservazioni e dai rilievi effettuati si è potuto evidenziare che il controllo è stato il primo ad andare in fioritura, seguito dal geranio sotto copertura al 30%; le piante allevate sotto rete al 70% sono risultate invece più in ritardo e più clorotiche.

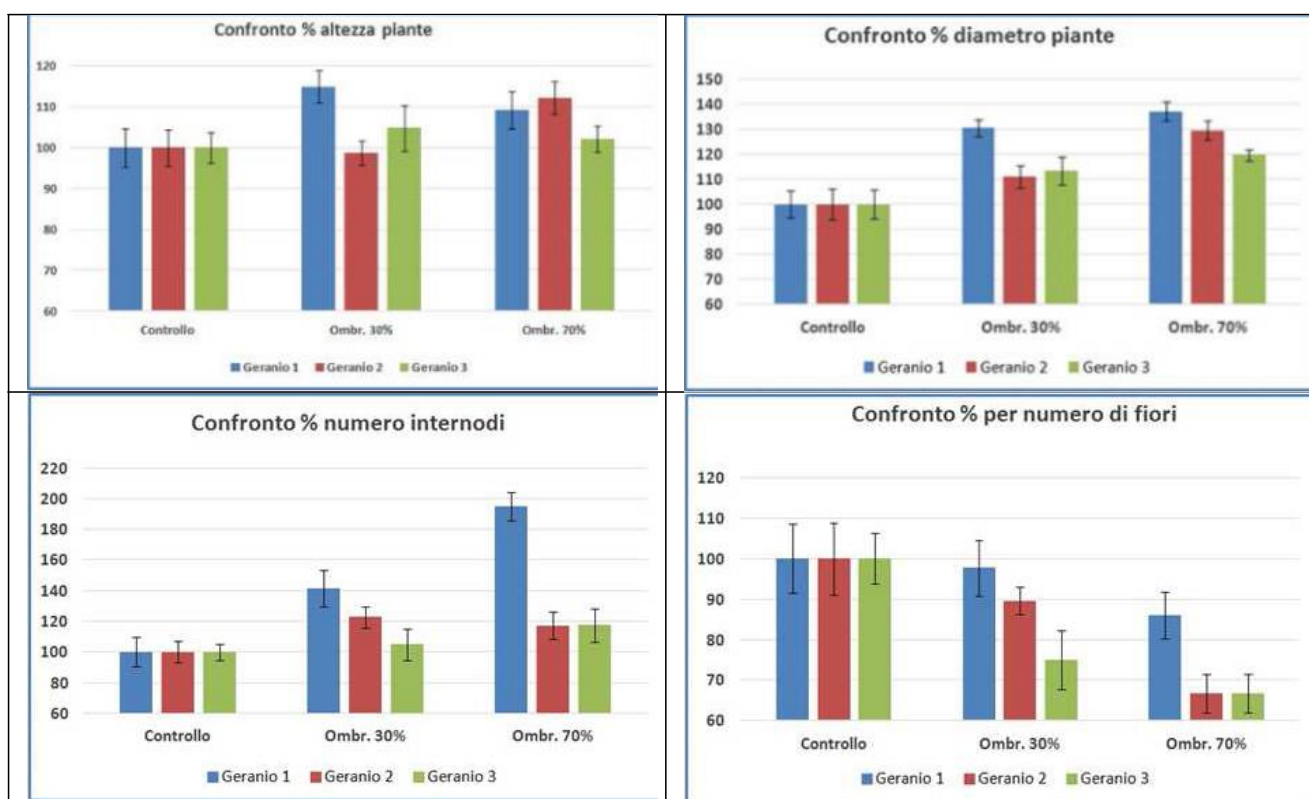


Fig. 39 – Analisi dei parametri di crescita per le 3 varietà di geranio

Sulle altre piante è stato possibile effettuare le seguenti valutazioni:

- Surfinia: si è osservato un leggero anticipo di fioritura per il controllo, rispetto all'ombreggiamento al 30%; quelle sotto copertura al 70% visibilmente più chiare e indietro.
- Impatiens: il controllo presentava evidenti fisiopatie da caldo, le piante sotto copertura al 30% avevano un aspetto migliore mentre quelle sotto copertura al 70% erano più filate e clorotiche.
- Verbena: si è osservato sviluppo vegetativo scalare, con piante più compatte in pieno sole e gradualmente più filate e clorotiche all'aumentare dell'ombreggiamento.

2- Prova sotto impianto FV parziale (periodo: 26/10/2015 - 22/02/2016)

Dopo la prima prova esplorativa con reti ombreggianti a simulare differenti condizioni di luminosità, è stata approntata una prova sotto l'impianto FV parziale (solo pannelli fotovoltaici fissi). L'installazione del sistema completo ha subito infatti ritardi da parte della ditta installatrice dovuti alla complessità delle soluzioni tecniche da adottare per la movimentazione dei pannelli mobili.

La prova di coltivazione è stata volta a valutare come l'ambiente della serra e la crescita delle piante potessero essere influenzati dalla presenza dei soli pannelli FV fissi (Figg. 40-43).

Nelle nostre condizioni le piante poste nella zona interessata dai pannelli FV hanno presentato una crescita con lievi eziolature simili a quelle osservate nella prima prova ma senza nessun significativo detrimento delle piante [42-44].

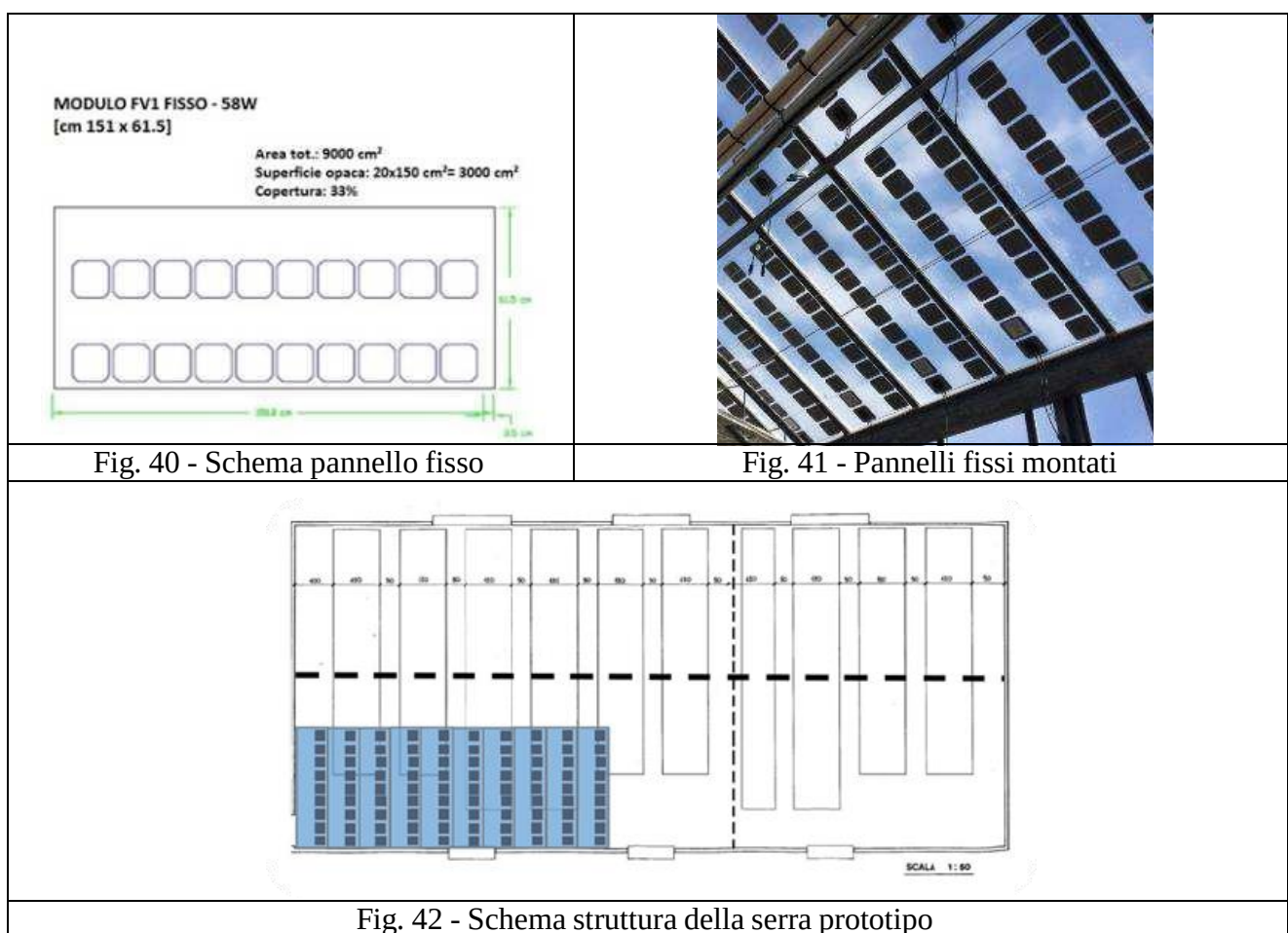




Fig. 43 - Piante allevate nella serra prototipo

3- Prova sotto impianto FV completo (periodo: 18/07/2016 - 31/10/2016)

La progettazione del prototipo è stata abbastanza complessa: il sistema di movimentazione dei pannelli ha incontrato inizialmente qualche difficoltà in fase di montaggio e di collaudo dovute all'inclinazione della falda del colmo e del peso del blocco di pannelli sottostante che sarebbe dovuto scorrere sul binario. A metà maggio 2016 il prototipo di impianto FV con pannelli mobili è stato ultimato.

La prova di valutazione agronomica sotto l'impianto completo ha avuto inizio la settimana 29/2016 (18 luglio 2016) ed è terminata la settimana 38/2016 (22 settembre 2016) per un totale di 9 settimane (Figg. 44-47).

Sono state utilizzate piantine di ciclamino mini (*Cyclamen persicum* 'S.S. Verano®' Dark Violet), petunia (*Petunia grandiflora* 'Nana GP F1' Red) e iberis (*Iberis sempervirens* 'Montreaux' White), scelte sulla base della reperibilità stagionale, della loro importanza per il mercato e la loro adattabilità al tipo di coltivazione in serra.

Prima dell'inizio della prova le piantine sono state messe a dimora in vaso Ø 12 cm, con substrato "Pomix 2" costituito da torba bionda, torba irlandese e pietra pomice (3-8 mm), argilla concime a lenta cessione. L'approvvigionamento idrico e di fertilizzante è stato garantito da un sistema di irrigazione automatizzato (interventi giorni alterni, 2 interventi/giorno; rapporto di concimazione N:P:K pari a 1:0.5:2).

Sono state valutate 30 piante per specie (90 in totale), una metà delle piante sono state poste in una parcella sotto i pannelli FV, mentre una parte sono state sistemate in condizioni di illuminazione normale (Fig. 48). Per ogni trattamento (FV e Controllo) sono state considerate 3 ripetizioni da 5 piante ciascuna.

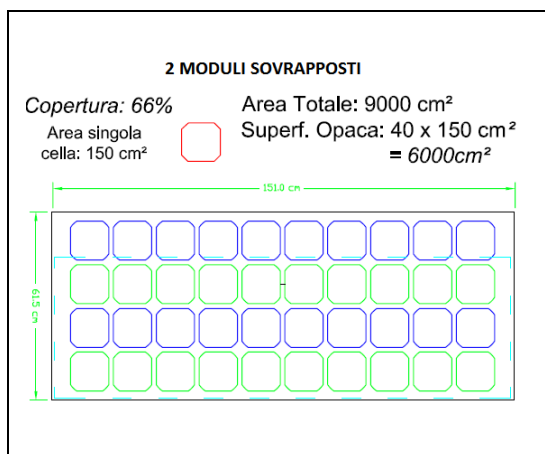


Fig. 44 - Schema pannello completo (parte fissa e mobile)

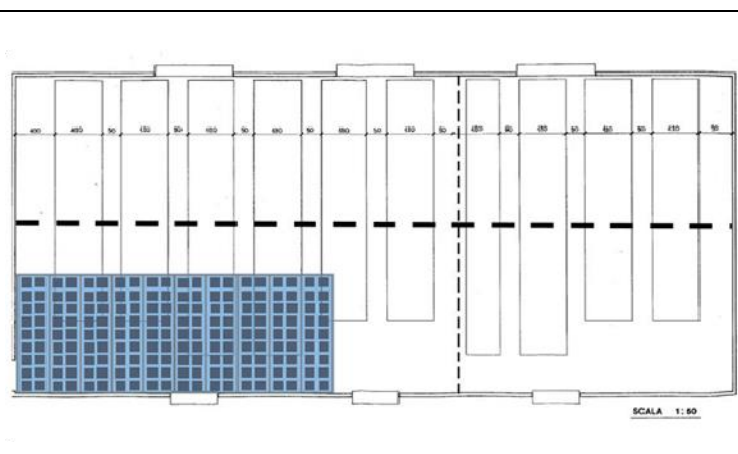


Fig. 45 - Schema struttura della serra prototipo



Fig. 46 - Sistema FV mobile con pannelli sovrapposti

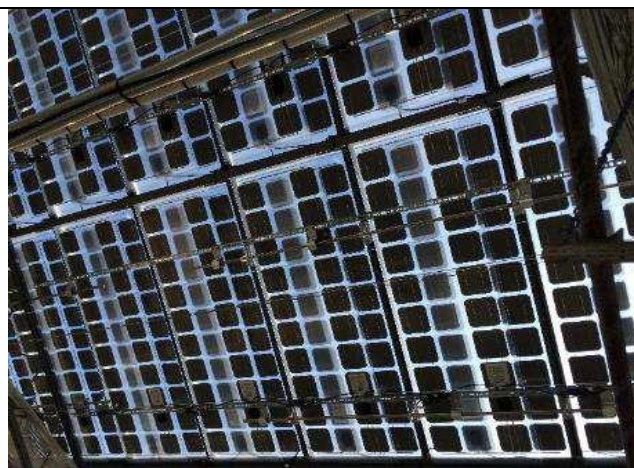


Fig. 47 - Sistema FV mobile completo (massima captazione della radiazione luminosa)



Fig. 48 - Particolari della prova in atto (a sinistra e al centro la parcella sotto l'impianto FV e a destra il controllo)

Per valutare la crescita delle piante sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- altezza della pianta
- diametro della pianta
- numero di fiori prodotti. Nel caso dell'iberis, che non è andato a fiore (a causa del troppo caldo ricevuto in serra), sono stati contati i getti con bottoni fiorali.

Sono stati inoltre registrati i dati di misura ambientale (T °C, UR%) e di illuminazione (PAR, Radiazione Totale, Illuminamento, UVA), con due gruppi di sensori sistemati nelle due differenti aree (sotto fotovoltaico e nelle condizioni di controllo, senza influenza dell'impianto FV).

Per sottolineare le differenti condizioni di luminosità in condizioni di FV rispetto al controllo è possibile osservare l'andamento della luminosità (come media settimanale) dalla settimana 34 alla settimana 37 (Fig. 49 e 51). La significativa riduzione dei valori di luminosità alla settimana 37, registrata anche per il controllo, può essere ascrivita ad un periodo particolarmente nuvoloso, che ha influenzato la radiazione luminosa, come confermato anche dai dati di temperatura (Fig. 53).

Come atteso, la presenza dei pannelli FV ha ridotto la luminosità incidente, anche se in maniera differente per i diversi parametri analizzati.

Nelle nostre condizioni sperimentali, considerando la superficie di copertura dei pannelli FV e l'orientamento della serra, è stato possibile osservare che:

- la luce incidente per unità di superficie ha valori circa doppi sotto l'area di controllo rispetto all'area interessata dai pannelli FV (Fig. 49);
- la radiazione totale (RAD) e la porzione fotosinteticamente attiva (PAR) è risultata inferiore rispettivamente del 30% e del 20% nell'area interessata dai pannelli FV (Fig. 50 e 51).

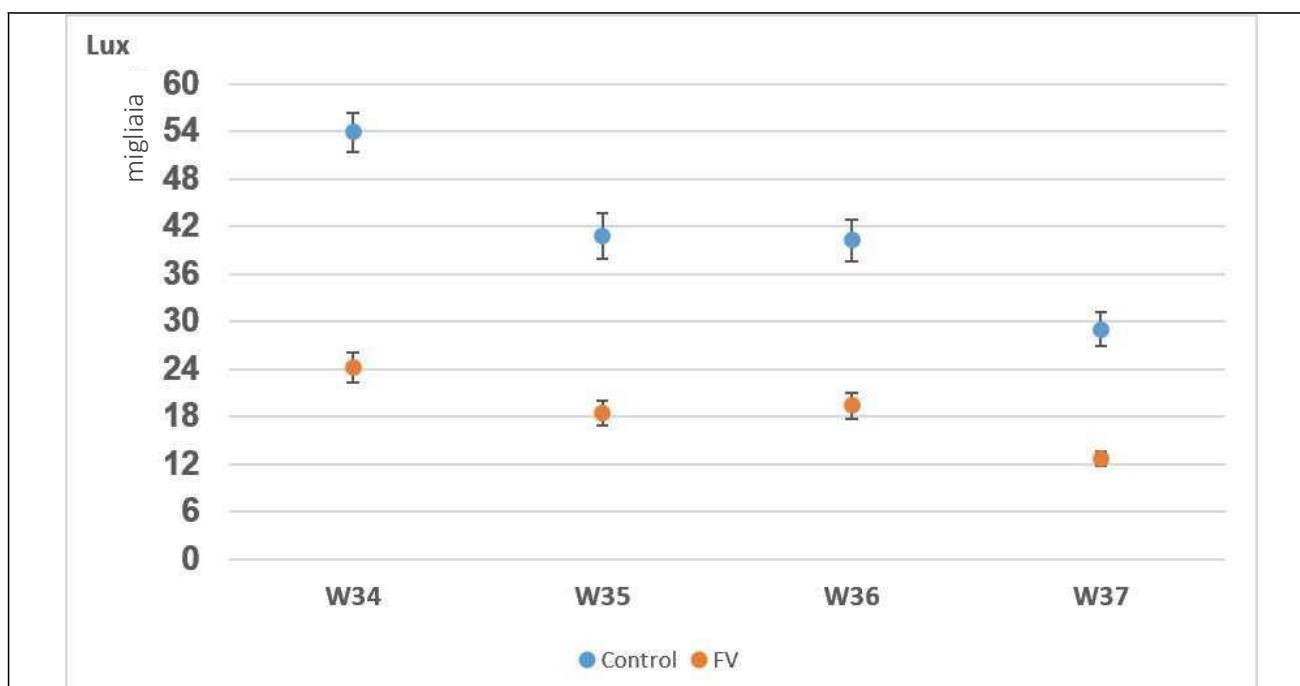


Fig. 49- Dati di luminosità (media settimanale) dal 22/08/2016 al 18/09/2016 nell'area FV e di controllo

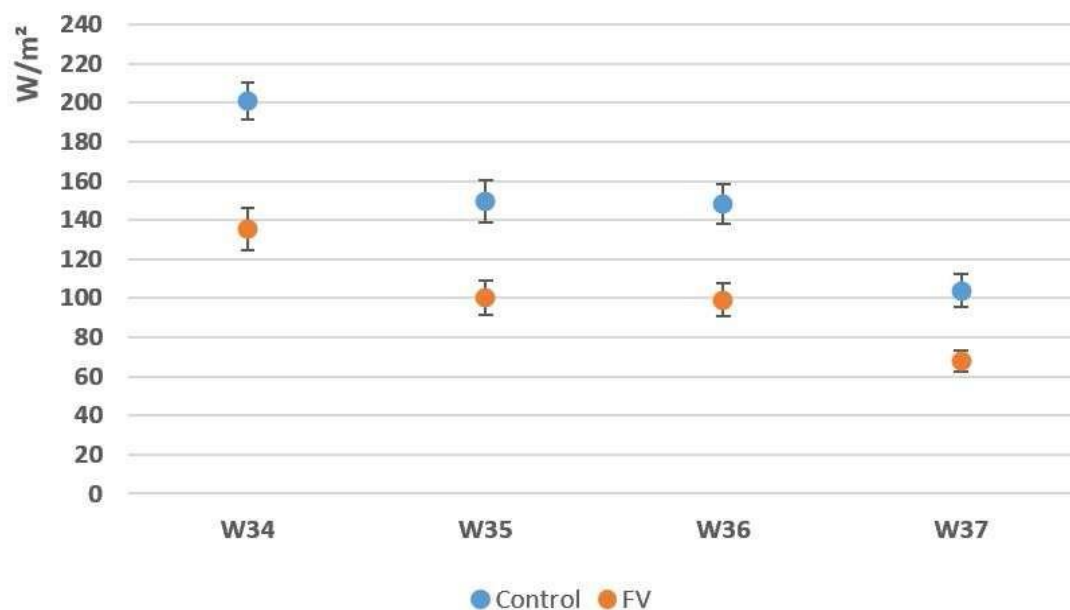


Fig. 50 – Radiazione solare (media settimanale) dal 22/08/2016 al18/09/2016 nell’area FV e di controllo.

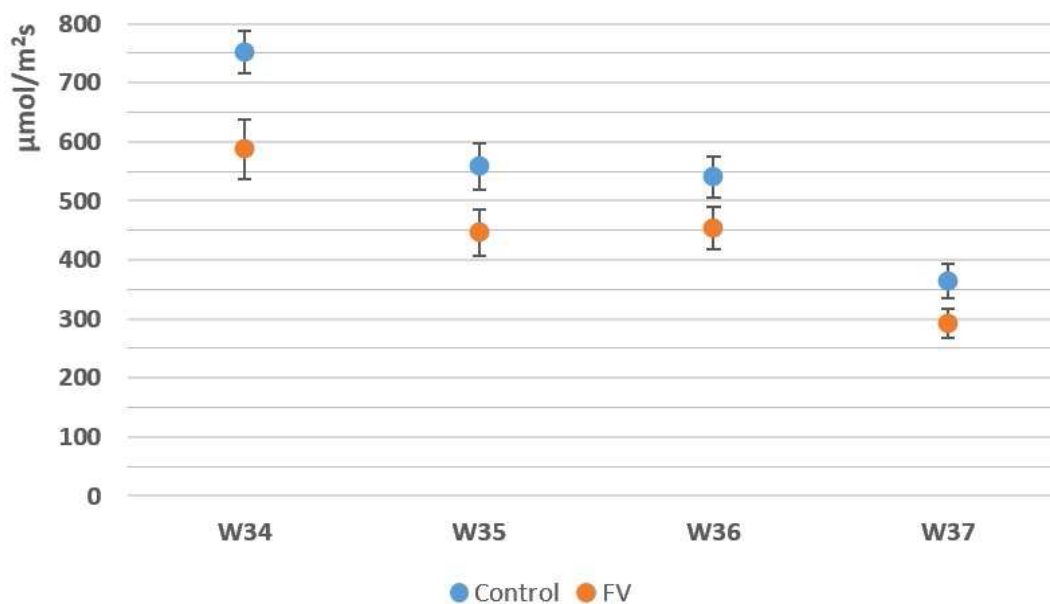


Fig. 51 – PAR - Radiazione fotosinteticamente attiva (media settimanale) dal 22/08/2016 al18/09/2016 nell’area FV e di controllo.

Per meglio sottolineare la riduzione di luminosità sotto le condizioni di FV, è stata considerata la seguente variabile α , considerata come:

$$\alpha = [(x_c - x_{pv}) / x_c] * 100$$

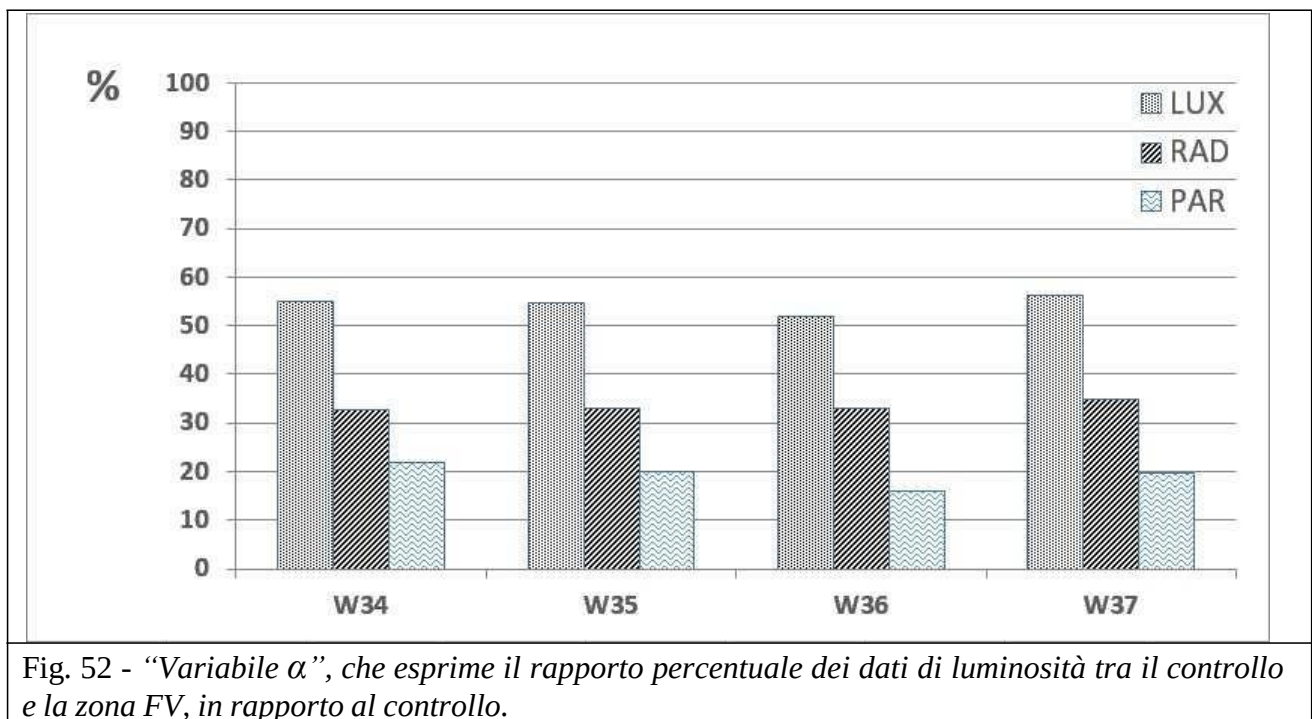
dove:

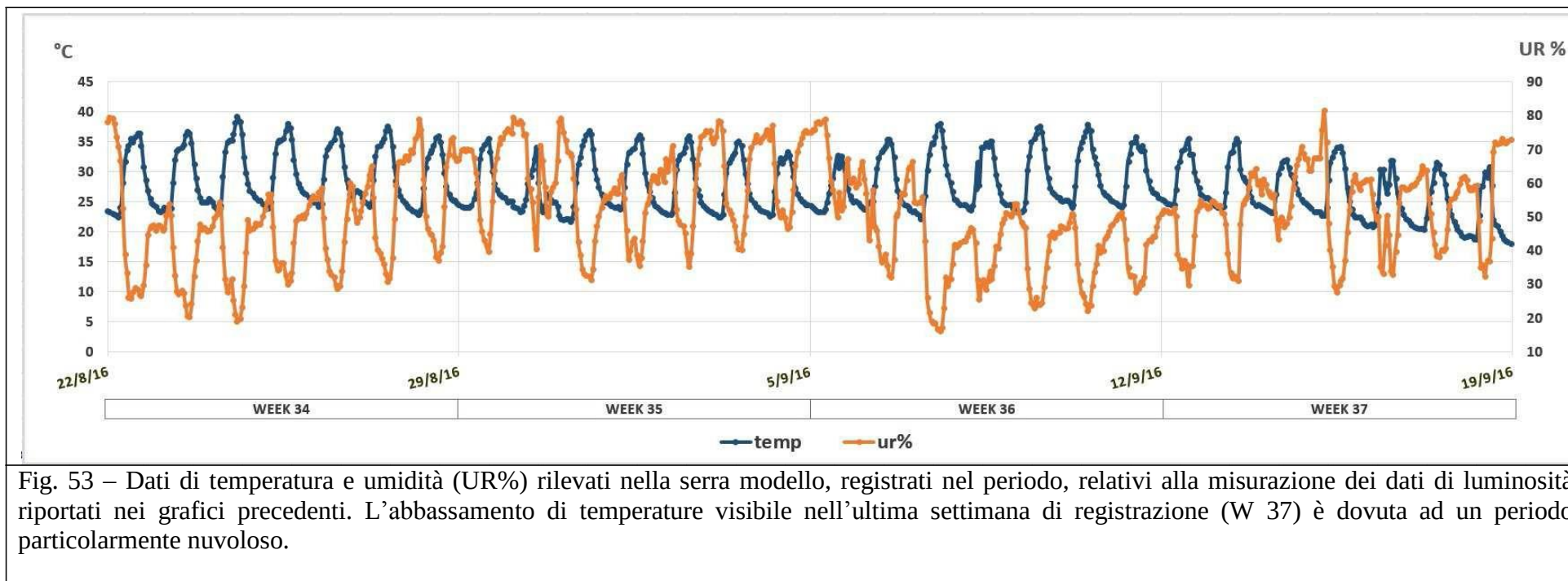
x_c = misure di luminosità (illuminamento, irradianza e PAR) nel controllo

x_{pv} = misure di luminosità (illuminamento, irradianza e PAR) nel controllo

Dove con $\alpha = 0$ le condizioni di luminosità sono uguali per area di controllo e Fv, e valori più elevati di α indicano una riduzione di luminosità sotto FV (Fig. 52).

Anche questo parametro conferma quanto osservato dall'analisi dei singoli parametri.





Per quanto riguarda le piante allevate nelle condizioni della serra modello è possibile fare le seguenti considerazioni.

Nell'iberis (Fig. 54 e 55), nel periodo relativo alla prova agronomica, non è stato possibile rilevare la fioritura sia per il controllo che per le piante allevate sotto FV. Questo probabilmente è dovuto all'eccessivo calore estivo; considerando i getti con il bottone fiorale tuttavia non è stata registrata nessuna significativa differenza, lo stesso per quanto riguarda la crescita vegetativa (diametro e altezza).

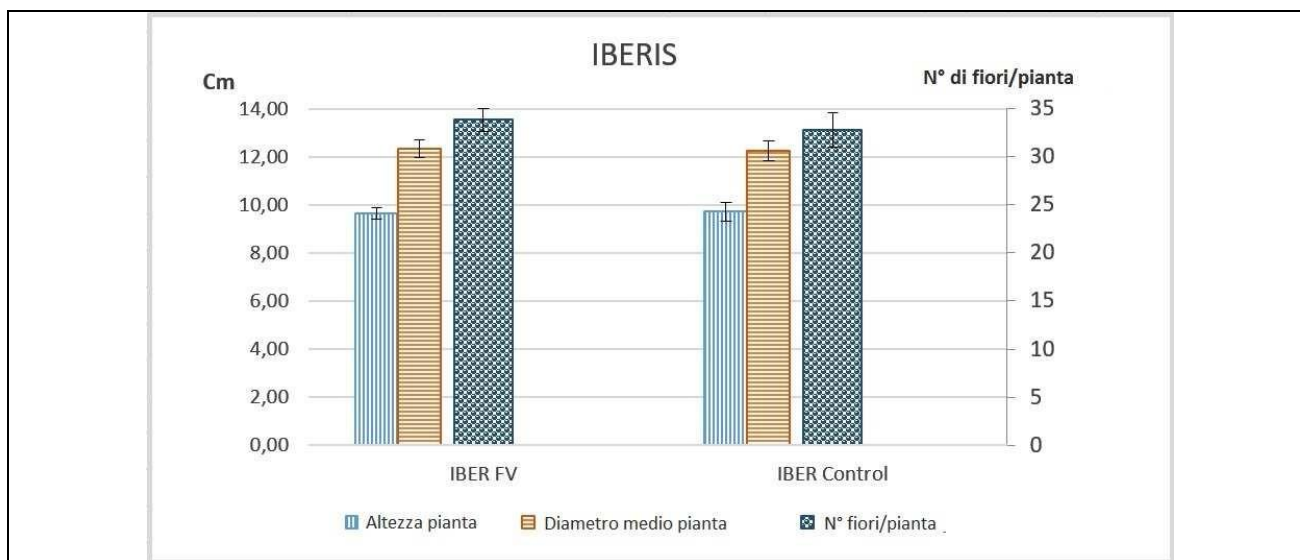


Fig. 54 – Iberis: analisi dei parametri di crescita a fine prova



Fig. 55 - Iberis - confronto fotografico tra le due differenti condizioni di luminosità

Un comportamento agronomico simile è stato registrato per le piante di petunia, nelle quali si è raggiunta tuttavia la completa fioritura per entrambe i trattamenti (Fig. 56 e 57)

Nelle piante di ciclamino mini (Fig. 58 e 59) sono state osservate differenze statisticamente significative relative alla misura del diametro, che è risultato essere maggiore nelle piante coltivate sotto l'impianto FV, e il numero di fiori, il cui numero è risultato maggiore invece nelle piante coltivate in condizioni di luminosità normali (controllo). E' stato inoltre osservato un anticipo di fioritura di 1/2 settimane per il controllo [37-38].

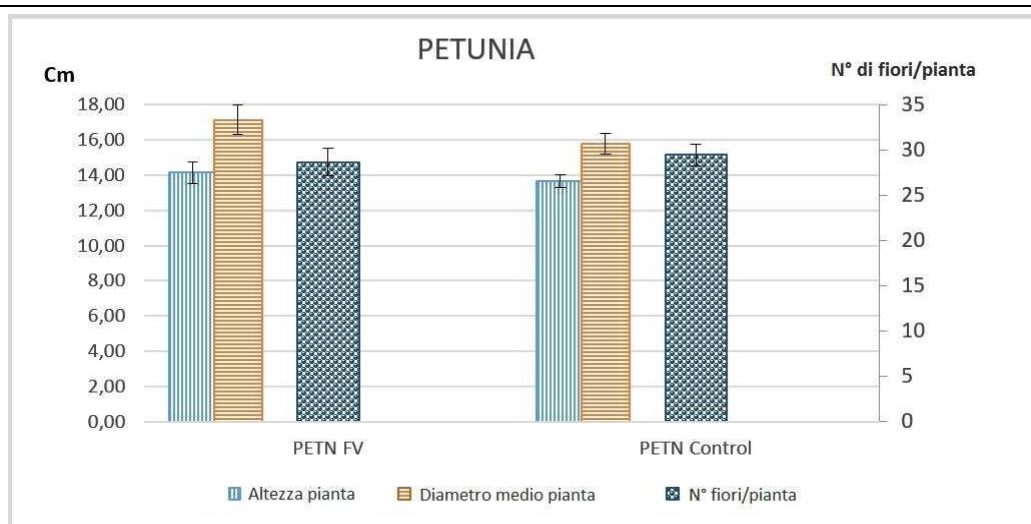


Fig. 56 – Petunia: analisi dei parametri di crescita a fine prova



Fig. 57 - Petunia: confronto fotografico tra le due differenti condizioni di luminosità

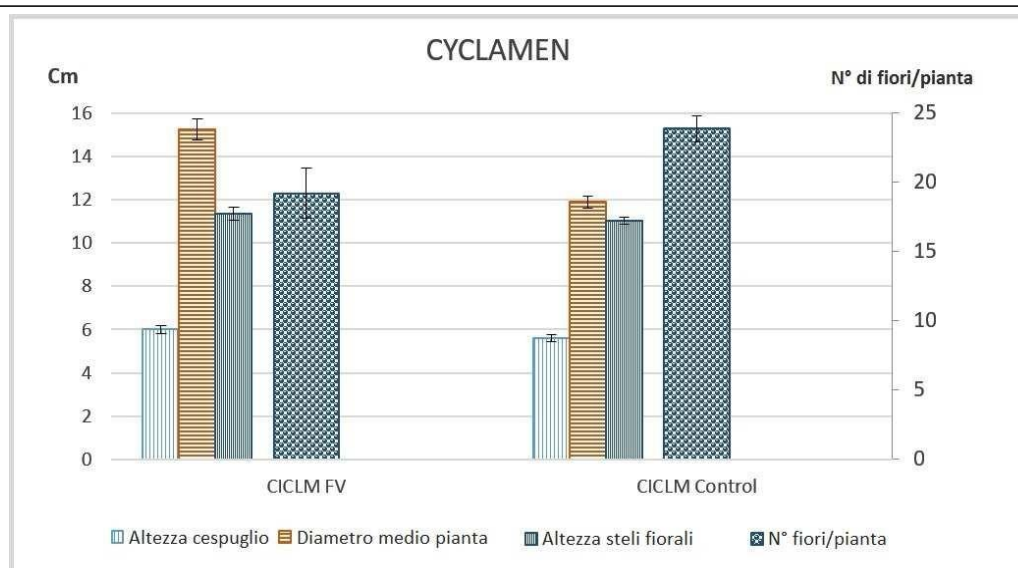


Fig. 58 – Ciclamino mini: analisi dei parametri di crescita a fine prova



Fig. 59 – Ciclamino mini: confronto fotografico tra le due differenti condizioni di luminosità

Sono stati registrati inoltre i dati di produzione dell'impianto.

Nel periodo interessato dalla prova sopra descritta la produzione è stata di circa 750 kWh (Tabella 4)

Tabella 4 – Produzione dell'impianto FV innovativo presso IRF dalla sua installazione a fine novembre (anno 2016).

Mesi	kWh	Valore produzione (€)	CO ₂ (Kg)
Maggio	120,2	60,13	68,5
Giugno	254	127	114,7
Luglio	292	146,03	166,4
Agosto	272	136	155
Settembre	185,6	92,81	105,8
Ottobre	109,9	54,95	62,6
Novembre	55,8	27,92	31,8
TOTALE	1289,5	644,84	704,8

I saggi sono iniziati alla fine dell'inverno 2014, utilizzando le specie previste a progetto, allevate su bancale sopraelevato o in vaso, e coltivandole nelle aree di coltivazione più significative (aree ombreggiate e non ombreggiate delle diverse serre).

Sono stati realizzati rilevamenti sulle caratteristiche produttive – qualitative e quantitative – delle specie oggetto dei saggi e validazione del modello, applicando uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con almeno 4 replicazioni per ogni trattamento (specie vegetale/condizione di luce) seguendo le indicazioni dell'EPPO – ove disponibili – relative al numero minimo di piante/trattamento.

Le osservazioni effettuate sull'ambiente di coltivazione e sulle specie in esso coltivate sono le seguenti:

- misure ambientali (T°C, UR%, IR, PAR, Rad Tot., Luminanza, UVA, UVB, UVC);
- rilievi agronomici sulle specie (tasso di crescita, peso fresco e secco e qualità espressa come possibili danni e scolorimenti di queste piante);
- monitoraggio del momento di comparsa, della diffusione e dell'incidenza di fitopatie;
- termografia IR sulle installazioni FV per la verifica dell'efficienza delle stesse in condizioni d'uso (Fig. 60);
- gravità e incidenza di fitopatie sulle colture indicate a progetto.

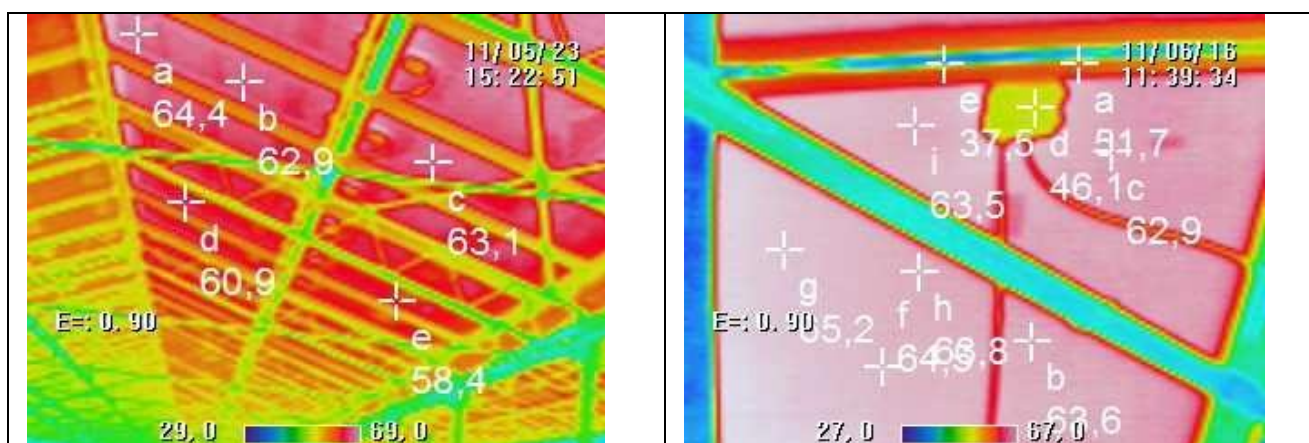


Fig. 60 - Esempio di immagine termografica degli impianti fotovoltaici. L'immagine riprende i pannelli completamente oscuranti.

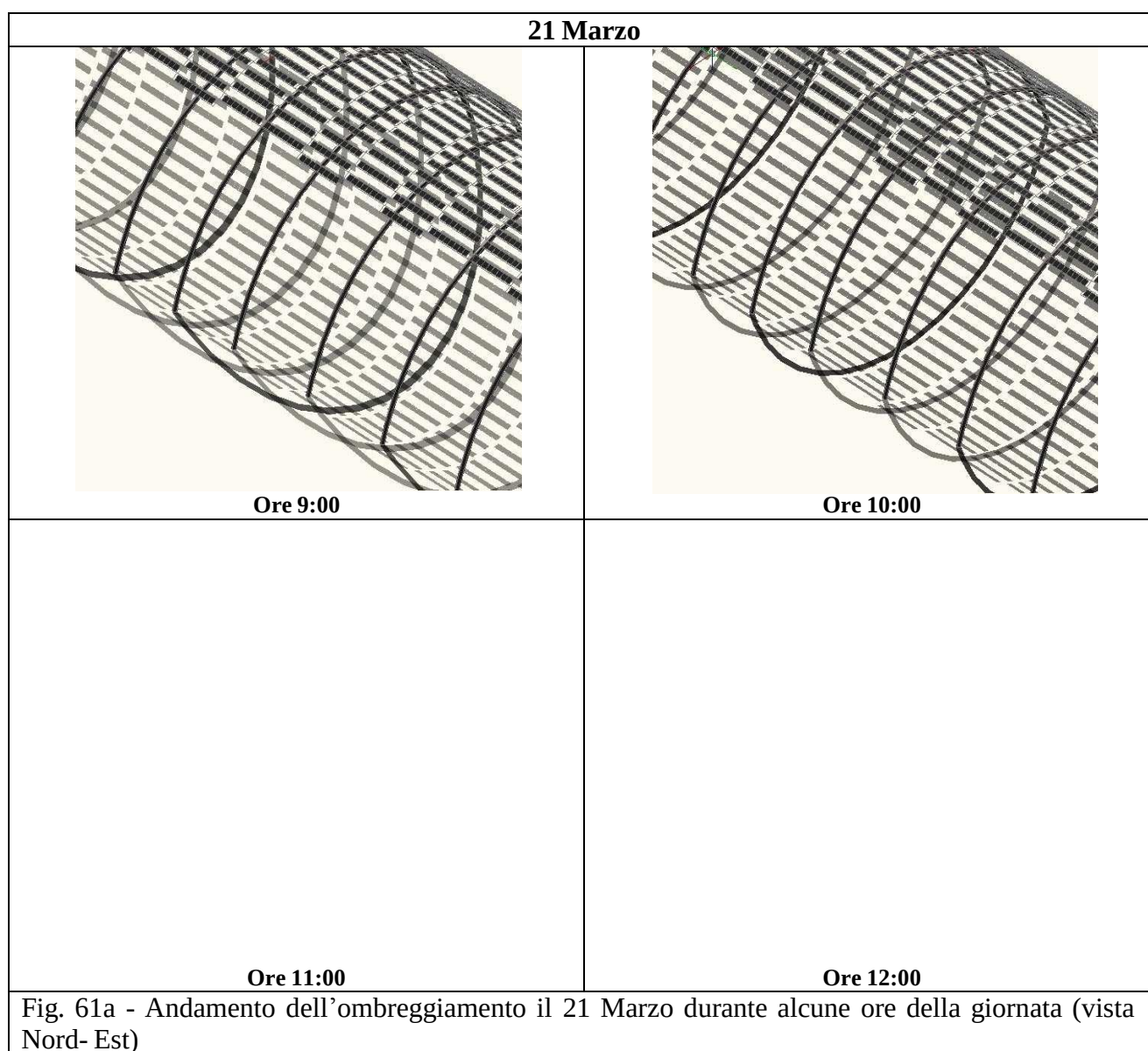
L'attività di collaudo dei moduli fotovoltaici di cui al punto 3 (Progettazione) è stata realizzata nell'ambito della preparazione di una tesi di laurea magistrale in Ingegneria ambientale.

. Ombreggiamento tunnel fotovoltaico

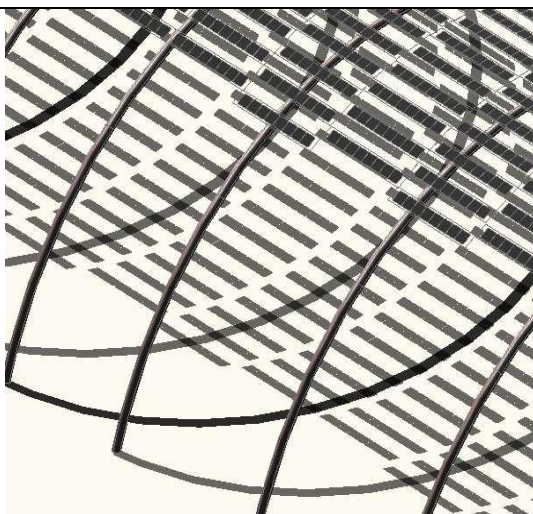
Affinché una serra sia idonea alla coltivazione deve garantire determinate condizioni climatiche in funzione dei diversi fabbisogni delle piante coltivate al suo interno. Per ottenere ciò è possibile intervenire mediante diverse applicazioni meccaniche e artificiali per controllare le condizioni ambientali interne alla struttura. Uno dei parametri su cui è possibile intervenire è l'intensità della radiazione solare che colpisce le piante in serra, ombreggiando con le tradizionali reti ombreggianti o con sistemi di pannelli fotovoltaici.

L'ombreggiamento, come descritto in precedenza, è proprio finalizzato alla riduzione della temperatura dell'aria tramite la schermatura delle radiazioni dell'infrarosso corto e la trasmissione della radiazione solare visibile sufficiente a coprire le esigenze delle piante. Lo studio dell'ombreggiamento interno alla serra diventa, quindi, un parametro da non trascurare in quanto un errato ombreggiamento potrebbe causare danni alla produzione e conseguentemente al reddito dei produttori.

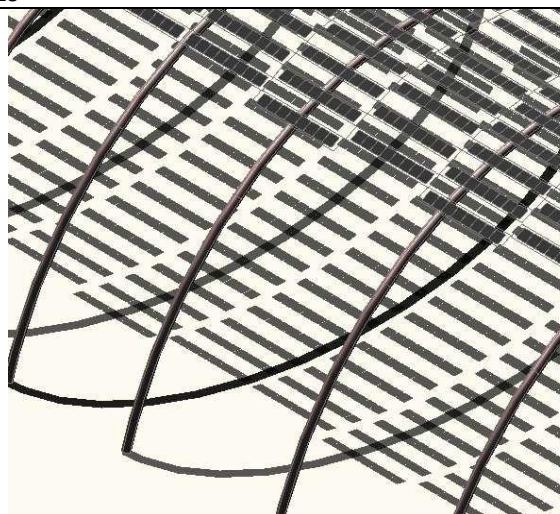
Sulla base di quanto detto, con il presente elaborato, si è pensato di analizzare il comportamento dell'ombreggiamento interno alla serra-tunnel fotovoltaica oggetto dell'esperimento.



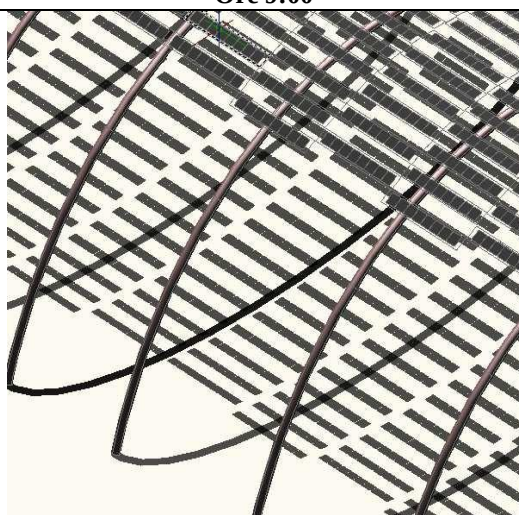
21 Giugno



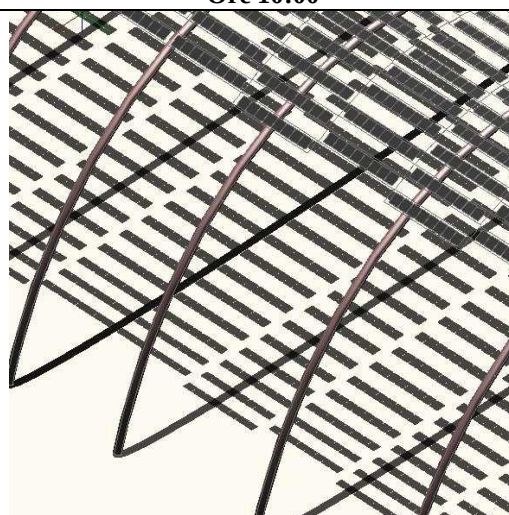
Ore 9:00



Ore 10:00



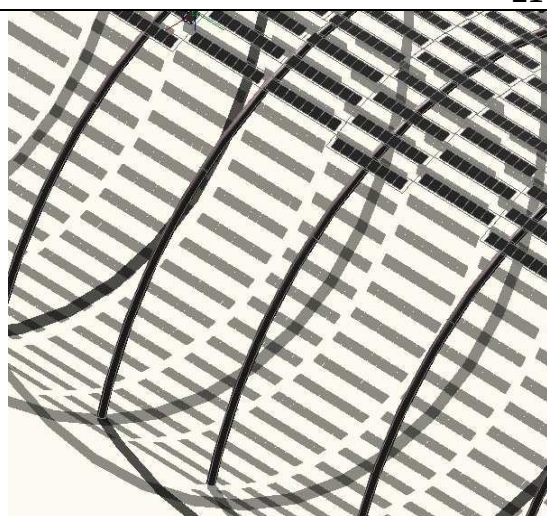
Ore 11:00



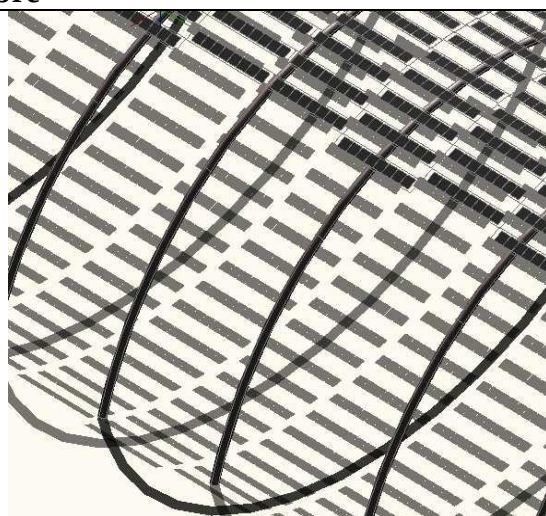
Ore 12:00

Fig. 61b - Andamento dell'ombreggiamento il 21 Giugno durante alcune ore della giornata (vista Nord- Est).

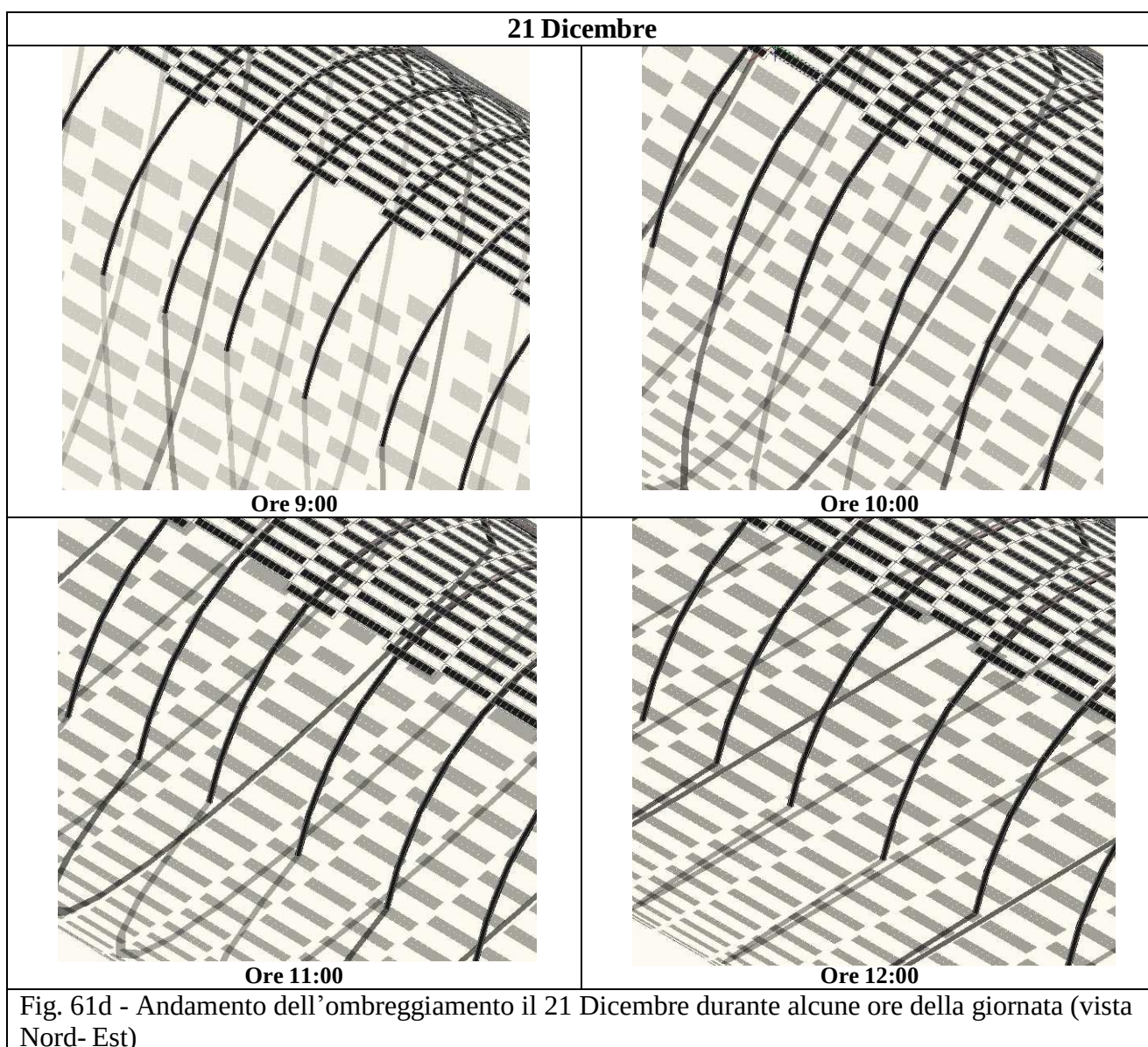
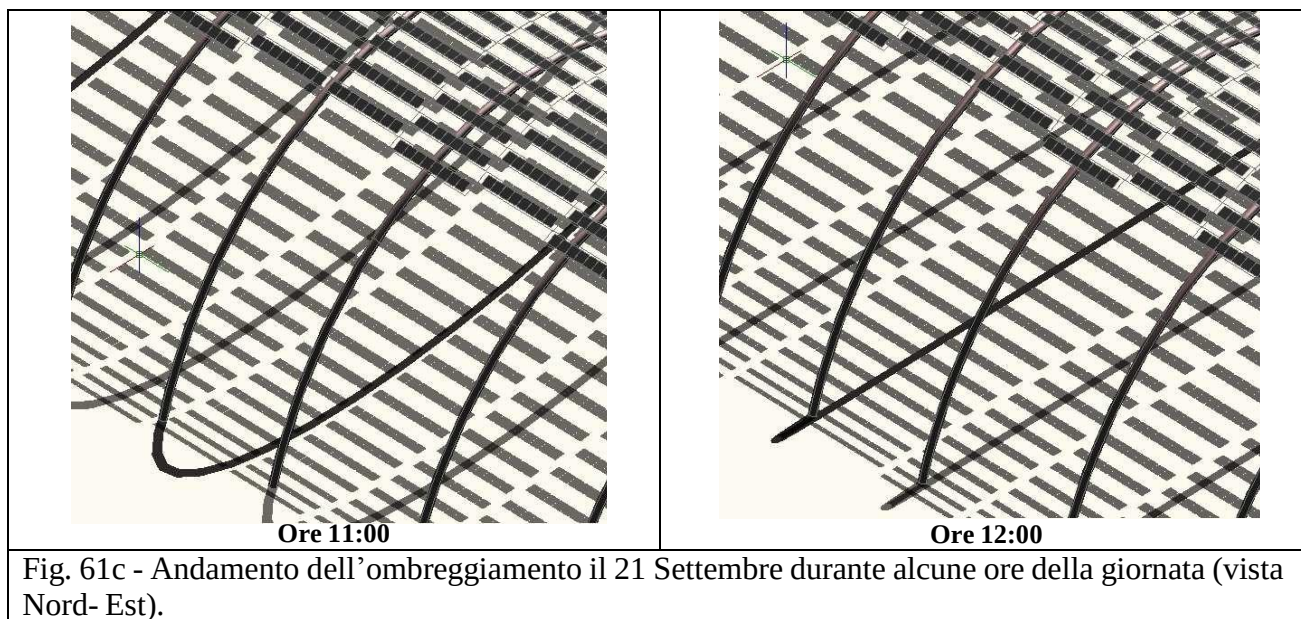
21 Settembre



Ore 9:00



Ore 10:00



Nelle immagini riportate in Fig. 61, vengono illustrate le distribuzioni delle ombre dovute ai pannelli fotovoltaici, dalle ore 9:00 alle ore 12:00, del 21° giorno dei mesi più rappresentativi dell'anno: Marzo; Giugno; Settembre e Dicembre; nei quali ricadono gli equinozi e i solstizi. Dalle ore 12:00 al tramonto l'ombreggiamento presenta un andamento simmetrico a quello che si ha dall'alba alle ore 12:00.

Nelle prime e nelle ultime ore del giorno l'ombreggiamento subisce una notevole traslazione longitudinale, mentre risulta trascurabile la traslazione trasversale.

Nei mesi di Marzo, Giugno e Settembre l'ombreggiamento, nelle ore della mattina, ricade all'interno della struttura, mentre nel mese di Dicembre, alle ore 9:00, l'ombra si trova quasi completamente all'esterno della serra, traslando verso l'interno, man mano che si avvicinano le ore 12:00 in cui l'ombreggiamento ricade per metà all'interno della struttura.

La disposizione a scacchiera dei pannelli fotovoltaici, adottata sulla copertura, fa sì che l'ombreggiamento ricada quasi sempre all'interno della serra, nelle ore centrali della giornata, da metà marzo a metà settembre.

Negli altri mesi dell'anno in parte si trova all'interno e in parte all'esterno della serra tunnel.

Di seguito, in figura 62, sono disposte alcune elaborazioni riguardanti alcuni mesi in cui l'ombreggiamento ricade all'interno della struttura.

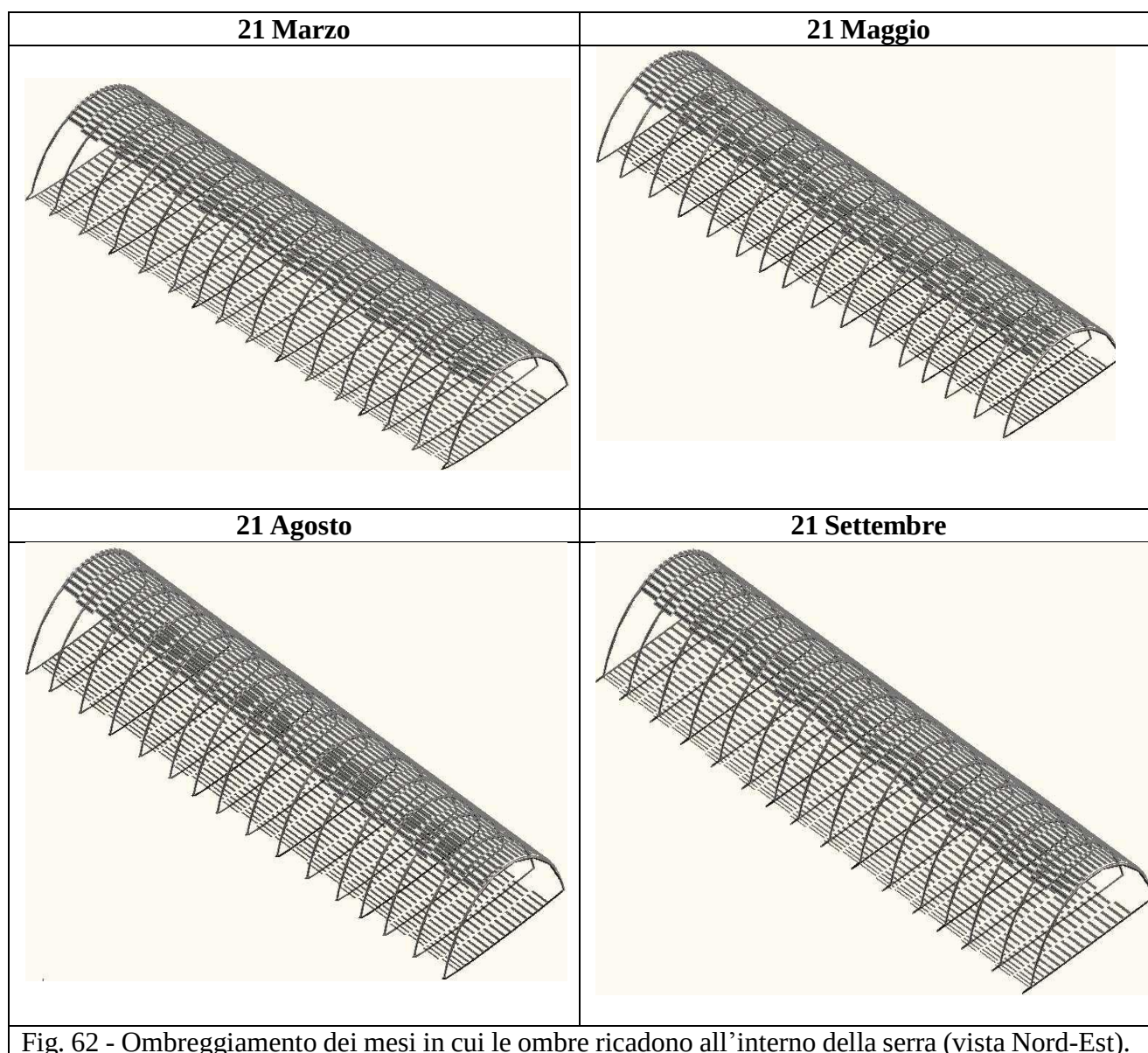


Fig. 62 - Ombreggiamento dei mesi in cui le ombre ricadono all'interno della serra (vista Nord-Est).

In figura 63, inoltre, è possibile osservare il caso particolare del 21 Dicembre dove alle ore 11:00 l'ombreggiamento ricade per metà all'esterno della serra tunnel.

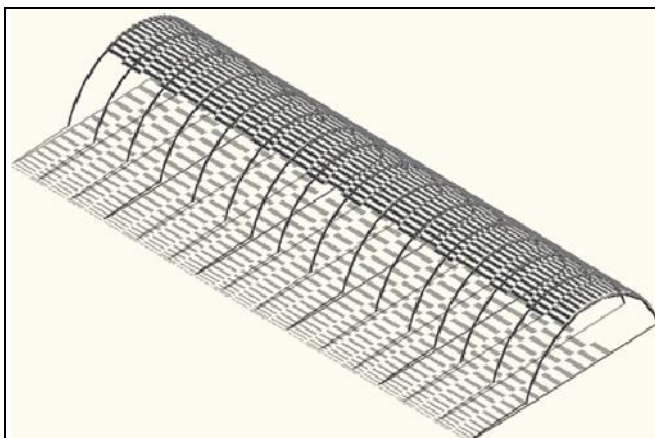


Fig. 63a - Vista assonometrica completa al 21 Dicembre ore 11:00

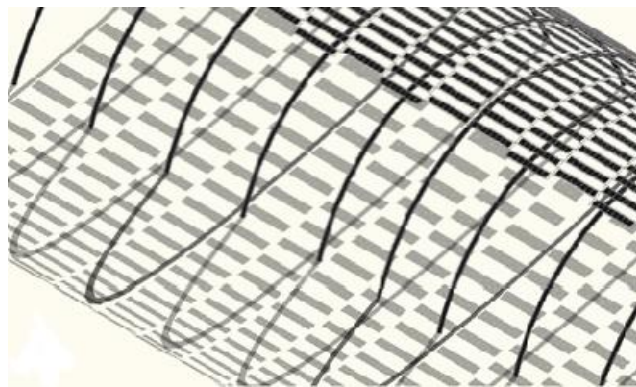
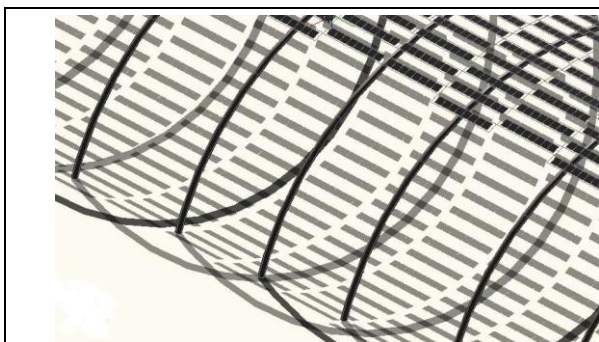
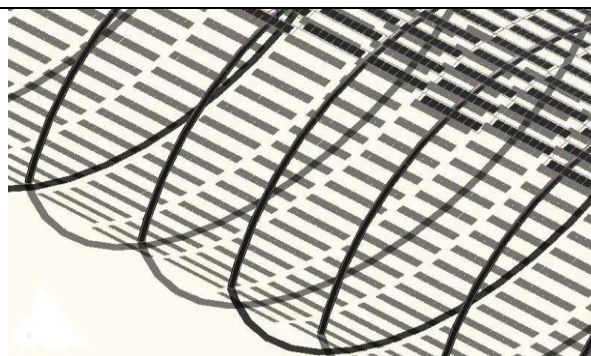


Fig. 63b - Vista assonometrica - dettaglio: 21 Dicembre ore 11:00 (Nord- Est)

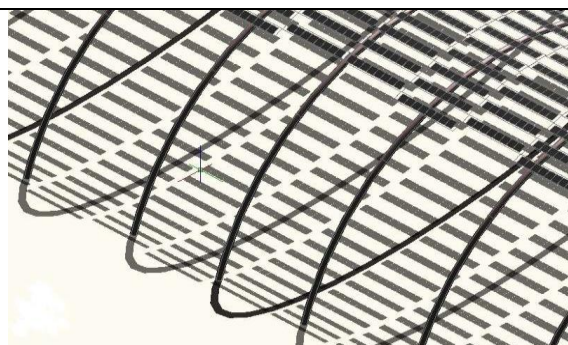
Un altro caso particolare è quello del 21 Settembre in cui l'ombreggiamento risulta costante durante la giornata subendo soltanto una traslazione in senso longitudinale (Fig. 64).



Ore 9:00



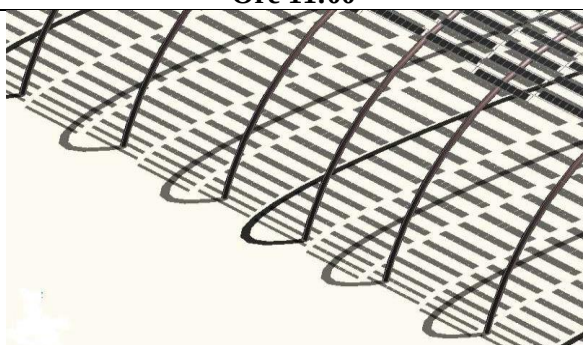
Ore 10:00



Ore 11:00



Ore 12:00



Ore 13:00



Ore 14:00

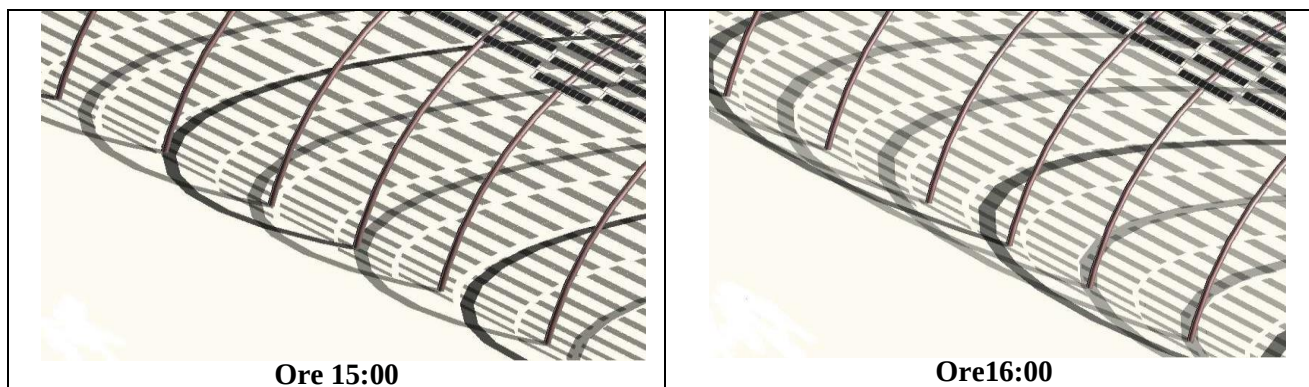


Fig. 64 - Ombreggiamento 21 Settembre durante alcune ore della giornata (vista Nord- Est)

Nelle figura 65 sono riportati i grafici dell'ombreggiamento percentuale per ogni ora del 21° giorno dei mesi di Marzo, Giugno, Settembre e Dicembre. Questi grafici illustrano i dati riferiti sia alla parte ombreggiata sotto la stringa sia all'intera superficie della serra. In entrambi i casi è stata considerata la larghezza di una stringa di pannelli pari a 1,16 m.

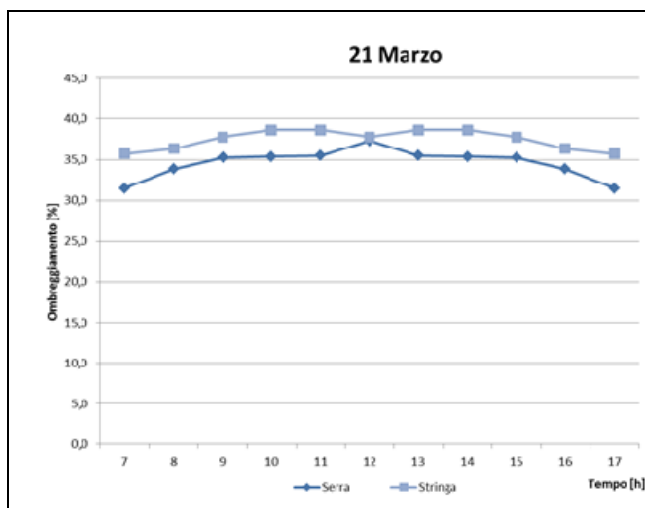


Fig. 65a - Ombreggiamento nella serra tunnel al di sotto dei pannelli (stringa) e medio dell'intera sezione (serra) – 21 Marzo

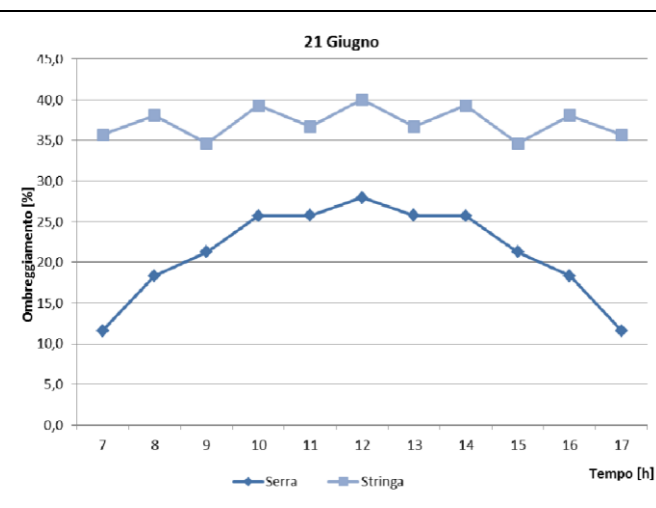


Fig. 65b – Ombreggiamento nella serra tunnel al di sotto dei pannelli (stringa) e medio dell'intera sezione (serra) – 21Giugno

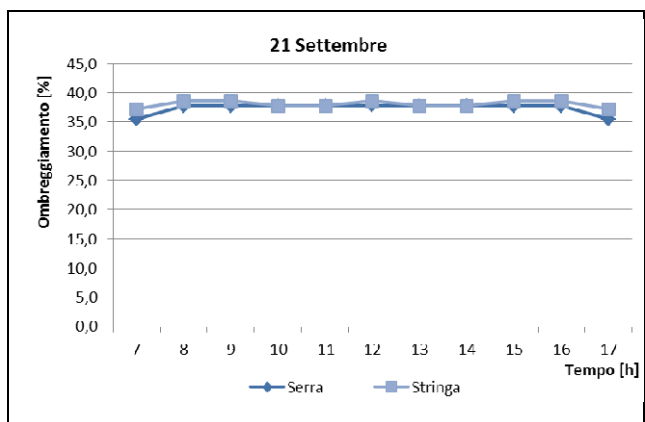


Fig. 65c - Ombreggiamento nella serra tunnel al di sotto dei pannelli (stringa) e medio dell'intera sezione (serra) – 21 Settembre

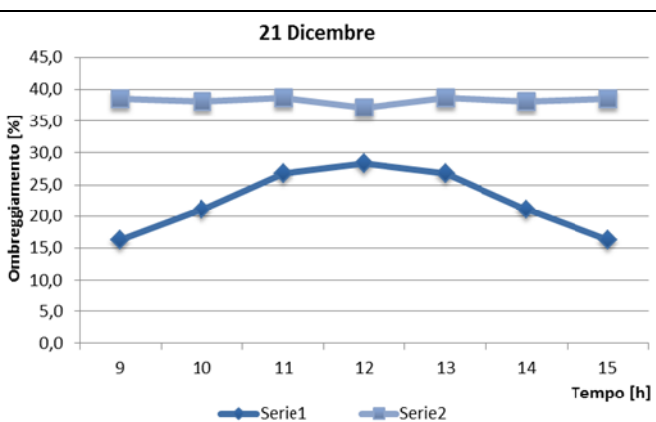


Fig. 65d – Ombreggiamento nella serra tunnel al di sotto dei pannelli (stringa) e medio dell'intera sezione (serra) – 21 dicembre

Dai grafici sopra riportati emerge che, in prossimità degli equinozi, la percentuale di ombreggiamento mantiene un andamento costante sia se si considera quella sotto la stringa dei pannelli, sia se si fa riferimento a quella dell'intera superficie al di sotto della copertura. Quando il giorno considerato si avvicina ai solstizi (21 giugno e 21 dicembre) l'andamento dell'ombreggiamento percentuale, riferito all'intera superficie della serra, assume l'andamento di una parabola con la concavità rivolta verso il basso, mentre la percentuale riferita alla stringa oscilla tra il 35 e il 40 %, senza mai superare quest'ultimo valore.

Questo tipo di andamento, riscontrato per la stringa e per la superficie totale, è dovuto al fatto che nel caso degli equinozi l'ombreggiamento si distribuisce in modo uniforme sull'intera superficie della serra, nel caso dei solstizi l'ombreggiamento si concentra nella parte centrale della serra mentre in prossimità delle pareti longitudinali la superficie non è ombreggiata con conseguente diminuzione dell'ombreggiamento medio.

Inoltre, dai grafici sopra riportati, si evince che la percentuale di ombreggiamento riferita all'intera superficie della serra tende a coincidere con quella sotto la stringa dei pannelli negli equinozi mentre tende a diminuire in prossimità dei solstizi. Durante gli equinozi si ha una maggiore uniformità di ombreggiamento a favore delle eventuali colture è presenti in serra, mentre durante i solstizi l'ombra dovuta ai pannelli si concentra nella parte Nord della superficie favorendo l'irraggiamento delle colture con conseguenti effetti positivi sul raccolto.

Considerando i grafici successivi, riportati in Fig. 65, i valori percentuali dell'ombreggiamento dell'intera superficie della serra, alle ore 12:00, oscillano tra un minimo di 27.8 % nel mese di novembre e un massimo 37.9 % nel mese di settembre variando di 10 punti percentuali. La percentuale di ombreggiamento riferita alla stringa, sempre alle ore 12:00, invece, varia tra il 35.2 % nel mese di novembre e il 40.6 % nel mese di maggio, mostrando un intervallo di variazione dimezzato, rispetto al dato precedente.

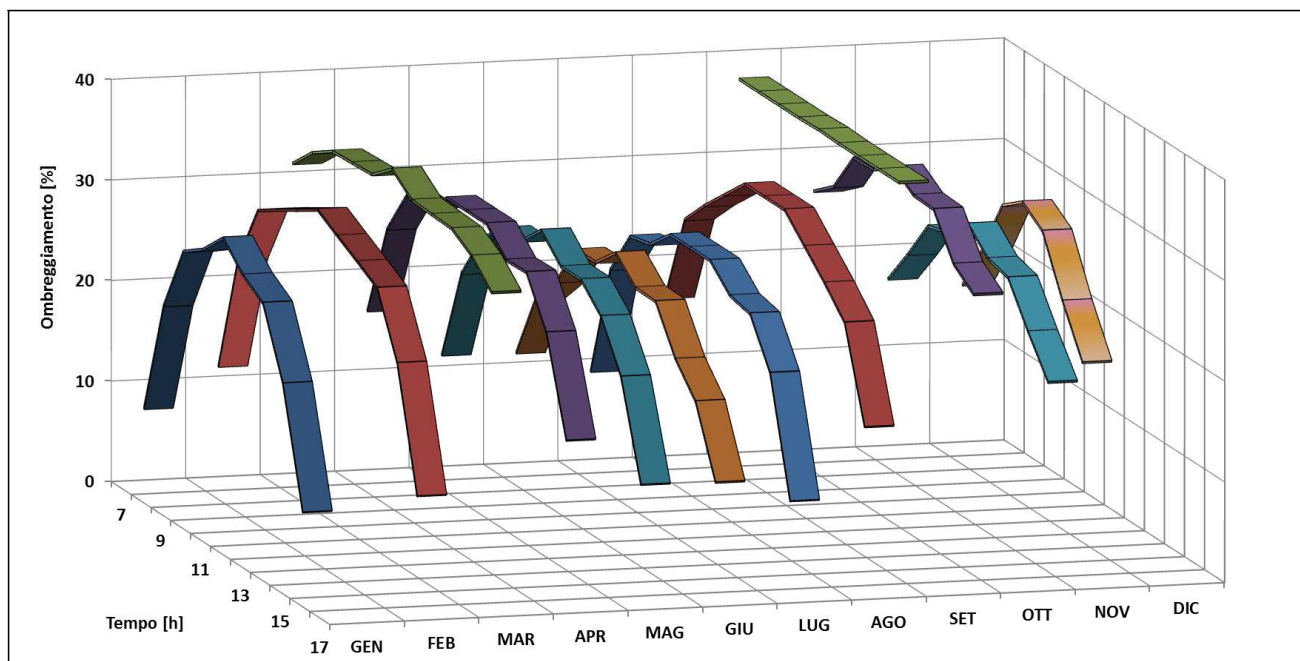


Fig. 66 - Ombreggiamento riferito all'intera sezione della serra (serra) il 21° giorno di ogni mese dell'anno

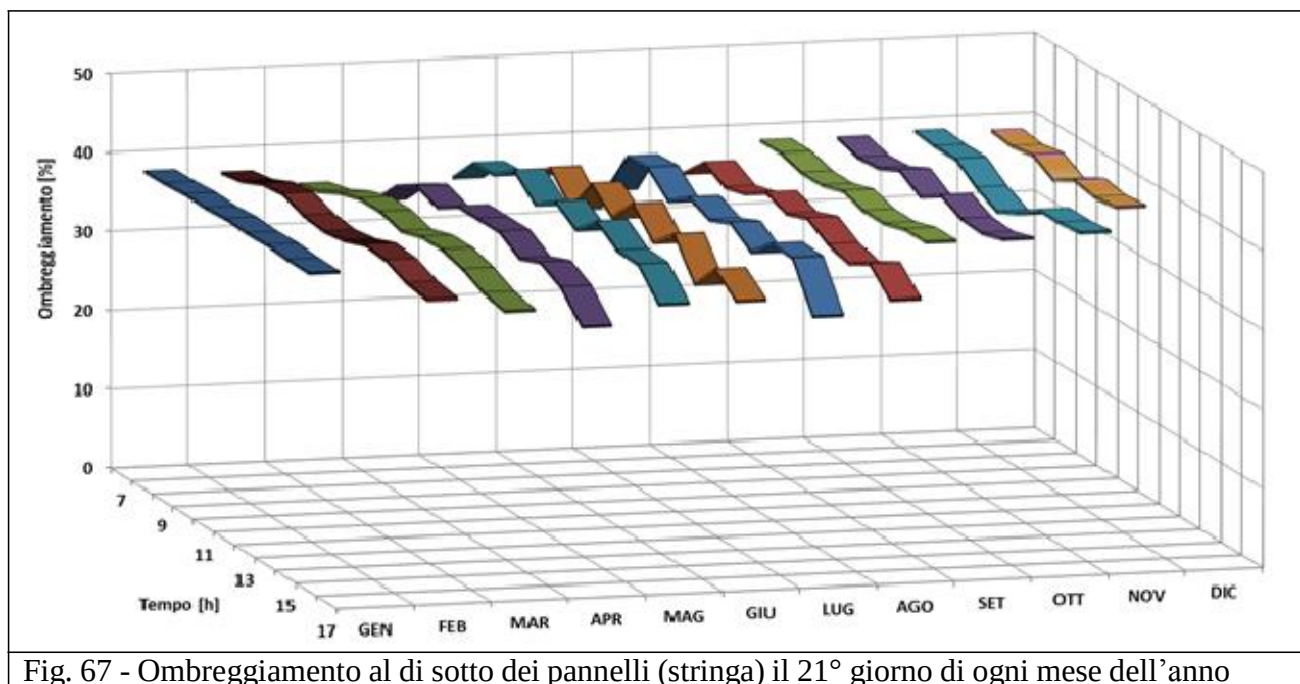


Fig. 67 - Ombreggiamento al di sotto dei pannelli (stringa) il 21° giorno di ogni mese dell'anno

Nelle figure 66 e 67 sono riportate le percentuali di ombreggiamento durante il ventunesimo giorno di tutti i mesi dell'anno riferite, rispettivamente alla superficie totale della serra e a quella della stringa dei pannelli. Il primo grafico mostra l'andamento dei valori percentuali, i quali sono più elevati in prossimità degli equinozi e più bassi al ridosso dei solstizi dovuto al fatto che alcune superfici interne della serra non vengono ombreggiate.

L'andamento annuale dell'ombreggiamento medio dell'intera superficie della serra mentre si rivela positivo per i mesi invernali (riduzione dell'ombreggiamento) non lo è altrettanto nei mesi estivi quando invece servirebbe incrementare l'intercettazione della radiazione solare incidente la copertura.

Ai fini di una valutazione agronomica, maggiore interesse riveste il secondo grafico, quello riguardante l'ombreggiamento percentuale relativo alla stringa, costituita da 19 pannelli, in quanto in questo caso risulta pressoché costante durante tutto l'anno e per tutta la durata del giorno. Ciò è reso possibile dall'effetto della curvatura della copertura della serra tunnel e dell'orientamento Est-Ovest della struttura. Questo risultato è molto importante ai fini della coltivazione in serra, sulla base di tale valore è possibile infatti scegliere facilmente l'avvicendamento delle colture nel corso dell'anno e inoltre ciò consente di stabilire a priori il momento migliore in cui eventualmente rimuovere la copertura fotovoltaica e quello in cui posizionarla di nuovo sulla serra tunnel.

A tal fine occorre individuare i momenti in cui la radiazione solare sotto copertura fotovoltaica scende al di sotto o sale al di sopra dei fabbisogni delle piante.

Come illustrato, tramite queste figure e mediante tutte le altre finora riportate, in tutti i mesi dell'anno la percentuale di ombreggiamento non supera mai il valore massimo del 40%. I valori dell'ombreggiamento ottenuti sono in funzione della distanza, stabilita in fase di progettazione, tra i pannelli e può essere aumentata riducendo lo spazio tra questi.

Oltre all'intensità dell'ombreggiamento, è stato analizzato un ulteriore aspetto riguardante la ripartizione dello stesso sulle colture.

In Tabella 5 sono riportate le dimensioni delle ombre ricadenti all'interno della sezione del tunnel alle ore 12:00 del ventunesimo giorno di tutti i mesi dell'anno.

Dall'analisi dei dati riguardanti l'ombreggiamento è emerso che solamente nei mesi di Maggio, Giugno, Luglio e Agosto l'ombra di tutti i pannelli ricade completamente all'interno della sezione della serra tunnel. In questi mesi la dimensione dell'ombra lungo la sezione risulta compresa tra 0,10 m e 0,15 m. Negli altri mesi una parte dell'ombreggiamento, anche consistente, dovuto ai

pannelli ricade all'esterno della sezione della serra e le dimensioni raggiungono valori di 0,31 m risultano nettamente maggiori rispetto ai 4 mesi citati.

In generale l'andamento delle ombre varia al variare dell'angolo di elevazione del sole nel corso dell'anno. Quindi si riscontra che nei mesi più freddi la dimensione delle ombre lungo la sezione è molto più elevata rispetto ai mesi caldi e ciò aumenta l'uniformità dell'ombreggiamento delle colture. Questa variazione nelle dimensioni delle ombre dipende dall'angolo di altezza dei raggi solari e dal diverso angolo di tilt che assumono i pannelli dovuto alla forma curvilinea della sezione.

Tabella 5. Dimensione delle ombre ricadenti all'interno della sezione del tunnel alle ore 12:00 del 21° giorno di ogni mese

		Dimensione ombre ricadenti all'interno della sezione [m]											
		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Pannelli fotovoltaici costituenti una stringa	1		0,21	0,16	0,13	0,11	0,10	0,11	0,13	0,16	0,21	0,27	0,31
	2	0,27	0,21	0,17	0,13	0,11	0,11	0,11	0,13	0,17	0,21	0,27	0,30
	3	0,27	0,21	0,17	0,14	0,12	0,11	0,12	0,14	0,17	0,21	0,27	0,30
	4	0,26	0,21	0,17	0,14	0,12	0,12	0,12	0,14	0,17	0,21	0,26	0,29
	5	0,25	0,21	0,17	0,14	0,13	0,12	0,13	0,14	0,17	0,21	0,26	0,28
	6	0,25	0,20	0,17	0,15	0,13	0,13	0,13	0,14	0,17	0,21	0,25	0,27
	7	0,24	0,20	0,17	0,15	0,13	0,13	0,13	0,14	0,17	0,20	0,24	0,26
	8	0,23	0,19	0,17	0,14	0,13	0,13	0,13	0,15	0,17	0,19	0,23	-
	9	0,21	0,18	0,16	0,14	0,14	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,15	-
	10	-	0,17	0,16	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,16	0,17	-	-
	11	-	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15	0,17	-	-
	12	-	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	-	-
	13	-	0,11	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,03	-	-
	14	-	-	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	-	-	-
	15	-	-	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	-	-	-
	16	-	-	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	-	-	-
	17	-	-	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	-	-	-	-
	18	-	-	-	0,09	0,11	0,11	0,11	0,10	-	-	-	-
	19	-	-	-	-	0,10	0,10	0,10	0,09	-	-	-	-

Nelle figure 68 e 69 è visualizzata la dimensione delle ombre riportata in tabella, è infatti riportata la variazione delle ombre durante il ventunesimo giorno di ogni mese dell'anno sia in relazione all'intera superficie di copertura sia alla singola stringa di pannelli fotovoltaici. In particolare, la percentuale di ombreggiamento sotto la stringa si mantiene costante per tutto l'anno, al contrario dell'uniformità dell'ombreggiamento che risulta superiore nei mesi estivi.

Tale risultato è di indubbio vantaggio per le colture allevate in ambiente protetto.

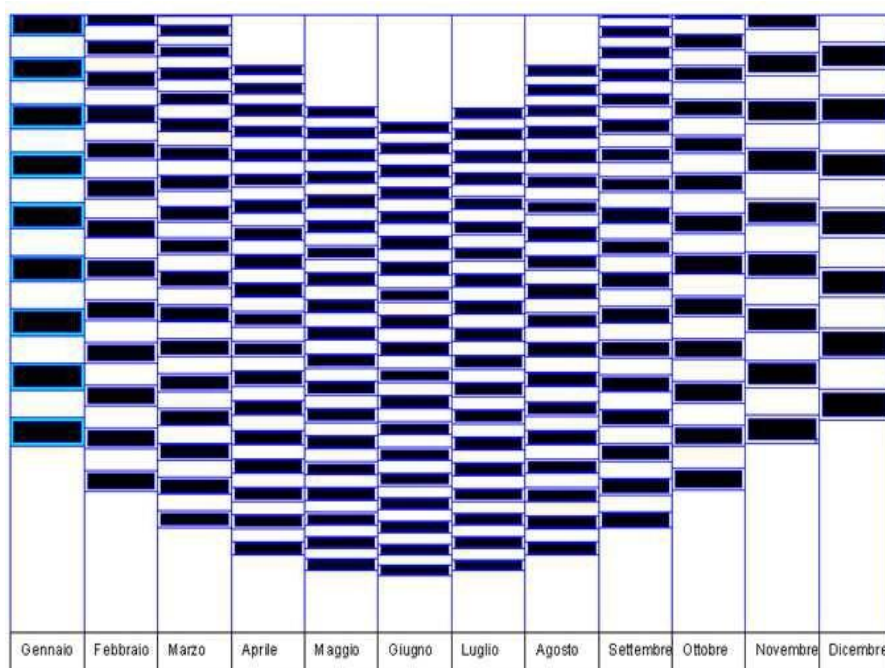


Fig. 68 - Variazione della dimensione delle ombre di una stringa durante il 21° giorno di ogni mese dell'anno

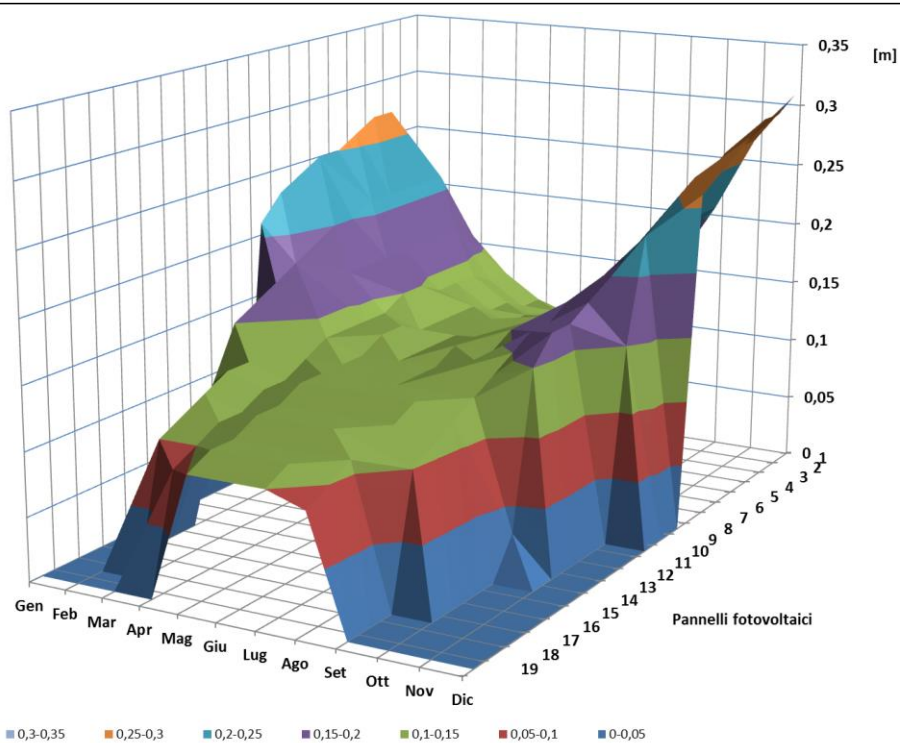


Fig. 69 - Grafico della variazione della dimensione delle ombre di una stringa durante il 21° giorno di ogni mese dell'anno

1.3 modelli sostenibili di recupero di serre già esistenti)

Messa a punto e sperimentazione di modelli sostenibili di recupero produttivo di serre già esistenti tenendo conto dei vari aspetti da considerare (ingegneristici, architettonici, economici e agronomici).

Questa azione prevede una interazione dei tre partner con aziende, imprese costruttrici e progettisti, essendo necessario prendere in considerazione aspetti agronomici, ingegneristici, architettonici e paesaggistici. Questo lavoro viene sviluppato diversamente dai 3 partner in funzione delle loro specificità ed attitudini.

Per quanto riguarda IRF si è scelto di utilizzare una serra pre-esistente, in ferro vetro del tipo Riviera, costruita nel 1988. Tale scelta è stata fatta in linea con l'obiettivo dell'azione di verificare la sostenibilità del recupero di serre già esistenti.

L'analisi della fattibilità progettuale è stata effettuata in collaborazione con DAFNE-UNITUS, e la progettazione è stata affidata alla ditta Sunergy SaS di Lecce, una ditta pugliese specializzata nella produzione moduli fotovoltaici di silicio mono e policristallino ad alto rendimento, e nella progettazione ed in installazione di impianti FV. Anche per questa ditta, si è trattato di una progettazione sperimentale date le caratteristiche dell'impianto e dell'installazione su serra con soluzioni tecniche studiate ad hoc.

Nel caso della serra modello ad IRF si è trattato di una integrazione di un impianto fotovoltaico innovativo con sostituzione delle vetrature pre-esistenti e, pertanto, inserimento dei pannelli nella struttura stessa della serra. L'aspetto maggiormente critico è stato trovare la soluzione tecnica per l'installazione della parte mobile che ha dovuto considerare il carico da sostenere (considerando l'inclinazione della falda del tetto della serra) e il relativo movimento di scorrimento attuato da un motore elettrico (nel prototipo è stato utilizzato un martinetto pneumatico da 12V con una potenza di 150W).

La soluzione adottata presso IRF potrà essere di riferimento per lo studio di soluzioni analoghe, a carattere commerciale, per le serre presenti sul territorio ligure, tradizionalmente utilizzate per la coltivazione di fiori (e anche ortaggi negli ultimi anni) della stessa tipologia strutturale.

Come indicato a progetto, la possibilità di recupero produttivo di serre già esistenti è un aspetto complesso, che prevede un impegno interdisciplinare.

Lo sviluppo di modelli di recupero produttivo di serre già esistenti, recupero inteso come modifica e adattamento di impianti con lo scopo di attribuire loro una multifunzionalità nuova e innovativa, dipende da fattori tecnologici economici e di opportunità. Lo sforzo progettuale e programmatico di questi ultimi anni si è orientato verso l'introduzione di mix produttivi diversi da quelli tipici di molte colture protette (sostituzione del fiore reciso con le piante in vaso; conversione di aziende da indirizzo florovivaistico a orticolo), sul cambiamento radicale delle produzioni e sull'analisi delle tecnologie fotovoltaiche disponibili.

Dal punto di vista **INGEGNERISTICO**, appare necessario sviluppare, personalizzandolo per ciascuna struttura presa in esame, il calcolo della portanza delle strutture stesse, soprattutto in relazione al maggior peso degli impianti FV. In particolare, si pongono, allo stato attuale dell'arte, due principali soluzioni per l'integrazione del fotovoltaico sulle serre.

Trascurando – per ragioni di costi, di limitata durata dell'investimento e di effettiva disponibilità sul mercato – i materiali fotovoltaici flessibili potenzialmente utilizzabili su coperture in polietilene delle serre e i materiali amorfi filmati all'interno di pannelli tubolari (brev. Solyndra), l'indagine

rimane circoscritta ai materiali fotovoltaici rigidi, che possano essere sostituiti o sovrapposti alle coperture vetrate delle serre.

Il CeRSAA ha preso in esame, pertanto, due casistiche:

- a. integrazione di un impianto fotovoltaico su una struttura in ferro-vetro esistente, con sostituzione delle vetrature pre-esistenti e, pertanto, inserimento dei pannelli nella struttura stessa della serra;
- b. sovrapposizione alla copertura di una serra pre-esistente in ferro-vetro di pannellature fotovoltaiche, comprensive di telaio di supporto.

a. Integrazione di un impianto fotovoltaico su una struttura in ferro-vetro esistente

In questo caso, l'integrazione prevede due operazioni:

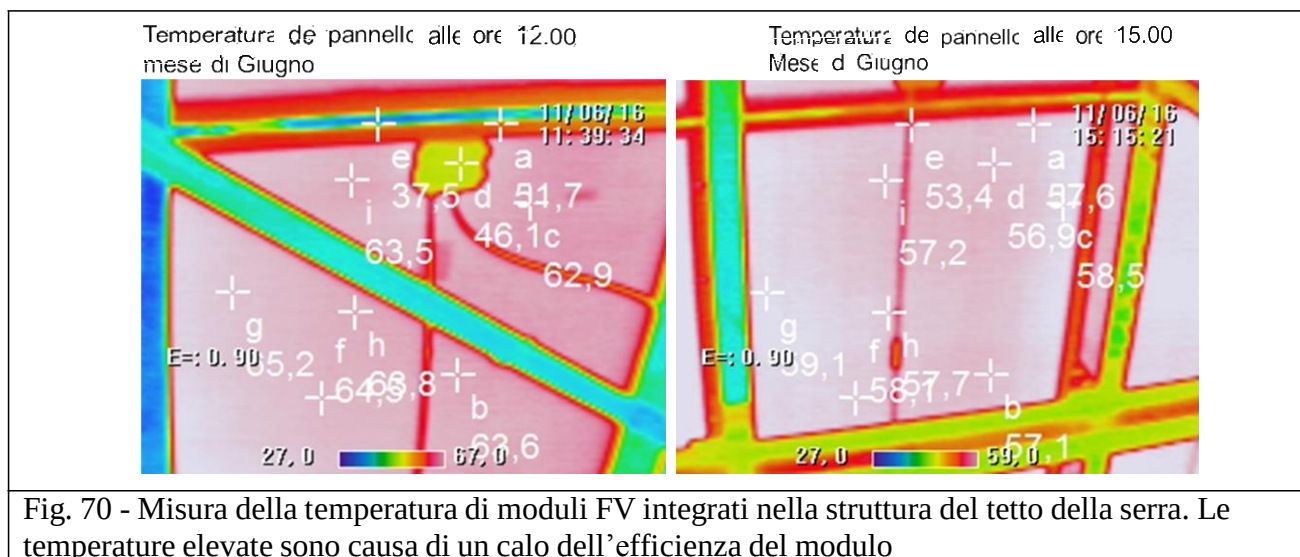
- a1. Smontaggio della vetratura esistente
- a2. Montaggio dei pannelli FV della stessa dimensione della vetratura rimossa

Aspetti favorevoli

- L'integrazione completa dei moduli FV all'interno della copertura della serra consente di mantenere inalterate le caratteristiche aerodinamiche della stessa e il layout complessivo.
- L'ombreggiamento è ridotto al solo modulo FV opaco, senza produzione di ulteriori coni d'ombra provocati da altri profilati o delle cornici, che vengono utilizzati negli impianti non integrati.
- L'incremento di peso gravante sulla struttura è limitato al solo modulo, privato della cornice metallica. Gli attuali moduli FV sono caratterizzati da un peso/m² molto vicino a quello del vetro che vanno a sostituire; pertanto non è necessario rivalutare la portata e l'equilibrio statico dell'impianto serricolo. In questo caso, infatti, la differenza tra il peso/ m² del vetro (da 7,5 Kg/ m² per le lastre di 3 mm di spessore a 10 Kg/m² per le lastre di 4 mm di spessore) e quello del modulo FV (media: 10-15 Kg/ m²) non va ad interferire con gli altri "carichi accidentali" per i quali la serra deve essere collaudata. A titolo di esempio, il carico accidentale vento/neve in aree costiere del centro-nord Italia è mediamente fissato attorno a 60 Kg/ m², un valore di un ordine di grandezza superiore al possibile e minimo incremento di peso della copertura fotovoltaica, che può essere causa di un sovrappeso compreso tra 0 e 7,5 Kg/ m², in relazione allo spessore delle lastre FV e di quelle in vetro. Soltanto se la serra non è stata progettata dimensionando le strutture in maniera tale da disporre di un margine di portata, una volta sottratto il peso proprio della struttura e gli ulteriori carichi dinamici (vento, neve, ...) e statici (impianti interni sospesi), non sarà possibile installare il nuovo impianto FV, a meno di non provvedere alla sostituzione o al rinforzo dei profilati che risulteranno sottodimensionati.

Aspetti critici

- La scelta dei moduli FV dovrà ricadere esclusivamente su quelli privi di cornice, dovendo rispettare gli spessori limite più oltre descritti per i moduli stessi.
- Sarà necessario prevedere un costo di rimozione in sicurezza delle vetrature, oltre a quello di installazione dell'impianto FV.
- L'installazione dei moduli FV in sostituzione della vetratura può provocare il raggiungimento di temperature elevate sulla faccia dei moduli FV rivolta verso l'interno della serra (Fig. 70), con cali di efficacia di produzione di energia.



- Poiché non esiste uno standard univoco relativo al dimensionamento delle vetrature per serre, bensì diversi layout (es. Venlo, Wide span, ...), questo sistema rende possibile la sostituzione rapida dei vetri con i moduli FV soltanto quando le misure dei due materiali coincidono esattamente. Le dimensioni più frequenti delle vetrature è 600x1200 mm, ma sono frequentemente presenti altre dimensioni (800x1200 mm, 600x1500 mm, ...). Tale variabilità impone, talvolta la presenza di uno spazio residuo in lunghezza sulla falda non coperto dall'unità fotovoltaica (Fig. 71), ovvero il distacco ed il riposizionamento del modulo portavetro nel senso della larghezza della falda.

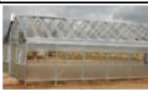


Oltre alle strutture rigide, poi, vanno citate quelle coperte con materiali flessibili, che possono rappresentare un interessante supporto per il FV, purché esso stesso flessibile. In questo caso, le difficoltà tecnologiche ed economiche legate al modulo FV flessibile sono numerose e limitanti il loro impiego.

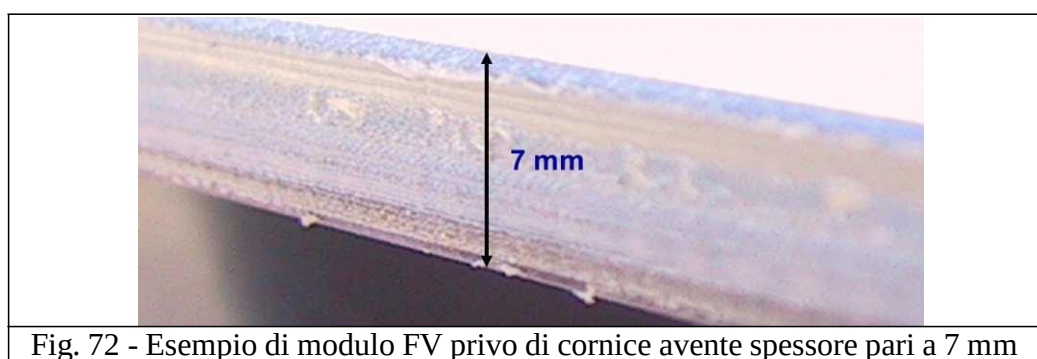
Nella tabella sottostante (Tabella 6), si riporta una sintesi dei diversi impianti serricoli più presenti in Italia.

Ulteriori approfondimenti strutturali saranno disponibili al termine del progetto.

Tabella 6 - Tipi di apprestamenti protetti presenti in Italia

Serre ferro-vetro "Venlo"		Multitunnel a copertura rigida	
Serre ferro-vetro "Large wide" portavetro 600 mm		Tunnel a copertura rigida	
Serre ferro-vetro "Large wide" portavetro 800 mm		Multitunnel a copertura flessibile	
Serre ferro-vetro "Large wide" portavetro 1200 mm		Tunnel a copertura flessibile	
Serre "Venus"		Tunnel ombrati	
Serre a scoperta totale		Mini-tunnel	
Vetrine "Riviera"		Ombrati	

- Altro problema di non secondaria importanza risiede nello spessore del modulo FV, più spesso del vetro che va a sostituire. Normalmente, i vetri per serre hanno spessori compresi tra 3 e 4 mm, mentre i moduli FV hanno spessori compresi tra 5 e 7 mm (Fig. 72). In questo caso, è necessario ricorrere a profili fermavetro in polipropilene caratterizzati da una minore altezza di aggancio al profilo portavetro, a patto che il profilo portavetro stesso presenti una sede di alloggiamento del vetro o del modulo FV profonda almeno 7-9 mm; in casi estremi, potrebbe rendersi necessario sostituire anche i profili portavetro, con un ulteriore aggravio dei costi.



- In caso di avaria o danni a singoli moduli o di sostituzione dell'impianto, la sostituzione stessa dovrà avvenire rimuovendo il modulo dall'interno della sede portavetro, con possibili complicanze legate al metodo di rimozione e alla necessità di riposizionamento, immediato, dei nuovi moduli che non lascino aperture sul tetto della serra.

b. Sovrapposizione alla copertura di una serra pre-esistente

Aspetti favorevoli

- La scelta dei moduli FV è flessibile, trattandosi di una disposizione indipendente dalle misure delle lastre di vetro sottostanti.
- Non è previsto un costo di rimozione in sicurezza delle vetrate, oltre a quello di installazione dell'impianto FV.
- L'installazione dei moduli FV su un telaio distanziato da quello del tetto può favorire la ventilazione del modulo, evitando il raggiungimento di temperature elevate sulla faccia dei moduli FV rivolta verso l'interno della serra ed evitando, conseguentemente, cali di efficacia di produzione di energia.
- Non vi sono problemi circa gli spessori dei moduli FV, che non dovranno essere integrati nei profili portavetro del tetto.
- In caso di avaria o danni a singoli moduli o di sostituzione dell'impianto, la sostituzione stessa potrà avvenire in maniera più semplice rispetto allo stesso modulo integrato nella struttura del tetto

Aspetti critici

- La mancanza di integrazione completa dei moduli FV all'interno della copertura della serra non consente, a seconda del disegno e della distanza tra l'impianto FV e la copertura della serra, di mantenere inalterate le caratteristiche aerodinamiche della stessa e il layout complessivo.
- L'ombreggiamento, a seconda del disegno e della dimensione del supporto dell'impianto FV, può produrre ulteriori coni d'ombra provocati da altri profilati o delle cornici, che vengono utilizzati negli impianti non integrati.
- A livello ingegneristico e progettuale deve essere preso in considerazione il valore del peso gravante sulla struttura, dato dalla somma tra il peso proprio del modulo FV e quello della struttura (telaio) aggiunta. Pertanto, al progettista è sempre richiesto il ricalcolo dei carichi sopportati dalla serra nel suo complesso.

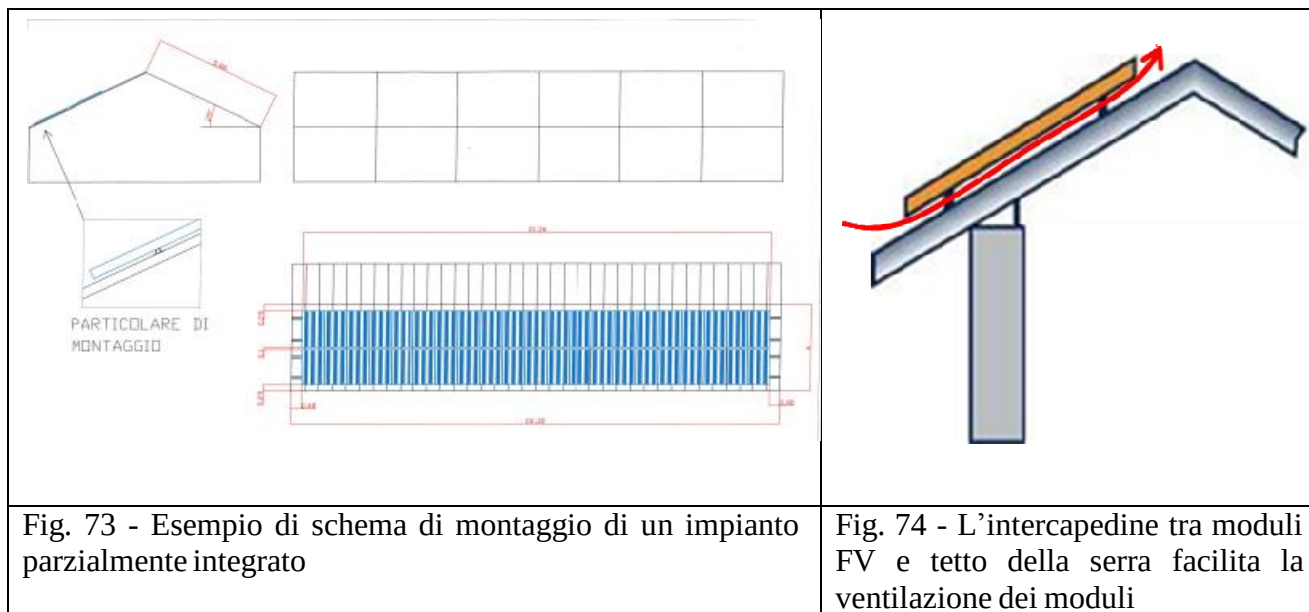
Nel caso specifico dell'impianto sviluppato da CeRSAA per il progetto, la differenza tra il peso/m² del vetro (da 7,5 Kg/ m² per le lastre di 3 mm di spessore a 10 Kg/ m² per le lastre di 4 mm di spessore) e quello del modulo FV + il telaio di supporto e aggancio al tetto (media: modulo = 10 Kg/ m² + telaio di supporto = 1 Kg/ m²) va sempre sottratto agli altri carichi a cui la serra può essere sottoposta, ma il valore complessivo è largamente inferiore al valore di collaudo dei carichi accidentali (circa 60 Kg/ m² per le aree costiere del centro-nord Italia) (Fig. 73).

Di fatto, se la struttura è stata progettata dimensionando le strutture in maniera tale da non poter disporre di un margine di portata una volta sottratto il peso proprio della struttura e gli ulteriori carichi dinamici (vento, neve, ...) e statici (impianti interni sospesi), non sarà possibile installare il nuovo impianto FV, a meno di non provvedere alla sostituzione o al rinforzo dei profilati che risulteranno sottodimensionati.

Entrambe le soluzioni (integrazione e sovrapposizione) sono state poste a confronto e valutate nell'ambito del progetto grazie all'installazione effettuata su scala reale presso le strutture del CeRSAA.

Nel caso della struttura parzialmente integrata, e pertanto dotata di un proprio telaio e di sistemi di aggancio alla sottostante serra, il particolare disegno e i materiali del sistema telaio-supporti, nonché la distanza tra il telaio stesso ed il tetto della serra, pari a 8 cm – tutti particolari sviluppati nell'ambito del progetto – ha reso possibile il montaggio in sicurezza, con i seguenti vantaggi:

- Peso del telaio gravante sulla struttura molto limitato (1 Kg/ m^2).
- Spessore del modulo confrontabile con quello dei vetri per serra (5 mm), dal peso, pertanto, molto contenuto.
- Luce libera tra telaio e tetto molto limitata, con effetti nulli sull'aerodinamica della serra.
- Lo spazio presente, peraltro, tra tetto e pannellatura FV facilita la ventilazione dei moduli per una migliore efficienza anche in presenza di temperature ambientali elevate (Fig. 74).
- La limitata distanza tra il tetto e la pannellatura dell'impianto fotovoltaico limita fortemente anche i rischi aerodinamici di tale combinazione, rendendo inconsistente il rischio che l'impianto fotovoltaico possa fare da "vela" con potenziali danni alle strutture e alle aree circostanti la serra stessa.



Dal punto di vista **ARCHITETTONICO**, la scelta si impone tra differenti soluzioni:

- integrazione parziale o totale del FV sulle strutture serricole (Fig. 75)
- scelta del tipo di materiale (Silicio cristallino o amorfo, CIS, CIGS, ...) (Fig. 76-78)
- risultato finale che si intende ottenere dal punto di vista della resa visiva

Delle problematiche di statica relative all'integrazione parziale o totale sulle falde dei tetti si è già detto e questo fattore ha senza dubbio una ricaduta sull'aspetto architettonico (fattibilità o non fattibilità dell'intervento).

Relativamente alla scelta del tipo di materiale, benché siano disponibili numerose tipologie di materie prime, la scelta può essere ridotta essenzialmente al silicio (mono o policristallino).

Altri materiali (Silicio amorfo, Arseniuro di Gallio, Diseleniuro di rame e indio, Tellururo di Cadmio, Diseleniuro di rame, indio e gallio, altri materiali a matrice organica) sono molto limitatamente utilizzati, malgrado alcune caratteristiche peculiari molto interessanti (es. possibilità di applicazione su vasi flessibili, possibilità di filmatura all'interno di cilindri, possibilità di filmatura secondo disegni e layout di fantasia, ...).

Nella tabella sottostante (Tabella 7) vengono riassunte le caratteristiche salienti dei materiali fotoattivi principali.

Tabella 7 - Principali caratteristiche di alcuni materiali fotovoltaici

	Si mono	Si multi	Si amorfo	CIS	CIGS
Dimensioni cella	8-16cm	12-15cm	variabili	variabili	variabili
Spessore cella	250-350µm	250-350µm	1µm-1µm	15-60µm	15-60µm
Rendimento cella	>12%	>12%	>12% (10-13%)	12-13%	13%
Vantaggi	• alta efficienza • stabile • affidabilità • elevata durata • filiera industriale consolidata	• alta efficienza • stabile • affidabilità • elevata durata • processo semplice • filiera industriale consolidata	• efficienza in luce diffusa • su supporti flessibili	• resistenza alle temperature • stabile • su supporti flessibili • uso architettonico	• resistenza alle temperature • su supporti flessibili • uso architettonico • uso estetico
Svantaggi	• costo elevato • scarsa durata • scarsa efficienza	• costo elevato • scarsa durata • scarsa efficienza	• bassa efficienza • degradazione • scarsa stabilità	• efficienza • materiali a fibre • degradazione	• efficienza • materiali a fibre • degradazione • scarsa durata
Costo	medio-basso	medio-basso	medio-basso	alto	alto
Usi agricoli	• serra	• serra	• serra	• serra	• serra

Tenendo conto delle caratteristiche dei diversi materiali, del loro costo e delle necessità d'uso, la scelta prevalente si concentra sul silicio ed in particolare su quello policristallino. Su tale materiale, infatti, si è maggiormente concentrato il mercato globale e, conseguentemente, anche la ricerca per il perfezionamento della produzione e l'incremento dei rendimenti.

Per tali ragioni, anche in agricoltura le applicazioni prevalenti sono realizzate con Si policristallino; decisamente minori sono le applicazioni con Si monocristallino e quasi assenti quelle realizzate con altri materiali. Sempre dal punto di vista architettonico, l'integrazione, totale o parziale degli impianti FV, non va a modificare il profilo delle serre che, pertanto, mantengono le proprie caratteristiche e identità. Il problema effettivo è quello della trasparenza degli impianti alla luce fotosintetica, aspetto discusso e sviluppato in altre sezioni del progetto.



Fig. 75 - Esempio di integrazione totale di un impianto FV su serra



Fig. 76 - Dettaglio di elementi di un pannello FV e layout generale realizzato con film sottile di CIGS contenuto in cilindri di vetro.



Fig. 77 - Dettaglio di un impianto completamente integrato con pannelli in CIS



Fig. 78 - Dettaglio di un impianto parzialmente integrato e del sistema di supporto con pannelli in Si (prodotto di progetto)

Dal punto di vista DELL' **OPPORTUNITÀ** di integrazione di un impianto FV sulle serre, alla luce dell'attuale panorama di incentivazione all'impiego di fonti rinnovabili di energia, l'interesse economico a inserire un impianto FV sulle serre è senz'altro fortemente diminuito nella sua componente speculativa.

Al contrario, l'inserimento di questo tipo di impianto in un'ottica di "recupero" funzionale di impianti serricoli sottoutilizzati, se non in via di dismissione può trovare una propria collocazione e un proprio interesse economico, sia in fase di installazione (costi d'impianto fortemente ridotti nel tempo), sia in termini di convenienza nello sfruttamento di energia autoprodotta e di durata mantenimento o sostituzione non traumatica.

Nell'ambito di questa valutazione di opportunità, il processo decisionale dovrà tenere conto di una serie di fattori, di seguito sinteticamente illustrati:

a. Aumento dell'efficienza dei moduli fotovoltaici nel breve/medio periodo

- a. Moduli monocristallini: dal15% al 22% entro il 2020.
- b. Moduli policristallini: dal14% al 20% entro il 2020.
- c. Moduli film sottili: dal8% al 15% entro il 2020.

b. Aumento della vita media dei moduli e degli impianti

- a. Moduli FV: dai 25 anni attuali ai 35 anni entro il 2020.
- b. Inverter: già attualmente estensione garanzia a 20 anni

c. Maturazione delle tecnologie produttive

- a. Aumento dell'efficienza dei cicli di produzione.
- b. Filiera completa della produzione in molti stati
- c. Diversificazione delle tecnologie (aumento film sottile)
- d. Aumento della ricerca e sviluppo di nuove tecnologie

d. Diminuzione dei prezzi grazie a

- a. Maggiore diffusione del film sottile
- b. Efficienza nella preparazione dei materiali alla base delle celle
- c. Economia di scala
- d. Diminuzione dei costi di produzione
- e. Stabilizzazione di una filiera matura

e. Modifica degli scenari economici:

- a. Variazioni in diminuzione dei costi dei moduli e degli impianti (legge della domanda e dell'offerta).
- b. Stabilità/instabilità degli incentivi pubblici.
- c. Smaltimento dei prodotti a fine vita: esistenza di una rete dedicata al tipo di prodotto

f. Soddisfacimento delle procedure tecniche e amministrative necessarie per procedere all'installazione.

In questo caso, le procedure possono subire variazioni a seconda delle norme territoriali locali e della progressiva variazione delle normative nazionali e di quelle del Gestore dell'Energia.

Lo schema seguente (Fig. 79) sintetizza i punti principali di tali procedure.

Come noto, pochi e frammentari sono i dati ottenibili in letteratura circa la quantità e la qualità della luce necessaria a permettere, a seconda della specie coltivata, la produzione di biomassa, piuttosto che la fioritura o la fruttificazione. Nel settore delle colture ornamentali, una ricerca effettuata su alcune fonti disponibili in letteratura ha messo in evidenza sia la scarsità di dati, la loro frequente contraddittorietà, la parzialità e l'insoddisfacente determinazione della qualità della luce utile allo sviluppo di diverse specie.

A titolo di esempio, si riporta una tabella (Tabelle 8-9-10) contenente una sintesi dei risultati principali.

Tabella 6

Nome com	Specie	condizio	Esigenze pianta				Temperatur	Note	Esigenze radicazione /germinazione		
			Range Lu	W/m2	pre luce/gior	ombreggio (			Range Lu	W/m2	ore luce/giorno
Rosa	Rosa spp.	min	6000	8,78478					2500	3,660325	
		max	10000	14,6413					3000	4,39239	
		se <	3500	5,124455	12						
Stella Natale	Euphorbia pulc herrima	min	30000	43,9239	12	50					
		max	60000	87,8478							
Oleandro	Nerium oleander		max		no						
Bouganvillea	Bouganvillea glabra				12						
Viola		se <			11			fiore ok			
		se >			14			fiore no ok			
Cineraria	Senecio cruentus			60	4 h in più di luce			per accelerare fioritura			
Calceolaria	Calceolaria ibrida				12			critico dopo 40-70 gg di freddo per fioritura			
					15						
Primula	Primula vulgaris		ambiente luminoso		14			critico			
Saintpaulia		min	8000	11,71304		40					
		max	12000	17,56956		60					
Nuova guinea	Impatiens Nuova Guinea	min	30000	43,9239					18000	26,35434	
		max	50000	73,2065					20000	29,2826	
Petunia	Petunia hybrida				12			critico			
Begonia					14			critico			
		se >	25000	36,60325		20					
Crisantemo								giorno corto			
Ciclamino	Cyclamen spp.	min	25000	36,60325		50					
		max	40000	58,5652		100					
Geranio	Pelargonium zonale Pelargonium grandiflorum	min	30000	43,9239					3000	36,60325	
		max	40000	58,5652							
Dimorfoteca			ambiente luminoso								
Osteospermum											

Tabella 7

Nome com	Specie	condizio	Esigenze pianta				Temperatur	Note	Esigenze radicazione / germinazione		
			Range Lu	W/m2	ore luce/gior	ombreggio (%)			Range Lu	W/m2	ore luce/giorno
Felci					16	70		critico piante adulte	1200 2000		
Adiantum		max	20000	29,2826		si		giorni luminosi	2000		
Polysticum aculeatum		max	20000	29,2826					1500		
Arachniodes adiantiformis			30000	43,9239							
Grevillea			ambiente luminoso			si		giovani piante			
Platynerium		max	5000	7,32065					2000		
Nephrolepis exaltata		max	30000	43,9239					1500		
Aspidistra	Aspidistra elatior					70-75					
Ruscus						70-100					
Eucalyptus			ambiente luminoso								luce stimola
Gerbera	Gerbera jamesonii		35000	51,24455				anche inverno			
		max	40000	58,5652							
			120000	175,6956				in 1 giorno			
Ranuncolo	Ranunculus spp.	>			12	si		per fioritura solo fasi iniziali			
			ambiente luminoso								
Margherita	Argyranthemum frutescens		giorno corto					induzione fiorale			
			giorno lungo					sviluppo fiore			
			ambiente luminoso								
		>			12			per fioritura			
Anturium scherzerianum		max	30000								
		max	15000					sviluppo giovani piante			
Anthurium andreanum			ambiente luminoso								
		>	15000			si					
Spathiphyllum wallisii		max	20000	29,2826							
Agapanthus					giorno lungo			no induzione fiorale			
		>					18-20	no induzione fiorale			
Ornithogallum thyrsoides			ambiente luminoso								anche buio
Strelizia reginae			ambiente luminoso								
		se	sc arso irraggiamento				elevato	aborto gemme fiore			
Astro	Callistephus sinensis	se			giorno lungo		< 20°C	induzione fiore			
		se			giorno corto 12-14			sviluppo infiorescenza ma no allungamento stelo critico			
Achillea			ambiente luminoso								
Gipsofila	Gypsofila paniculata	fino a			12-18 17			critico			
Armeria			ambiente luminoso								
Ficus	Ficus spp.	si				si					luce per germinazione talee e margotte
			ambiente luminoso								
Garofano	Dianthus caryophyllus		ambiente luminoso								
in vaso		fino			16			prima di marzo			
	Dianthus barbatus	coltura forzata			fotoperiodo lungo			per 2-3 settimane			

Tabella 8

Nome com	Specie	condizio	Esigenze pianta				Temperatur	Note	Esigenze radicazione / germinazione		
			Range Lu	W/m2	ore luce/gior	ombreggio (			Range Lu	W/m2	ore luce/giorno
Tulipano	<i>Tulipa gesneriana</i>		2000	2,92826	12			forzat ura			anche al buio
Gladiolo		>				30 progressivo		ritardo fioritura			
Giacinto	<i>Hyacinthus orientali</i>	min	10000	14,6413							
		max	25000	36,60325							
Lilium	<i>Lilium longiflorum</i>				16			allungamento stelo			
					8			riduce stelo			
			no pieno sole			60		marzo-settembre			
Fresia	<i>Freesia ibridi</i>		ambiente luminoso								buio
Narciso	<i>Narcissus spp.</i>	min	30000	43,9239				var. Tazetta			
		max	50000	73,2065							
		min	10000					reciso			
		max	20000								
						leggero		allungamento stelo			
Croton	<i>Codiaeum variegatu</i>	max	30000	43,9239				ombreggiare			
Pittosporo	<i>Pittosporum sp.</i>		ambiente luminoso								
	<i>Pittosporum tobira</i>	se				leggero		colorazione intensa			
Dracaena		max	20000	29,2826							
Amaryllis	<i>Hippeastrum</i>	min	30000								
		max	50000								
Statice	<i>Limonium sinuatum</i>		ambiente luminoso								
		se			giorno lungo			più steli			
Mimosa	<i>Acacia sp.</i>		ambiente luminoso								
Ibiscus	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>		ambiente luminoso								
						si		ore centrali giorno primavera- estate			
Margheritone	<i>Anthemis</i>		no esigenze								
Evonimo	<i>Euonymus</i>		ambiente luminoso					ombreggio			
Margheritone	<i>Chrysanthemum leuc anthemum</i>		ambiente luminoso								
		se			10			steli ok			
	<i>Leucanthemum superbum</i>		ambiente luminoso								
Alstroemeria		>			13			fioritura precoce steli più corti			
Phalenopsis		max	16200								

Da quanto emerge, consultando i dati disponibili in letteratura e dalle attività sviluppate in campo dal progetto, si evince che la luce solare diretta in grado di raggiungere le colture – e quindi di contribuire appieno alla fotosintesi e alla produzione – è sempre inferiore al 50% della luce incidente sulla copertura. In altri termini, fatta 100 la radiazione solare diretta disponibile a livello del tetto della serra, la luce diretta che effettivamente raggiunge le colture è pari – nel migliore dei casi, ovvero nei periodi prossimi al solstizio estivo – al 44-46%. Inoltre, tali livelli di radiazione luminosa sono disponibili solo nell’orario più propizio della giornata (ore 12.00, ora solare), mentre negli altri periodi dell’anno, la luce solare diretta è disponibile in quantità inferiore e limitatamente alle ore centrali della giornata.

Tenendo conto che un impianto FV contribuisce ad un ulteriore taglio della radiazione fotosintetica compresa tra il 7 e il 30% (dati rilevati dalle attività di campo del progetto), ne discende che:

- solo una parte delle specie potenzialmente coltivabili in ambiente protetto può essere coltivata sotto serre FV;
- il layout ed il posizionamento dell’impianto FV sul tetto o sulle pareti della serra è strategico e fortemente condizionante la scelta della specie coltivabile;

Sempre dal punto di vista agronomico, la scelta della specie dipende anche da fattori esterni di tipo economico, ovvero di importanza economica delle colture selezionate per il mercato, di dimensione del mercato e, quindi, di effettiva possibilità di crescita. Spesso la “fantasia” del progettista è ampia

e parte da specie “compatibili” con un ombreggiamento anche spinto a specie che richiedono ombra solo per limitati periodi di tempo, a specie dalle ridotte prospettive di mercato, a specie eliofile.

Nel tempo, il CeRSAA ha analizzato proposte di impianti FV per Piante verdi da appartamento, Acidofile, Ruscus, Crisantemo, Funghi, Piante da acquario, Mirtilli, more, uva spina, lamponi (vernalizzazione), Kiwi, Ciliegio. Tuttavia, oltre agli aspetti meramente agronomici e biologici da tenere in conto, occorre valutare quanto può incidere sul mercato un intervento da 50-80-100 ha programmato per una determinata specie.

A titolo di esempio, si riportano alcune casistiche di prodotti indicati per la coltivazione sotto serre FV, e le relative superfici coltivate a livello UE (Dati Eurostat, 2014).

Funghi coltivati

Produzione europea: 31,20 ha

Maggiori produttori europei: Ungheria (22,0 ha); Romania (7,3 ha); Finlandia (1,8 ha).

Esempio di azienda media (Fig. 81): stabilimento di produzione composto da n° 24 celle di coltivazione per uno sviluppo di m² 9600 di coltura con una produzione annua attestabile in 2.000.000 di kg; n° 2 linee di confezionamento; n° 2 celle frigorifere; durata ciclo: 18-20 giorni; Operazioni di raccolta: ogni 15 gg circa.



Fig. 81 – La coltivazione di funghi

In questo caso, anche soltanto un intervento produttivo pari a 1 ha potrebbe rappresentare un incremento della produzione UE del 5%. Un intervento di questo tipo andrebbe, pertanto, attentamente valutato sotto il profilo della sostenibilità di mercato.

Piante da acquario

Non esistono statistiche europee in merito, ma a fronte delle proposte fatte a livello progettuale va rammentato che la principale specie coltivata (*Anubias eterophylla*) è prodotta soltanto da tre aziende in tutta Europa (Fig. 82) ed una di queste ha una superficie produttiva pari a circa 2500 m². Le altre due aziende hanno superfici simili alla prima.



Fig. 82 – Aziende di produzione di piante da acquario

Asparago

Produzione europea: 38.600 ha

Maggiori produttori europei: Germania (18.200 ha); Spagna (10.300 ha); Italia (5.500 ha).

In questo caso il mercato potrebbe offrire spazi, ma va rammentato al progettista e al potenziale agricoltore che solo in una ben determinata fase vegetativa l'asparago può rinunciare alla luce, mentre dal germogliamento in avanti il fattore luce è determinante per lo sviluppo e la sopravvivenza delle “zampe” (Fig. 83).

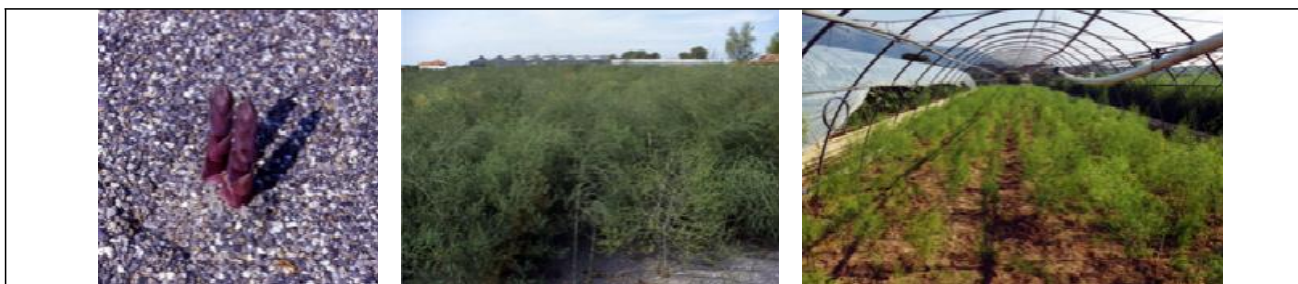


Fig. 83 – Produzioni di asparagi

Piccoli frutti

Produzione europea: > 3.000 ha

Il carattere eliofilo della coltura deve essere tenuto in conto, ma esempi virtuosi di produzione sotto serre FV semitrasparenti esistono.

Insalate

Le produzioni per la vendita del prodotto fresco e di quello lavorato (IV gamma) sono in espansione (in UE > 120.000 ha). Questo dato, e le caratteristiche delle specie unite alla brevità del ciclo colturale, rendono possibile una coltivazione delle lattughe sotto impianti FV semitrasparenti.

Dalla combinazione delle tipologie delle serre e quelle dei pannelli fotovoltaici si ottengono tutte le possibili soluzioni di serre fotovoltaiche che si possono ottenere sulla base delle tecnologie ad oggi acquisite.

La prima soluzione fa riferimento al prototipo realizzato per il presente progetto.

Per una rappresentazione sintetica le possibili tipologie di serre fotovoltaiche sono state raccolte in apposite schede:

- a) SF1 - Prototipo FOTOAGRI Serra tunnel con copertura fotovoltaica (Fig. 84): la scelta tecnica migliore per la costruzione di serre di questo tipo è l'utilizzo di film fotovoltaici flessibili e trasparenti ai bordi (P3) in quanto si adattano facilmente alla copertura curvilinea della struttura S1.
- b) SF2 a, b e c - Serra a tetto curvilineo con copertura fotovoltaica (Figg. 85-87): tra le soluzioni possibili sono state rappresentate quelle che utilizzano film non completamente semitrasparenti. La prima soluzione, che fa riferimento alle prime applicazioni ancora oggi molto diffuse, prevede l'installazione dei pannelli su metà della copertura (quella esposta a sud), questa soluzione causa grossi problemi alle colture per l'ombreggiamento totale al di sotto della stessa. Nelle altre due soluzioni, quella con l'applicazione dei pannelli a fasce orizzontali e quella a scacchiera, si cerca di ridurre l'inconveniente dell'ombreggiamento totale su buona parte della serra.
- c) SF3 a, b e c - Serra a padiglione con copertura fotovoltaica (Figg. 88-90): analoghe considerazioni possono essere fatte per questa tipologia di serre fotovoltaiche.
- d) SF4 a, b e c - Serra venlo con copertura fotovoltaica (Figg. 91-93): la natura di questa tipologia riduce, anche se in misura limitata, il problema dell'ombreggiamento totale sulle piante, appare però comunque necessario ricorrere alle soluzioni con i pannelli a file orizzontali o a scacchiera.

SF-1	PROTOTIPO FOTOAGRI: SERRA TUNNEL CON COPERTURA FOTOVOLTAICA
------	---

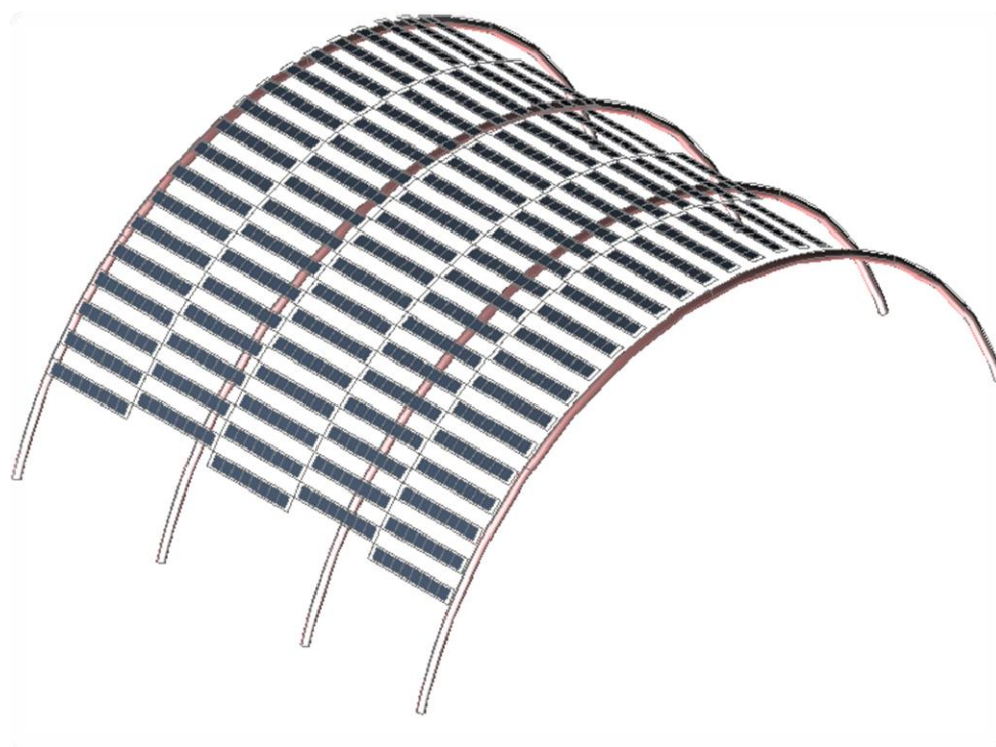


Fig. 84

SF-2a	SERRA A TETTO CURVILINEO CON COPERTURA FOTOVOLTAICA
-------	---

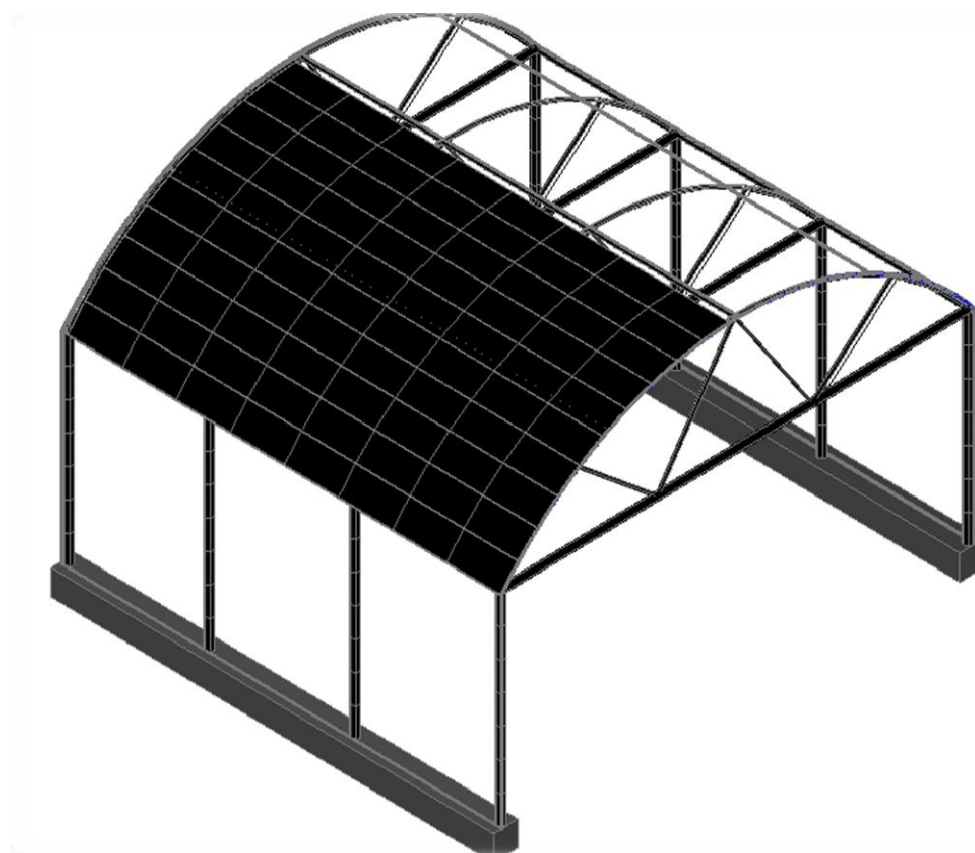


Fig. 85

SF-2b

SERRA A TETTO CURVILINEO CON COPERTURA FOTOVOLTAICA

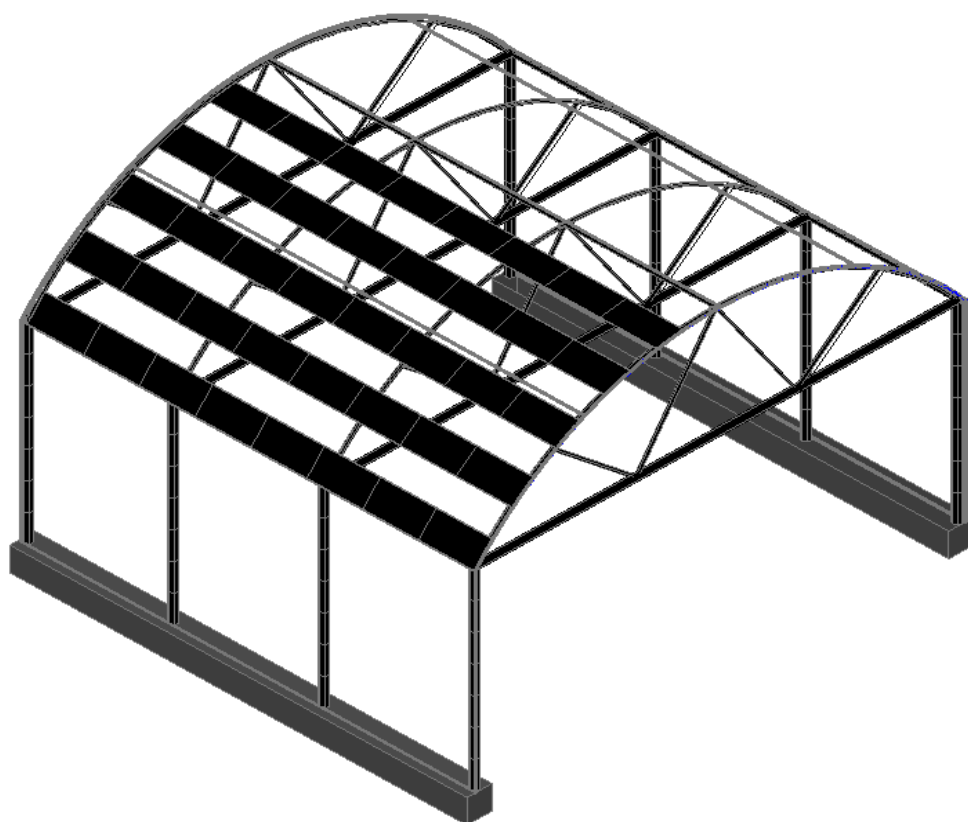


Fig. 86

SF-2c

SERRA A TETTO CURVILINEO CON COPERTURA FOTOVOLTAICA

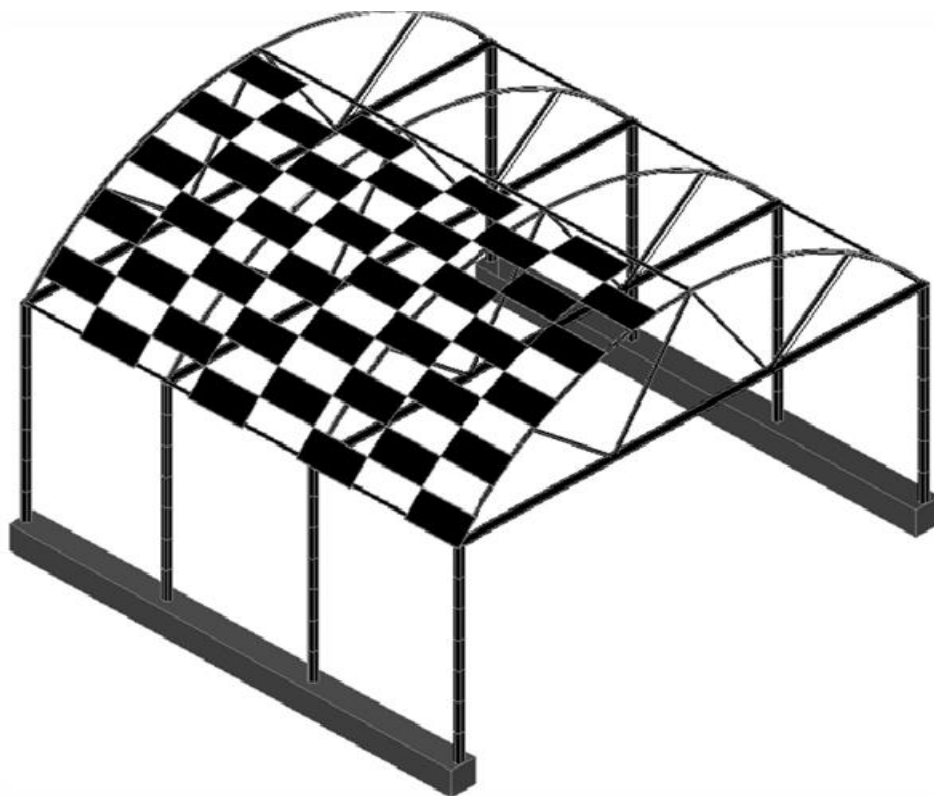


Fig. 87

SF-3a

SERRA A PADIGLIONE CON COPERTURA FOTOVOLTAICA

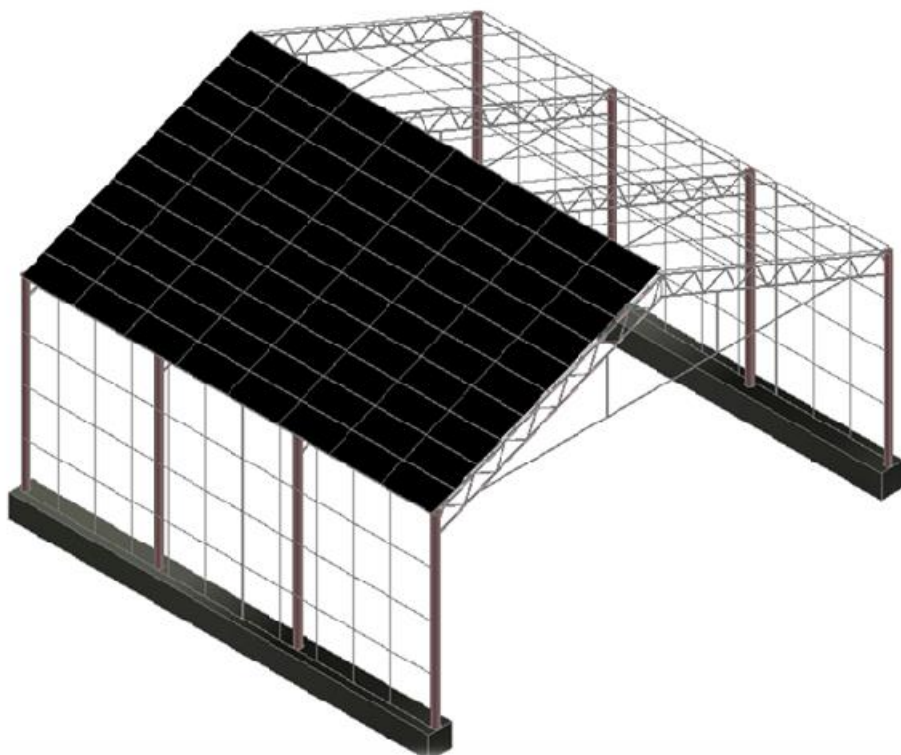


Fig. 88

SF-3b

SERRA A PADIGLIONE CON COPERTURA FOTOVOLTAICA

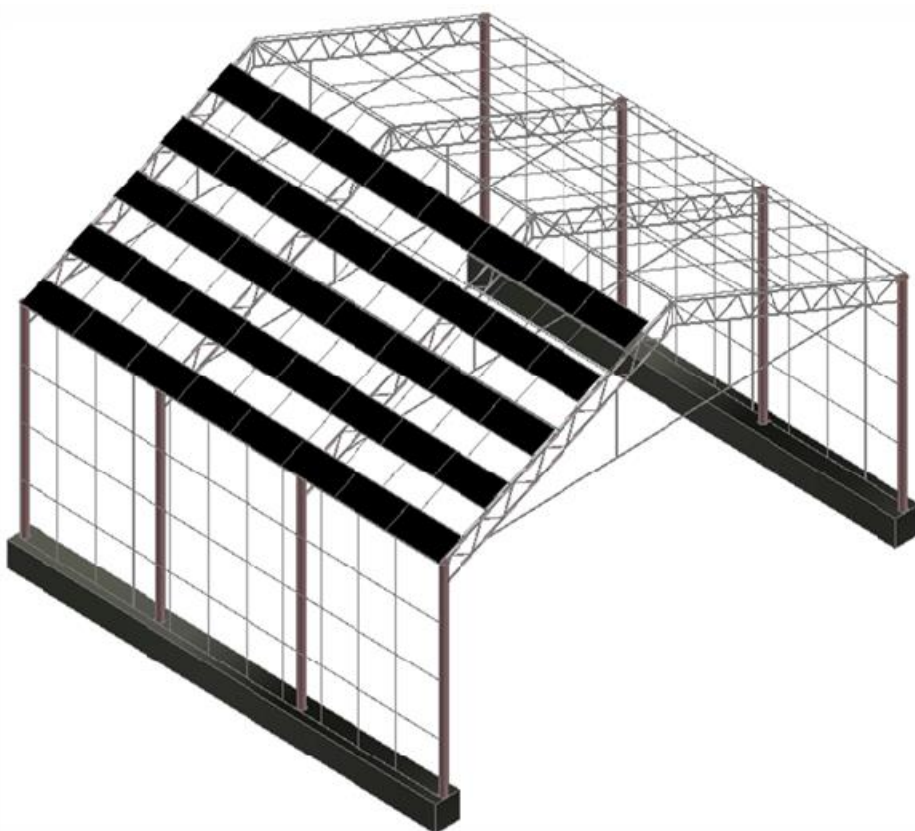


Fig. 89

SF-3c

SERRA A PADIGLIONE CON COPERTURA FOTOVOLTAICA

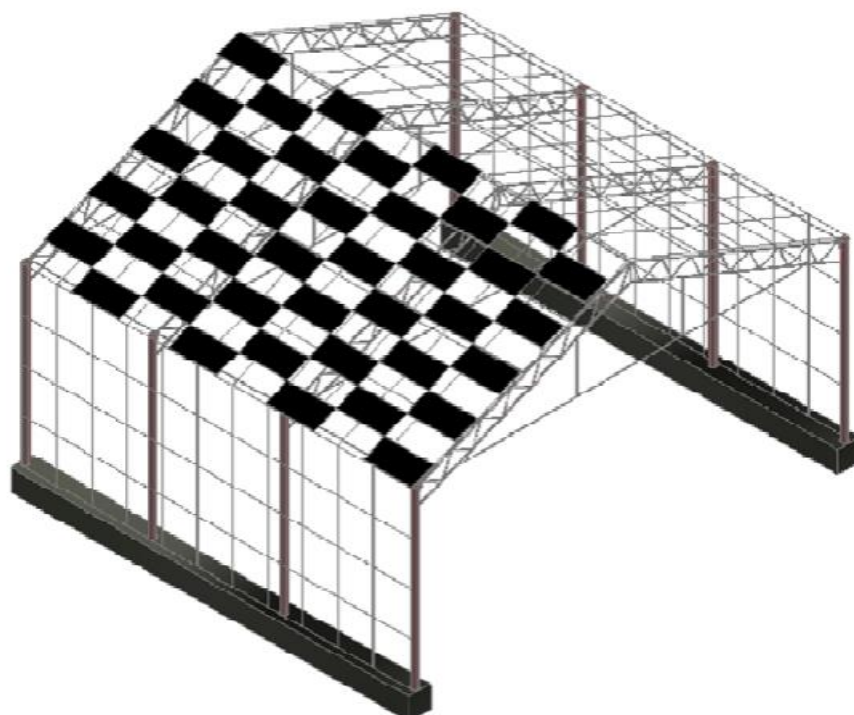


Fig. 90

SF-4a

SERRA VENLO CON COPERTURA FOTOVOLTAICA

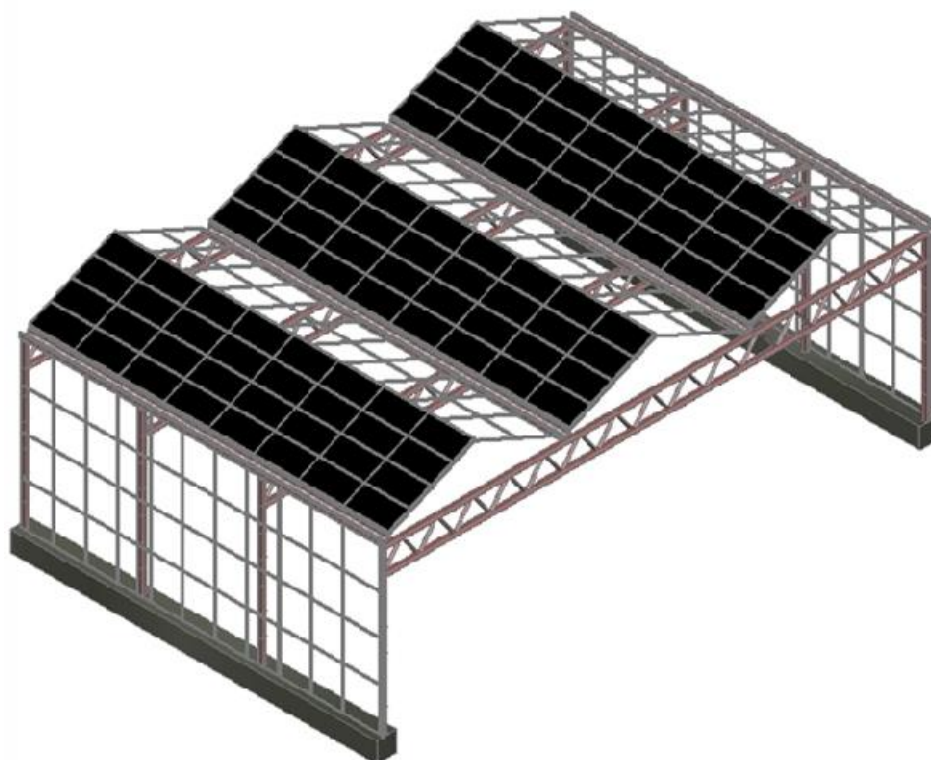


Fig. 91

SF-4b	SERRA VENLO CON COPERTURA FOTOVOLTAICA
-------	--

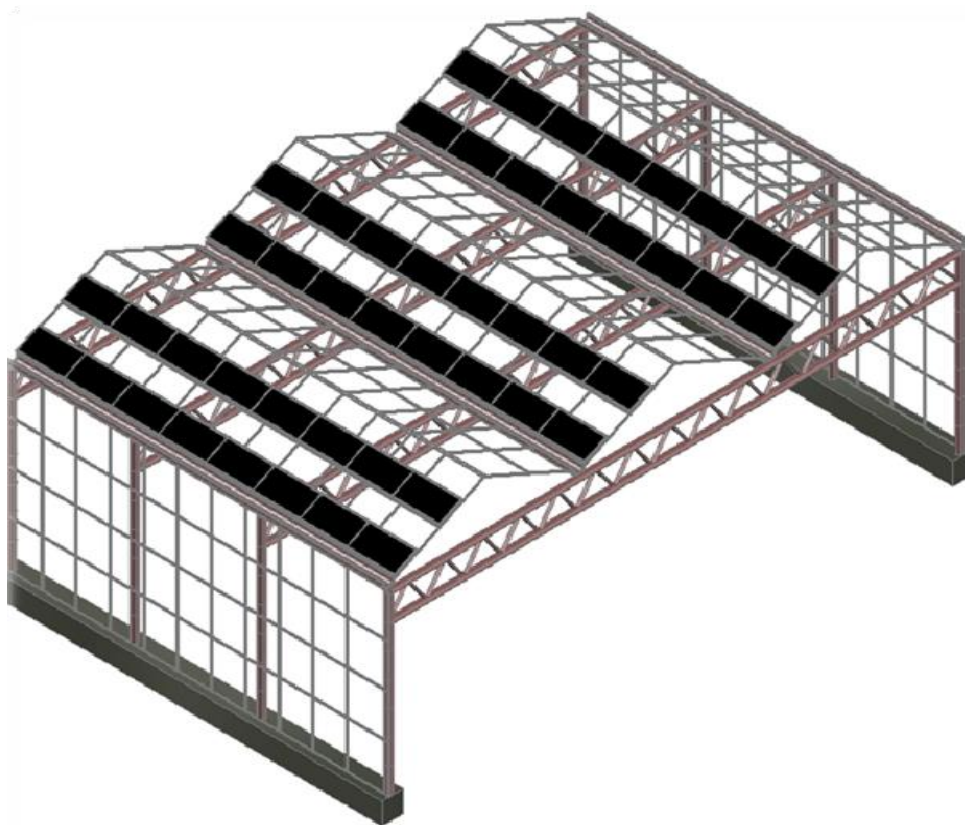


Fig. 92

SF-4c	SERRA VENLO CON COPERTURA FOTOVOLTAICA
-------	--

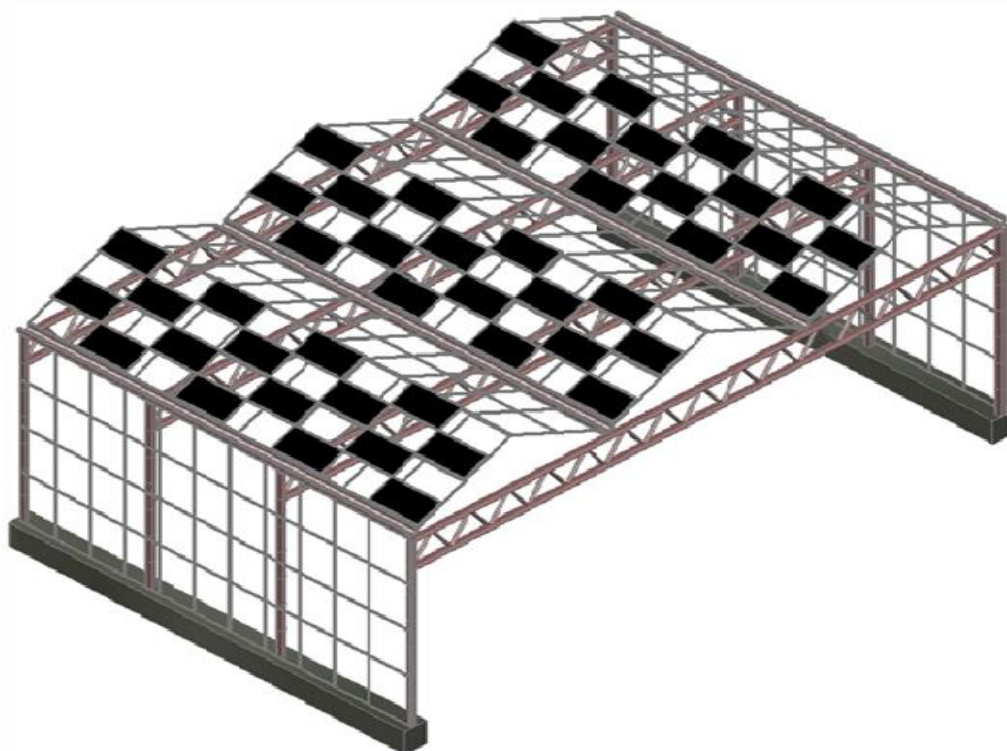


Fig. 93

Dallo studio effettuato emerge, a nostro avviso, che per tutte le tipologie di serre sono da preferire le coperture fotovoltaiche a scacchiera o a file orizzontali con pannelli aventi ridotta larghezza al fine di aumentare il più possibile l'uniformità di ombreggiamento delle colture allevate nell'ambiente protetto.

2. verifica possibilità di sviluppare una Smart Grid per serre FV

La possibilità di mettere in rete le serre fotovoltaiche all'interno di una Smart Grid è stata valutata anche sulla base dei dati forniti dal Consorzio Ingauno Energia Pulita avente sede ad Albenga che ha realizzato una mappa sotto riportata degli impianti FV installati su abitazioni private (num. 168) e installati su apprestamenti protetti di aziende agricole (num. 52) della piana di Albenga. Tale mappa è riportata qui sotto (Fig. 94).

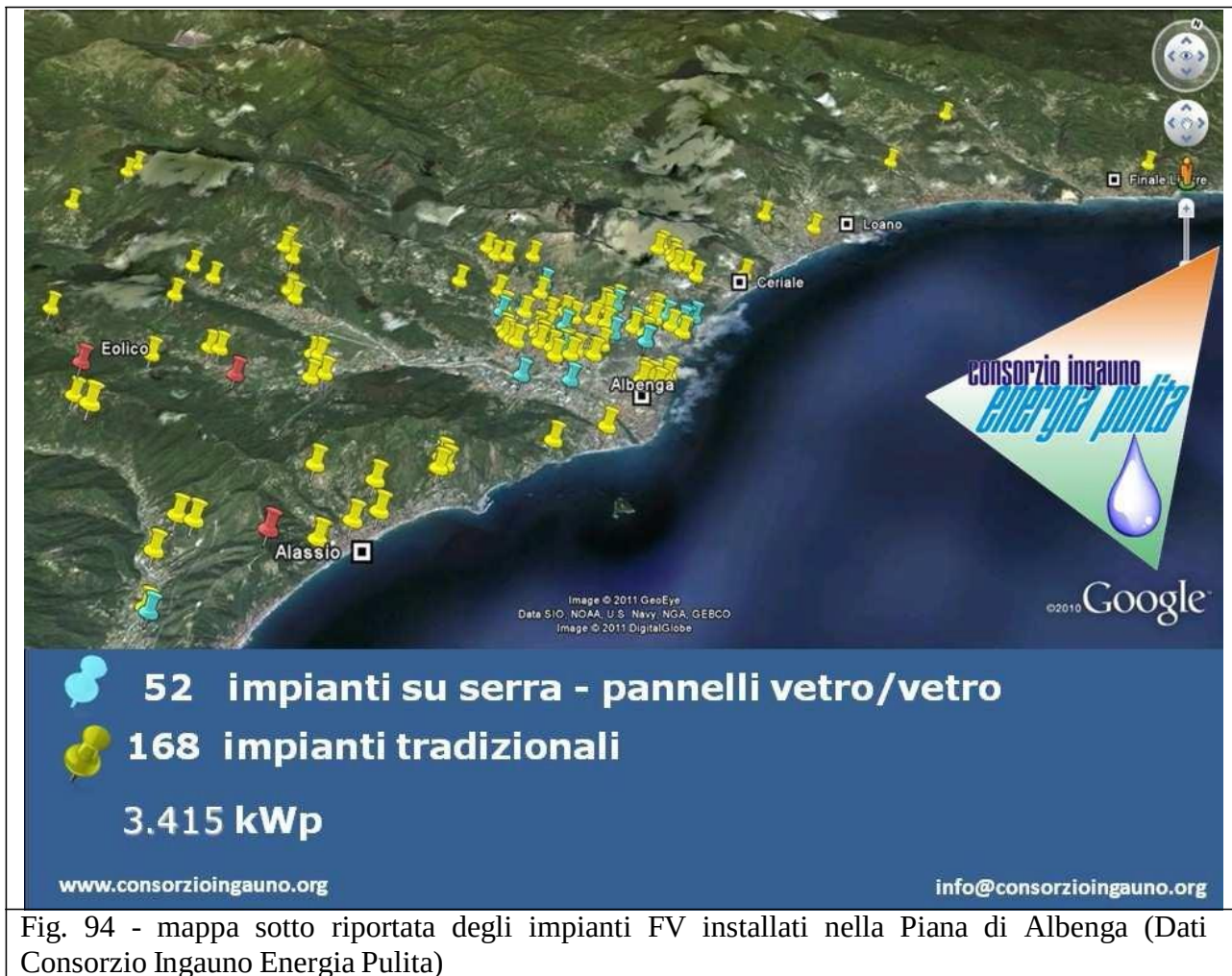


Fig. 94 - mappa sotto riportata degli impianti FV installati nella Piana di Albenga (Dati Consorzio Ingauno Energia Pulita)

Il censimento degli impianti collocati su serra (fonte: GSE), riportato nella tabella sottostante (Tabella 11), mostra a livello regionale il numero di pratiche e la potenza (in kw) degli impianti fotovoltaici collocati su serra incentivati per ogni Conto Energia.

Tabella 11 – Distribuzione a livello nazionale degli impianti FV collocati su serra (Fonte: GSE)

REGIONE	2° Conto Energia		3° Conto Energia		4° Conto Energia		5° Conto Energia	
	NUMERO PRATICHE	POTENZA (kW)	NUMERO PRATICHE	POTENZA (kW)	NUMERO PRATICHE	POTENZA (kW)	NUMERO PRATICHE	POTENZA (kW)
ABRUZZO	5	1.387			3	892		
BASILICATA	12	10.982	3	201	1	17	1	20
CALABRIA	41	20.145	20	5.407	58	47.285	1	60
CAMPANIA	24	5.477	4	73	22	6.128	4	935
EMILIA ROMAGNA	34	9.807	13	4.952	19	10.509	3	875
FRIULI VENEZIA GIULIA	9	683			1	321		
LAZIO	20	20.454	6	3.334	12	11.545	5	935
LIGURIA	78	8.454	14	214	49	3.050	15	1.004
LOMBARDIA	27	12.220	8	1.932	12	7.099	1	99
MARCHE	18	6.819	3	1.948	5	1.376	1	12
MOLISE	4	319			1	993		
PIEMONTE	43	18.947	8	1.807	11	6.789	3	115
PUGLIA	61	20.816	5	751	28	14.741	4	299
SARDEGNA	32	51.838	12	10.179	38	100.025	4	109
SICILIA	142	41.903	49	11.616	128	51.867	54	11.268
TOSCANA	12	1.840	2	97	2	117	3	31
TRENTINO ALTO ADIGE	21	1.795	1	42	2	688		
UMBRIA	7	850	1	1.935	2	138	2	231
VENETO	33	12.230	7	2.221	20	9.784	6	1.804
ITALIA	623	246.966	156	46.707	414	273.364	107	17.797

Questi dati hanno integrato quelli dei censimenti ISTAT, al fine di elaborare una serie di indicatori utili, e un'elaborazione mediante il programma arcGis per osservare più attentamente dove gli impianti fotovoltaici collocati su serra hanno avuto un risultato.

- *Numero di pratiche emesse per impianti incentivati e collocati su serra, per ogni conto energia* (Fig. 95). Nel tempo si concentrano nelle regioni insulari, meridionali e della pianura padana.

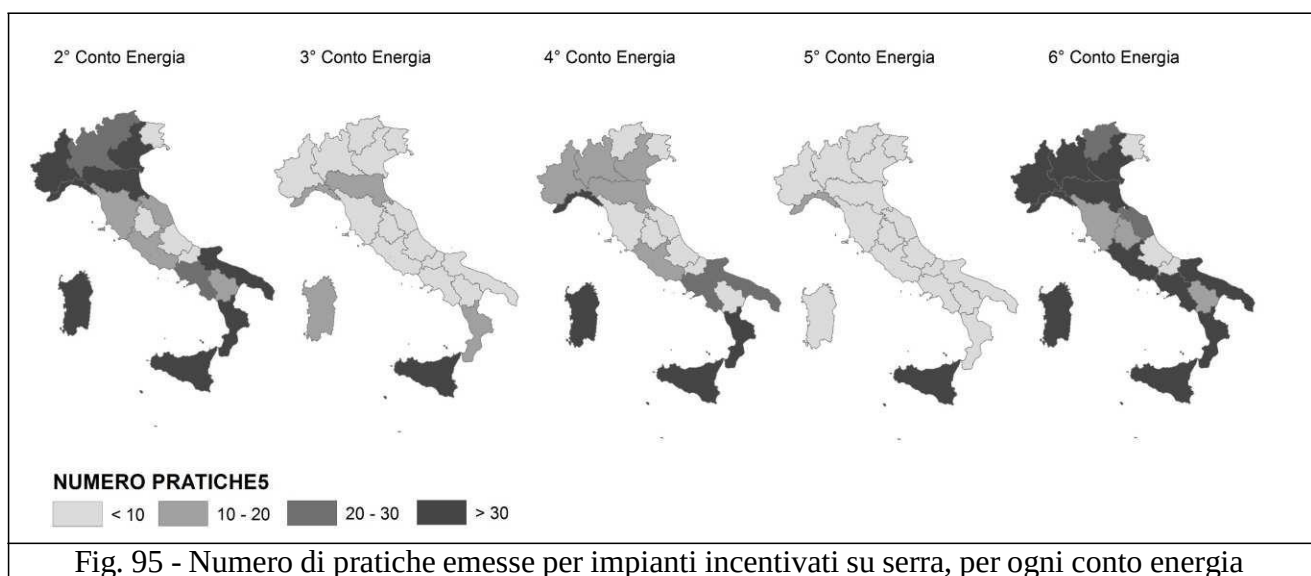
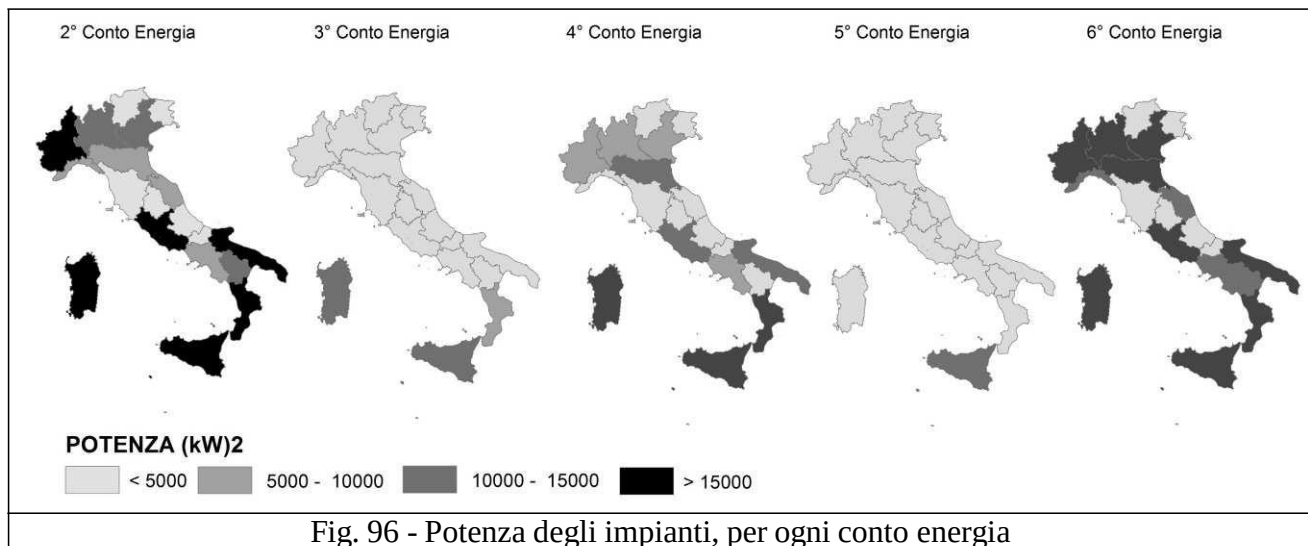
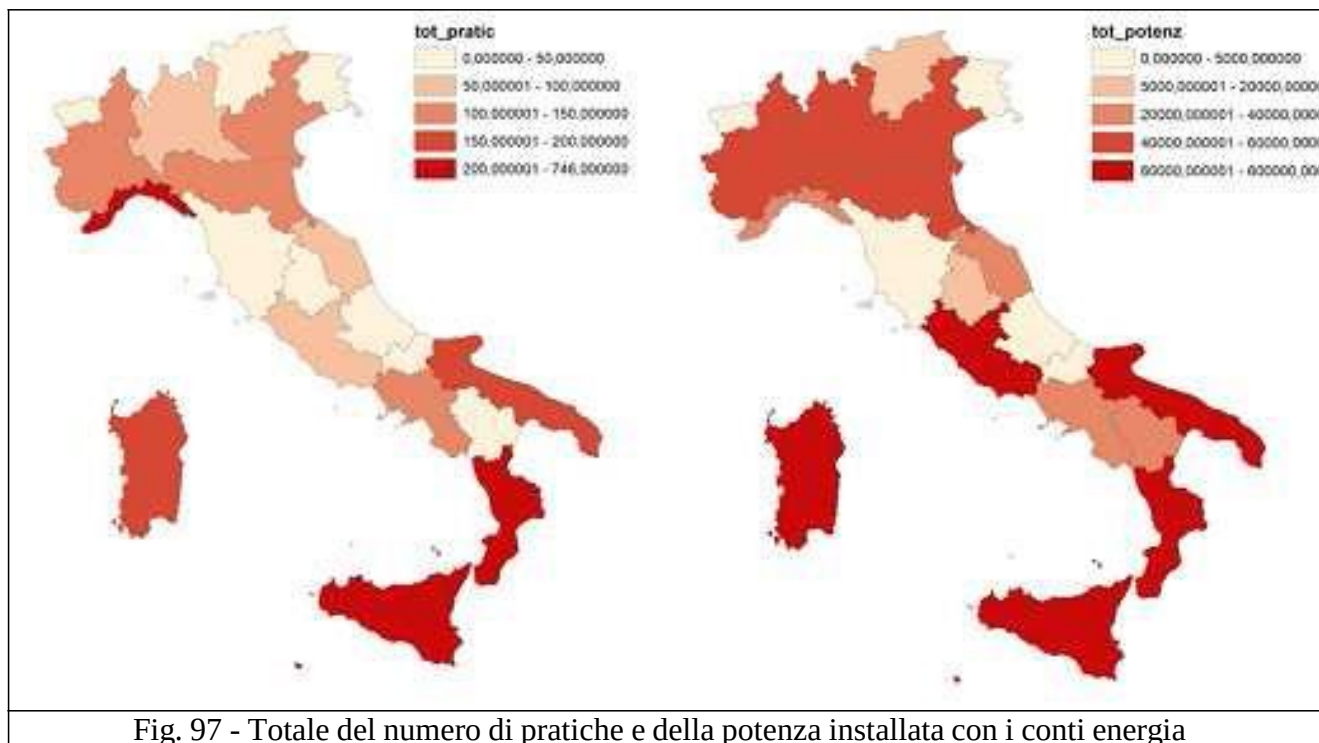


Fig. 95 - Numero di pratiche emesse per impianti incentivati su serra, per ogni conto energia

- *Potenza degli impianti, per ogni conto energia* (Fig. 96). La maggiore potenza installata si stabilisce sempre regioni insulari, ma anche in certe aree centrali (Lazio), meridionali (Puglia e Calabria) e della pianura padana.



- *Totale del numero di pratiche e della potenza installata con i conti energia* (Fig. 97). Spiccano Sicilia e Calabria, per entrambi gli indicatori.



- *Potenza / numero di pratiche* (Fig. 98). Gli impianti più potenti si collocano in Piemonte, Lombardia, Lazio, Sardegna e Calabria. Nonostante la Sicilia si attesti come l'area di maggior successo per i conti energia, i relativi impianti sono di taglia media. La Liguria invece ha numerose serre con FV, ma di limitata potenza.

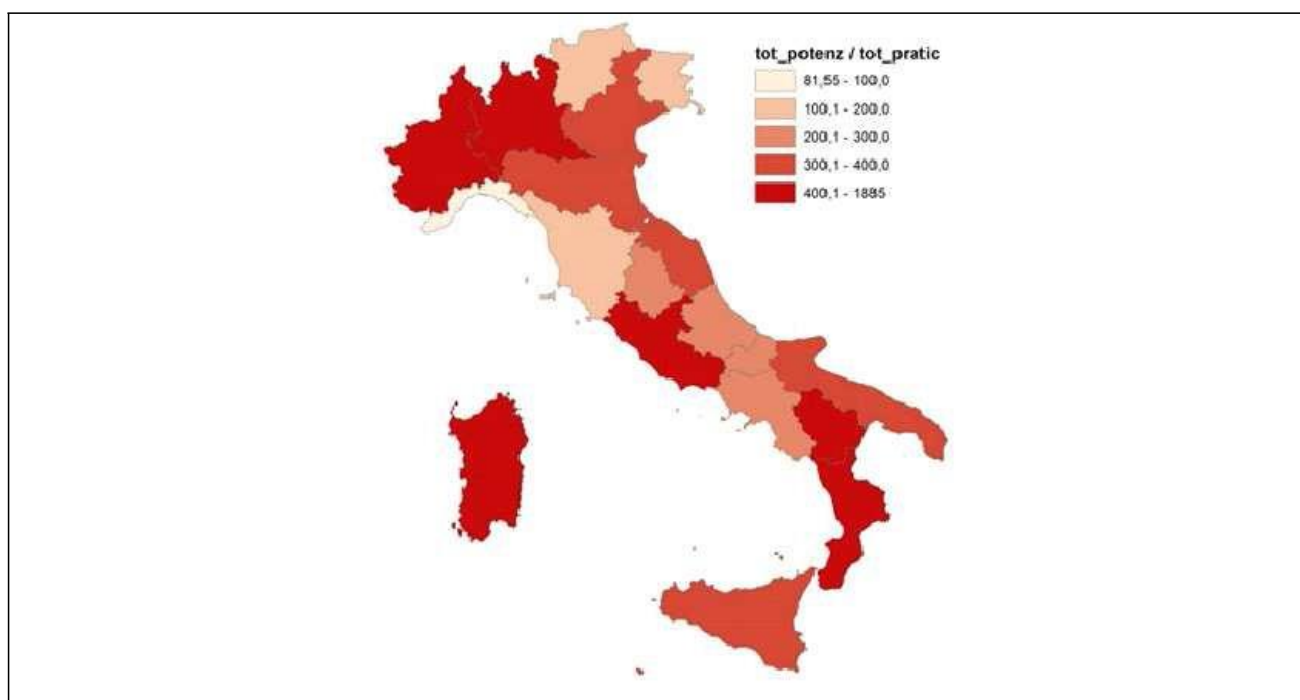


Fig. 98 – Potenza su numero di pratiche

- *Superficie totale (ettari) e produzione totale (quintali) per ortaggi coltivati in serra* (Fig. 99). L'integrazione con i dati ISTAT consente di verificare se esiste un nesso con l'elemento del fotovoltaico su serra con la presenza di serre nel territorio. Le coltivazioni di ortaggi in serra si concentrano in Sicilia, Lazio, Campania e Veneto, a parità di superficie totale impiegata e produzione, considerando la media dei dati riguardanti gli anni in cui i conti energia sono presenti (fonte: Istat).

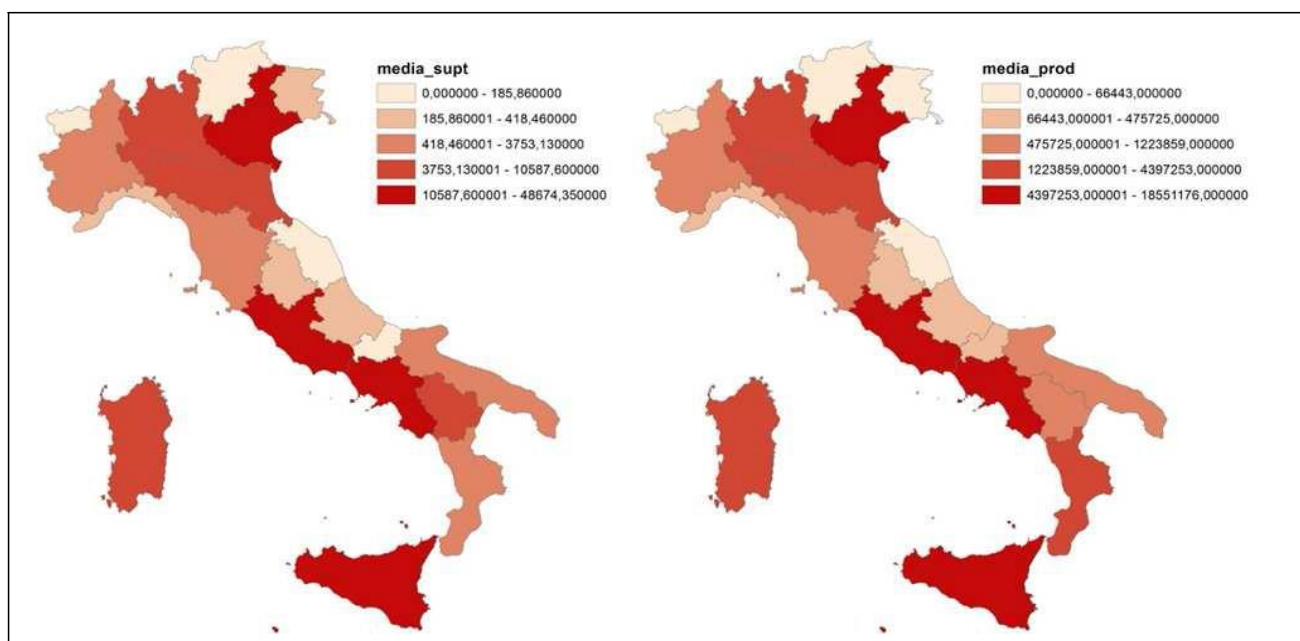


Fig. 99 - Superficie totale (ha) e produzione totale (quintali) per ortaggi coltivati in serra

- *Superficie tot. coltiv. in serra / n. pratiche* (Fig. 100 a sinistra)
- *Superficie tot. coltiv. in serra / potenza* (Fig. 100 a destra)

L'indicatore “Superficie totale (ettari per ortaggi coltivati in serra) / Totale del numero di pratiche o potenza installata” consente di osservare diverse tipologie regionali:

Sicilia: maggiore Superficie totale, maggiore numero di pratiche e di potenza

Veneto, Lazio: maggiore Superficie totale, minore numero di pratiche, maggiore potenza

Campania, Toscana: maggiore Superficie totale, minore numero di pratiche e di potenza

Liguria: minore Superficie totale, maggiore numero di pratiche, minore potenza

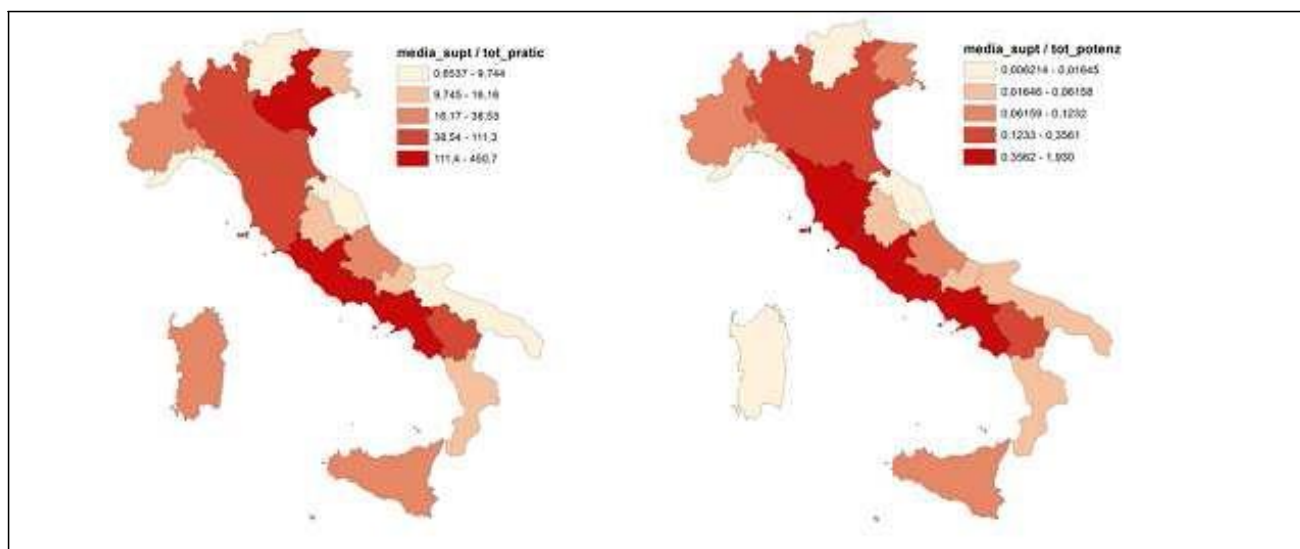


Fig. 100 – Sup. tot. coltivata in serra/n. pratiche (sx) e sup. tot. coltivata in serra/potenza (dx)

- *Produzione coltivazioni in serra / n. pratiche* (Fig. 101 a sinistra)
- *Produzione coltivazioni in serra / potenza* (Fig. 101 a destra)

L'indicatore “Produzione totale (quintali di ortaggi coltivati in serra) / Totale del numero di pratiche o potenza installata” consente di osservare diverse tipologie regionali:

Sicilia: maggiore Produzione totale, maggiore pratiche e anche maggiore potenza

Veneto, Lazio: maggiore Produzione totale, minore pratiche, maggiore potenza

Campania: maggiore Produzione totale, minore pratiche e di potenza

Liguria: minore Produzione totale maggiore pratiche, minore potenza

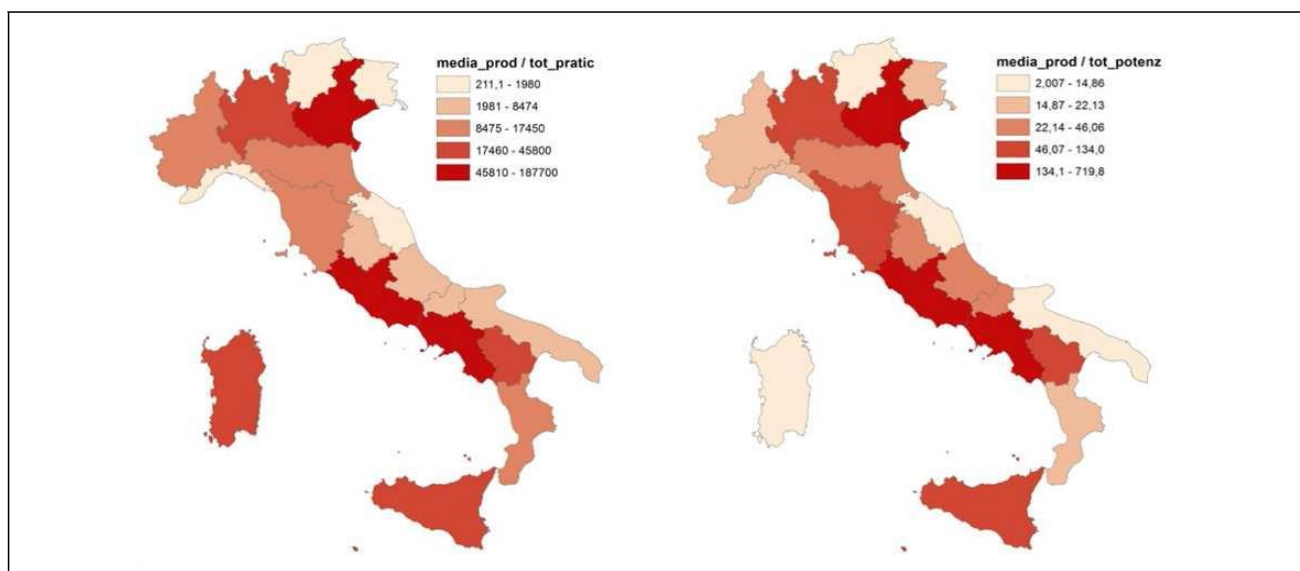


Fig. 101 – Sup. tot. coltivata in serra/n. pratiche (sx) e sup. tot. coltivata in serra/potenza (dx)

- *Impianti fotovoltaici: focus distribuzione impianti su serra/pensilina* (Fig. 102)

Distribuzione per impianti fotovoltaici su serra/pensilina (MW) - Ca 1,1 GW di impianti su serra/pensilina in Italia, con Sardegna, Sicilia e Puglia top 3 regioni (Fonte: analisi su dati GSE – Rapporto statistico 2014).

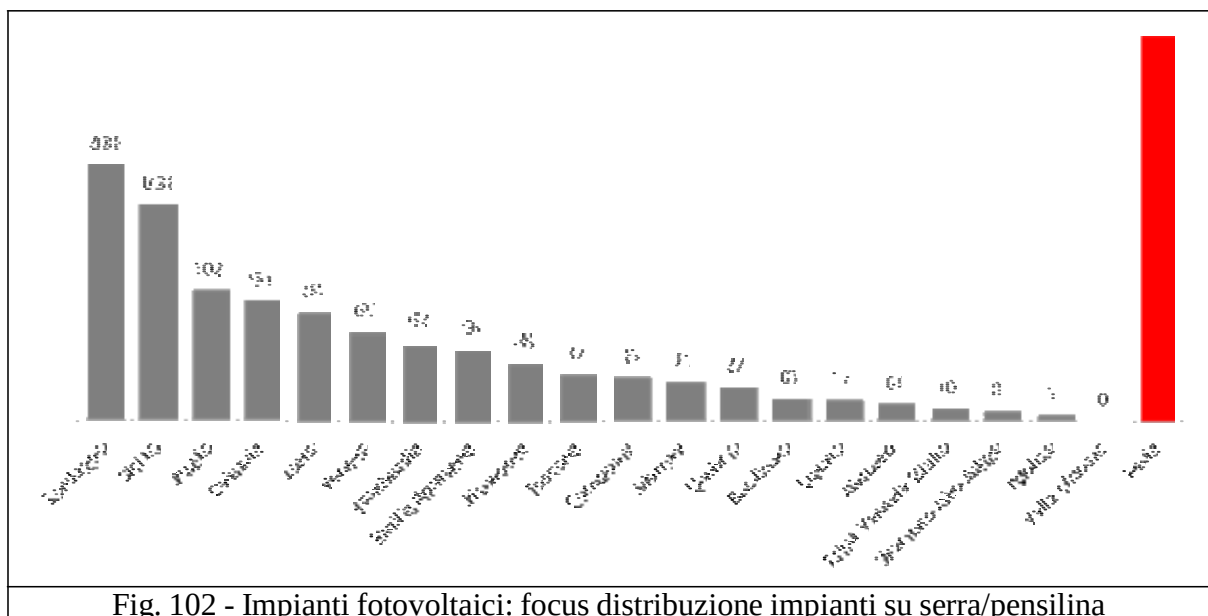


Fig. 102 - Impianti fotovoltaici: focus distribuzione impianti su serra/pensilina

- *Impianti fotovoltaici: stima produzione impianti su serra/pensilina* (Fig. 103)

Stima produzione per impianti fotovoltaici su serra/pensilina (GWh) - Ca 1,4 TWh prodotto da impianti su serra/pensilina in Italia. Si considera la produzione stimata considerando la radiazione del database PVGS, un PR pari a 80% e una *availability* pari a 98% (Fonte: analisi su dati GSE – Rapporto statistico 2014).

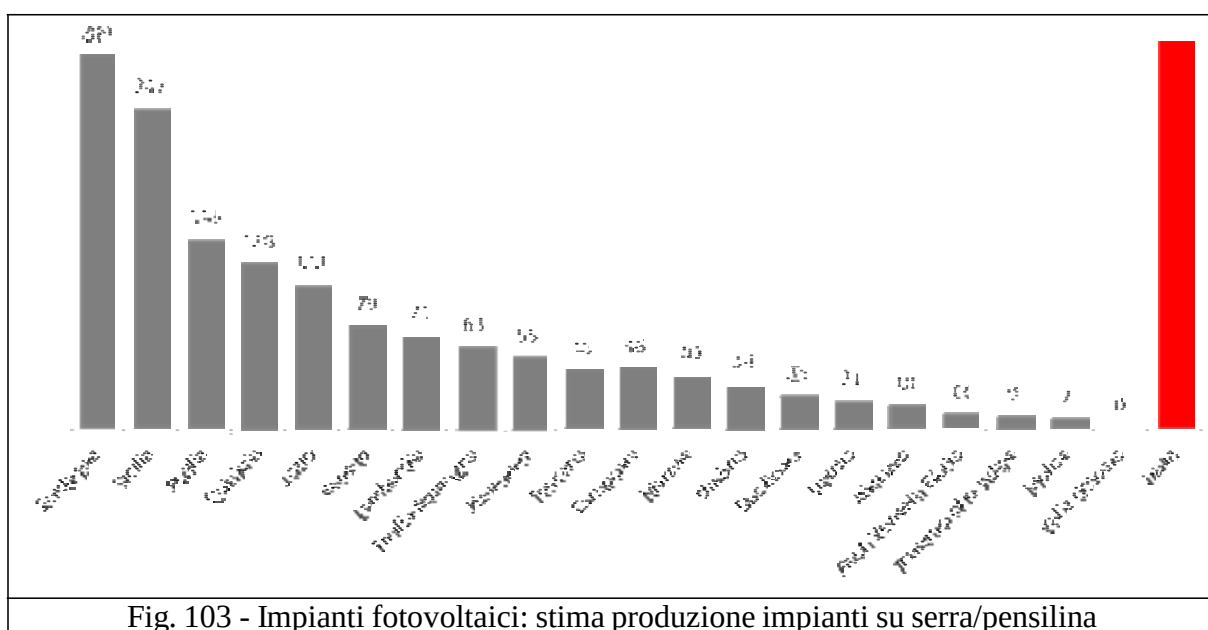


Fig. 103 - Impianti fotovoltaici: stima produzione impianti su serra/pensilina

In sintesi nella tabella sottostante (Tabella 12) si riporta una stima della produzione degli impianti su serra/pensilina (Fonte: analisi su dati GSE – Rapporto statistico 2014).

Tabella 12

Assumptions:

Database Irraggiamento: PVGIS Classico su Capclughi di Regione

PR: 80%

Avvitabilità: 98%

Regione	MW	Irraggiamento lordo (h)	Irraggiamento netto (h)	Produzione (GWh)
Sardegna	200	1.840	1.445	289
Sicilia	168	1.870	1.466	247
Puglia	102	1.820	1.427	146
Calabria	94	1.730	1.356	126
Lazio	84	1.680	1.317	111
Veneto	69	1.460	1.145	79
Lombardia	62	1.470	1.152	71
Emilia Romagna	56	1.430	1.121	63
Piemonte	45	1.560	1.223	55
Toscana	37	1.540	1.207	45
Campania	35	1.690	1.325	46
Marche	31	1.660	1.301	40
Umbria	27	1.600	1.254	34
Basilicata	18	1.790	1.403	25
Liguria	17	1.560	1.223	21
Abruzzo	14	1.630	1.278	18
Friuli Venezia Giulia	10	1.470	1.152	12
Trentino-Alto Adige	8	1.390	1.090	9
Molise	5	1.710	1.341	7
Valle d'Aosta	1	1.600	1.254	0
Italia	1.080	1.701	1.334	1.445

5. **DUED** (sviluppo di un approccio metodologico di supporto per verificare la possibilità di integrazione tra FV e coltivazione)

Messa a punto di un approccio tecnico e metodologico che possa essere di supporto alla *due diligence* progettuale e finanziaria e agli sviluppatori fotovoltaici finalizzata alla creazione di criteri per la valutazione ex-ante e ex-post della possibilità di integrare produzione agraria e produzione agricola/fotovoltaica sul medesimo fondo.

L'esperienza acquisita dal CeRSAA negli ultimi anni su questa specifica tematica, derivata dalla collaborazione con importanti gruppi bancari coinvolti nelle diverse fasi di studio e concessione di finanziamenti per la realizzazione di impianti fotovoltaici in campo agricolo ed in particolare su serre ha condotto alla convinzione che sia necessario un approccio metodologico più attento anche alle istanze agronomiche.

Nelle pagine seguenti si riporta un documento di sintesi utilizzabile come strumento cognitivo di base per avviare una *due diligence*, possibilmente da effettuare *ex ante*. In passato, a fronte di incentivi molto importanti concessi al fotovoltaico, molte indagini sono state effettuate soltanto *ex post*, anziché *ex ante*.

La due diligence

In termini generali, una *Due Diligence* deve tenere conto di una serie di rischi e di opportunità che offre l'investimento. Appurato il fatto che una *Due Diligence* bancaria riguarda, come opportunità, all'utile che l'investimento può produrre, i rischi sono diversi per natura e caratteristiche e possono essere contenuti all'interno di una matrice analoga a quella sotto riportata (Tabella 13).

Tabella 13 - *Matrice dei rischi*

	Costruttore	Gestore	Controparti finanziarie	Sviluppatori	Pubblica Amministrazione	Fornitori	Assicurazioni	
Rischi tecnologici								Rischi di tutti gli impianti
Rischi di costruzione								
rischi di sicurezza								
Rischi finanziari e rischi puri								
Rischi operativi								Rischi per particolari impianti FV
Rischio Paese e politici								
Rischi danni ambientali								
Rischi commerciali								
Rischi autorizzativi								
Rischi normativi								

Esaminando il problema dal punto di vista degli atti progettuali (progettazione, contrattistica, determinazione delle produzioni, ...) è possibile integrare lo schema precedente con il seguente (Tabella 14).

Tabella 14

Dimensione	Rischi	Interventi
Contrattuale	• Complessità del modello contrattuale che vede coinvolte più parti (proprietario terreno, partner agricolo e produttore di energia); • Imprevedibilità dell'impegno a coltivare del partner agricolo per 20 anni	• Utilizzare standard contrattuali solidi • LOI firmata ad inizio sviluppo con partner agricolo, seguito da un contratto vero e proprio
Agronomica	• Non ci sono ancora idee chiare sulle coltivazioni più adatte e redditizie per le serre fotovoltaiche (problema connesso anche alla polizza assicurativa) • Rischio di fare una serra che non funzioni per uno dei partner	• Scegliere un partner agricolo solido ed esperto fin nella fase di sviluppo
Tecnica	• Trade-off: realizzare una serra che non funzioni o per la produzione di energia o per la coltivazione stessa (punti critici: luminosità, aereazione, riscaldamento)	• Dialogo costante e aperto col partner agricolo: "cedere" qualcosa non significa affossare l'IRR del progetto • Corretta selezione del sito dove installare la serra
Autorizzativa	• L'iter autorizzativo presenta delle complessità perché varia da regione a regione • Tempi lunghi per l'elettrodotto: rischio di perdere gli incentivi esistenti	• Studiare approfonditamente la normativa locale • Non sottovalutare le tempistiche necessarie ad autorizzare il collegamento
Bancaria /Finanziaria	• Perdita dell'incentivo e/o dell'autorizzazione ad operare in serra se viene meno la coltivazione • Ricorsi amministrativi contro autorizzazione a operare la serra	• Due diligence approfondita su partner agricolo • Dialogo con gli istituti finanziari per trasferire "know-how" • Accordi con amm.ni locali • Risk sharing con EPC

Le verifica tecniche sui progetti

Le verifiche tecniche di tipo agronomico devono essere eseguite sia in campo, sia sulla base della documentazione fornita e delle dichiarazioni rese dai proponenti.

Normalmente, la documentazione si compone di un fascicolo contenente il programma generale degli investimenti e il piano generale agronomico (produzioni, finalità e destinazioni produttive). Una serie di fascicoli tecnici devono contenere una relazione agronomica di dettaglio che contenga l'analisi di tutti i fattori produttivi in entrata e quelli in uscita. Poiché il fattore limitante è la luce, particolare attenzione andrà posta alle dichiarazioni del costruttore e del tecnico agronomo in merito alle potenzialità produttive, senza trascurare le caratteristiche costruttive e termodinamiche delle strutture, nonché il substrato di coltivazione e la disponibilità di acqua, di manodopera specializzata e di collegamento viario. In ultimo, attenzione andrà posta sulle produzioni attese e la loro qualità.

Nel dettaglio, i controlli sia ingegneristici che agronomici (sottolineati) andranno eseguiti su:

1. Valutazione dello stato di fatto
2. Località e stato dei luoghi
3. Logistica
4. Irraggiamento medio
5. Orientamento dell'impianto
6. Eventuali consumi utenza (se autoconsumo)
7. Verifica tecnica sul progetto
8. Valutazione della qualità dei materiali
9. Moduli fotovoltaici
10. Inverter
11. Componenti accessori di impianto
12. Componenti per allaccio alla rete
13. Valutazione della produttività prevista
14. Calcoli secondo norma UNI 10349
15. Utilizzo di Software specifici (PVGis; SunSim; PVSyst4.36)
16. Qualità della relazione agronomica
17. Tipo di suolo/substrato
18. Scelta delle specie
19. Programma di produzione
20. Programma di commercializzazione
21. Approvvigionamento e qualità dell'acqua
22. Approvvigionamento delle altre materie prime
23. Meccanizzazione disponibile
24. Competenza della direzione agricola
25. Disponibilità di manodopera specializzata e non specializzata
26. Analisi del bilancio della produzione agricola

Nell'ambito delle azioni DUED e CENS, l'Istituto Regionale, ha preparato un questionario (che si allega alla presente relazione – Questionario integrazione FV e coltivazione) rivolto alle aziende del territorio che hanno adottato sulle serre, ad integrazione della produzione, sistemi fotovoltaici. I tecnici hanno effettuato visite ad alcune delle aziende più rappresentative del territorio (Fig.104) sottoponendo il questionario ai titolari che hanno fornito informazioni circa la loro produzione agricola, la produzione energetica, le motivazioni, il grado di soddisfazione e le eventuali problematiche riscontrate nel corso della gestione dell'impianto FV. Seppur esiguo il numero di aziende intervistate, le informazioni ottenute sono state di sicuro interesse e, tenuto conto delle caratteristiche del territorio e del tessuto imprenditoriale della zona interessata, anche sufficientemente rappresentative. La zona interessata dalle interviste è stata quella compresa tra il comune di Sanremo e di Ventimiglia per una decina di aziende intervistate.

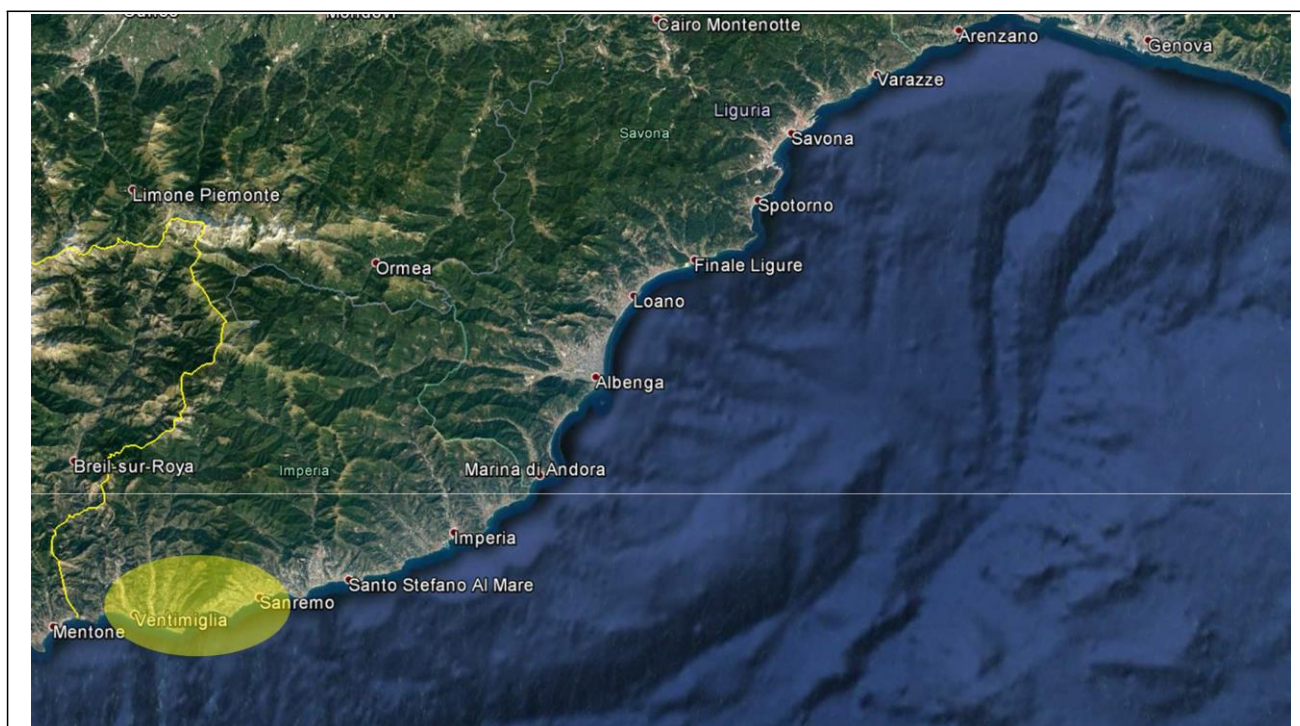


Fig. 104 – Area oggetto dell'indagine

Dall'indagine effettuata le informazioni indicative che si sono potute ricavare possono essere raggruppate in 4 aspetti fondamentali:

- Tipologia aziendale

Le aziende intervistate, in linea con il tessuto delle aziende agricole del territorio, sono state tutte di piccola/media estensione (da un minimo di 0,5 fino a 3 ha) con una produzione molto varia, spesso differenziata all'interno della stessa azienda. Generalmente le coltivazioni interessate dalla copertura FV sono state soprattutto quelle relative alla produzione di verde ornamentale (fogliame

e fronde verdi), minori invece quelle relative alla produzione da fiore reciso (strelitzia e ortensia) e piante ornamentali in vaso (piante grasse e succulenti).

- Tipologia e caratteristiche dell'impianto

Per quanto riguarda la tipologia degli impianti installati, la quasi totalità ha installato pannelli in silicio policristallino e la quasi totalità ha optato per una copertura totale (o quasi totale) delle falde interessate dal sistema fotovoltaico, che si traduce con un maggiore ombreggiamento della superficie coltivata sottostante. Per quanto riguarda la tipologia di connessione alla rete la quasi totalità delle aziende ha optato per un impianto di tipo “grid-connected”, con una immissione nella rete nazionale della corrente prodotta, nessuno fa autoproduzione (stand-alone) mentre solo una ha un impianto di tipo “ibrido” (Fig 105).

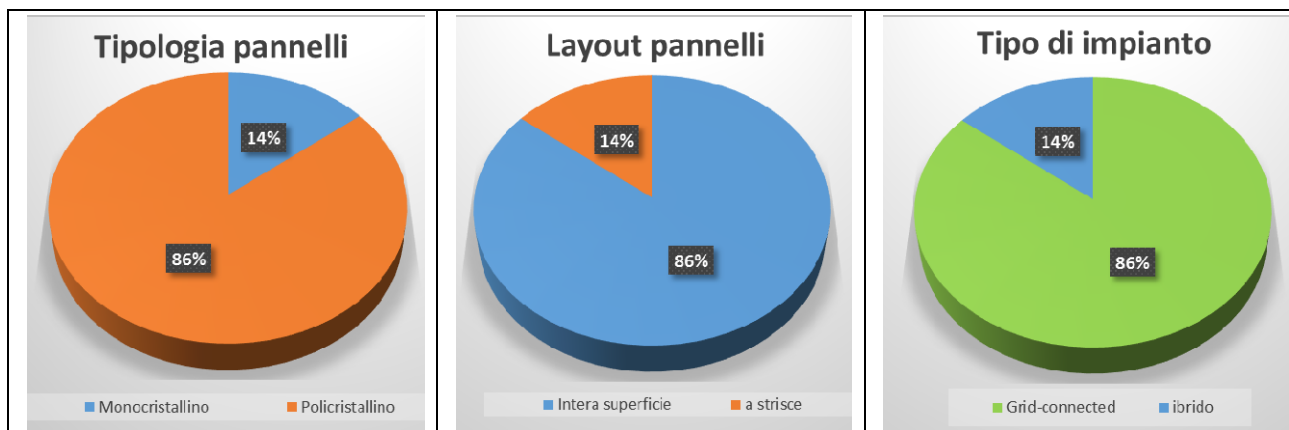


Fig. 105 – Tipologie e caratteristiche degli impianti delle aziende interessate al sondaggio.

- Produzione di energia

Considerando un'età media degli impianti di circa 6 anni, la produzione media per azienda è stata di quasi 360 kWh/anno, con una produzione per totale degli intervistati, nei sei anni di attività, di circa 14,5 MW.

- Impressioni dell'imprenditore

L'80 % del campione ha effettuato l'installazione grazie agli incentivi dei vari Conti Energia e la totalità delle aziende ha puntato a massimizzare il ritorno economico derivante dalla produzione di energia; questo il motivo dello sfruttamento massimo della superficie utilizzabile per i pannelli FV, con la creazione di un ambiente critico per la produzione. Solo una delle aziende intervistate ha effettuato la scelta anche per un recupero della superficie aziendale.

Di tutti i titolari intervistati infatti il 30% era poco soddisfatto della produzione floricola; solo in determinate condizioni, con presenza di serre ampie e con tetto alto, e quindi con condizioni di luminosità meno limitanti, la produzione è stata accettabile sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. Nel complesso la produzione è stata tuttavia stentata e di scarsa qualità.

Dal punto di vista della produzione di energia, al contrario tutte le aziende sono state molto soddisfatte, anche se le complicazioni burocratiche per l'avvio delle pratiche e l'installazione hanno diminuito il grado di soddisfazione per il 30% degli intervistati (Fig 106).

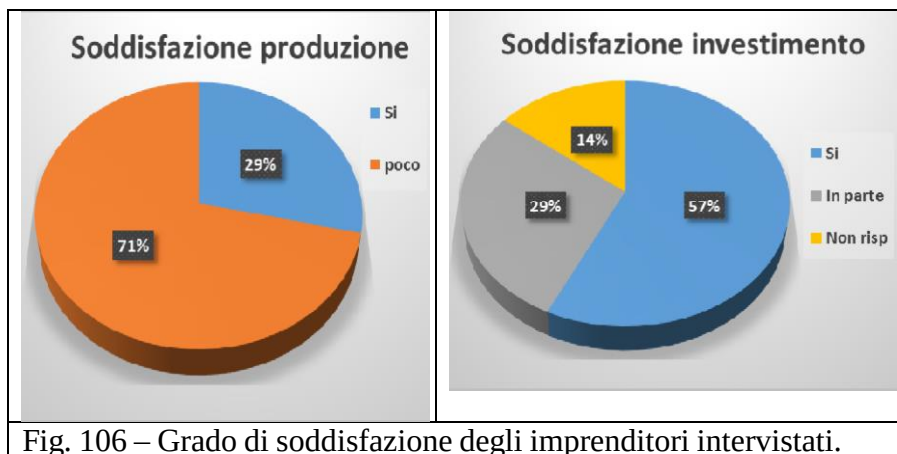


Fig. 106 – Grado di soddisfazione degli imprenditori intervistati.

Complessivamente l'indagine ha evidenziato l'esigenza, da parte delle aziende che hanno investito, per differenti ragioni, nella tecnologia fotovoltaica ad integrazione alla produzione, di un supporto da parte della ricerca per permettere di sfruttare al meglio la superficie agricola sottostante le pannellature FV, questo per migliorare la loro produzione e pe non incorrere in sanzioni a seguito di controlli del GSE. Tale supporto potrebbe essere sia strettamente agronomico che tecnico. Dal punto di vista agronomico esiste l'esigenza di avere maggiori indicazioni, più precise e per un numero più vasto di colture, sulle esigenze e sulla adattabilità alle particolari condizioni create dalla presenza dei pannelli, considerando tuttavia le limitazioni dovute dalla domanda del mercato, soggetta a mode e tendenze e quindi in continuo cambiamento.

Dal punto di vista tecnico potrebbe essere utile invece considerare la possibilità di utilizzare parte dell'energia prodotta per alimentare una illuminazione artificiale a basso consumo (come ad esempio le lampade a LED) per sopperire alla diminuzione della luce naturale.

Sulla base delle informazioni già oggi disponibili (<http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/doc/106e.pdf>) e a seguito di specifico incrocio di tali informazioni con altre derivanti da altre fonti (es. GSE, Servizi Fitosanitari Regionali, Ispettorati Agrari, ...) è possibile realizzare un censimento delle serre FV esistenti in Italia.

Il CeRSAA, per l'area di Albenga e per quella di Sanremo, in collaborazione con il Consorzio Ingauno Energia Pulita ha effettuato una valutazione delle installazioni. Per l'area ingauna le valutazioni sono state particolarmente approfondite. Alcune informazioni sono state utilizzate per la redazione del capoverso **“VERIFICA DELLA POSSIBILITÀ DI METTERE IN RETE LE SERRE FOTOVOLTAICHE ALL'INTERNO DI UNA SMART GRID (SMGR)”**.

Il censimento è stato effettuato:

- effettuando sopralluoghi diretti nelle aree agricole a maggiore concentrazione serricola (Albenga, per il CeRSAA)
- realizzazione di interviste dirette rivolte a tecnici e imprenditori che hanno lavorato o investito nel settore delle serre fotovoltaiche,
- realizzazione di interviste dirette rivolte a Istituti di credito e sviluppatori fotovoltaici/consorzi impegnati nel settore.

Inoltre, sono state annotate

- le tipologie delle serre su cui sono stati installati gli impianti FV
- le tipologie di installazione (tipo di materiale FV)
- le tipologie di pannellature (completamente oscuranti o semitrasparenti)
- le specie coltivate
- le rese produttive raggiunte, paragonate (in percentuale) rispetto a quelle ottenute dagli stessi imprenditori nelle medesime condizioni, ma senza copertura FV
- le problematiche colturali, fitopatologiche e gestionali eventualmente rilevate dagli imprenditori agricoli a seguito delle produzioni sotto impianti FV.

Tipologia di serre su cui sono stati installati gli impianti FV

Al fine di rendere omogenea la codifica della tipologia di serre su cui risultano installati gli impianti FV, si è scelto di basare il lavoro sulla codifica riconosciuta da EFSA e schematicamente riportata nella figura sottostante.

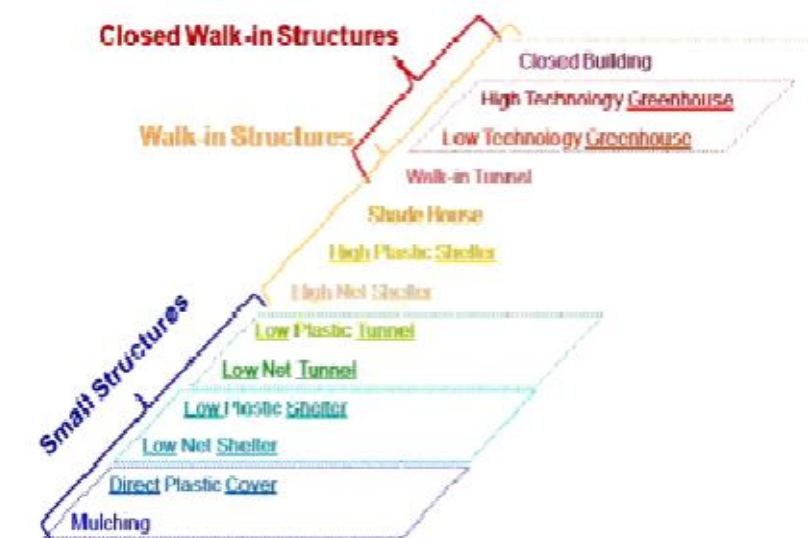


Fig. 107 - Tipologie di apprestamenti protetti

- **Low Net Shelter:** protezioni realizzate con rete ombreggiante utilizzati per coprire parti di piante coltivate, soprattutto per colture da frutto, per la protezione contro eventi meteorici o animali (in accordo con EFSA, 2008).
- **Low Plastic Shelter:** protezioni realizzate con materiali continui, utilizzati per la protezione di fruttiferi (es. vite) contro eventi meteorici e climatici in generale. In alcuni casi la copertura può essere discontinua (in accordo con EFSA, 2008).
- **Low Net Tunnel:** semplice copertura in rete, solitamente associata alla pacciamatura. Si tratta di una protezione temporanea, rimossa poco prima della raccolta (in accordo con EFSA, 2008).
- **Low Plastic Tunnel:** semplice copertura plastica solitamente associata alla pacciamatura. Si tratta di una protezione temporanea, rimossa poco prima della raccolta (in accordo con EFSA, 2008).
- **High Net Shelter:** copertura in rete realizzata per la protezione delle coltivazioni, contro l'eccessivo calore o luce e per la protezione contro animali. Impianti non chiusi (in accordo con EFSA, 2008).



- **High Plastic Shelter:** copertura plastica realizzata per la protezione delle coltivazioni, contro l'eccessivo calore o luce e per la protezione contro animali. Impianti non chiusi. (in accordo con EFSA, 2008).



- **Shade House:** ombraio chiuso in forma di tunnel o di piccolo serra. Utilizzo di reti colorate (prevalentemente bianche), con differenti valori di filtraggio della luce (anche oltre l'80%) (in accordo con EFSA, 2008).

- **Walk-In Tunnel:** strutture non riscaldate, realizzate con uno strato singolo di film plastico, supportato da archi o travi metalliche o in altro material (es. legno). Altezza e larghezza sono sufficienti per permettere l'accesso ed il lavoro dell'uomo. Strutture generalmente temporanee, rimosse a fine produzione (in accordo con EFSA, 2008).



- **Low Technology Greenhouse:** struttura accessibile per le lavorazioni, non mobile, coperta con film plastic, pannellature di material rigido trasparente o vetro. Dimensioni molto variabili; strutture prive di impianti e sistemi per il controllo del clima (in accordo con EFSA, 2008).



- **High Technology Greenhouse:** strutture ad alta tecnologia per la produzione orto-floricola, coperte con materiali rigidi trasparenti (policarbonato, vetro, ...) ed equipaggiati con sofisticati sistemi di controllo e gestione del clima, anche con sistemi computerizzati (in accordo con EFSA, 2008).



- **Closed Building:** strutture completamente chiuse per produzioni speciali che non richiedono luce in un'arte o in tutto il proprio ciclo produttivo (es. funghi, witloof).

Il risultato dell'indagine effettuata dal CeRSAA nell'area di Albenga e di Sanremo ha messo in evidenza che gli impianti FV risultano installati sulle seguenti tipologie di strutture:

Struttura	valore % (*)
High Plastic Shelter	2
Low Technology Greenhouse	10
High Technology Greenhouse	88

(*) Numero aziende rilevate: 35

Tipologie di installazione (tipo di materiale FV)

Le indagini e i sopralluoghi effettuati hanno messo in evidenza la forte prevalenza di impianti FV realizzati con Silicio, rispetto agli altri materiali. In proporzione, la distribuzione della tipologia di impianti in relazione al tipo di materiale FV impiegato è la seguente.

Materiale	valore % (*)
Silicio monocristallino	30
Silicio policristallino	67
CIS	1
CIGS	1
Altri amorfi	1

(*) Numero aziende rilevate: 35

Tipologie di pannellature (completamente oscuranti o semitrasparenti)

Le indagini e i sopralluoghi effettuati hanno messo in evidenza la forte prevalenza di impianti FV di tipo “speculativo” realizzati tra il periodo di vigenza del secondo, terzo e quarto “Conto Energia”. In proporzione, la distribuzione della tipologia di impianti in relazione al tipo di pannellatura FV impiegata è la seguente.

Layout modulo	valore % (*)
Opaco	83
Semitrasparente (intercettazione luce: 30%)	5
Semitrasparente (intercettazione luce: 50%)	10
Semitrasparente (intercettazione luce: 60%)	2

(*) Numero aziende rilevate: 35

Esempi di impianti FV installati su serra

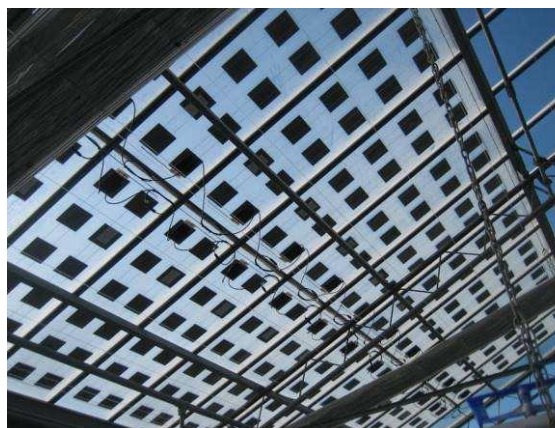
1. Moduli opachi montati sulla falda rivolta a sud



2. Moduli semitrasparenti al 50% montati su entrambe le falde



3. Moduli semitrasparenti al 30% montati su una falda



Specie coltivate

Tra le specie coltivate prevalgono le colture ornamentali (fiore reciso, vaso fiorito, specie aromatiche) sulle orticole (pomodoro, basilico). Tuttavia, a causa della presenza di numerosi impianti realizzati a fini eminentemente “speculativi”, solo una minima parte degli impianti serricoli coperti con pannellature FV completamente opache risultano effettivamente coltivati al momento del sopralluogo.

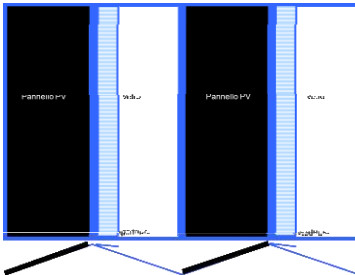
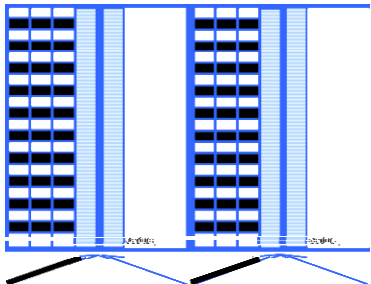
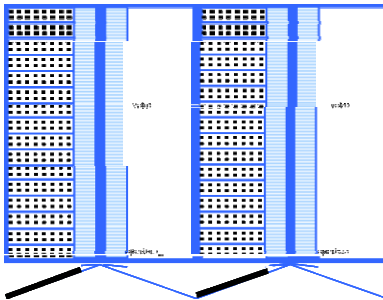
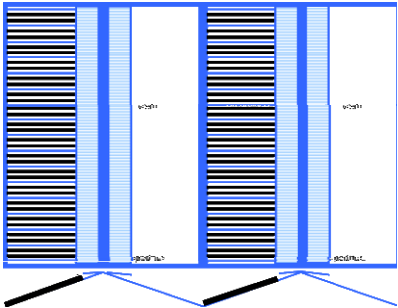
Specie coltivata	valore % (*)
Ranuncolo	20
Garofano	15
Aromatiche in vaso	20
Altre floricole in vaso	30
Basilico	1
altre orticole	14

(*) Numero aziende rilevate: 35

Rese produttive raggiunte, paragonate (in percentuale) rispetto a quelle ottenute dagli stessi imprenditori nelle medesime condizioni, ma senza copertura FV

Non è stato possibile determinare con precisione le rese produttive ottenute sotto gli impianti FV (serre FV) rispetto a quelle delle medesime produzioni ottenute sotto apprestamenti protetti non dotati di impianti FV. Le imprese agricole, infatti, non hanno ritenuto di fornire informazioni dettagliate, limitandosi a fornire indicazioni di larga massima di seguito riportate (Tabella 15).

Tabella 15

Tipologia serra fotovoltaica/strategie di progettazione	Layout disposizione pannelli FV	Riduzione % luminosità totale ⁽¹⁾	Variazione produttiva rispetto alla stessa produzione sotto serra non fotovoltaica
Impianto FV con moduli opachi disposti sul 100% della copertura del tetto Progettazione estemporanea		85%	produzione agricola non possibile
Impianto FV con moduli opachi disposti sul 50% della copertura del tetto Progettazione estemporanea		45%	produzione agricola molto limitata in quantità e qualità
Impianto FV con moduli semitrasparenti (intercettazione luce da parte del pannello: 50%) Progettazione estemporanea		20%	produzione agricola non dissimile per quantità e qualità
Impianto FV con moduli semitrasparenti (intercettazione luce da parte del pannello: 30%) Progettazione estemporanea		8%	produzione agricola non dissimile per quantità e qualità
Impianto FV con moduli semitrasparenti (intercettazione luce da parte del pannello: 40%) (prodotto di progetto) Progettazione integrata		8%	produzione agricola non dissimile per quantità e qualità

(1) Si assume come standard un layout in cui la copertura fotovoltaica è presente esclusivamente sul tetto; le pareti laterali sono rivestite in vetro trasparente e non contigue/confinanti con altre strutture analoghe a quella oggetto di valutazione. Valori assoluti: lux.

La misura della PAR (Figg. 108 e 109) ha ulteriormente validato il buon risultato della progettazione integrata nata dal progetto. Le misure effettuate mettono a confronto la quantità di radiazione fotosinteticamente utilizzabile dalla piante sotto diversi impianti fotovoltaici (Serra 3: impianto di confronto CIS; serra 4: impianto di progetto), confrontati con la PAR misurata in pieno campo e sotto strutture prive di copertura FV: Tunnel (S16); rete ombreggiante (O18); ombraio fotovoltaico (O17).

Visualizzazione grafica PAR - valori orari ($\mu\text{mol} / \text{m}^2\text{s}$) fine agosto

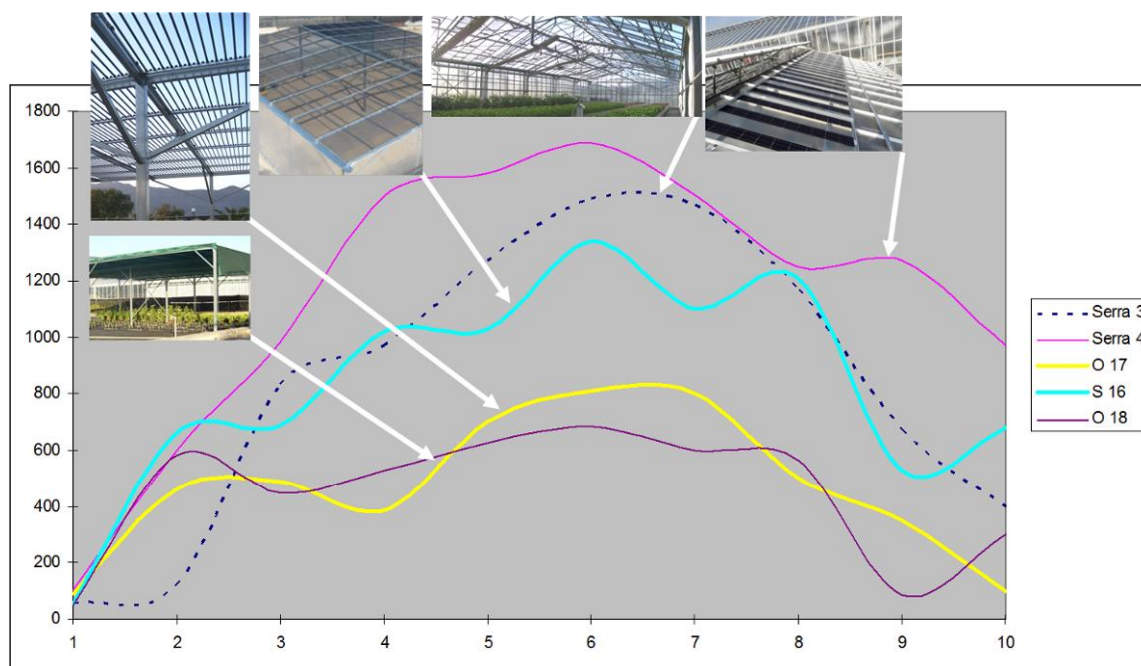


Fig. 108 – Andamento orario della PAR con differenti impianti FV

PAR misurata giorno medio mese di Aprile in diversi ambienti - Albenga

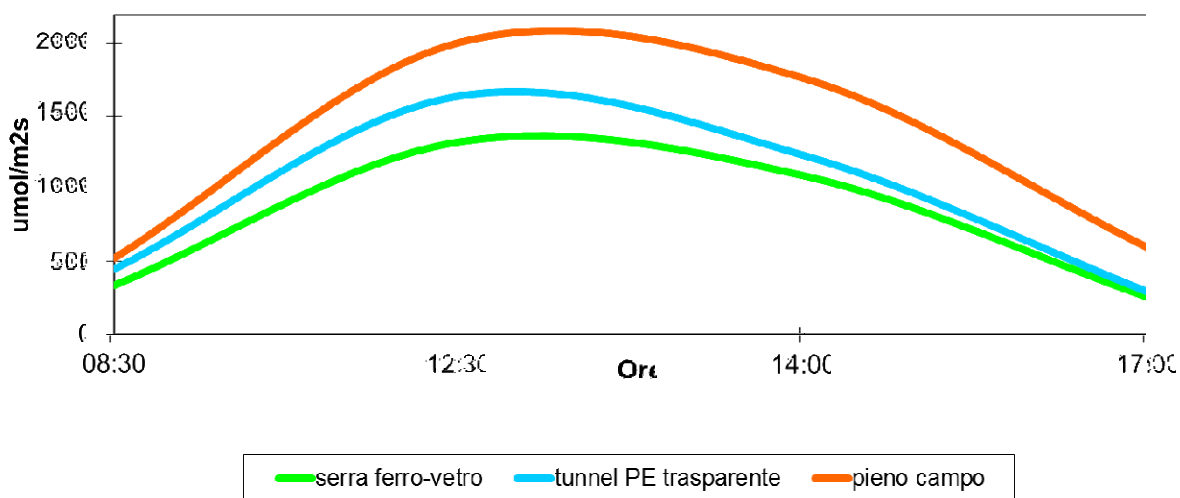


Fig. 109 – Media della radiazione fotosinteticamente utilizzabile dalle piante in diversi ambienti

Problematiche colturali, fitopatologiche e gestionali eventualmente rilevate dagli imprenditori agricoli a seguito delle produzioni sotto impianti FV

Come anche confermato da lavori effettuati dal CeRSAA nell'ambito del presente progetto e di attività precedenti, sono stati osservati casi di modifiche del rapporto tra ospite e parassita sotto apprestamenti protetti fotovoltaici.

Le problematiche più frequenti osservate direttamente o descritte dagli agricoltori sono sinteticamente riportate in tabella (Tabella 16).

Tabella 16 – problematiche relative alla conduzione agronomica in serra con impianto FV.

Serra fotovoltaica	Alterazione fisiologica o fitopatologica
Impianto FV con moduli opachi disposti sul 100% della copertura del tetto Riduzione % luminosità totale: 85%	assenza di germinazione assenza di radicazione piante gravemente eziolate
Impianto FV con moduli opachi disposti sul 50% della copertura del tetto Riduzione % luminosità totale: 45%	piante eziolate aborto fiorale (fragola, pomodoro) violenti attacchi di agenti di oidio e di muffa grigia difficoltà di gestione dell'irrigazione diffusione di marciumi radicali scarso successo dell'impollinazione entomofila (uso dei bombi)
Impianto FV con moduli semitrasparenti (intercettazione luce da parte del pannello: 50%) Riduzione % luminosità totale: 20%	non si osservano particolari criticità
Impianto FV con moduli semitrasparenti (intercettazione luce da parte del pannello: 30%) Riduzione % luminosità totale: 8%	eziolamento lieve di fiori recisi necessità di lieve riduzione degli apporti irrigui
Impianto FV con moduli semitrasparenti (intercettazione luce da parte del pannello: 40%) (prodotto di progetto) Riduzione % luminosità totale: 8%	eziolamento lieve di fiori recisi necessità di lieve riduzione degli apporti irrigui necessità di lieve riduzione degli apporti azotati

Il dati relativi agli impianti FV su terreni agricoli derivanti dal database dell'ISTAT è stato riassunto dal 2007 al 2011 nelle tabelle seguenti (Tabella 17a-17b).

I dati, al livello regionale, indicano la condizione delle serre, per usi agricoli in Italia (voce “ortaggi in serra”), secondo quattro variabili:

- a. superficie totale – ettari
- b. superficie in produzione – ettari
- c. produzione totale – quintali
- d. produzione raccolta - quintali (migliaia di unità foraggiere per i gruppi erbai, prati e pascoli)

La media indica invece il valore medio assunto da ogni regione secondo le quattro variabili.

Tabella 17a - Dati relativi agli impianti FV su terreni agricoli in Italia (anni 2007-2009)

Regione	2007				2008				2009			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Abruzzo	67,45	67,45	20356	20356	63,3	63,3	19270	19270	85,15	85,15	23065	23055
Basilicata	811	811	242204	242204	724,33	724,33	211852	211852	735,44	735,44	216509	216509
Calabria	490,95	490,95	188967	178763	524,88	524,88	253945	238036	932,85	932,85	590241	571792
Campania	8948,1	8948,1	3451826	3180187	7497,2	7497,2	3007322	2736540	10639,1	10639,1	3928209	3846371
Emilia-Romagna	1310,15	1310,15	506355	495134	1339,84	1339,84	468452	458674	1345	1345	482887	474388
Friuli-Venezia Giulia	103,45	103,45	20797	20797	0,01	0,01	500	500	6,49	6,49	1642	1642
Lazio	5882,1	5882,1	3021145	2721841	6343,4	6343,4	3197853	2876188	6201,21	6201,21	3125438	2837681
Liguria	148,2	148,2	92321	89223	105,46	105,46	67009	64029	121,4	121,4	126706	118251
Lombardia	1499,68	1499,68	630503	630503	1970,73	1970,73	853683	853683	2330,55	2330,55	945990	956500
Marche	61,14	61,08	21789	21273	61,66	61,55	21756	21474	21,65	21,65	7868	7787
Molise	40	40	13000	12800	20,2	20,2	13000	12800	36,73	36,73	14333	14200
Piemonte	711,63	711,63	252578	252486	678,52	678,52	222310	222307	760,95	760,95	248539	248538
Puglia	374,5	374,5	193011	185752	288,42	288,42	201235	184825	546,19	546,19	260000	248379
Sardegna	810,12	810,12	909243	909162	804,7	804,7	909145	909144	405,03	405,03	433591	433537
Sicilia	6067,09	6067,09	4365084	4274694	6260,4	6260,4	4426106	4321873	6275,73	6275,73	4428885	2862496
Toscana	437,8	437,8	133691	127351	412,65	412,65	134638	126819	419,91	419,91	134060	126490
Trentino Alto Adige	30,1	30,1	9693	9693	0	0	0	0	0	0	0	0
Umbria	16,67	16,67	10101	10101	16,39	16,39	10037	10037	16,61	16,61	10075	10075
Veneto	3775,74	3775,74	1534026	1463411	3973,09	3973,09	1670385	1626082	3662,37	3654,6	1525478	1518664

Tabella 17b - Dati relativi agli impianti FV su terreni agricoli in Italia (anni 2010-2011 e medie relativi ai 5 anni)

Regione	2010				2011				Media			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Abruzzo	90,1	90,1	24424	24424	89,43	89,43	24307	24307	395,43	395,43	111422	111412
Basilicata	756,92	756,92	223520	223520	756,92	756,92	223520	223520	3784,61	3784,61	1117605	1117605
Calabria	889,64	889,64	629905	614140	914,81	914,81	638921	622245	3753,13	3753,13	2301979	2224976
Campania	10730,1	10730,1	3871048	3797228	10859,85	10859,85	3897967	3830897	48674,35	48674,35	18156372	17391223
Emilia-Romagna	1296,28	1296,28	459463	449765	1335,73	1335,73	491201	481446	6627	6627	2408358	2359407
Friuli-Venezia Giulia	32,57	32,57	5474	5474	55,51	55,51	11186	11186	198,03	198,03	39599	39599
Lazio	6672,85	6672,85	3376575	2997307	6767,77	6767,77	3420635	3052694	31867,33	31867,33	16141646	14485711
Liguria	15,58	15,58	158996	121346	27,82	27,82	30693	29923	418,46	418,46	475725	422772
Lombardia	2382,92	2382,92	981574	974209	2403,72	2403,72	985503	973492	10587,6	10587,6	4397253	4388387
Marche	22,77	22,77	8369	8340	18,64	18,64	6661	6611	185,86	185,69	66443	65485
Molise	32,31	32,31	13444	13267	32,31	32,31	13444	13267	161,55	161,55	67221	66334
Piemonte	753,3	753,3	246209	246197	777,07	777,07	254223	254184	3681,47	3681,47	1223859	1223712
Puglia	364,04	364,04	209627	201930	336,6	336,6	223936	216420	1909,75	1909,75	1087809	1037306
Sardegna	864,17	864,17	971052	971007	897,15	897,15	1012792	1012747	3781,17	3781,17	4235823	4235597
Sicilia	2168,14	2168,14	1697793	1633106	7973,99	7973,99	3633308	3542907	28745,35	28745,35	18551176	16635076
Toscana	223,83	223,83	65724	62424	219,76	219,76	90624	86908	1713,95	1713,95	558737	529992
Trentino Alto Adige	1,28	1,28	440	440	0	0	0	0	31,38	31,38	10133	10133
Umbria	126,89	126,89	87527	87527	125,9	125,9	85632	85632	302,46	302,46	203372	203372
Veneto	3621,83	3621,83	1438921	1428143	3511,07	3511,07	1349494	1339533	18544,1	18536,33	7518304	7375833

La tabella sottostante (Tabella 18) indica la variazione delle quattro variabili (riportate prima), confrontando l'anno iniziale (2007) con l'anno finale della serie storica. In questa maniera, si può osservare quali regioni hanno registrato valori negativi o positivi nel tempo in termini di superficie totale, superficie in produzione, produzione totale e produzione raccolta.

Tabella 18 – Variazione delle 4 variabili dal 2011 al 2007

Regione	variaz11-07suptot_ett	variaz11-07supprod_ett	variaz11-07prodtot_q	variaz11-07prodracc_q
Abruzzo	0,25	0,25	0,16	0,16
Basilicata	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08
Calabria	0,46	0,46	0,70	0,71
Campania	0,18	0,18	0,11	0,17
Emilia-Romagna	0,02	0,02	-0,03	-0,03
Friuli-Venezia Giulia	-0,86	-0,86	-0,86	-0,86
Lazio	0,13	0,13	0,12	0,11
Liguria	-4,33	-4,33	-2,01	-1,98
Lombardia	0,38	0,38	0,36	0,35
Marche	-2,28	-2,28	-2,27	-2,22
Molise	-0,24	-0,24	0,03	0,04
Piemonte	0,08	0,08	0,01	0,01
Puglia	-0,11	-0,11	0,14	0,14
Sardegna	0,10	0,10	0,10	0,10
Sicilia	0,24	0,24	-0,20	-0,21
Toscana	-0,99	-0,99	-0,48	-0,47
Trentino Alto Adige	0,00	0,00	0,00	0,00
Umbria	0,87	0,87	0,88	0,88
Veneto	-0,08	-0,08	-0,14	-0,09

Gli impianti fotovoltaici sviluppati su terreni rurali stanno diventando un'infrastruttura comune nella regione del Mediterraneo e possono contribuire, almeno indirettamente, a varie forme di degrado ambientale, tra cui il deterioramento del paesaggio, il consumo e il degrado del suolo e perdita di terreni agricoli tradizionali e della biodiversità.

Lo studio che segue riporta una procedura utile per stimare l'estensione dei campi fotovoltaici installati a terra, al livello comunale per tutto il contesto italiano. Ciò permette di delineare un profilo socio-economico, facendo risaltare i comuni italiani che hanno visto un evidente tasso di crescita degli impianti fotovoltaici a terra negli ultimi anni (2007-2014).

Tale procedura è stata basata su informazioni diacroniche derivate da fonti di dati ufficiali, integrate in un sistema di supporto decisionale geografico. I risultati indicano che la superficie occupata dagli impianti fotovoltaici a terra in aree rurali è cresciuta costantemente in Italia tra il 2007 e il 2014 con tassi di crescita positivi e crescenti osservati durante 2007-2011 e tassi di crescita positivi ma leggermente decrescenti nel corso 2012-2014, a seguito della saturazione del mercato e di politiche che hanno cercato di contenere la diffusione di impianti fotovoltaici su *terreni agricoli o verdi*.

Importanti differenze sono state ritrovate nella densità di impianti fotovoltaici installati a terra tra i comuni presenti nelle regioni settentrionali e meridionali.

I comuni rurali del sud Italia con densità di popolazione intermedia e grande disponibilità di terreni non edificabili sono risultati essere i più interessati alla diffusione degli impianti FV su *campi agricoli o verdi* negli ultimi dieci anni.

Questo approccio è sembrato essere uno strumento promettente per la stima dei cambiamenti nell'uso del territorio guidato dall'espansione dei campi fotovoltaici in aree rurali.

Studio di valutazione dell'espansione di impianti fotovoltaici installati su terreni rurali in Italia

1. Introduzione

Poiché l'energia fotovoltaica contribuisce a ridurre le emissioni inquinanti, la diffusione di impianti che sfruttano l'energia solare è stata ampiamente sostenuta come una risposta al cambiamento climatico globale (Bergesen et al., 2014) in regioni con condizioni ottimali per campi fotovoltaici caratterizzati da un grande e continuo irraggiamento solare durante l'anno (Espinosa et al, 2014; Gunderson et al, 2015). L'identificazione di impianti fotovoltaici su terreni destinati a pascoli esistenti o terreni agricoli caratterizza un flusso di reddito extra per i proprietari terrieri e promuove la diversificazione delle entrate negli ultimi anni, in cui la produttività agricola e le relative colture risultano molto basse. Simili benefici sono stati dimostrati con gli sviluppi dello sfruttamento dell'energia eolica su terreni agricoli (Holmes e Papay, 2011).

Sulla base di queste premesse, gli impianti fotovoltaici a terra stanno diventando un'infrastruttura comune nella regione del bacino Mediterraneo e possono contribuire, almeno indirettamente, a varie forme di degrado ambientale, tra cui il deterioramento del paesaggio, il consumo e il degrado del suolo e la perdita di terreni agricoli tradizionali e della biodiversità. Mentre l'energia, gli impatti economici e ambientali di questo tipo di impianti sono stati generalmente visti come positivi, lo sviluppo di questa tecnologia su larga scala ha un impatto negativo sul paesaggio rurale (Carullo et al, 2013; Naspetti et al, 2016). Gli impatti specifici sul suolo e sulle comunità rurali (ad esempio in termini di occupazione permanente o temporanea del suolo, ombreggiatura totale o parziale del terreno, degrado dei terreni, frammentazione degli habitat e perdita delle pratiche agricole tradizionali) sono identificabili e richiedono ulteriori indagini (Beylot et al., 2014; Hernandez et al, 2014; Koldrack et al, 2014).

Gli impianti fotovoltaici possono essere sia temporanei che permanenti. Essi possono essere montati a distanza variabile a terra, con un impatto oscillante sui terreni e sulla qualità complessiva terreno. Le colture più tolleranti all'effetto dell'ombra risultano le più idonee per la produzione rurale in una zona con impianti fotovoltaici (Harinarayana e Sri Venkata Vasavi, 2014), anche se bisogna considerare la minor resa produttiva che possono avere in queste condizioni.

Tali infrastrutture possono inoltre interferire con le attività agricole che richiedono l'utilizzo di macchine di grandi dimensioni (Beckman e Xiarchos, 2013). L'ombreggiamento, causato da estesi campi fotovoltaici, può anche ridurre la capacità di assorbimento idrico del terreno, alterando l'equilibrio idrologico superficiale e determinando, in alcuni casi, un maggiore rischio ai processi di erosione del suolo.

Alcuni studi hanno proposto strategie per ridurre l'impatto ambientale dei campi fotovoltaici, indicando alcune possibili soluzioni tra cui: la loro integrazione con edifici e infrastrutture aziendali (come Graebig et al. 2010), assicurando pochi impianti montati a terra (Holmes e Papay, 2011).

È stato anche proposto di limitare l'installazione di impianti a terra solo su terreni di bassa qualità, compresi i siti dismessi o nelle immediate vicinanze di autostrade e linee ferroviarie (Beck et al., 2012). In entrambi i casi, informazioni diacroniche e spazialmente dettagliate sulla espansione degli impianti fotovoltaici nelle zone rurali sono necessarie per supportare le strategie per ridurre l'impatto ambientale.

Tuttavia, le informazioni su scala locale, relative alla distribuzione spaziale dei campi fotovoltaici a terra e il loro possibile impatto sui paesaggi rurali, sono generalmente scarse, frammentate o scarsamente confrontabili tra le regioni o paesi. La superficie occupata è una delle variabili più critiche per quanto riguarda le prestazioni ambientali degli impianti fotovoltaici a terra su larga scala. Tale valore indica principalmente l'impatto di installazioni di grandi dimensioni sulla qualità del suolo (Costantini e Lorenzetti, 2013).

L'epoca dell'energia solare può iniziare in Europa nel 2005. La produzione di energia elettrica con fonte solare è aumentata più di 10 volte nel periodo 2005-2010 (Eurostat, 2012). Secondo il recente

rapporto elaborato dall'Eurostat, il consumo interno lordo derivante dalle fonti fotovoltaiche nei 28 paesi dell'Unione Europea è aumentato da 126 a 7939 migliaia di TEP (tonnellate equivalenti di petrolio) tra il 2005 e il 2014. Nel 2012, l'Italia era il secondo paese al mondo per potenza installata di impianti fotovoltaici (INEA, 2013). Gli impianti fotovoltaici si sono sviluppati recentemente nelle zone rurali italiane con grande successo, a causa degli alti guadagni rispetto all'agricoltura tradizionale (Marcheggiani et al., 2013). Una consistente superficie di terreni agricoli di alta qualità è stata convertita per destinarla ad impianti di energia solare (GSE, 2012). Questo fenomeno ha progressivamente portato ad una significativa riduzione della superficie agricola utilizzata in alcuni distretti rurali con ambienti agro-forestali tradizionali, ad una perdita di produzione alimentare e la conseguente alterazione del valore paesaggistico (Costantini and Lorenzetti, 2013; Kim et al., 2013; Tani et al., 2014).

Il dibattito sull'impatto ambientale dei campi fotovoltaici, in termini di occupazione del suolo, ha gradualmente coinvolto l'opinione pubblica negli ultimi anni. Chiabrando et al. (2009) hanno cercato di chiarire gli impatti territoriali dei sistemi fotovoltaici a terra in Italia. Le aree agricole, destinate a soli impianti fotovoltaici a terra, occupano una superficie di 134 km², pari al 0,1% della superficie agricola italiana (Squatrito et al., 2014). Le istituzioni statali hanno da poco posto alcuni limiti allo sviluppo incontrollato degli impianti fotovoltaici a terra su terreni rurali. Il Ministero dell'Ambiente italiano ha proposto iniziative (i) per gestire e pianificare l'installazione di campi fotovoltaici su terreni agricoli e (ii) per contenere il paesaggio, il degrado del suolo, il consumo di suolo e la perdita di terreno agricolo tradizionale (INEA, 2013). Una sostanziale riduzione del prezzo dell'energia è stata osservata anche negli ultimi anni. Di conseguenza, il mercato ha registrato una battuta d'arresto di nuove installazioni di oltre 1 GW nel 2013 a circa 385 MW nel 2014, al di sotto delle stime di inizio 2014 (GSE, 2012).

Efficaci ed affidabili indicatori, basati sulla distribuzione spaziale di impianti solari, sono necessari per valutare la vulnerabilità ambientale dei diversi contesti locali per l'espansione dei campi fotovoltaici a terra (Schiffer, 2015). Il presente studio propone un approccio basato su indicatori che valutano l'espansione di impianti fotovoltaici installati su terreni rurali in Italia, identificando al tempo stesso il corrispondente contesto socio-economico delle comunità locali. I contesti rurali sono stati descritti considerando la topografia, l'uso del suolo e altri indicatori demografici. Il nostro approccio può essere esteso ad altri paesi europei, poiché può essere integrato ad una strategia globale per armonizzare lo sviluppo sostenibile e la conservazione del paesaggio delle aree agricole tradizionali.

2. Metodologia

2.1. Area studio

L'area indagata si estende su tutta l'Italia (301,330 km²), gestita da 20 regioni e 8092 comuni. Anche se la costa italiana (isole comprese) si estende per quasi 7400 km, la maggior parte del territorio continentale è collinare o montano. La topografia, l'estensione latitudinale e la vicinanza al mare hanno avuto una forte influenza sul clima locale, il suolo, la vegetazione e del paesaggio (Salvati et al., 2011).

2.2. I dati e le variabili

I dati elementari degli impianti fotovoltaici installati in Italia tra gennaio 2005 e dicembre 2014 sono stati ottenuti grazie al database Atlasole, fornito dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE) per ogni comune. Per ciascuna regione amministrativa d'Italia, la superficie del territorio rurale occupata da campi fotovoltaici è stato fornito dal GSE (2012). Gli impianti sono stati classificati a seconda dell'installazione (ad esempio, a terra, o come su una costruzione o sul tetto di una serra). La superficie totale di campi fotovoltaici (m²) è stata fornita separatamente per ogni regione, insieme al numero di impianti e la loro potenza totale (MW). La percentuale di impianti a terra del numero totale di impianti fotovoltaici installati è stata infine segnalata. In media, gli impianti a terra

in Italia coprono una superficie di 1,7 ettari per MW (GSE, 2012). I dati aggiuntivi, relativi al 2011, sono stati ricavati dalle statistiche ufficiali forniti da ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) che includono l'altitudine media, la superficie totale e la densità di popolazione per ciascun comune italiano.

2.3. Analisi dei dati

Per ogni comune italiano, la superficie di terreno occupata da impianti fotovoltaici a terra è stata stimata per due anni (2007 e 2014), disaggregando la superficie totale coperta da campi fotovoltaici a terra, a scala regionale. Poiché la superficie del terreno destinata a campi fotovoltaici in ciascuna regione amministrativa italiana corrisponde alla superficie totale coperta da campi fotovoltaici in tutti i comuni di quella regione, il territorio comunale di campi fotovoltaici a terra (sconosciuto) - a seconda del numero e la potenza di impianti in ciascun comune (noto) - è stato stimato come proporzionale al numero totale e all'alimentazione di impianti registrati in ciascuna regione amministrativa. L'importo della superficie totale occupata da campi fotovoltaici a terra in ogni comune italiano è stato stimato per il 2007 e il 2014 (Hernandez et al., 2014b). Per ogni comune italiano, sono stati calcolati cinque indicatori: (i) altitudine media (m); (ii) densità di popolazione per il 2007 (abitanti / km²); (iii) variazione percentuale nella densità di popolazione tra il 2007 e il 2014; (iv) superficie amministrata totale da ogni comune (km²); e (v) un binomio (0-1) di variabili distintive dei comuni meridionali (1) e dei comuni del centro-nord d'Italia (0).

2.4. Analisi statistica

Le correlazioni, utilizzando il *test di Spearman* (test a $p < 0,05$ per importanza), sono state effettuate per identificare le relazioni lineari e non lineari tra le variabili selezionate (Salvati e Zitti, 2009). Un'Analisi delle Componenti Principali (PCA) è stata eseguita sul set di dati composto da 7 variabili (le 5 variabili illustrate nella sezione 2.3, più le due variabili che valutano l'area dei campi fotovoltaici a terra della superficie totale comunale per il 2007 e il 2014). L'analisi è stata effettuata per identificare la relazione spaziale tra le variabili contestuali selezionate e della zona percentuale di campi fotovoltaici a terra. Il PCA è una tecnica statistica multivariata ampiamente utilizzata per riassumere i fattori latenti che influenzano la relazione tra le variabili all'interno di un insieme di dati. Questa tecnica permette di ridurre la ridondanza derivata da alti livelli di autocorrelazione seriale nei dati osservati (Salvati, 2013). Abbiamo basato la PCA sulla matrice di correlazione, e le componenti con auto-valore > 1 sono state considerate nelle analisi (Salvati, 2014). Un'analisi non gerarchica (utilizzando la strategia di calcolo *k-means*) è stata eseguita sulla matrice di dati al fine di classificare comuni italiani in partizioni omogenee. Seguendo il criterio *parsimony*, l'analisi è stata condotta per un insieme di soluzioni che variano da 2 a 10 (il più alto numero di partizioni del grappolo ritenuto opportuno per illustrare le caratteristiche dei contesti locali). La partizione di cluster più efficiente è stata identificata usando il *pseudo F statistic* e *the Cubic Clustering Criterion* (Salvati e Zitti, 2009). Sulla base di appartenenza al cluster, ogni gruppo *k-means* dei comuni è stato profilato con il valore medio di ogni variabile contestuale.

3. Risultati

3.1. Statistiche descrittive

La Tabella 19 riporta gli indicatori selezionati al fine di stimare i terreni destinati ai campi fotovoltaici montati a terra in Italia per anno, ripartizione geografica, elevazione e classe di densità di popolazione. L'area coperta, in termini percentuali, da campi fotovoltaici in Italia è stata stimata a 0,03% nel 2007 con un aumento al 0,06% nel 2014. Dopo la grande diffusione di campi fotovoltaici a terra nel sud Italia fino al 2007 (Fig. 110), il più grande aumento del numero di impianti fotovoltaici è stato osservato nelle zone rurali del centro Italia nel 2007-2014 (0,07%). In questa regione, la superficie coperta, in termini percentuali, da campi fotovoltaici era 0,09% nel 2014.

Questa cifra è moderatamente più elevata rispetto a quanto osservato nel sud Italia (0,08%) e sostanzialmente superiore al valore osservato nel nord Italia (0,02%).

La concentrazione di campi fotovoltaici in Italia centrale e meridionale dipende principalmente dalle condizioni ambientali ottimali: la radiazione solare è più elevata rispetto al nord d'Italia. Tuttavia, sono stati osservati importanti cambiamenti nella geografia dei campi fotovoltaici in Italia tra il 2007 e il 2014. Il sud Italia raccoglie oltre il 78% di terreno con superficie fotovoltaica nel 2007, spostandosi al 56% nel 2014; in quel momento, il centro e il nord d'Italia concentrano, rispettivamente, il 15% e il 29% della superficie totale fotovoltaica, sempre a terra.

Tabella 19 - La stima della terra sigillata (soil sealing) da impianti fotovoltaici in Italia per anno, divisione geografica, elevazione e la classe densità di popolazione.

Variabile	Classe area (%)			Share in the total sealed area (%)		
	2007	2014	% cambiamento	2007	2014	% cambiamento
Ripartizione geografica						
Nord	0.007	0.024	0.017	9.0	15.4	6.4
Centro	0.019	0.091	0.073	12.3	28.8	16.5
Sud	0.056	0.083	0.027	78.7	55.8	-22.9
Elevazione (m)						
< 100	0.065	0.120	0.055	29.4	26.1	-3.4
100 - 300	0.062	0.132	0.071	40.6	41.5	0.9
300 - 500	0.030	0.058	0.028	19.4	18.1	-1.3
500 - 800	0.012	0.030	0.018	8.1	9.6	1.4
> 800	0.002	0.010	0.008	2.4	4.7	2.4
Densità (ab./km²)						
< 100	0.010	0.024	0.014	20.3	22.7	2.4
100 - 300	0.063	0.107	0.043	57.9	46.5	-11.4
300 - 500	0.036	0.103	0.067	8.6	11.7	3.1
> 500	0.049	0.147	0.098	13.2	19.1	5.9

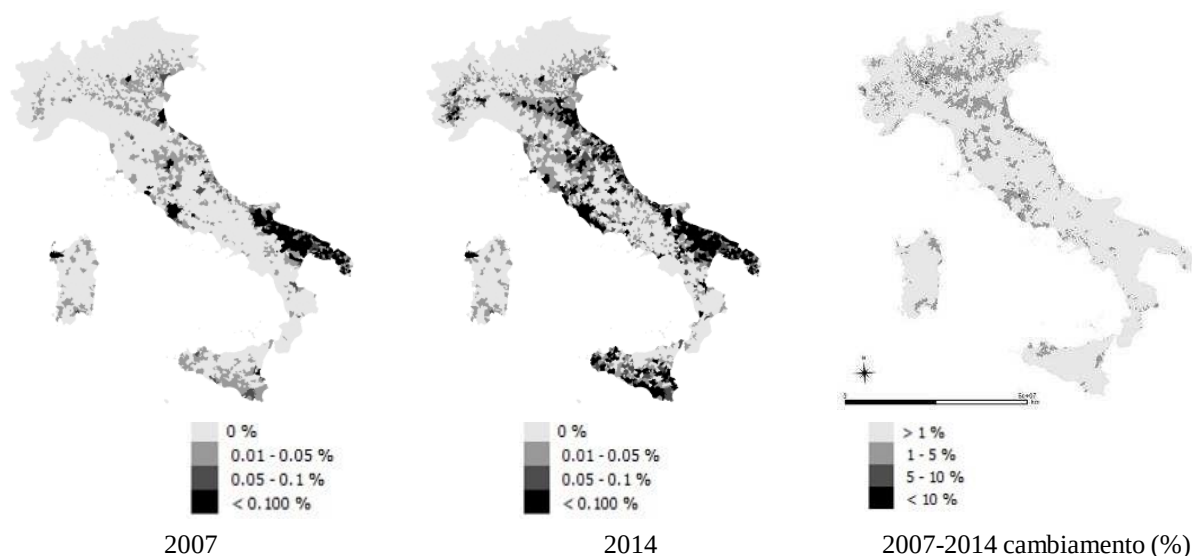




Fig. 110 -. La distribuzione spaziale delle terre sigillate da impianti fotovoltaici in Italia per anno e due vedute aeree di campi fotovoltaici in una zona pianeggiante (Italia settentrionale, a sinistra) e in una zona ripida (Italia centrale, a destra). *Fonte: Google Earth.*

3.2. L'analisi di correlazione non parametrica

I campi fotovoltaici erano situati principalmente su terreni rurali piani o moderatamente ripidi con altezza <300 m. La zona di elevazione 0-300 m concentra il più grande aumento della superficie coperta da campi fotovoltaici a terra tra il 2007 e il 2014. Si è osservata la più alta concentrazione di campi fotovoltaici nei comuni rurali con densità di popolazione intermedia (100 - 300 abitanti/km²). La superficie coperta da campi fotovoltaici a terra nel 2007 è aumentato nei comuni italiani meridionali ($r_s = 0.21$, $p < 0.05$, $n = 8092$) e nei comuni che gestiscono grandi superfici ($r_s = 0.17$, $p < 0.05$, $n = 8092$). Nel 2014, la superficie coperta da campi fotovoltaici a terra è aumentata con la dimensione dei comuni ($r_s = 0.29$, $p < 0.05$, $n = 8092$) e è diminuita seguendo l'elevazione ($r_s = -0.15$, $p < 0.05$, $n = 8092$).

3.3. Analisi del componente principale

La Tabella 20 illustra i risultati di una *Principal Component Analysis* effettuata su 7 variabili contestuali compresa la superficie stimata di campi fotovoltaici a terra per ogni comune italiano nel 2007 e 2014. La PCA estrae tre componenti spiegando rispettivamente il 29%, 28% e 15 % della varianza totale dei dati. La Componente 1 identifica un gradiente opposto alle aree densamente popolate (con popolazione in crescita) per i distretti economicamente marginali e montani. La Componente 1 non è correlata con la percentuale di terre sigillate (*Sealed land*) nel 2007 e 2014. La Componente 2 è stata associata negativamente all'elevazione, mentre positivamente alla densità di popolazione e all'area percentuale della terra coperta da campi fotovoltaici nel 2007 e nel 2014. La Componente 3 è illustrata dalla latitudine, dal gradiente nord-sud Italia. Non è stata correlata con l'area, in termini percentuali, della terra coperta da impianti fotovoltaici. La Fig. 111 riporta un bi-plot PCA discriminante con i comuni con la massima superficie stimata di campi fotovoltaici a terra. Questi comuni sono concentrati soprattutto nel sud Italia e nelle zone pianeggianti del centro e del nord Italia.

Tabella 20 - Principal Component loadings (bold indicates significant correlations at $p < 0.05$).

Variabile	PC 1	PC 2	PC 3
Sealed land (% , 2007)	0.42	0.82	-0.04
Sealed land (% , 2014)	0.42	0.84	-0.12
Municipal size	0.64	0.05	-0.36
Population density (2007)	-0.69	0.47	0.28
Population growth (2007-2014)	-0.66	0.33	-0.30
Elevation	0.49	-0.47	-0.06
South, dummy	0.38	0.11	0.84
<i>Explained variance (%)</i>	29.4	27.7	14.5

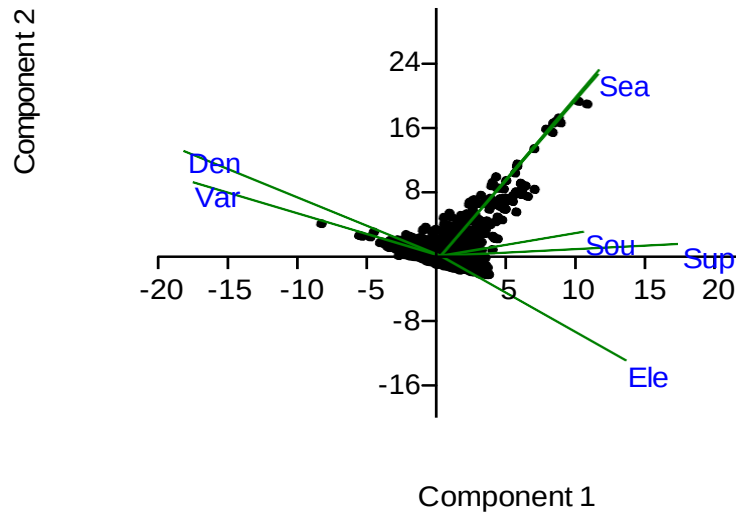


Fig. 111 - Principal Component Analysis biplot (Sea = percent sealed land in 2007 and 2014, Den = population density (2007), Var = population growth rate (2007-2014), Ele = elevation, Sup = municipal surface area, Sou = binary variable indicating southern Italy municipalities).

3.4. Analisi di gruppo

Il clustering non-gerarchico (Tabella 21) ha individuato quattro gruppi omogenei di comuni con caratteristiche socio-economiche distinte. I cluster sono stati ordinati in base alla superficie percentuale di campi fotovoltaici su superficie comunale (2007). Nel 2007, la zona di classe più alta, in termini percentuali, è stata osservata nei comuni appartenenti al gruppo 4 ed è concentrata nelle aree moderatamente ripidi dell'Italia meridionale e centrale, con relativamente bassa densità di popolazione (in media con 148 abitanti / km²) (Figura 111). Tuttavia, la più grande espansione di campi fotovoltaici a terra è stata osservata nei comuni densi (in media 465 abitanti/km²) e con aree pianeggianti, sia dell'Italia centrale e settentrionale (gruppo 3).

Tabella 21 - Distribuzione delle variabili contestuali nei comuni italiani dal *k-means clusters*.

Variabile	Cluster #				Italy
	1	2	3	4	
# municipi	2263	898	3670	1261	8092
Surface area (%)	36.3	6.5	38.0	19.2	100
Sealed land (2007, %)	0.005	0.010	0.028	0.083	0.029
Sealed land (2014, %)	0.016	0.042	0.085	0.106	0.061
Change in sealed land (%)	0.012	0.032	0.056	0.022	0.032
Share of sealed land (2007, %)	5.8	2.3	36.8	55.1	100
Share of sealed land (2014, %)	9.8	4.5	52.6	33.2	100
Population density (inhabitants/km ²)	55	431	465	148	297
Population growth (%)	-0.5	2.7	0.7	-0.7	0.4
Elevation (m)	857	310	389	625	548
South Italy municipalities (%)	0.1	6.9	12.8	99.6	22.1

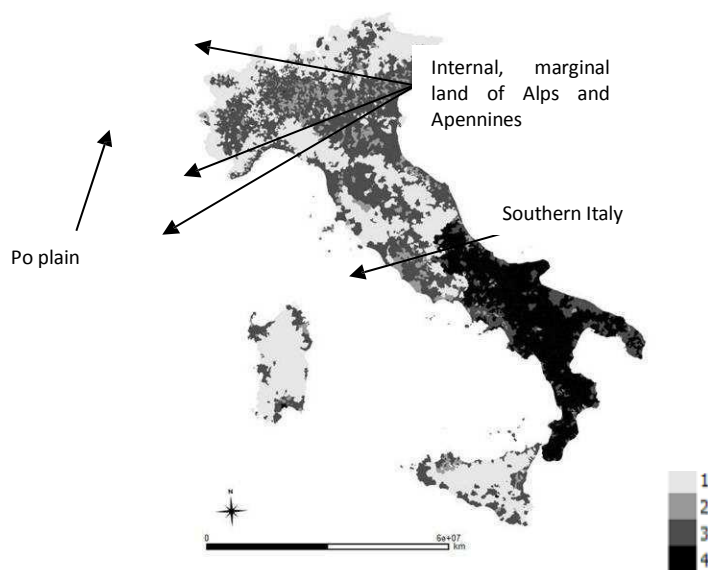


Fig. 111 - Classificazione dei comuni italiani in *homogeneous k-means clusters*.

4. Conclusioni

Gli impianti di fonte di energia solare sono cresciuti in modo esponenziale e globale (25, 27). La tecnologia fotovoltaica ha avuto un notevole successo nel mercato dell'energia (33, 35). Secondo Drupaz [10], l'integrazione di nuove fonti di energia rinnovabile con la produzione vegetale è una soluzione praticabile a condizione del tasso di impermeabilizzazione del suolo. Tuttavia, la legislazione spesso non è riuscita a valutare l'impatto negativo dei campi fotovoltaici alterando il suolo, del paesaggio e dei sistemi colturali (35, 37). Dal momento che lo sviluppo di impianti fotovoltaici ha portato ad una notevole perdita di terreni agricoli (43,45), le strategie di gestione efficaci e politiche adeguate sono necessarie per preservare i terreni rurali nell'Europa meridionale dal degrado ambientale, forse causata dall'installazione non pianificata di impianti fotovoltaici a terra o su altre strutture temporanee o permanenti, come le serre (42, 45). Le informazioni sulla topografia, sull'uso del suolo, sulla demografia e, più in generale, su una serie di indicatori socio-economici, la profilazione di impianti fotovoltaici nel contesto locale dovrebbe essere considerata nel processo decisionale per ridurre al minimo l'impatto ambientale in termini di paesaggio, degrado del suolo, e perdita di pratiche agricole tradizionali (45).

L'approccio proposto in questo studio stima il valore del territorio rurale coperto da campi fotovoltaici ad una scala spaziale disaggregata in Italia. Secondo Fabiani e Tartaglia (2013), l'evoluzione dei sistemi fotovoltaici in Italia è iniziato con la grande corsa di giganti industriali e imprenditori dell'energia, stimolati dai notevoli guadagni garantiti dai campi fotovoltaici. I grandi terreni agricoli sono stati acquistati ad un basso costo per sviluppare così gli impianti fotovoltaici. Tra il 2007 e il 2014, i campi fotovoltaici si sono diffusi soprattutto nel centro e nel nord Italia, probabilmente a causa della progressiva saturazione del mercato fotovoltaico nel contesto dell'Italia meridionale. L'espansione dei campi fotovoltaici in territorio rurale è particolarmente evidente nelle aree pianeggianti e moderatamente ripidi, con impatti ambientali negativi in queste aree, le quali sono anche esposte ad una pressione umana più elevata nei confronti con le aree economicamente marginali e montane (43).

Lo studio indica un progressivo spostamento nella distribuzione spaziale dei campi fotovoltaici a terra in Italia da meno popolate (e in parte abbandonate) zone rurali, caratterizzate da marginalità economica, per le aree rurali più popolate e accessibili circostanti alle regioni metropolitane. L'analisi multivariata ha identificato comuni rurali del sud Italia con densità intermedia della popolazione, elevata accessibilità dei trasporti, ampia disponibilità di terre coltivate e terreno pianeggiante, come le aree più vulnerabili per l'espansione dei campi fotovoltaici a terra.

Per ridurre l'impatto ambientale di impianti solari, è stato proposto di limitare l'installazione di impianti a terra su terreni di bassa qualità, compresi i siti dismesse o nelle immediate vicinanze di autostrade e linee ferroviarie (43). Gli impatti sull'agricoltura tradizionale e sugli habitat naturali potrebbero essere minimizzati utilizzando terreni già degradati, contaminati, o terreni marginali che non potrebbe sostenere le popolazioni della fauna selvatica vitali o essere presi in considerazione per la produzione agricola (25). Al contrario, i risultati del nostro studio indicano che la recente espansione dei sistemi solari in Italia è principalmente concentrata su entrambi i distretti agricoli tradizionali e ad alta intensità in zone pianeggianti e collinari, con condizioni ottimali o sub-ottimali per il ritaglio. La diffusione di campi fotovoltaici a terra, a media densità nelle zone rurali accessibili, è il risultato di misure di pianificazione eterogenee (e forse poco efficaci) che regolano lo sviluppo territoriale delle zone rurali, tradizionalmente dedicate all'agricoltura intensiva.

La recente evoluzione della normativa nazionale e regionale in Italia è in linea con gli articolati e complessi contesti locali territoriali e socio-economici. Le istituzioni hanno implementato delle regole per contenere l'espansione degli impianti fotovoltaici nei campi agricoli (vedi 4° Conto Energia), in cui gli impianti si limitano al 10% della superficie agricola utilizzata. Il più recente 5° Conto Energia sicuramente vieta le installazioni di impianti fotovoltaici su campi agricoli. Azioni di pianificazione efficaci sono state intraprese anche da alcune autorità regionali in Italia. Nel 2011, la autorità regionale della Puglia (Italia meridionale) ha preparato le linee guida per la gestione sostenibile dei campi fotovoltaici nell'ambito di una direttiva di pianificazione territoriale affrontando lo sviluppo sostenibile del territorio rurale. Le linee guida hanno indicato una riduzione completa di campi fotovoltaici su terreni rurali fertili, permettendo nuove installazioni di impianti su tetti e altre strutture costruite. L'autorità regionale della Sardegna ha approvato un piano di gestione del paesaggio che fornisce misure di regolamentazione per l'espansione di impianti fotovoltaici su aree rurali dedicate all'agricoltura. Negli ultimi due anni di studio, la minore espansione dei campi fotovoltaici a terra in Italia è stata osservata nelle regioni che hanno adottato norme più rigorose con una pianificazione territoriale più efficace (GSE, 2012).

LA DIGESTIONE ANAEROBICA

Il processo di digestione anaerobica finalizzato alla produzione di biogas può essere teoricamente attivato a partire da qualsiasi sostanza di natura organica.

Per motivazioni di reperibilità, resa e fattori economici la scelta dei substrati utilizzabili viene tuttavia limitata a quelli che possiedono ben determinate proprietà, e che ricadono in una delle seguenti categorie principali:

- Colture dedicate (mais, sorgo, tritale, ecc.);
- Effluenti di allevamento (letami, liquami, pollina);
- Sottoprodotti dell'agro-industria e scarti animali e/o vegetali (scarti di macellazione, pula di riso, glicerina);
- Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano (FORSU);
- Fanghi di depurazione.

A causa delle diversità bromatologiche dei substrati è opportuno svolgere una ottimizzazione del processo di digestione, affinché venga garantita una buona resa in termini di prodotto finale. Non è di secondaria importanza poi il fattore economico, essendo il costo della biomassa preponderante rispetto a tutte le altre voci di spesa di un impianto a biogas.

Obiettivi della ricerca

L'attività ha previsto TRE principali linee d'intervento; nello specifico le F.E.R. potenzialmente utilizzabili dalle aziende:

- La Digestione anaerobica: tramite prove di co-digestione anaerobica di rifiuti solidi di frantoio con concime bovino e liquame bovino: analisi del potenziale per la produzione di bio- metano, nell'ambito del progetto BIOPLANT (I anno)
- Caso studio per la realizzazione di un impianto di Biometano nella Provincia di Viterbo: in previsione del nuovo decreto BIOMETANO 2.0 si è realizzato un caso studio per la valutazione tecnico-economica per un impianto alimentato da diverse biomasse sempre nell'ambito del progetto BIOPLANT (II anno).
- L'utilizzo del FV in agricoltura con il recupero delle serre: tramite la realizzazione di uno studio sulla progettazione per l'eventuale recupero di serre ad indirizzo produttivo.

PRIMA LINEA: *co-digestione anaerobica di rifiuti solidi di frantoio con concime bovino e liquame bovino: analisi del potenziale per la produzione di bio-metano.*

1. Introduzione

Nell'ambito del progetto BIOPLANT è stato analizzato il potenziale di produzione di biogas e biometano prodotto da residui agroalimentari, attraverso impianto prototipale di digestore anaerobico di piccola taglia. Nello specifico, è stato analizzato il potenziale bio-metano prodotto dalla digestione anaerobica di OMSW con inoculo e co-digestione di OMSW con letame bovino (CM) e liquame bovino (CS). L'OMSW utilizzato per l'analisi era uno spreco di sostanze inquinanti derivante dalla lavorazione dell'olio d'oliva attraverso sistemi di centrifugazione trifase. Per studiare la resa del biogas è stato utilizzato un reattore con serbatoio agitato per lotti, in condizioni mesofile (38 ° C). L'intero processo è stato eseguito in condizioni di bagnato e con un tempo di ritenzione idraulico (HRT) di 55 giorni. Sono stati effettuati diversi test per ottenere il miglior rendimento di biogas. Nelle regioni mediterranee la coltivazione dell'olivo e l'estrazione dell'olio d'oliva sono diffuse da migliaia di anni. Al giorno d'oggi circa 10 milioni di ettari di terra in tutto il mondo sono coltivati con 900 milioni di ulivi, di cui circa il 98% nell'area mediterranea [1]. L'Unione europea, dal 2007 al 2013, ha contribuito in media a circa il 72% della produzione totale mondiale di olio d'oliva. L'Italia ha contribuito con circa il 22% della produzione europea con circa 6600 frantoi che producono in media 455 mila tonnellate di olio d'oliva all'anno. L'Italia rappresenta, in questo modo, il secondo produttore europeo dopo la Spagna, seguito da Grecia, Turchia, Siria e Tunisia [2]. L'industria olearia produce enormi quantità di rifiuti che rappresentano un grave problema ambientale nell'area mediterranea. Questi rifiuti vengono prodotti in quantità elevata in breve tempo, inoltre non sono biodegradabili a causa dell'alta concentrazione di composti organici e fenolici [3,4]. I rifiuti derivati dai frantoi possono essere suddivisi in acque reflue di frantoio (OMWW) e rifiuti solidi di frantoio (OMSW). La composizione e la quantità di questi rifiuti dipendono dalla tecnologia di estrazione dell'olio di oliva usata [3]. In generale l'OMWW è composto da acqua di vegetazione e solido sospeso, mentre l'OMSW è costituito da polpa di olive, buccia, pezzi di fossa e un contenuto di olio [5]. L'estrazione dell'olio d'oliva può essere effettuata tramite processi discontinui (sistema di pressatura tradizionale) o continuo (sistema di centrifugazione). Il sistema di spremitura discontinuo è il metodo di spremitura più vecchio e diffuso e viene utilizzato nei frantoi tradizionali. Questo è un metodo a basso costo e tecnicamente semplice. Produce come sottoprodotto OMSW e bassa quantità di OMWW (40-60 l per 100 kg di olive) [6]. Gli svantaggi di questo sistema sono soprattutto la discontinuità del processo e gli alti costi della manodopera. L'OMWW di questi tipi di frantoi ha comunque un alto COD rispetto agli altri metodi. In molti paesi il sistema di pressatura tradizionale è ancora usato anche se è piuttosto costoso [7].

I processi di estrazione continua separano le diverse fasi per centrifugazione. Si basano sulla differenza di densità dei diversi componenti della pasta di olive e possono operare in due o tre fasi. Nel sistema trifase viene aggiunta acqua calda alla fase di centrifugazione e questo produce una quantità maggiore di OMWW [8]. I sistemi trifase generano tre frazioni: OMSW, OMWW e olio con una bassa quantità di acqua. I vantaggi di questi sistemi sono l'automazione completa, una migliore qualità dell'olio e la necessità di spazi più piccoli; invece gli svantaggi sono un maggiore consumo di acqua e di energia, una maggiore frazione di OMWW in uscita e

costi di installazione elevati [3]. I sistemi trifase sono i più utilizzati, specialmente nei paesi che producono quantità elevate di olive. Negli ultimi anni sono diventati popolari anche in Italia. Per ridurre al minimo il volume di OMWW e ridurre il lavaggio dei fenoli, sono stati sviluppati processi di estrazione continua a due fasi. Usando questo sistema la pasta di olive si divide in due fasi: olio e umido OMSW. L'umido OMSW è un sottoprodotto semi-solido, una combinazione di OMSW e OMWW. I sistemi a due fasi sono definiti ecologici a causa della loro elevata riduzione del consumo di acqua, ma il residuo risultante, costituito da fase liquida e solida, è difficile da gestire perché il carico inquinante è altamente concentrato. Negli ultimi 10 anni questo sistema è diventato il principale sistema in Spagna, dove rappresenta circa il 90% dell'installazione totale [8]. In Italia ci sono 6.600 frantoi, il sistema trifase è ancora il più utilizzato con circa il 46% dell'installazione totale. Il sistema di pressatura rappresenta il 42% dell'installazione, mentre il sistema continuo a due fasi solo il 2%. Tuttavia, in Puglia, la più importante regione italiana per la coltivazione delle olive, il 55% dei frantoi è a ciclo continuo [9]. L'Italia è, quindi, caratterizzata dalla presenza di molti piccoli frantoi che lavorano con processi tradizionali.

Nella mia attività viene esaminato l'OMSW, ottenuto dal sistema trifase, per utilizzarlo per la produzione di energia. È composto da polpa di olive, buccia e pezzi di fossa. Questo OMSW è caratterizzato da un elevato rapporto C / N ($> 34\%$) dovuto alla presenza di pezzi di fossa, un valore di riscaldamento inferiore (LHV) di circa 23 MJ / kg e un alto contenuto di umidità ($> 46\%$). OMSW può essere utilizzato sia nei processi di conversione termochimica che nella digestione anaerobica per produrre biogas [10,11]. A causa dell'elevato contenuto di umidità non è del tutto conveniente utilizzarlo nei processi termochimici perché deve essere asciugato. I barattoli OMSW possono essere utilizzati, in un modo molto interessante, negli impianti di digestione anaerobica, in particolare l'uso in impianti di produzione di biogas di piccole dimensioni, fino a 100 kW, è molto interessante (D.M. 6 luglio 2012). Tra i paesi che producono energia primaria da biogas, prima di tutto ci sono Germania, Regno Unito e Italia [12]. In Germania il biogas usato per la produzione di energia primaria è quasi totalmente derivato dagli impianti di digestione (87,15% dell'energia totale del prodotto), seguita dal biogas da fanghi di depurazione (9,95%) e dal biogas da discarica (2,94%).

La situazione è totalmente opposta nel Regno Unito e in Italia. Nel primo il contributo principale è dato dal biogas di discarica (84%). In Italia la maggior parte dell'energia primaria proviene dal biogas di terra (68,97%) e poi da "altri biogas" (29,56%). In Italia il numero e la potenza degli impianti di bioenergia sono in aumento [13,14], in particolare nel 2012 è stato registrato un aumento dell'81,3% in numero e del 34,6% in potenza rispetto al 2011. Il maggior contributo, in termini di numero, è dato dagli impianti di biogas, in particolare quelli provenienti da attività agricole e forestali, un aumento del 156% in numero e del 142% in potenza è stato registrato. Invece il contributo dominante in termini di potenza installata è rappresentato dagli impianti a biomassa, in particolare quelli dei rifiuti urbani. In generale il settore delle bioenergie contribuisce all'8% della potenza totale del settore delle energie rinnovabili [15]. Nel presente lavoro, è stato analizzato il potenziale di bio-metano (BMP) dalla digestione anaerobica di OMSW con inoculo e co-digestione di OMSW, concime bovino (CM) e liquame bovino (CS). L'OMSW utilizzato per l'analisi era un rifiuto inquinante derivante dalla lavorazione dell'olio d'oliva attraverso un sistema trifase, il metodo più utilizzato in Italia per l'estrazione dell'olio. La caratterizzazione di energia da biomasse è stata effettuata e un reattore a serbatoio mescolato a lotti è stato utilizzato, in condizioni mesofile (38°C), per studiare la resa del biogas. L'intero processo è stato eseguito in condizioni di bagnato e con un tempo di ritenzione idraulico (HRT) di 55 giorni.

Nomenclatura utilizzata

OMW Olive Mill Wastes
MSW Olive Mill Solid Waste
CM Cattle Manure
CS Cattle Slurry
OMWW Olive Mill WasteWater
HHV Higher Heating Value
LHV Lower Heating Value
BMP Bio-Methane Potential
HRT Hydraulic retention Time
COD Chemical Oxygen Demand
VS Volatile Solids
DM Dry Matter
OM Organic Matter
TS Total Solids

2. Materiali e metodi

Per valutare quale biomassa sia più idonea per uno specifico processo di conversione energetica e per ottimizzare il processo, è necessario effettuare la caratterizzazione della biomassa, identificando le principali proprietà energetiche. La prima fase di questo studio è stata l'analisi energetica della biomassa selezionata che è OMSW, CM e CS. Il campionamento è stato eseguito secondo "EN 14778: 2011. Biocarburanti solidi: campionamento "[16]. Per preparare il campione "EN 14780: 2011. Biocarburanti solidi: preparazione del campione "[17] Sono state effettuate le seguenti analisi:

1. Analisi finale (contenuto di C, H, N);
2. Contenuto di umidità;
3. contenuto di ceneri;
4. Valore di riscaldamento alto e basso (HHV e LHV);
5. Solido volatile (VS);

Per l'analisi finale, è stato utilizzato un analizzatore di contenuto di carbonio, idrogeno e azoto (Leco CHN-2000). Tutti i test sono stati effettuati secondo la "EN 15104: 2011. Biocarburanti solidi: determinazione del contenuto totale di carbonio, idrogeno e azoto. Metodi strumentali "[18] standard. Il contenuto di ossigeno è stato calcolato utilizzando alcune relazioni empiriche e sottraendo tutti gli altri composti dal 100% [19,20]:

$$O = 100 - (C + N + H + S) \quad (1)$$

I dati sul contenuto di zolfo in OMSW, CM e CS sono stati presi dalla letteratura [21]. Al fine di determinare il contenuto di umidità, sono state prese in considerazione le procedure previste dalle seguenti norme tecniche:

- EN 14774-1: 2009. Biocarburante solido Determinazione del contenuto di umidità,

metodo a forno secco. Parte 1: umidità totale, metodo di riferimento [22].

- EN 14774-2: 2009. Biocarburante solido Determinazione del contenuto di umidità, metodo a forno secco. Parte 2: umidità totale, metodo semplificato [23]
- EN 14774-3: 2009. Biocarburante solido Determinazione del contenuto di umidità, metodo a forno secco. Parte 3: umidità nel campione di analisi generale [24].

Per la determinazione del contenuto di ceneri, la procedura descritta nella "EN 14775: 2009. Biocarburante solido: determinazione del contenuto di ceneri" [25] è stato utilizzato lo standard tecnico. L'alto valore calorifico (HHV) di OMSW è stato determinato utilizzando un calorimetro Parr 6200 e secondo "EN 14918: 2009. Biocarburanti solidi: determinazione del potere calorifico" [26]. I Solidi Volatili (VS) di OMSW sono stati determinati in base a "EN 15148 - Biocarburanti solidi - Determinazione del contenuto di sostanze volatili" [27]. Una determinazione sperimentale è utile per fornire la quantità di produzione di biogas derivante dalla degradazione anaerobica della sostanza organica. Il BMP è un parametro essenziale per valutare problemi di progettazione, economici e gestionali per l'implementazione del processo di digestione anaerobica [28]. Il BMP è definito come la produzione di gas che verrebbe osservata durante un tempo infinito di degradazione anaerobica. In realtà il tempo sperimentale è finito e il BMP può essere stimato dall'andamento della produzione di metano a seconda del tempo.

2.1 Configurazione sperimentale

In questo lavoro è stato utilizzato un mini-digestore (Fig. 1). È composto da:

- Reattore BATCH con un volume di acciaio inossidabile da 5 l
- Sistema di miscelazione
- Colonna d'acqua che consente l'ingresso del biogas del prodotto; in questo modo, come conseguenza del movimento dell'acqua, è possibile valutare il volume del gas
- Sensore di pH
- Termometro
- Pompa a vuoto
- Resistenza riscaldata
- Manometro
- Valvola d'aria
- Valvola e tubo per la presa del campione di gas. Questa valvola può essere azionata manualmente e si attiva automaticamente quando la pressione nel reattore raggiunge 0,1 bar.

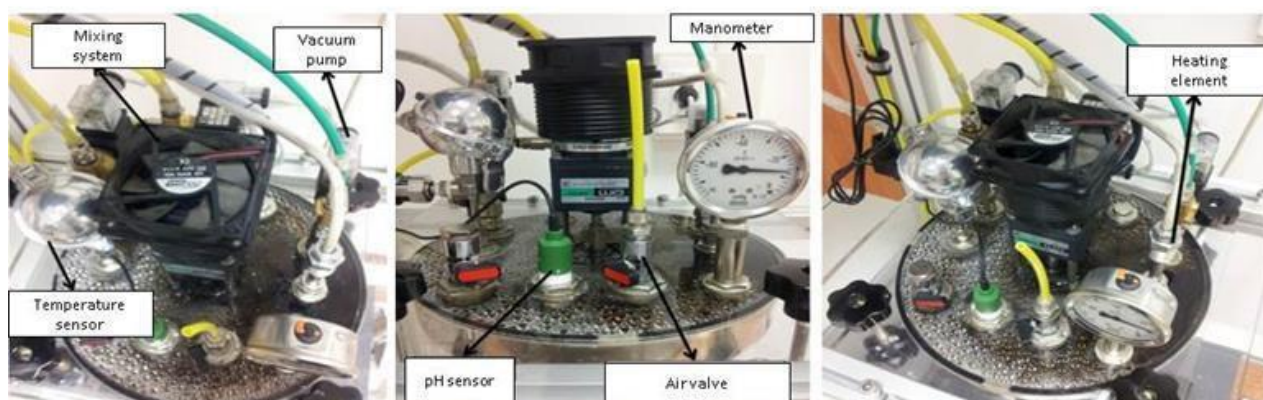


Figura 1 mini digestore utilizzato

Il gas viene quindi estratto attraverso sacche in tedlar e inviato al gascromatografo AGILENT TECHNOLOGY per la valutazione della composizione chimica.

3. Risultati

In un precedente lavoro [25] è stato condotto uno studio su OMSW senza sansa di oliva e con un'umidità del 69,38% (su umido). La quantità massima di biogas prodotto era di 25,14 l dopo 60 giorni. Una produzione cumulativa di metano di 9,58 le un BMP di 0,00147 l / gVS erano stati raggiunti.

In questo studio, l'OMSW con fossa è stato considerato per verificare la produzione di biogas in un processo di digestione anaerobica umida. I test hanno riguardato due tipi di mangimi:

- OMSW con fossa e inoculo,
- OMSW con fossa in co-digestione con CM e CS.

L'inoculo è composto da digestato proveniente da una vera e propria pianta per la produzione di biogas da liquami bovini, prelevati in una fattoria. Nella Tabella 1 e nella Tabella 2 sono riportate rispettivamente le proprietà di inoculo e OMSW. Il rapporto da OMSW a digerito era 2: 1 sul peso. In questo modo il contenuto iniziale di Dry Matter (DM) era del 24%, quindi questo valore è stato modificato per ottenere condizioni di umidità.

Table 1. proprietà dell'inoculo

Inoculum – Digested from cattle sewage		
pH	8.26±0.3	-
Dry matter	12.2±0.13	[%]
Ashes	3.1±0.08	[% dry matter]
Volatile Solids	94.96±0.08	[% dry matter]

Table 2. caratterizzazione chimico-fisica dell' OMSW

OMSW		
C	51.157±0.041	[%]
H	7.292±0.038	[%]
N	1.478±0.060	[%]
S	0.10	[%]
O	39.973	[%]
C/N ratio	34.61	-
Moisture (wet basis)	45.89±0.83	[%]
Moisture(dry basis)	84.80	[%]
Dry matter	54.12±0.83	[%]
Ashes	4.381±0.183	[% dry matter]
Volatile Solids	93.11±0.183	[% dry matter]
High Heating Value (HHV)	23.110±0.094	[%]
HHV (dry basis)	24.885	[MJ/kg]
Low Heating Value (LHV)	23.382	[MJ/kg]
pH	5.4±0.2	-

Table 3. proprietà della miscela

Biomass properties				
	Dry matter [%]	Weight [kg]	Ashes [% DM]	Volatile Solids [%DM]
Digested	5.15	1	1.5	5.07
OMSW	54.12	1.867	2.1	51.4
Water	0	1		
Mixture properties				
	Dry matter [%]	Weight [kg]	Initial pH	Volatile Solids [%DM]
Mixture	11.88%	3.867	6.51	11.64%

La determinazione Sostanze Volatili della miscela, i prelievi di biogas e l'analisi del gas al gascromatografo sono stati effettuati ogni 4 giorni. In Fig. 2 è riportata la tendenza del VS. Come viene mostrato, c'è una tendenza decrescente a causa dell'uso del VS da parte del microrganismo durante la reazione di digestione.

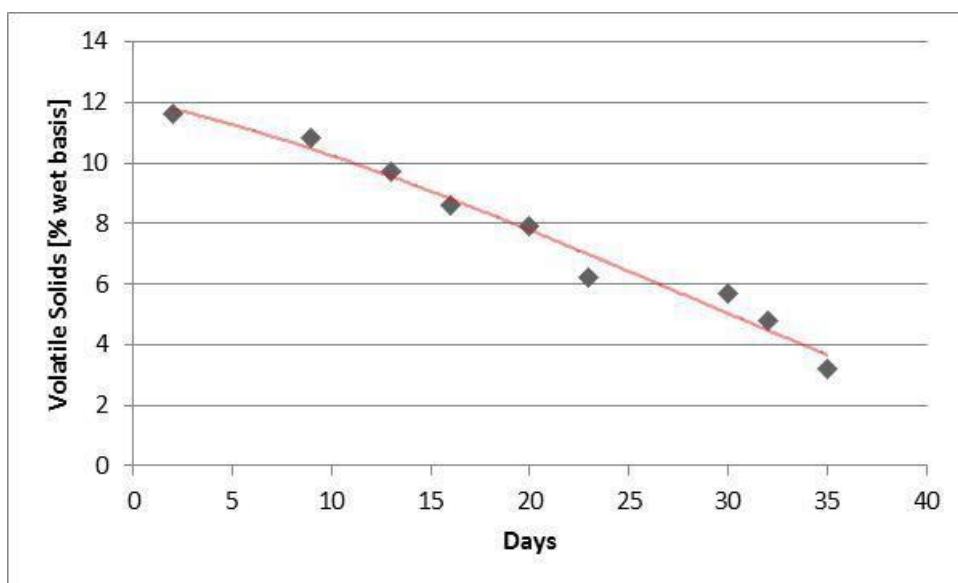


Fig. 2. Andamento dei solidi volatili (% su base umida)

La tendenza del VS può essere confrontata con la produzione cumulativa di biogas durante la reazione (Fig.3). La produzione di biogas aumenta con la diminuzione del contenuto di VS nella matrice di digestione.

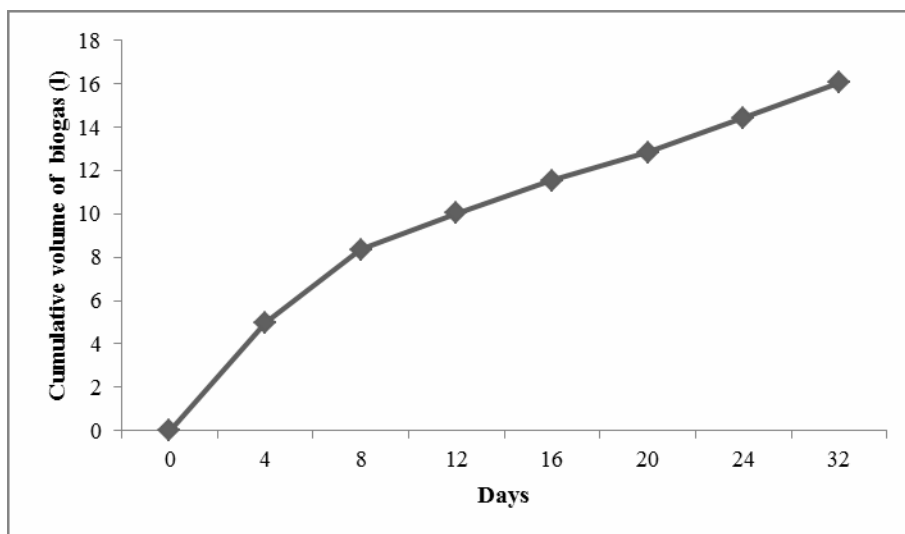


Fig. 3. Volume cumulativo di biogas

La reazione di digestione è stata interrotta al 32 giorno quando la produzione totale di biogas aveva raggiunto 16,05 litri. Inoltre il confronto con il volume cumulativo di metano nel biogas è congruente con la tendenza del VS (Fig. 4).

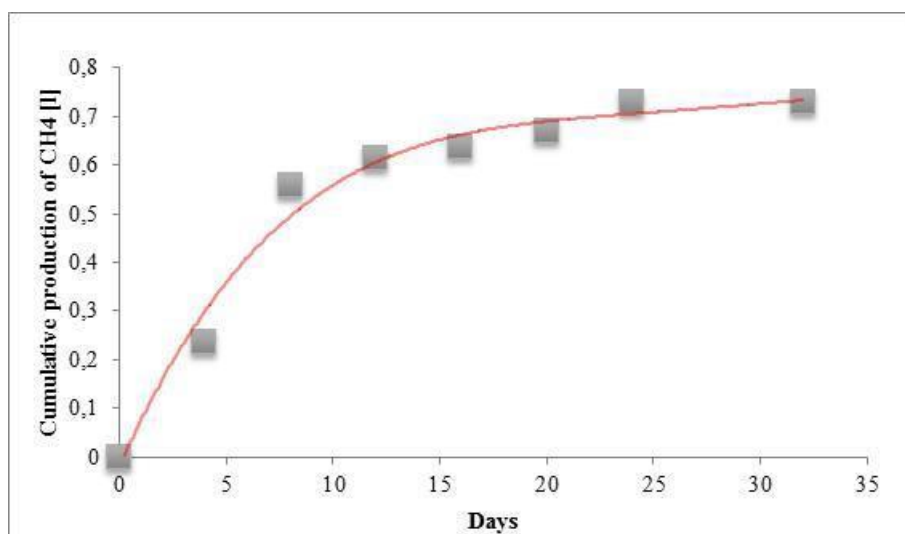


Fig. 4. Volume cumulativo di metano

Quando VS tende a un valore costante anche la produzione di metano tende a fermarsi. Inoltre, come è possibile vedere in Fig. 5, la percentuale di produzione di CH₄ ha avuto un andamento molto alternato e le percentuali erano molto basse. Per questo motivo il test è stato interrotto.

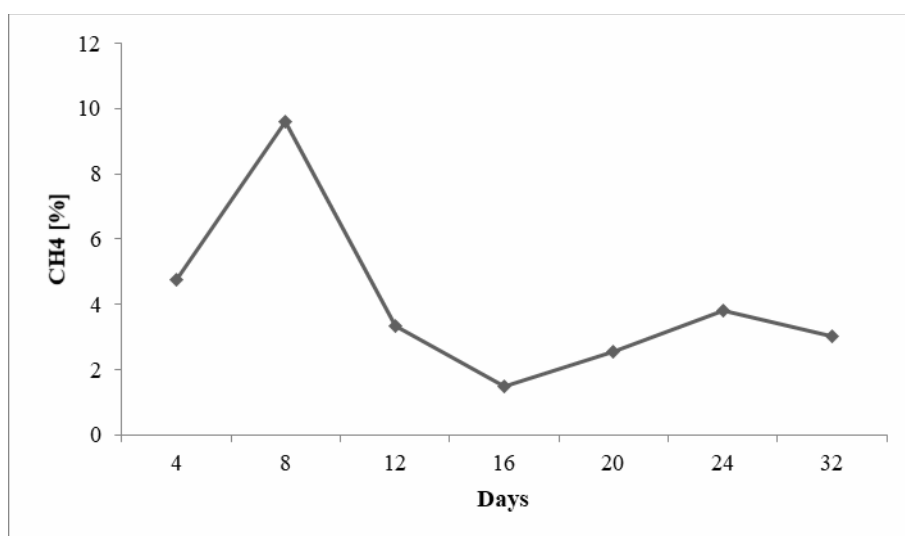


Fig. 5. Percentuale di produzione di metano

Il volume cumulativo di metano ha raggiunto 0,73 l dopo 32 giorni. Questa percentuale è piuttosto bassa rispetto alla produzione totale di biogas. Il BMP è 0,0023 l / gVS. In Fig. 6 è riportato l'andamento del pH. All'inizio della reazione di digestione il pH era 6,51; tuttavia la tendenza era molto fluttuante, dimostrando che non si era verificata una buona reazione di digestione anaerobica.

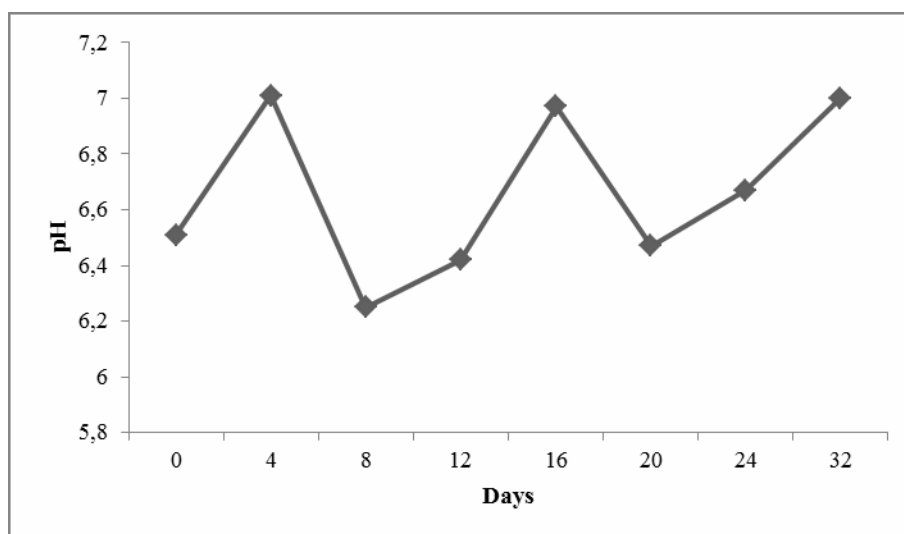


Fig. 6. Andamento del pH

Table 4. Proprietà della biomassa utilizzata per ulteriori prove

Biomass Properties					
	Dry matter [%]	Moisture (wet basis) [%]	Ashes (dry basis) [%]	Organic matter (dry basis) [%]	Weight [kg]
Cattle slurry	1.04	98.96	35.02	61.73	3.1
Cattle manure	18.46	81.54	15.96	75.63	0.2
OMSW	54.12	45.89	4.75	94.07	1
Total					4.3
Mixture properties					
Total dry matter	14 %				
Initial pH	7.07				
Total organic matter on dry basis	93.6 %				
Total organic matter on wet basis	13.03 %				

La HRT è stata di 55 giorni in cui il digestore è stato mantenuto in condizioni mesofile con una temperatura di 38 ° C. Il pH iniziale, grazie al letame e al liquame bovino, era 7,07 e la sostanza organica totale su base secca era del 93,6%. In Fig. 7 e Fig. 8 viene riportato l'andamento del pH del substrato. In questo caso il pH rimane stabile durante il processo, perché il processo è stabile.

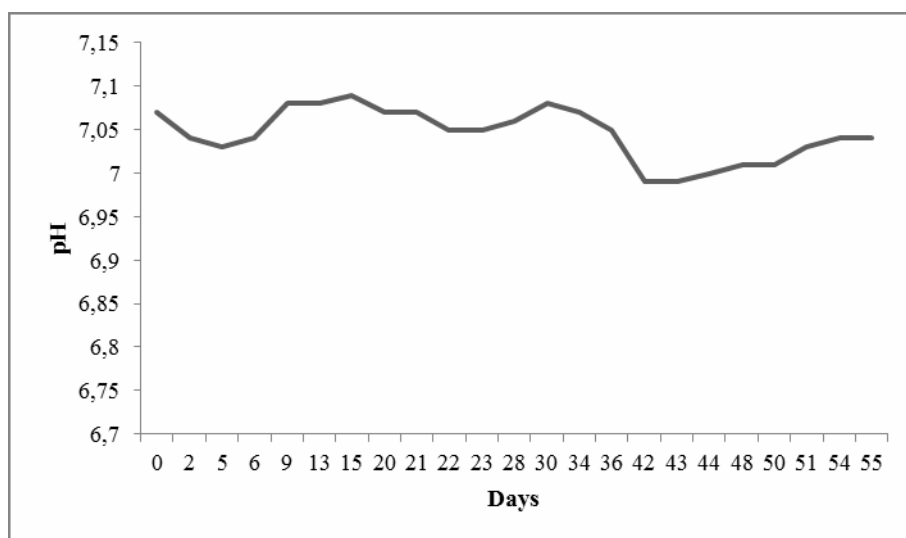


Fig. 7. pH trend

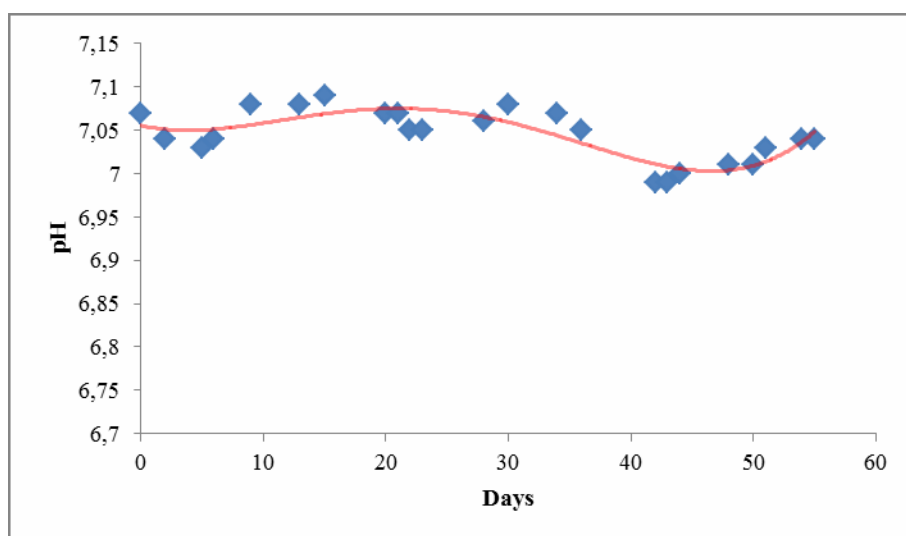


Fig. 8. Punti rappresentativi di pH e linea di tendenza

C'è una diminuzione iniziale seguita da un aumento, che corrisponde all'inizio della fase della maggiore produzione di metano. Di seguito viene mostrata la percentuale di metano nel biogas del prodotto (figura 9).

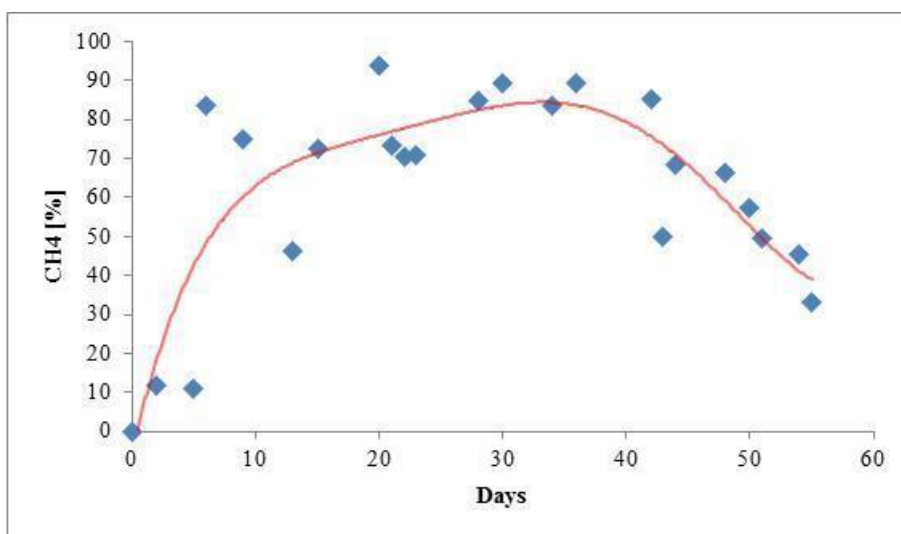


Fig. 9. Percentuale di metano nel biogas

La percentuale di metano aumenta inizialmente, mantenendosi costante dal giorno 7 al giorno 40, dopodiché diminuisce. In Fig. 10 viene presentata la produzione cumulativa di metano. La produzione ha raggiunto 40,5 litri al 55-esimo giorno.

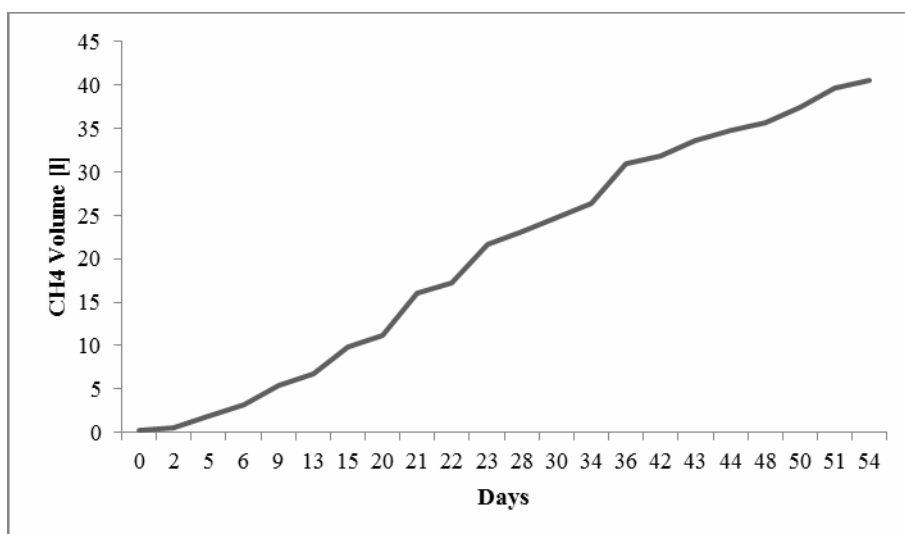


Fig. 10. Volume cumulativo di metano

La produzione cumulativa di biogas ha raggiunto i 63 l alla fine del test (Fig. 11). Pertanto la presenza di metano nel biogas era del 64%.

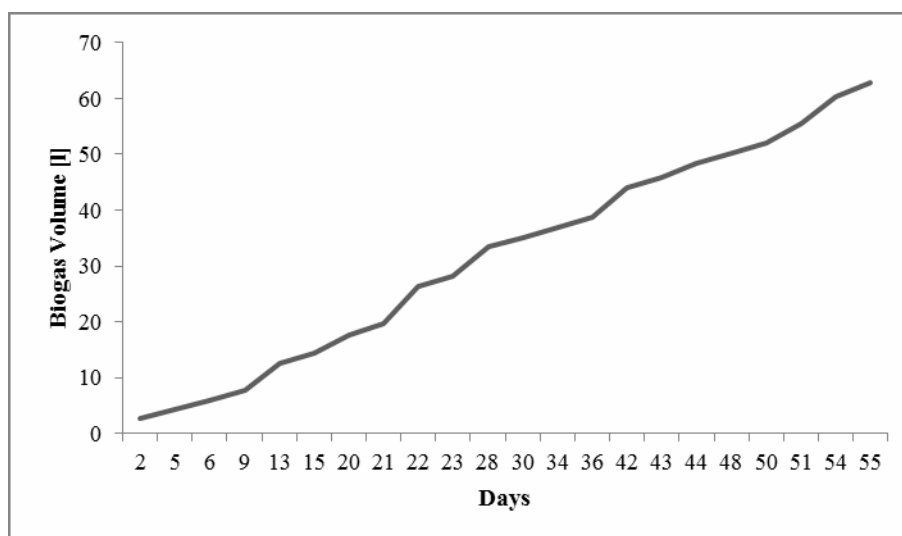


Fig. 11. Produzione cumulativa di metano

4. Conclusioni

I rifiuti di frantoio rappresentano un problema ambientale significativo nell'area mediterranea dove vengono prodotti in quantità enormi e stagionalmente, quindi in brevi periodi di tempo. Uno dei processi più promettenti per sfruttare gli OMW per la produzione di energia è la digestione anaerobica. Soprattutto gli OMSW possono essere utilizzati nei processi di co-digestione con altre biomasse. La tecnologia di co-digestione anaerobica è sempre più utilizzata per trattare contemporaneamente diversi rifiuti organici solidi e liquidi al fine di bilanciare il contenuto di nutrienti, ridurre gli effetti negativi dei composti tossici sul processo e, quindi, aumentare la resa di biogas. Inoltre, la tecnologia di co-digestione contribuisce a un uso più efficiente della digestione anaerobica, poiché più flussi di rifiuti possono essere elaborati insieme in un'unica pianta nello stesso momento. L'uso di OMSW con fossa rappresenta economicamente una possibilità molto interessante, in particolare per i piccoli frantoi. Dai test effettuati con un reattore a lotti mescolati, i risultati del reattore OMSW con fossa hanno prestazioni migliori se utilizzati in co-digestione con altri substrati. La miscela ottimale è stata trovata usando il 4,65% di CM, il 72,10% di CS e il 23,25% di OMSW con un contenuto di Solid Solid (TS) del 14%.

SECONDA LINEA: *Caso studio per la realizzazione di un impianto di Biometano nella Provincia di Viterbo.*

1. Introduzione

La presente Relazione riporta la descrizione ed i parametri tecnici e biologici riferiti alla realizzazione, e alla gestione delle specifiche attività integrate produttive, di un impianto per la produzione di BIOMETANO da immettere in rete di distribuzione del Gestore SNAM e/o carri bombolai, destinato ad autotrazione, costituito da:

1. Strutture di lavorazione matrici e substrato organico, viabilità tecnica e stoccaggio acqua, strutture di gestione e controllo processi produttivi e prodotti finali del ciclo produttivo integrato;

2. digestori di fermentazione anaerobica, alimentati con FORSU (Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani) e sottoprodotti (letame e liquame bovino, residui trasformazione della frutta, siero di latte concentrato e sansa di olivo);
3. impianti di trattamento FORSU e accessori per il recupero di energia e fertilizzanti organici);
4. impianti di abbattimento azoto (strippaggio);
5. impianti di purificazione biogas in biometano e recupero Anidride Carbonica;
6. Impianti di estrazione polifenoli da acque di vegetazione provenienti da molitura di oli- ve;
7. impianti per abbattimento inquinanti della frazione liquida in MBR (frazione liquida im- messa in effluente superficiale come prescrizione Tab 4 Allegato V Parte III D.Lgs 152/2006 e s.m. e i.);
8. Impianto di produzione di Ammendante Compostato Misto da lombricoltura (impiego del substrato prodotto dalla separazione del digestato);
9. Impianti integrativi di produzione di energia elettrica ed energia termica esclusivamente per il fabbisogno energetico delle attività in atto nello stabilimento

2. Descrizione dettagliata del processo

L'impianto che si intende costruire è annesso ad impianto di produzione di biometano il cui funzionamento è legato alla composizione delle matrici previste in utilizzo che, di seguito, si riporta.

Tipo matrice	Tonn/anno
Letame bovino	4.309
Liquame bovino	8.208
Siero di latte concentrato	4.600
Vinacce di uva	3.000
Sansa di olive	8.000
Umido FORSU (*)	35.000
TOTALE (T/anno)	63.117

Le matrici sono trasportate in stabilimento da automezzi idonei, seguendo un percorso stabilito e autorizzato. La FORSU viene scaricata in area di lavorazione, seguendo le norme stabilite dalla direzione di stabilimento, viene sottoposta a preparazione all'utilizzo attraverso l'impianto di rompi buste, eliminazione plastica, de sabbiatura e lavaggio con acque provenienti dal ricircolo che, in seguito al trattamento, costituiscono un pulper che viene giornalmente inviato in vasca di premiscelazione. Il prodotto residuo, non utilizzabile in digestione anaerobica (buste, parti solide e/o metalliche) viene separato e stoccato temporaneamente in cassoni scarrabili, della portata complessiva di circa 5,0 ton/giorno, che giornalmente vengono trasferiti in discarica. Il pulper così ottenuto viene inviato in vasca di premiscelazione dove, in automatico, vengono aggiunte i quantitativi previsti di siero di latte concentrato (**12,60 t/die**), liquame di

bovini (**22,49 t/giorno**) e le porzioni solide di letame bovino (**11,81 ton/d**), sansa di olive (**21,92 t/d**) e le vinacce d'uva (**8,22 t/d**).

La miscela necessita di un quantitativo di acqua di ricircolo pari a **79.178,64 t/y** pari a **216,93 t/d**. Dalla vasca di premiscelazione, a turni costanti e/o variabili, vengono inviati nei digestori quantità note di miscela al 90% di umidità in quantità giornaliera pari a 129,95 t/d per ciascun digestore. La vasca di premiscelazione è provvista di miscelatore e di tritatore oltre ad un sistema di condizionamento al fine di mantenerne la temperatura a circa 25°C, costante. Questo consente di evitare stress termici in ingresso dei quantitativi costanti nel corso della giornata. L'immissione della quota periodica e/o giornaliera consente di disporre dei giusti quantitativi di materiale organico vergine oggetto di attività ad opera della flora microbica all'interno del digestore. I parametri funzionali sono legati alla temperatura ($t=39^{\circ}\text{C}$, costante), tempo (numero giorni = 38) e $\text{pH}=7,2$. Nel digestore sarà prodotto biogas che si accumulerà nel deposito pressostatico (gasometro) per poi essere inviato in up-grading per la fase di purificazione.

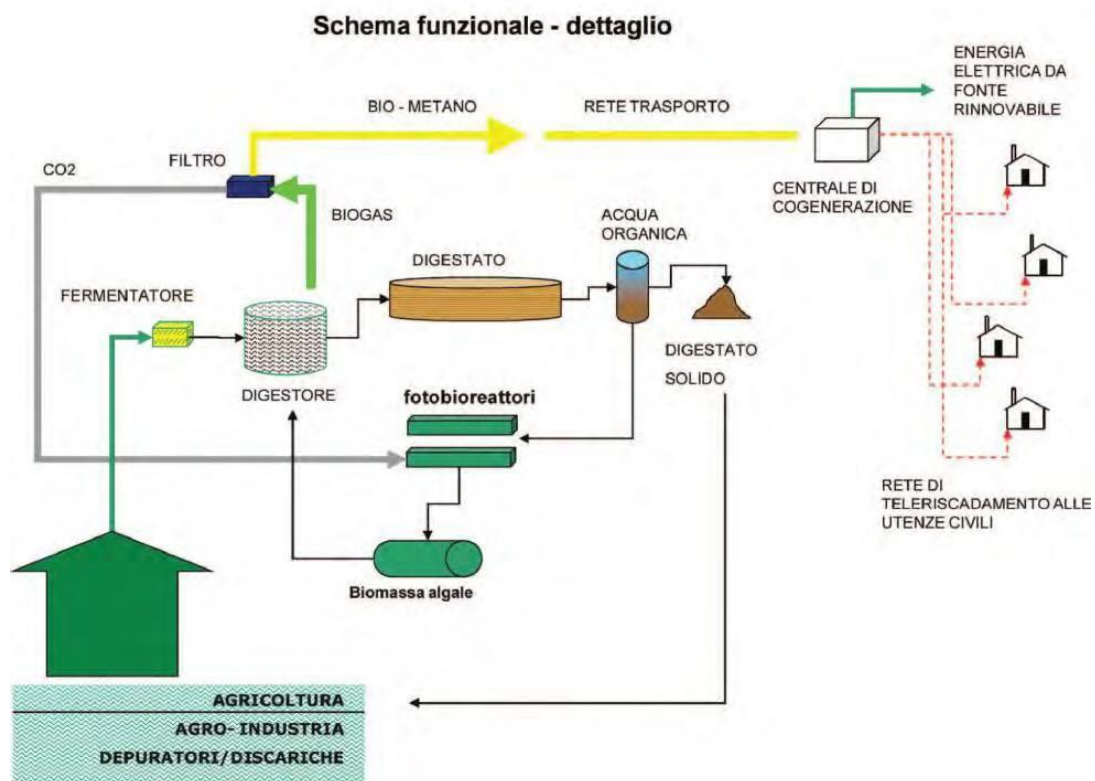
Dall'attività della flora microbica si produrranno circa 23.719,49 Nm^3/d di biogas, pari a 988,31

Nm^3/h che consentiranno di produrre 8.657.613 Nm^3/y di biogas. Il biogas sarà inviato in up-grading, a membrane, in cui potrà avvenire la purificazione del biogas e la separazione dalle parti non utili (CO_2 , H_2S , H_2O , Silossani, altro). Una parte di questo materiale sarà recuperato (CO_2 in quantità pari a 3.281.235 Nm^3/y) mentre l' H_2S , unitamente alle membrane non più utilizzabili, sarà eliminato in discarica (attività prevista a carico della società proprietaria dell'impianto di upgrading e a cui si prevede di affidare incarico di gestione delle attività specifiche) in un quantitativo pari a circa 1.710 t/y. L'anidride carbonica sarà sottoposta a fase di liquefazione disponendo, per questo, di circa 5.880,35 t/y da immettere in commercio alimentare e/o tecnico (serre, antincendio, industria specifica innovativa). Il biometano così prodotto (**3.577.170 Sm^3/y**) sarà avviato al carico dei carri bombolai o alla rete del gestore (rete di distribuzione SNAM) ed immesso al consumo per auto-trazione.

Una parte del biometano prodotto sarà utilizzato in cogeneratore (**774.785,11 Sm^3/y** pari al **17,80%** della produzione di biometano) per produrre energia elettrica da immettere in rete aziendale per l'autoconsumo (**3.096.660 kWh/y**), recuperando il calore dal raffreddamento e dai fumi emessi in atmosfera (**4.060.751 kWh/y**). In successione al processo di digestione anaerobica, la massa presente nei digestori viene espulsa giornalmente per essere avviata alla separazione in separatore a coclea. Dalla separazione si originano una fase fluida contenente l'1,2-1,50% di sostanza secca residua (107.422,56 t/y). Questa porzione viene indirizzata in parte al trattamento di strippaggio (80.996,53 t/y) per destinarne l'uso al ricircolo nella fase di lavaggio e diluizione nella vasca di

premiscelazione ed in parte alla purificazione in MBR (26.426,03 t/y) al fine di poterne destinare l'uso in Tabella IV dell'Allegato V Parte III del D.Lgs. 152/06. Alla porzione destinata alla purificazione in MBR si aggiunge anche un quantitativo di acque provenienti dal MBRp (sistema di estrazione polifenoli da acque di vegetazione) per cui il quantitativo complessivo diventa di 26.876,07 t/y. L'impianto di MBR determinerà la produzione di acqua in Tabella IV (22.777,15 t/y) che saranno inviate in vasca di stoccaggio (per gli usi

consentiti dal D.Lgs 152/06, D.Lgs 185/01). L'attività di purificazione in MBR determinerà la separazione di una quantità di residui pari a circa 410,63 t/y di rifiuti (da destinare in discarica) e 3.689,02 t/y di vapore che potrà essere emesso in atmosfera (10,11 t/d) oppure condensato in silos di condensazione e avviato allo stoccaggio in vasca di stoccaggio aziendale. Un impianto di biometano da immettere in rete privata di distribuzione (SNAM) per destinarne l'uso per autotrazione e/o domestico è costituito da un "impianto produttivo combinato, biochimico/microbiologico e chimico/fisico, in cui lo sviluppo di processi anaerobiotici consentono la produzione di biogas (miscela semplice di metano e Anidride Carbonica ed altri componenti in piccole dosi) che viene sottoposto a purificazione (desolforazione, deumidificazione e blanda decarbonatazione) e raffinazione (upgrading a membrane) utilizzato per gli usi propri di autotrazione e uso domestico o industriale (sviluppo congiuntamente di energia meccanica, elettrica e termica



(Esempio di impianto di produzione di BIOMETANO che utilizza matrici organiche provenienti anche dall'impiego di bioreattori di allevamento alghe monocellulari)

La **digestione anaerobica**, quindi, è un processo di conversione di tipo biochimico consistente nella demolizione, ad opera di microrganismi, delle sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale.

Il risultato di tale processo è la produzione di gas costituito per il 50-70% di metano e la restante parte soprattutto da CO₂.

Il **biometano** (CH₄) così prodotto (nel digestore primario e secondario e terziario) viene raccolto, compresso e immagazzinato (digestore primario, secondario e secondario) e, dopo purificazione e raffinazione in upgrading, viene immesso in rete SNAM per uso industriale, autotrazione e domestico e, in parte, per essere utilizzato come combustibile (a ri-

dottissima emissione di CO_x e NO_x) per alimentare il motore a biometano ovvero per produrre energia elettrica e calore da destinare al fabbisogno aziendale (autoconsumo)

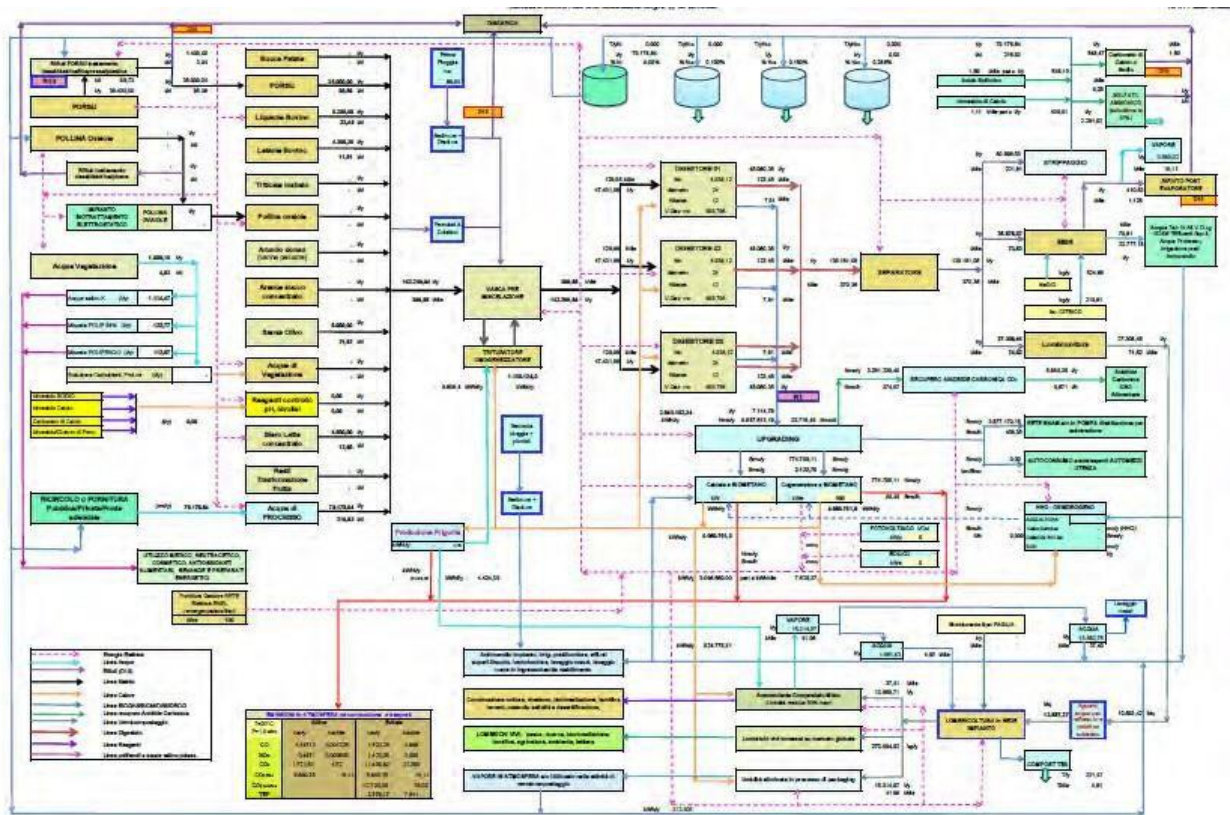


Figura 2. Ciclo di produzione

Al termine del processo di digestione anaerobica (attuata all'interno di digestori appositamente dimensionati in funzione della qualità, della quantità e della natura della biomassa) si conservano integri nell'effluente i principali elementi nutritivi (quali azoto, fosforo e potassio) già presenti nella materia prima, favorendo la mineralizzazione dell'azoto organico.

3. Opportunità e riflessi indotti dalla scelta organizzativa e del regime fiscale

Considerati i vantaggi di natura fiscale riservati al settore agricolo, le valutazioni e le scelte imprenditoriali degli operatori dovrebbero in primo luogo essere indirizzate ad individuare la situazione organizzativa dell'impresa più confacente: esercizio individuale dell'impresa ovvero collettivo, nella forma di società di persone, di capitali, cooperativa, consorzio o società consortile, agricola assoggettata a tassazione al reddito agrario o al reddito di impresa.

Per ciascuna delle ipotesi richiamate è necessario evidenziare in secondo luogo, il contributo alla formazione del risultato economico dell'esercizio, della gestione caratteristica e delle gestioni atipiche (finanziaria, straordinaria e tributaria) nonché il differente carico fiscale in termini di imposte sui redditi ed Irap; carico fiscale quest'ultimo, estremamente diversificato in relazione alla scelta organizzativa operata.

L'assoggettamento ad un regime fiscale di tipo ordinario (determinazione del reddito di impresa) per l'impresa agricola determinerebbe, a parità di condizioni, un carico fiscale maggiore che per l'impresa industriale che non internalizza il processo produttivo della biomassa vegetale, con conseguente erosione del cospicuo differenziale realizzabile in termini di margine della gestione caratteristica (Pierri, Morbidelli, 2010).

Il riconoscimento alla produzione e alla cessione di energia da biomasse della qualifica di attività agricole connesse e la conseguente possibilità di usufruire della tassazione sulla base degli estimi catastali, appare, per contro, notevolmente vantaggiosa tanto da poter garantire elevati livelli di redditività anche per scenari in cui si preveda una riduzione significativa del contributo incentivante.

L'Agenzia delle Entrate con la CIRCOLARE N. 32/E DEL 6 LUGLIO 2009 "Imprenditori agricoli - produzione e cessione di energia elettrica e calorica da fonti rinnovabili agro-forestali e fotovoltaiche nonché di carburanti e di prodotti chimici derivanti prevalentemente da prodotti del fondo: aspetti fiscali. Articolo 1, comma 423, della legge 23 dicembre 2005,

n. 266 e successive modificazioni" ha determinato che l'articolo 1, comma 423, della legge 23 dicembre 2005, n. 266 (legge finanziaria per il 2006) aveva stabilito che "La produzione e la cessione di energia elettrica da fonti rinnovabili agroforestali effettuate dagli imprenditori agricoli costituiscono attività connesse ai sensi dell'articolo 2135, terzo comma, del codice civile e si considerano produttive di reddito agrario".

L'articolo 2-quater, comma 11, del decreto legge 10 gennaio 2006, n. 2, convertito con modificazioni dalla legge 11 marzo 2006, n. 81, ha integrato la citata norma aggiungendo, dopo le parole "energia elettrica", quelle "e calorica" e dopo "fonti rinnovabili agroforestali", le parole "e fotovoltaiche".

L'articolo 1, comma 369, della legge 27 dicembre 2006, n. 296 (legge finanziaria per il 2007) ha sostituito il citato comma 423, riformulandolo come segue: "Ferme restando le disposizioni tributarie in materia di accisa, la produzione e la cessione di energia elettrica e calorica da fonti rinnovabili agroforestali e fotovoltaiche nonché di carburanti ottenuti da produzioni vegetali provenienti prevalentemente dal fondo e di prodotti chimici derivanti da prodotti agricoli provenienti prevalentemente dal fondo, effettuate dagli imprenditori agricoli, costituiscono attività connesse ai sensi dell'articolo 2135, terzo comma, del codice civile e si considerano produttive di reddito agrario".

L'ultimo intervento normativo in materia è contenuto nella legge 24 dicembre 2007, n. 244 (legge finanziaria per il 2008) e, in particolare, nel comma 178 dell'articolo 1, con il quale il legislatore ha integrato il citato comma 423, specificando alla fine che le predette attività si considerano produttive di reddito agrario, "fatta salva l'opzione per la determinazione del reddito nei modi ordinari, previa comunicazione all'ufficio secondo le modalità previste dal regolamento di cui al decreto del Presidente della Repubblica 10 novembre 1997, n. 442."

In altri termini, tale ultima previsione normativa ha reso opzionale, per gli imprenditori agricoli che svolgono le attività in parola, la determinazione del reddito nei modi ordinari.

Come accennato in premessa, ai sensi dell'articolo 1, comma 423 della legge finanziaria 2006 e successive modificazioni, le attività effettuate dagli imprenditori agricoli di produzione e cessione di energia elettrica e calorica da fonti rinnovabili agroforestali e fotovoltaiche, nonché di carburanti e prodotti chimici ottenuti da vegetali derivanti prevalentemente dal

fondo, costituiscono attività connesse ai sensi dell'articolo 2135 del codice civile e si considerano produttive di reddito agrario.

L'imprenditore agricolo, ai sensi del medesimo articolo 2135, è colui che svolge le attività di coltivazione del fondo, selvicoltura e allevamento di animali, nonché le attività connesse, ovvero, quelle attività svolte dal medesimo soggetto che si pongono in un rapporto di effettiva relazione e coerenza con

l'attività agricola principale.

Fino all'emanazione della legge 27 dicembre 2006, n. 296 (legge finanziaria per l'anno 2007), la determinazione del reddito agrario su base catastale ai sensi dell'articolo 32 del TUIR, costituiva il regime naturale esclusivo per le sole persone fisiche, società semplici ed enti non commerciali esercenti l'impresa agricola.

L'articolo 1, comma 1093, della legge 27 dicembre 2006, n. 296, ha disposto che "Le società di persone, le società a responsabilità limitata e le società cooperative che rivestono la qualifica di società agricola ai sensi dell'articolo 2 del decreto legislativo 29 marzo 2004, n. 99, come da ultimo modificato dal comma 1096 del presente articolo, possono optare per l'imposizione dei redditi (...)".

Pertanto, a decorrere dal 1° gennaio 2007, per effetto della citata disposizione la determinazione su base catastale del reddito agrario è stata estesa, per opzione, anche alle società di persone, alle società a responsabilità limitata e alle società cooperative che ai sensi dell'articolo 2 del citato d.lgs. n. 99 del 2004

rivestono la qualifica di società agricole, ossia che svolgono esclusivamente le attività agricole e connesse di cui al richiamato articolo 2135 c.c. e la cui ragione sociale (se trattasi di società di persone) o denominazione sociale (se trattasi di società di capitali) contiene la locuzione "società agricola".

Conseguentemente, i soggetti destinatari del regime fiscale previsto per la produzione di energia da fonti rinnovabili sono:

- le persone fisiche, le società semplici e gli enti non commerciali che esercitano le attività agricole di cui all'articolo 2135 del c.c.;
- le società di persone, le società a responsabilità limitata, e le società cooperative che rivestono la qualifica di società agricola ai sensi dell'articolo del D.Lgs. n. 99 del 2004 che optano per la determinazione del reddito su base catastale.

Come detto, il comma 423 della legge finanziaria 2006 ha ampliato la categoria delle attività agricole connesse di cui al terzo comma dell'articolo 2135 del codice civile, riconducendo tra le stesse anche le produzioni di:

- energia elettrica e calorica derivante da fonti rinnovabili agroforestali e fotovoltaiche;
- carburanti ottenuti da produzioni vegetali provenienti prevalentemente dal fondo;
- prodotti chimici derivanti da prodotti agricoli provenienti prevalentemente dal fondo. Al riguardo si precisa che, di norma:
 - per fonti "rinnovabili agroforestali": s'intendono le biomasse, ovvero, la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura (es. biomasse legnose che si ottengono da legna da ardere, cippato di origine agroforestale, o pellet derivante dalla segatura di legno) (cfr. decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387, articolo 1, lettera a);
 - per fonti "fotovoltaiche": s'intendono i moduli o pannelli fotovoltaici, in grado di

convertire l'energia solare in energia elettrica ;

- per “carburanti derivanti da produzioni vegetali”: s'intendono prodotti quali il bioetanolo (etanolo ricavato dalla biomassa ovvero dalla parte biodegradabile dei rifiuti, destinato ad essere usato come carburante); il biodiesel (etere metilico ricavato da un olio vegetale o animale, destinato ad essere usato come carburante); il biogas carburante ed altri carburanti simili (cfr. decreto legislativo 30 maggio 2005, n. 128 Allegato I, articolo 2, comma 2);

- per “prodotti chimici derivanti da prodotti agricoli”: s'intendono prodotti quali biopolimeri, bioplastiche, ecc. che si ottengono per esempio da amido e miscele di amido, ecc. (prodotti della

c.d. chimica verde).

Nella tabella inferiore sono riportati i valori dei quantitativi di elementi minerali residui nella frazione solida del digestato che è pari, mediamente, al 25-35% della biomassa.

Bio-fertilizers (fermented substrate)	Composition kg/ton				
	N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Pig manure	5,9 -6,5	1,4-2,0	5,3-5,8	6,1-6,3	1,5-1,8
Cow manure	4,3-5,0	1,0-1,2	2,7-2,9	7,5-7,8	1,3-1,5
Horse manure	3,6-3,8	1,0-1,1	4,0-4,3	4,3-4,8	1,5-1,8
Poultry manure	17-18	3,0-3,5	10-10,9	8,0-8,8	3,5-4,2
Grass	3,2-3,5	0,7-1,0	1,37-1,4	4,2-4,8	0,5-0,6
Haylage	3,5-3,8	0,5-0,9	1,25-1,3	4,0-4,5	0,5-0,6
Maize silage	3,7-4	1,2-1,3	1,3-1,4	4,2-4,5	0,8-1
Sugar beet tops	2,1-2,3	0,5-0,9	1,25-1,4	3,5-4	0,7-0,9
Sparging	14-16	2,0-2,5	6,0-6,5	5,4-5,5	0,6-0,8
Grains	16-18	1,9-2,3	6,0-6,3	5,3-5,5	0,6-0,8
Sugar beet pulp	5,0-6,2	-	3,3-3,5	4,2-4,5	1,2-1,6
Slaughterhouse waste	10-12	1,8-2,0	20-25	3,0-3,5	2,5-2,6
Milk plant waste	2,5-3,2	0,4-0,8	1,0-1,2	-	-
Screening	8-10	1,8-2,0	5,6-6,0	5,2-5,3	0,7-0,8
Potato processing waste	4,5-4,7	1,5-1,8	2,8-3,5	4,6-4,8	1,2-1,4
Cake (fruits)	6-6,8	-	6,4-6,7	5,3-5,8	2,1
Organic food waste	5,6-5,8	1,6-1,9	3,2-3,6	4,0-4,3	2,5-2,7
Rape-cake	4,5-5	-	2,6-3,8	5,6-7	3,2-3,4
Activated sludge	3,9 -4,2	2,4-2,2	2,2-2,9	2,1-2,22	0,5-0,27

4. Descrizione dettagliata complessiva dell'impianto

L'impianto in questione sarà realizzato secondo le migliori tecniche disponibili nel campo della digestione anaerobica delle biomasse ad alto carico organico, sia per quanto riguarda la fermentazione vera e propria, sia per la sezione di utilizzo del biogas prodotto.

I volumi di digestione previsti sono stati dimensionati per il funzionamento in regime mesofilo (circa 38/40 ° C), ma le caratteristiche strutturali ed impiantistiche di tutti gli elementi permettono che l'impianto possa funzionare anche in regime termofilo (oltre 50 ° C).

Tutte le macchine, gli accessori e i componenti utilizzati posseggono il marchio CE, e rispondono ai requisiti richiesti sulla sicurezza delle macchine.

4.1. Caratteristiche dimensionali e costruttive

L'impianto sarà costituito dalle strutture elencate nella tabella seguente. Le singole strutture sono meglio descritte nelle pagine successive.

N°	Componente	Valore superficie	Volume complessivo
1	Trincea sansa vergine di olive coperta da PE su struttura intelaiata in metallo zincato x stoccag- gio Sansa di olive	216 m ²	1.080 m ³
1	Trincea vinaccia di uva coperta da PE su struttu- ra intelaiata in metallo zincato x stoccaggio Sot- toprodotti	216 m ²	1.080 m ³
1	Trincea stoccaggio letame coperta da PE su struttura intelaiata in metallo zincato x stoccag- gio Letame bovino	216 m ²	1.080 m ³
1	Deposito fase liquida da separatore da sottopor- re a strippaggio e purificazione tramite MBR con acque depurate in tab V All IV Parte III D.Lgs. 152/06 uso irriguo con altezza utile 10 mt di cui 6 metri interrati	390 m ²	1.950 m ³
1	Deposito fase liquida da strippaggio destinazio- ne RICICLO con altezza utile 5 metri fuori terra	2	3
1	Area stoccaggio temporaneo digestato solido da separatore epicicloidale	2	3
1	Area di montaggio impianto STRIPPAGGIO e correzione pH	2	-----
1	Area montaggio sistema recupero CO ₂	225 m ²	-----
1	Strada servizio lungo perimetro sito	----- ml	----- m ²
1	Silos verticali per lo stoccaggio di liquami, acque di vegetazione e siero di latte concentrato (per- meato di siero dal 25% al 50% di s.s.)	50 m ²	301,44 m ³
1	Silos acciaio condizionato d=8. h=6 stoccaggio siero di latte concentrato (25,00% s.s.)	2	3
1	Silos acciaio condizionato d=8. h=6 stoccaggio acque di vegetazione da disoleazione olive da	50 m ²	304,44 m ³

N°	Componente	Valore superficie	Volume complessivo
	in materiale prefabbricato (PE coibentato)		
1	Metanodotto (previsionale)	1.500 ml	.....
1	Fossa Himoff n. 2 (vermiscompostaggio + gestione impianto)	14 pp	.....
1	Impianto di produzione di Ammendante Composto Misto da lombricoltura su suabtrato solido derivante dalla separazione del digestato	10.968 m ²	.....
1	Alberi alto fusto (vetiver, cipresso, tiglio, carpino, robinia, pino, querce) da piantumare lungo aree libere a compensazione impatti ambientali	500	.....
1	Struttura di gestione attività di vermicompo- staggio	2	3

N°	Componente	Valore superficie	Volume complessivo
	olio		
1	Tramoggia dosatore di carico sottoprodotti vasca pre miscelazione	2	3
1	Superficie di montaggio MBR	500 m ²	...
1	Area di sosta e riempimento autocisterne CO ₂	122 m ²	.....
1	Area di sosta riempimento autocisterne trasporto metano liquido	2	.....
1	Locale uffici e gestione impianto	151,5 m ²	606 m ³
1	Cogeneratore a biogas di servizio di potenza 500 kWe in container fonoassorbente Ir < 67 dB	2	...
1	Vasca di pre miscelazione dimensioni d = 23 mt ed h = 6,5 m, interrata per metri 6 e bordo so- pra sup. fondiaria = 1,00 m	415,27 m ²	2.699,23 m ³
1	Area complessiva alloggiamento Upgrading e compressione biometano Hysytech 13x13x6,5 capacità trattamento 960 Nm³ biogas per produzioni di 480 Nm³, a 15 bar, di biometa- no a norma specifiche SNAM,	350 m ²	.....
1	Superficie alloggiamento aero depuratore loca- lizzato in superficie libera adiacente arrivo ma- trici (FORSU)	680 m ²	.....
1	Struttura ricevimento matrici (FORSU) Struttura coibentata per l'arrivo, lo scarico, la lavorazione e la messa in riserva di rifiuti provenienti dalla RD (FORSU, cod CER 20.01.08)	1.800 m ²	21.600 m ³
2	Biospremitrici TORNADO	49,44 m ²	296,64 m ³
1	Area filtro ingresso/uscita vettori da area stoc- caggio FORSU	2	3
1	Bilico 14,6 metri x 3,50 portata 50 ton	43,80 m ²	.....
1	Area lavaggio ruote e disinfestazione mezzi a ruota	2	.....
1	Separatore solido/liquido	----	-----
3	Digestore anaerobico, valore esterno, base con- ca da pendenza 2% direzione centro, a flusso continuo, d=24, h=12 in cls. Interramento coro- na inferiore e fondamenta fino a metri 1,95). Altezza fuori terra 6,00	1.356,48 m ²	16.277,76 m ³
3	Impianto di riscaldamento biomassa a tubi e- sterni e indipendenti per ciascun digestore	.....	.....
1	Area di montaggio scambiatori, pompe e impian- ti di servizio prevista tra i digestori, altezza me- tri 5,00 fuori terra	228 m ²	1.368 m ³
1	Trasformatore	1 unità	.....
1	Torcia	1 unità	.....
1	Vasca stoccaggio acque depurate in MBR (capta- zione acque di 2.a pioggia, acque di irrigazione prati e bordure, acque di mantenimento parame- tri termogrignometrici vermicompostaggio, acque di antincendio, riserva acque di processo)	2.000 m ²	10.000 m ³
1	Cabina di Trasformazione/fornitura EE irealizzata	75 mc	

L'area d'impianto ha superficie di 132.901 mq con accesso a strada provinciale che, verso nord, interseca la Strada Statale 640 Agrigento/Caltanissetta.

Nota impropriamente anche come scorrimento veloce Agrigento-Caltanissetta ed in parte già nota come nuova strada ANAS 347 della Stazione di Imera (NSA 347), è una strada statale italiana che collega Porto Empedocle allo svincolo di Caltanissetta sull'autostrada A19. La strada costituisce uno dei maggiori assi viari regionali e la principale via di comunicazione tra Agrigento e Caltanissetta. Ha sostituito, con un tracciato più breve e privo di attraversamenti urbani, la strada statale 122 Agrigentina, a cui è collegata tramite diversi svincoli. Lungo il suo percorso attraversa i territori comunali di Porto Empedocle, Agrigento, Favara, Racalmuto, Canicattì, San Cataldo e Caltanissetta. Una bretella di raccordo a scorrimento veloce permette il collegamento con la SS 626 e Pietraperzia. Dopo essere stata declassata dalla condizione di strada a scorrimento veloce (in quanto possiede intersezioni a raso), dal 2009 è oggetto di alcuni lavori, finalizzati a trasformare questa arteria fondamentale in strada extraurbana principale, al fine di ridurre i tempi di trasferimento tra i due capoluoghi di Caltanissetta ed Agrigento.



La superficie risulta coperta da „ristoppie“ che evidenziano una raccolta di cereali (grano duro) nel periodo estivo (vedere foto).



Foto sito



Foto del sito alla data odierna



Foto con Vista verso SUD



Foto con Vista verso SUD

Descrizione matrici previste nel processo produttivo biologico

Le matrici utilizzabili previste nel processo di produzione di biometano sono riferite all'elenco evidenziato al paragrafo 5.0 e di seguito se ne descrivono le caratteristiche tecniche e biologiche riportando parametri di valutazione e di classificazione.

4.2. Letame bovino (4.309 t/y)

La produzione della matrice letame è riferita alle deiezioni solide prodotte da bovino o bufalini che sono localizzate nell'area agricola della provincia di Caltanissetta. Sono presenti allevamenti di bovini da latte e per la produzione di carni.

La provincia di Caltanissetta dispone di circa 18.000 aziende agricole con una SAT di 130.000 Ha (Dati Censimento 2010). Le aziende zootecniche risultano circa 215, in contrazione del 12,0% rispetto al 2000. Il patrimonio bovino della provincia risulta essere composto da circa 9.000 capi in aumento del 23% rispetto al 2000. Ciò comporta una diversa gestione degli allevamenti per cui il comparto risulta costituito da allevamenti con un numero medio di circa 41 capi.

La quantità di letame coinvolta nel presente progetto coinvolge un numero limitato di animali pari a circa 400 (4,45% della popolazione totale provinciale) localizzati nelle vicinanze del centro produttivo a circa 5-10 km di distanza.

Il letame dispone di diversa consistenza e caratteristiche in ragione della tipologia di allevamento (stabulazione libera o fissa o semi fissa con cuccette o nastro asportatore o raschiatore, stabulazione su fessurato con lavaggio continuo o lavaggio settimanale, ecc.), dall'uso di lettiera (paglia, loppa, trucioli), dalla razza e dalla fase di vita (bovini in lattazione, da carne),

Le caratteristiche del letame utilizzabile nell'impianto oggetto di previsione progettuale dovrà essere fresco, la cui raccolta avvenga periodicamente ogni massimo 15 giorni, privo di letame proveniente da animali in quarantena (assenza di antibiotici), privo di eccessi di lettiera organica (trucioli o paglia).

Il letame ottimale sarà fornito da allevamenti con corsia di alimentazione e cuccette provviste di materassino o materiale inerte solidale alla struttura, prodotto da bovine da latte in lattazione e, in secondo ordine, in asciutta, con esclusione delle parti solide organiche utilizzate in lettiera (si preferirà un annesso sistema di frantumazione delle parti organiche solide o la separazione preventiva di quanto difficilmente utilizzabile dalla flora microbica di digestione anaerobica).

Il Soggetto Proponente ha sottoscritto preliminari di fornitura con alcune aziende agricole zootecniche disponibili a fornire la biomassa utile per le attività di digestione anaerobica previste alla presente proposta progettuale.

Le caratteristiche tecniche, chimico-fisiche, del letame bovino fresco sono riportate di seguito:

- Sostanza Secca (ST): 5,7-16,7% Sostanza Organica Secca (SV): 64-82% Azoto Totale

(% ST): 0,5-0,7%

- Fosforo totale: 0,2-0,3%
- Potassio totale: 0,5-0,7%
- Calcio: 0,4-0,5%
- Magnesio: 0,1-0,2%
- ☐ Zolfo: 0,1-0,12%
- ☐ pH: 7,25
- ☐ COD: 70-135 gr/L
- ☐ BOD5: 26-55 grO₂/l

4.3. Liquame bovino (8.208 t/y)

Il liquame ha origine coincidente con il letame con riferimento alle razze, tipologia di allevamento ed altro. La presenza di strutture di allevamento di tipo intensivo di bovine da latte con pulizia degli ambienti utilizzando acqua determina una diluizione della consistenza e la produzione di liquame (pavimento in cls, assenza di lettiera, lavaggio delle superfici con acqua o pavimento fessurato con caduta delle deiezioni e lavaggio in cloaca sottostante e lavaggio con acqua corrente „ad libitum“).

La diluizione delle deiezioni determina l'aumento dei volumi di materiale liquido in cui risultano diluiti i residui organici mentre la pulizia degli ambienti di allevamento avviene giornalmente e l'accumulo del prodotto in letamaie provviste di ampie volumetrie (spesso chiuse) da cui vengono caricati „carribotte“ aziendali anche di grandi capacità specifiche per di smaltimento ed il trasporto giornaliero o nei periodi di autorizzazione se destinato allo smaltimento sui terreni.

Le caratteristiche tecniche, chimico-fisiche, del liquame bovino fresco sono riportate di seguito:

- Sostanza Secca: 4,7-10,6%
- Sostanza Organica Secca (SV): 64-82% Azoto Totale (%ST): 2,5-6,7%
- Fosforo totale: 0,15-0,25%
- Potassio totale: 0,1-0,2%
- ☐ Calcio: 0,05-0,08%
- ☐ Magnesio: 0,01-0,02%
- ☐ Zolfo: 0,01-0,012%
- ☐ pH: 6,90-8,85
- COD: 13-85 gr/L
- ☐ BOD5: 18-45 grO₂/l

4.4. Siero di latte concentrato (4.600 t/y)

Il siero di latte è il prodotto residuo ottenuto nel corso della fabbricazione del formaggio o della caseina. Il siero di latte allo stato liquido contiene i costituenti naturali (in media 4,8% di lattosio, 0,8% di proteina e 0,2% di materie grasse in peso del prodotto) che rimangono quando la caseina e la maggior parte della materia grassa sono state eliminate dal latte.

Il *Siero di latte concentrato* ha un residuo secco del 18-20%, se ottenuto mediante concentrazione per Osmosi Inversa (O.I.), oppure del 30-34%, se ottenuto mediante evaporazione a bassa temperatura sotto vuoto (concentrazione per evaporazione).

Il *Permeato liquido* è un prodotto ottenuto dalla concentrazione del siero di latte mediante UF (Ultrafiltrazione). Il permeato è il liquido che attraversa le membrane di Ultrafiltrazione ed è quindi ricco di lattosio, ma scarso di proteine, che vengono trattenute dalle membrane. Il contenuto di ceneri è attorno al 6-7% sul secco ed il contenuto in proteine (per la maggior parte azoto non proteico - NPN) è circa del 3% sul secco. Si utilizza sia nel settore alimentare sia in quello zootecnico.

Il carico inquinante del siero di latte è particolarmente elevato, con un BOD₅ (domanda biochimica di ossigeno) ed un COD (domanda chimica di ossigeno) rispettivamente di circa 35000 mg/l e 70000 mg/l, parametri che non ne permettono lo scarico diretto al suolo o in fognatura, ma rendono necessario un trattamento di depurazione. A ciò va aggiunto che il siero, in quanto tale, risulta essere un prodotto instabile dal punto di vista microbiologico a causa della fermentazione provocata dai batteri del latte e quindi difficile da gestire per lo stoccaggio, oltre a rappresentare una problematica di carattere ambientale per i caseifici. Nonostante tutto rimane però una potenziale risorsa economica da sfruttare.

La fornitura di siero concentrato o permeato di siero è pianificata sulla scorta delle aziende produttrici di derivati del latte presenti nella Regione Sicilia ed in particolare nella provincia di Caltanissetta e nelle provincie confinanti.

La distanza di fornitura non eccede i 70 chilometri dalla posizione prevista di costruzione dell'impianto di biometano in progetto.

La composizione media del siero concentrato o permeato è riportata di seguito:

- Sostanza Secca: 20,0-52,0%
- Sostanza Organica Secca (SV): 84-92% Azoto Totale (%ST): 2,5-6,7%
- Fosforo totale: assenti Potassio totale: assenti Calcio: 0,05-0,08%
- Magnesio: assenti
- Zolfo: assenti pH: 5,50-5,80
- COD: 65-85 gr/L
- BOD₅: 25-40 grO₂/L

4.5. Vinacce di uva (3.000 t/y)

La buccia, la polpa ed i vinaccioli, questa è la composizione dell'acino d'uva. Una volta che i grappoli d'uva vengono pigiati nelle apposite macchine diraspatrici e pigiatrici e quindi viene separato il liquido dalla parte solida, si ottiene il mosto. E a questo punto è d'obbligo una distinzione, quella del sistema di vinificazione.

Vinificazione in bianco: Spremitura dell'uva, otteniamo mosto e delle parti solide che sono composte da buccia e vinaccioli (il raspo era già stato tolto dalla macchina diraspatrice).

La parte solida costituisce la Vinaccia vergine: si tratta di vinaccia non fermentata che è caratterizzata dal possedere zuccheri che a contatto con i lieviti, normalmente selezionati ed immessi all'interno, portano alla fermentazione alcolica, trasformazione degli zuccheri in alcol.

Essa viene di norma fatta fermentare in contenitori d'acciaio. La fermentazione necessita di un controllo preciso e costante, se ne controlla la velocità fermentativa che influisce moltissimo nella qualità finale della materia prima fermentata.

La vinaccia, in percentuale e per 100 Kg di uva, è composta da: 80-85 Kg di mosto,

- 3-4 Kg di raspi,
- 12-14 Kg di vinaccia di cui 3-4 Kg di vinaccioli.

□

Nel complesso i componenti dell'acino di uva (che ingloba anche la vinaccia) si possono distinguere in:

- acqua;
- alcoli: etilico, metilico, propilico, butilico, glicerina e altri alcoli superiori;
- acidi: acidi organici:
- Volatili: acetico, butirrico, propionico, ecc.
- Fissi: che non passano nella Grappa e restano all'interno della vinaccia e- sausta;
- aldeidi: acetica, isovalerianica, propionica, butirrica ecc;
- esteri: acetato di etile, lattato di etile, isobutirrato, caprilato, isovalerianato di etile, ecc
- componenti aromatici: provengono soprattutto da vitigni aromatici (moscato, traminer, ecc)
- polifenoli: sono le sostanze coloranti dei vini rossi (antociani), dei vini bianchi (flavoni) e dai tannini, essi non passano nel distillato in quanto è incolore.
- Altri componenti: proteine, cellulosa, pectine, sali minerali, residui di zuccheri.

Il giudizio sul valore economico della vinaccia, da usare quale componente delle materie organiche nel menù funzionale dell'impianto oggetto di previsione progettuale in elaborazione, si basa sulla sua composizione e sulla qualità valutata come materia prima e non sul risultato che se ne ottiene. Dal punto di vista macroscopico la si può distinguere per la presenza dei raspi o dei vinaccioli. Visto che di norma non si può utilizzare in DA vinaccia con raspi né con vinaccioli, maggiore considerazione viene data quando tali componenti sono assenti; per cui è prevista il conferimento all'impianto di vinaccia senza raspi e senza vinaccioli, ritenuta della migliore qualità.

Altro macrocomponente da valutare è il contenuto di umidità. Essa può essere maggiore o minore in base alla pressatura che ha avuto la vinaccia nel momento della vinificazione; più è stata pressata meno contenuto in alcol sarà presente. Al momento dell'arrivo in impianto di DA si effettuerà anche una misurazione del grado zuccherino e dell'umidità della materia prima. Questi parametri sono fondamentali per attribuire un valore economico congruo.

Le grandi distillerie attuano un processo di separazione delle vinacce esauste dai vinaccioli attraverso un sistema di separazione fisica (separatore). Le vinacce così ottenute (pari al 4-6% del peso totale dell'uva utilizzata per la vinificazione) rappresenta il prodotto migliore da utilizzare nell'impianto di digestione anaerobica in quanto ricco in carboidrati, proteine e cellulosa proveniente dai componenti residui degli acini (polpa sottoposta a pressatura) e dalle bucce.

Le vinacce presentano composizione chimica variabile a seconda di vari fattori, quali l'andamento stagionale, il luogo della loro provenienza, la varietà del vitigno, l'epoca di vendemmia nonché le diverse tecniche impiegate in vinificazione. Mediamente ritroviamo i seguenti valori:

acqua 50- 70%, zuccheri 6-8%, acidi organici 1-2%, tannini 1- 2%, sostanze minerali 1-2%,

cellulosa 10-20%, grassi 2-4%, oltre a numerose altre sostanze quali proteine, pectine, coloranti, sostanze aromatiche, vitamine e microrganismi.

La conservazione della vinaccia deriva da tecniche che sono state messe a punto nel tempo col fine di poter utilizzare tutta la vinaccia ottenuta in vendemmia per produrre la grappa e/o destinarne l'uso alla Digestione Anaerobica in un impianto di produzione di biometano, in quanto non è sempre possibile distillare immediatamente o immettere in digestione anaerobica immediatamente. In particolare, le vinacce sono insilate all'interno di contenitori che devono essere puliti e indenni da muffe.

All'insilamento è consigliata un'opportuna trattamento acidi forti adeguatamente diluiti ed irrorati per portare la vinaccia a pH di circa 3.0-3.3. Questa operazione, unitamente alla copertura con film plastico, consente di determinare condizioni di anaerobiosi, ed è attuata al fine di conseguire, nel caso di vinacce vergini o parzialmente fermentate, ridotte o assenti attività di fermentazione degli zuccheri ad opera dei lieviti e al fine di limitare le attività batteriche (penalizzate a pH più bassi) e l'attività enzimatica pectinmetilesterasica che determina la formazione di alcol metilico.



Vinaccia (foto www.rivistadiagricoltura.org)

L'insilamento della vinaccia avviene dopo l'operazione di pressatura, perché, già dopo poche ore dalla separazione dal mosto, essa può subire alterazioni. Nei contenitori, la vinaccia deve essere disposta a strati e pressata il più possibile affinché non rimangano sacche d'aria; inoltre, gli strati superficiali devono essere protetti dal contatto con l'aria mediante l'uso di teli di materiale plastico. I contenitori maggiormente utilizzati sono:

1. **contenitori aperti in cemento:** “vasconi” interrati o sopraelevati, chiusi su tre, quattro o cinque lati (trincea prevista in impianto in progettazione). Nei primi i ca-

mion scaricano direttamente nella “fossa” la vinaccia che viene poi sistemata e compressa manualmente (sistema di stoccaggio previsto in ipotesi progettuale in stesura). Nel secondo caso si utilizzano ruspe, sia per la stratificazione, sia per la compressione. Infine la vinaccia, per evitare il contatto con l’aria, viene ricoperta con teli di nylon bloccati con cumuli di sabbia. Questo è il sistema di insilamento più tradizionale ed più utilizzato;

2. **sacchi di plastica**, utilizzati sia per piccole partite di pregio sia in sostituzione di altre tecnologie, con lo scopo di conservare aroma e freschezza;

3. **contenitori cilindrici o cubici** di piccole dimensioni (150 ÷ 700 Kg) chiusi con coperchio o, nel caso dei più grandi, con film plastico ricoperto di sabbia;

4. **serbatoi in acciaio inox** dotati di dispositivi meccanici e automatizzati per il loro riempimento e svuotamento.

L’utilizzo delle vinacce di uva per scopi energetici è regolamentato dal DM 7407 del 4 agosto 2010.

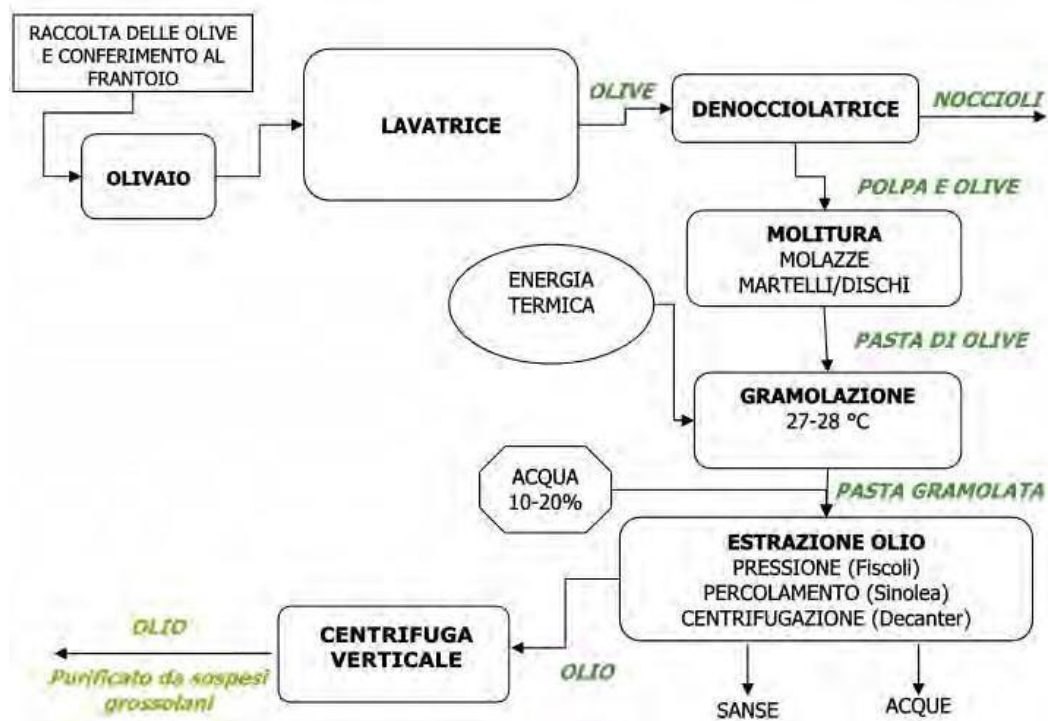
La **composizione** media delle vinacce esauste e fresche, prive di vinaccioli e di raspi, può essere definita come segue:

- Sostanza Secca: 30,0-52,0%
- Sostanza Organica Secca (SV): 86-95% Azoto Totale (%ST): 2,0-3,0%
- Fosforo totale: 1,5%
- Potassio totale: 2,5%
- Calcio: 1,3%
- Magnesio: 0,3%
- Zn, Mn, Cu, Co, Mo e Ni: tracce Ferro totale: 1.420 ppm
- pH: 6,50-7,80
- COD: 6,5-8,5 gr/L
- BOD5: 4,5-5,0 grO2/L

4.6. Sansa di olive (8.000 t/y)

L’utilizzo, lo spandimento e il trasporto delle sanse umide e delle acque di vegetazione sono regolate dall’art. 3 della Legge 11/11/1996 n. 574 (*Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarichi di frantoi oleari*), dall’art. 112 del D.Lgs. 152/2006 (*Norme in materia ambientale*) e dall’art. 3 del D.M. 6/7/2005 (*Criteri e*

norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi di frantoi oleari).



Schema di flusso del **Ciclo della lavorazione**

Dalla lavorazione delle olive da olio ed in aggiunta di acqua di lavorazione (10%) si ottiene una massa chiamata „pasta di olive“ ottenuta dalla lavorazione delle olive nella macina per azione delle coppie di ruote (“mole”) incernierate su un asse solidalmente ad una presa di forza (un tempo fatta girare a mano, o con forza animale, ora con forza elettrica) che, in una vasca, ruotano in cerchio fino a schiacciare tutta la massa di olive svuotate all’interno (macina di molitura).



Dalla massa viene fuori una pasta di olive che, dopo rimescolamento, viene da sottoposta a pressione per estrarre un liquido grezzo (olio grezzo) nelle presse idrauliche (estrazione a freddo), o in un impianto continuo (a due vie o a tre vie).

In successione l’olio grezzo viene sottoposto a centrifuga che ne determina la separazione

dell'olio dall'acqua di vegetazione.

La sansa vergine ottenuta in quantità, e qualità, diversa in ragione della tecnica di lavorazione delle olive nel processo di estrazione dell'olio potrà essere destinata alla estrazione chimica dell'olio di sansa.

Nell'impianto previsto dal progetto in stesura e valutazione si intende utilizzare la sansa vergine per la produzione di biometano.

È necessario evidenziare che la produzione della sansa e delle acque di vegetazione sono attuate durante il periodo di produzione dell'olio, tra ottobre e marzo. Per garantire la disponibilità di prodotto da destinare alla composizione della miscela utile allo sviluppo organico e funzionale della flora microbica all'interno dei digestori è necessario conservare la sansa in quantità utile ai quantitativi differenziali per l'intero ciclo funzionale dell'impianto.

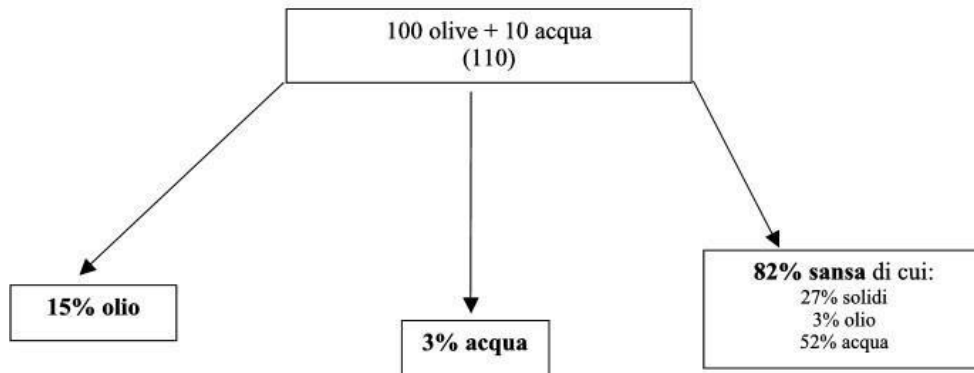


Premesso che lo stoccaggio delle sanse e delle acque di vegetazione è esplicitamente vietato in Decreto Ministeriale del 2005 la miscelazione con effluenti zootecnici, agroindustriali o con rifiuti di cui al D.Lgs. 152/2006, si prevede di stoccarne quantitativi utili alla gestione biologica ottimale annuale nella trincea la cui descrizione viene fatta di seguito.

Al fine di meglio caratterizzare le sanse di olive destinate alla digestione anaerobica si evidenzia di seguito la composizione chimica della sansa di olivo riportando tabella specifica (*da APAT/ARPA Puglia et altri "Analisi ambientale del comparto produttivo"*):

Nel processo di produzione di olio di oliva, la sansa di olive è uno dei sottoprodotti ottenuto dalla lavorazione delle olive e di produzione di olio (attuazione art. 184-bis del D.Lgs. 152/06 come modificato dal D.Lgs. 205/2010). Inoltre la sansa che possiede dei parametri funzionali ottimali per la destinazione alla digestione anaerobica dovrà disporre delle caratteristiche chimiche indicata alla tabella precedente e dovrà essere priva di nocciolino (parte solida che compone il nocciolo della drupa).

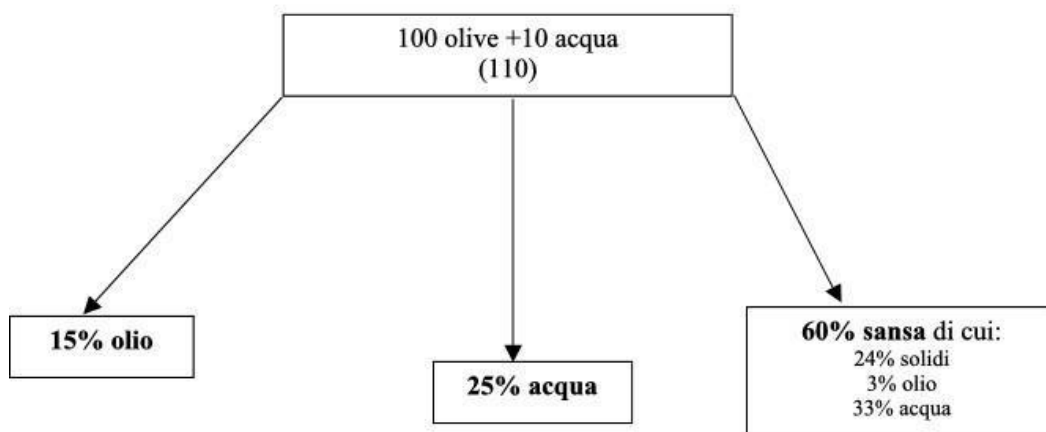
Nel processo descritto si può realizzare il seguente schema a due vie (nella fase di separazione si ha la divisione tra una porzione di sansa umida, priva di nocciolino, ed olio):



(Decanter a due vie)

Il quantitativo di sansa è pari al valore dell'82% della massa originaria (110 kg) disponendo di un valore pari al 63-65% di acqua e la parte rimanente (37-35%) di s.s. di cui 98% di origine organica. In tal caso il residuo di AV è pari ad un valore minimale di circa il 3% del miscuglio iniziale.

Nel processo descritto si può realizzare anche uno schema a tre vie (nella fase di separazione si ha la divisione tra una porzione di sansa, una porzione di acqua di vegetazione ed olio)



(Decanter a tre vie)

Il quantitativo di sansa è pari al valore del 60% della massa originaria (110 kg) disponendo di un contenuto di acqua pari al 55%, una porzione pari al 45% di s.s. di cui 98% di origine organica. In tal caso il residuo di AV è pari al 25% del miscuglio iniziale.

La tecnica di produzione della sansa da destinare al DA presenta l'inconveniente di contenere spesso i residui del nocciolo frantumato dalle molazze o dai martelli dell'impianto

continuo per cui si rende necessario eliminarne i contenuti con un separatore meccanico a forza centrifuga.

N.	Parametri	Sansa da impianto	Sansa da impianto a
1	Umidità (105°C)	52	62
2	pH	5,2	5,19
3	Azoto Totale	0,96	0,97
4	Fosforo totale	0,56	0,35
5	Carbonio Organico	60,45	94,50
6	Rapporto C/N	62,97	46,60

La composizione media della sansa di olive, priva di nocciolino, può essere definita come segue:

- Acqua: 70-75%
- Sostanza Secca: 48,0-38,0%
- Sostanza Organica Secca (SV): 95-98% EC (mS/cm): 2,85
- Azoto Totale (%ST): 0,96-0,97% C/N: 46,60
- Fosforo totale: 0,56%
- Potassio totale: 2,35%
- Calcio: 0,40%
- Magnesio: 0,05%
- Sodio (Na): 0,10%
- Zn, Mn, Cu, Co, Mo e Ni: tracce<1 Ferro totale: 1.030 ppm
- pH: 5,10-5,20
- COD: 520-550 gr/L
- COD: 190 gr/L (solubile in H₂O distillata in rapp: 1:1) BOD₅: 20-134 grO₂/L
- Polifenoli: assenti

La sansa potenzialmente ha un valore di COD totale molto elevato, ma la sua quota solubile che effettivamente contribuisce alla produzione di biogas è solo del 36% quando il rapporto tra sansa e acqua distillata è 1:1.

Un contributo alla solubilizzazione della sostanza organica presente nella sansa viene fornito dalla miscelazione con acque di vegetazione e siero di latte; in questo modo si possono raggiungere adeguati gradi di diluizioni della sansa senza aggiungere acqua di rete.

Analisi sulla composizione chimica della sansa, nel tempo, hanno mostrato come il valore del COD tende a diminuire, anche quando viene conservata a bassa temperatura (4°C).

Lo stoccaggio della sansa potrà essere attuato all'interno della trincea predisposta, e per il periodo aprile-settembre, utilizzando una copertura con materiale plastico termoresistente e, se necessario, apportando un controllo della temperatura di stoccaggio distribuendo acqua sulla superficie libera della copertura della trincea.

Ulteriore sistema di stoccaggio potrà essere attuato impiegando contenitori in PE a forma di tubo cavo di adeguata capacità di stoccaggio in cui, dopo il riempimento con sansa, possono essere sottoposti ad eliminazione dell'area creando condizioni di anaerobiosi utili ad ostacolare lo sviluppo di fenomeni fermentativi e di sviluppo di lieviti, batteri e muffe dannosi.

La fornitura sarà effettuata da frantoi della provincia di Caltanissetta ed è connessa, in termini qualitativi e quantitativi, alla fornitura di acque di vegetazione (AV).

4.7. Acque di vegetazione da frantoio (1.800 t/y)

L'utilizzo, lo spandimento e il trasporto delle sansi umide e delle acque di vegetazione sono regolate dall'art. 3 della Legge 11/11/1996 n. 574 (Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarichi di frantoi oleari), dall'art. 112 del D.Lgs. 152/2006 (Norme in materia ambientale) e dall'art. 3 del D.M. 6/7/2005 (Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi di frantoi oleari) e Regolamenti attuativi regionali.

Lo smaltimento delle acque di vegetazione dei frantoi oleari costituisce, attualmente, uno dei principali problemi dal punto di vista ambientale, specialmente nei paesi del Mediterraneo dove si concentra la maggior parte della produzione mondiale di olio di oliva.

Le acque di vegetazione sono tra i reflui agro-industriali a più alto tasso inquinante a causa del loro elevato carico organico, caratterizzato soprattutto da composti fenolici e polifenolici ad elevata azione antimicrobica e fitotossica.

La purificazione biologica delle AV è particolarmente difficile poiché questo refluo presenta solidi in sospensione e un elevato carico organico, in particolare polifenoli con attività biostatica e/o biocida, che riduce fortemente le prestazioni degli impianti di depurazione biologici. Di conseguenza l'impianto deve prevedere due o più stadi di trattamento che rendono la depurazione complessa e costosa.

Nel piano progettuale in elaborazione si intende utilizzare le AV per estrarre direttamente una miscela di polifenoli impiegando la microfiltrazione a membrane (MBR) in abbinamento al processo di osmosi inversa per determinare la separazione di frazioni successive di prodotto secondo una procedura ormai nota (ENEA) già standardizzata da imprese a tecnologia avanzata del panorama italiano ed EU (Spagna, Marocco e Grecia).

Attualmente la normativa vigente consente la pratica dello spandimento delle AV sui terreni

agrari. La disponibilità di terreni idonei e vicini alla pratica indicata e, soprattutto, i rischi di inquinamento delle falde acquifere in seguito alla migrazione di alcuni composti nonché l'azione diretta dei polifenoli sulla microfauna terricola (batteri e lieviti) costituiscono gli elementi di diaspore nei confronti di una tecnica non conforme alla pratica del buon padre di famiglia tendente alla tutela e conservazione dell'ambiente implicandovi, altresì, probabili conseguenze negative riferite alla salute dell'uomo...

Le acque di vegetazione sono un refluo acido e lo spandimento causa un cambiamento nel pH del terreno. La riduzione del pH può influenzare la capacità di scambio cationica (C.E.C) modificandone le proprietà di immobilizzare e rilasciare Ca, Mg, K e metalli pesanti. Inoltre il trattamento del suolo con AV ne fa aumentare la conduttività elettrica (C.E.) e la salinizzazione. Tutti questi fenomeni incidono sulla fertilità del terreno e sull'incidenza negativa di processi di desertificazione.

Ulteriore valore negativo dello spandimento delle AV nel suolo è l'arricchimento in ione Na solubile che può migrare verso orizzonti più profondi e potrebbe rappresentare un rischio di contaminazione per le falde acquifere superficiali (Zenjari&Nejmeddine et al., 2001; Piotrovska et al., 2006).



Negli ultimi anni sono state proposte soluzioni alternative finalizzate a sfruttare questo refluo, in quanto ricco di composti utili. La valorizzazione delle AV mediante il loro impiego per l'ottenimento di prodotti a medio o alto valore aggiunto attraverso processi fisico-chimici o fermentativi, riveste notevole interesse scientifico.

Nelle acque di vegetazione sono presenti una grande varietà di biomolecole come acidi organici, polialcoli, zuccheri semplici e complessi e lipidi che le rendono una possibile base per i processi fermentativi. In virtù del contenuto residuo di lipidi le AV potrebbero rappresentare un ottimo candidato come terreno liquido di crescita per la produzione di lipasi microbiche.

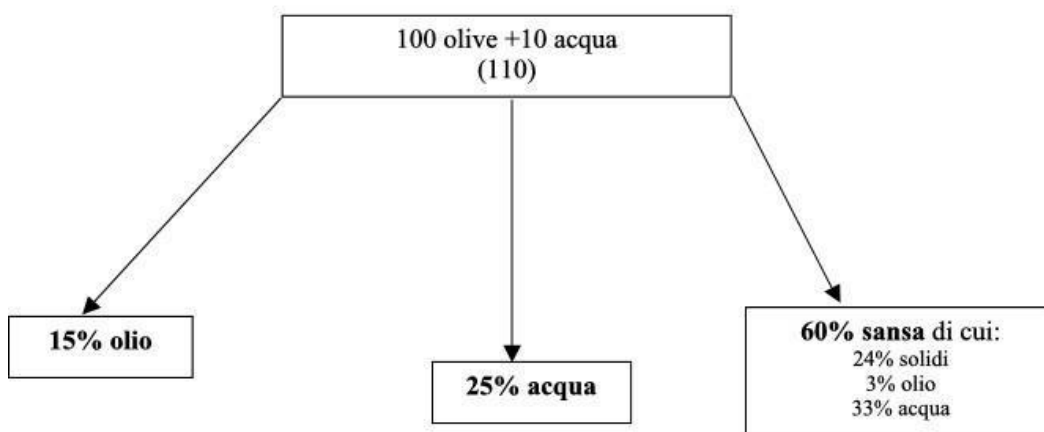
Scopo delle attività previste in aggregazione alle attività di produzione di biometano è utilizzare, in unica fornitura commerciale, separata per conferimento, di acque di vegetazione da destinare all'estrazione di molecole nobili di polifenoli e di sanse denocciolate o prive di nocciolino da destinare alla digestione anaerobica (DA). In particolare sono stati sottoscritti contratti di approvvigionamento di suddette matrici con impegno ad acquisire, e fornire da parte del fornitore, sanse di olivo esclusivamente con la fornitura delle acque di vegetazione.

In tal caso disponendo di tecnologia adeguata al trattamento delle acque di vegetazione il proponente questo impianto di produzione di biometano ha attivato la procedura di ritiro combinato e il trattamento separato per la produzione di polifenoli da immettere nel mercato della

ricerca medica, sanitaria e dell'uso alimentare (i polifenoli sono potenti antiossidanti alimentari).

La tecnologia utilizzata è la ultrafiltrazione e osmosi inversa che consente di ottenere una serie di prodotti estratti e di residui utilizzabili in DA. Al momento della stesura del presente progetto si ritiene consono prevedere la destinazione delle acque, ricche di carboidrati e proteine che residuano dal trattamento di ultrafiltrazione ed osmosi inversa, ad un ulteriore passaggio nel sistema di depurazione delle acque di processo dell'impianto principale al fine di destinarne l'uso alternativo.

Nel processo di produzione delle acque di vegetazione (AV) si realizza secondo uno schema a tre vie (nella fase di separazione si ha la divisione tra una porzione di sansa, una porzione di acqua di vegetazione ed una di olio)



Il quantitativo di AV prodotta è pari al valore del 25% della massa originaria (110 kg).

La composizione media della sansa di olive, priva di nocciolino, può essere definita come segue:

- Acqua: 82-96%
- Sostanza Secca: 3,0-20,0%
- Sostanza Organica Secca (SV): 65-68% Zuccheri totali: 5-80 gr/L
- Polialcoli (mannitolo): 3-15 gr/L Sostanze azotate: 4-20 gr/L Grassi: 0,3-23 gr/L
- Acidi organici: 2-10 gr/L
- Azoto Totale (%ST): 0,96-0,97% Fosforo totale: 185-1500 mg/L Potassio totale: 0,35- 2,45%
- Calcio: 0,040-0,160%
- Magnesio: 0,06-0,1%
- Zn, Mn, Cu, Co, Mo, Pb e Ni: tracce<1 Ferro totale: 15-33 mg/L
- pH: 5,10-5,80
- COD: 52,0-350 gr/L
- OD5: 20-150 grO₂/L
- Polifenoli: 3-24 gr/L
- di fenoli: 0,9-14 gr/L
- Idrossitirosolo: 43-978 mg/L

Fra i componenti organici nelle AV sono presenti carboidrati quali zuccheri semplici (glucosio e fruttosio) fermentescibili, raffinoso, mannosio e xilosio, sia polisaccaridi come la cellulosa e le pectine derivate dalla polpa di oliva e costituenti i solidi totali in sospensione.

Si rileva la presenza di acidi organici (acetico, tartarico, lattico e malico) i quali influenzano sulle AV rendendo il pH leggermente acido (4,9-6,5)(Montedoro et al. 1986).

La presenza di acido glutammico e prolina determinano nella AV un notevole potere tamponante verso acidi e basi.

Nelle AV sono presenti composti mono e polifenolici capaci di inibire i processi metabolici di microrganismi e responsabili della tossicità del refluo (Capasso et al., 1997).

I polifenoli liberi sono composti organici non volatili e solubili in acqua. Si formano soprattutto dall'idrolisi enzimatica dei glucosidi ed esteri della polpa delle olive. Si solubilizzano durante la fase di estrazione dell'olio in quantità molto minore rispetto alle AV. Tra i polifenoli prevalgono fenoli semplici, sostanze tanniche (flavonoidi e catechine e, nel caso di olive scure, anche antocianosidi e antocianine) (Sanjust et al., 1994; Raglione et al., 1997) e polimeri originati dall'accoppiamento ossidativo dei fenoli semplici (pigmento catecolmelanico).

In particolare le componenti fenoliche monoacidiche più rappresentative delle AV sono costituite da catecolo, 4-metilcatecolo, tirosolo, idrossitirosolo, acido caffeico, acido *p*-cumarico, acido vanilico, acido protocatechico, acido gallico e siringico, acido 4-idrossibenzoico, acido 4-idrossifenilacetico, acido *p*-idrossifenilpropionico (Capasso et al., 1997).

Nel piano progettuale in elaborazione (aggregazione dell'offerta di sanse di olive, aventi maggior valore commerciale, con il trattamento delle acque di vegetazione prodotte nell'attività di disoleazione, caratterizzate da minore valore commerciale e altamente inquinanti) si prevede l'utilizzo delle AV per estrazione di polifenoli ed utilizzo degli estratti per il mercato della ricerca medica e cosmetica e per uso alimentare (antiossidanti e antibatterici).

La tecnica che si intende utilizzare consiste nella microultrafiltrazione con membrane semipermeabili e osmosi inversa per cui da AV (in quantità nota) si potranno ottenere i seguenti prodotti:

1. Permeato di olii da cui Acqua ultra pura (68%)
2. Retentato di olii da cui miscela di polifenoli al 94% (7-8%)
3. Retentato di NF (nanofiltrazione) da cui Polifenoli misti (6-8%)
4. Retentato di MF + UF (biogas) ricco di cellulosa, proteine e zuccheri (16-18%)

Le membrane di micro/ultrafiltrazione (MF/UF) rimuovono essenzialmente i solidi sospesi e mostrano reiezioni ai polifenoli e alla TAA di 15% e dell'11%, rispettivamente (Prof. Giuseppe Dilecce – Università di Bologna).

Il secondo stadio di UF permette di ridurre il carico organico del permeato proveniente dal primo stadio (del 72% circa). Il trattamento finale di MF produce un prodotto contenente biofenoli a basso peso molecolare (di interesse per formulazioni alimentari, nutraceutiche, farmaceutiche) e una fase acquosa idonea al riciclo come acqua di processo.

I retentati dalle fasi di UF possono essere destinati all'uso come fertilizzanti o per la produzione di biogas in reattori anaerobici. Il processo proposto permette di razionalizzare i cicli produttivi della trasformazione olearia nell'ottica della intensificazione dei processi.

La microfiltrazione riduce le sostanze in sospensione, mentre la nanofiltrazione determina un'efficace concentrazione dei composti fenolici nei retentati e la produzione di acqua con un buon grado di purezza. L'analisi cromatografica della frazione fenolica delle AV evidenzia l'idrossitirosolo e il tirosolo quali composti a maggiore concentrazione. Inoltre, si rilevano altri fenoli semplici, prodotti dai processi di idrolisi ed ossidazione durante lo stoccaggio delle acque.

I risultati attesi evidenziano come sia possibile prevedere un'ipotesi sostenibile di "normale pratica industriale" da affiancare all'attuale processo di estrazione dell'olio per recuperare l'acqua, ed i sottoprodotti solidi o semi-solidi, considerando le AV non più come rifiuto, ma come sottoprodotto (D.Lgs. 205/2010).

Implementando il processo si potrebbe rendere possibile la concentrazione di estratti titolati acquosi di olive (molli o secchi) da commercializzare in modo simile ad estratti erboristici (vedi propoli)

La frazione di polifenoli al 94% contiene tirosolo ed idrossitirosolo. La frazione di polifenoli misti contiene la maggior parte dei contenuti in mono e polifenoli. La frazione di acqua ultra pura contiene esclusivamente Sali di potassio (K) per cui risulta particolarmente utile per comporre bevande e preparati simili. La frazione di Permeato MF+UF è ideale per la miscela in DA per ottenerne biometano (la produzione attesa è che da ogni 1,0 mc di AV si produce circa 50 Nm³ di biogas (98-100 kWh) pari a circa 25 Sm³ di biometano).

La produzione di polifenoli sarà destinata al mercato. La frazione di acqua ultra pura sarà destinata ad ulteriore MBR unitamente alla frazione 4. Questo determinerà un residuo, per l'attività di estrazione e di ulteriore purificazione, pari a 1,5% (D15), da destinare in discarica (già determinato in processo di purificazione della frazione liquida da separatore MBR e accumulata in vasca di stoccaggio di servizio o immissione in effluente superficiale come stabilito da Tab. 4 Allegato 5 Parte III D.Lgs. 152/2006).

4.8. Valori aggregati del processo biologico

Le caratteristiche specifiche chimico fisiche e microbiologiche della biomassa in ingresso in vasca di pre miscelazione e i parametri funzionali dell'impianto complessivo di biometano e vermi-compostaggio sono riassunti nella tabella successiva:

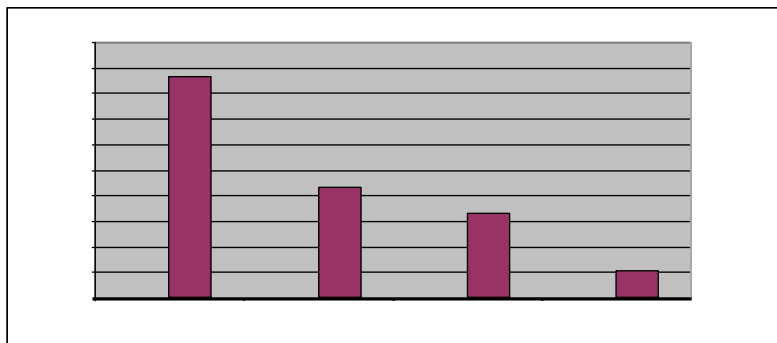
	Unità Misura	Siero Latte Conc	Letame bovino	Li- quame Bovino	FOR- SU	Vinacce d' uva	Sansa Olive	Substrato Digestato	Frazione liquida da separazione
UR	%	70	88	94	70	78	62	94,74	98,5
pH	...	5,5-6,5	6,50-7,80	7,50	4,9-7,0	5,5-6,5	5,2	6,9-7,4	6,9-7,4
S.O.S.	T/day	7,562	1,086	1,080	3,082	0,518	11,171		
COD	g/l	75	120	50	350 (*)	7	190	30.000	
BOD5	g/l	32	45	35	120 (*)	4,7	95		
Azoto TOT	% ST	5,5	0,6	5,5	3	2,5	0,96		
NH3	% (Ntot)	-	-	-	-	-	-		
P2O5	t/day	-	0,25	0,20	1,2	1,5	0,56		
K2O	T/day	-	0,6	0,15	1,85	2,5	2,35		
Cu	Ppm	tracce	tracce	tracce	31,3	tracce	tracce	tracce	tracce
Zn	Ppm	tracce	tracce	tracce	151	tracce	tracce		
Mn	Ppm	tracce	tracce	tracce	Tracce	tracce	tracce		
Fe	Ppm	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce		

(*) gr/kG

Nel prosieguo della presente redazione esplicitati tutti parametri funzionali e tecnici dell'impianto compreso i parametri medico-tossicologici e di incidenza ambientale, diretta ed indotta, e socio economica:

- Approvvigionamento della biomassa e determinazione delle percentuali di uso sottoprodotti e di produzione di biogas connessa all'attività agricola dell'imprenditore richiedente autorizzazione e titolare attività produttiva
- Produzione di biogas
- Quantità di biomassa in entrata differenziata in Quantità di sostanza secca (s.s) e sostanza secca di origine organica (s.o.s.);
- Quantità di acqua in entrata
- Quantità di Azoto in entrata ed in uscita con digestato
- Abbattimento azoto (strippaggio) e produzione di Sali di ammonio o Quantitativi di digestato e separazione (fase solida e fase liquida) o Produzione di energia elettrica
- Percentuali di perdite e ore di funzionamento e manutenzione ordinaria
- Dimensionamento contenitori di frazione liquida o Quantitativi di digestato essiccato in essiccatoio o Razione giornaliera e Razione annuale
- Costi di investimento
- Costi di gestione
- Costi di razione alimentare
- Valutazione economica nel periodo ventennale di applicazione nuova normativa in vigore al momento della presentazione dell'istanza di autorizzazione;
- Applicazione normativa in atto e applicazione parametri di accesso ad incentivi - vi giusto Decreto Ministero Sviluppo Economico del 06-07-2012;

Per riassumere la significatività del progetto, si consideri che la produzione annua di biogas sarà pari a 8.657.613 Nm³.



La porzione pari a 1.541.327 Nm³, dopo il trattamento di purificazione e raffinazione in upgrading, sarà utilizzata per il funzionamento del cogeneratore di servizio di potenza elettrica pari a 500 kW_e la cui produzione elettrica sarà utilizzata direttamente in autoconsumo e non sarà destinata all'immissione in rete (per cui sarebbe necessario iscrizione in Lista del GSE in applicazione D.Lgs. 6/7/2012). L'energia termica derivante dal recupero calore dal raffreddamento motore e dal recupero calore proveniente dai fumi di scarico sarà utilizzata per il riscaldamento della biomassa nel processo produttivo (digestori, strippaggio e Upgrading).

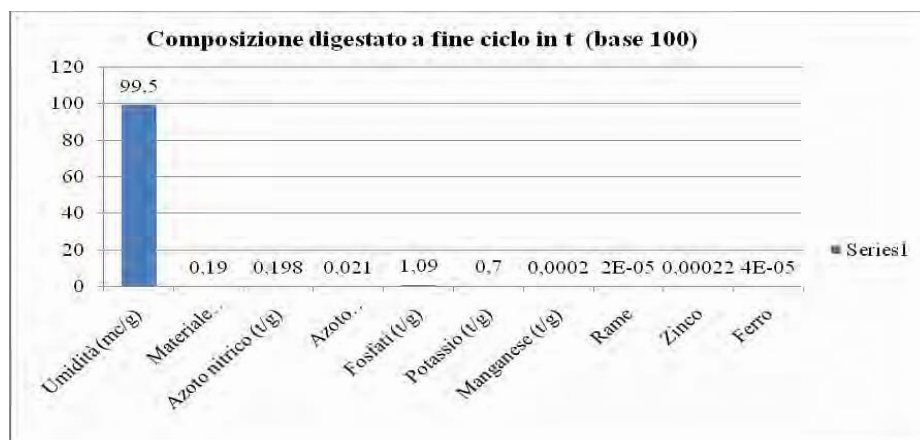
Il funzionamento del cogeneratore di servizio sarà caratterizzato dall'uso di biometano "ad libitum" in ragione della percentuale produttiva funzione del reale fabbisogno rispetto alla

produzione massima ottenibile. In particolare si prevede un utilizzo al 40-42% della produzione massima ottenibile in 8.760 hh/anno.

La porzione residua di biogas sarà inviata in depurazione ed affinamento in upgrading per cui si prevede la produzione di 4.351.955 Nm³/anno pari a 496,80 Nm³/h.

Il digestato, se proveniente da sottoprodotti e/o biomasse agricole, a norma dell'art 184- bis del D. Lgs. 152/06, come da modifica e integrazioni successive apportata dall'art. 12 D.Lgs 205/2010., è un "sottoprodotto agricolo di utilizzazione certa", poiché derivato da prodotti agricoli e/o agro- alimentari (biomassa) ed a sua volta riutilizzabile per concimare prodotti agricoli futuri.

La presenza di rifiuti provenienti dalla fase a valle della Raccolta Differenziata e rientranti nei Classificazione CER 20.01.08 "Rifiuti biodegradabili di cucine e mense" nonché di sottoprodotti derivanti dalle attività di trasformazione di prodotti dell'agricoltura, orticoltura, acquacoltura, selvicoltura, caccia e pesca e trattamento e preparazione di alimenti (Codice CER 02.02.02 "Scarti di tessuti animali", 02.02.03 "Scarti inutilizzabili per il consumo e la trasformazione"), obbliga alla disponibilità di aree specifiche destinate al trattamento preli- minare e definitivo dei residui derivanti dall'attività di digestione anaerobica.



Il substrato derivante dalla DA (classificato con codice CER 19.06.03, 19.06.04, 19.06.05, 19.06.06) sarà sottoposto a separazione fisico meccanica per cui la frazione solida (D.Lgs 152/06 Allegato C modificato da D.Lgs 205/10: (R10) pari a circa 27.308 Tonn/anno (74,82 t/die), con contenuto di s.s. inferiore al 25%, sarà riutilizzata in impianto di vermicompostaggio per la produzione di Ammendante Compostato Misto e lombrichi vivi.

La frazione liquida, contenente circa 1,5-2,2% di s.s. pari a circa 107.872,72 t/anno (295,54 t/die) in parte sarà sottoposta ad azione di abbattimento azoto totale (221,91 ton/die) al fine di poterne usare il quantitativo in ricircolo (e la parte rimanente (73,63 ton/d) sarà stoccata provvisoriamente in vasca di stoccaggio e destinata al trattamento di depurazione diretta in impianto di MBR (pari a 26.876,07 ton/y).



La fase indicata è arricchita dalla fase liquida residua proveniente dal sistema di estrazione dei polifenoli (MBRp) dalla matrice acqua di vegetazione di frantoio (matrice iniziale 1.800 t/anno) pari a circa 450,04 t/anno per cui si disporrà di un quantitativo pari a 22.777,15 t/anno.

La fase liquida così individuata sarà sottoposta a trattamento di purificazione in MBR disponendo di un residuo pari ad 1,5% del totale che porterà alla produzione di un rifiuto (D15) di circa 411,88 t/anno e 22.527,34 t/anno di fase liquida.

Riferimenti Bibliografici allo studio

1. Beck, M., Bopp, G., Goetzberger, A., Obergfell, T., Reise, C., Schindele, S., 2012. Combining PV and Food Crops to Agrophotovoltaic – Optimization of Orientation and Harvest, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Frankfurt, Germany, September 24–28, 2012.
2. Beckman, J., Xiarchos, I.M., 2013. Why are Californian farmers adopting more (and larger) renewable energy operations?. *Renewable Energy* 55, 322-330.
3. Bergesen, J.D., Heath, G.A., Gibon, T., Suh, S., 2014. Thin-film photovoltaic power generation offers decreasing greenhouse gas emissions and increasing environmental co-benefits in the long term. *Environmental Science and Technology* 48(16), 9834-9843.
4. Beylot, A., Payet, J., Puech, C., Adra, N., Jacquin, P., Blanc, I., Beloin-Saint-Pierre, D., 2014. Environmental impacts of large-scale grid-connected ground-mounted PV installations. *Renewable Energy* 61, 2-6.
5. Booth, S., 2014. Here comes the sun: How securities regulations cast a shadow on the growth of community solar in the United States. *UCLA Law Review* 61(3), 760-811.
6. Carullo, L., Russo, P., Riguccio, L., Tomaselli, G., 2013. Evaluating the Landscape Capacity of Protected Rural Areas to Host Photovoltaic Parks in Sicily. *Natural Resources* 4, 460-472.
7. Ceccarelli, T., Bajocco, S., Perini, L., Salvati, L., 2014. Urbanisation and Land Take of High Quality Agricultural Soils - Exploring Long-term Land Use Changes and Land Capability in Northern Italy. *International Journal of Environmental Research* 8(1), 181-192.
8. Chiabrando, R., Fabrizio, E., Garnero, G., 2009. The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: definition of impacts and assessment of the glare risk. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(9), 2441-2451.
9. Costantini, E.A.C., Lorenzetti, R., 2013. Soil degradation processes in the Italian agricultural and forest ecosystems. *Italian Journal of Agronomy* 8(4), 8-28.
10. Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., Ferard, Y., 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* 36(10), 2725-2732.
11. Eurostat, 2012. Report Renewable energy. Issue no. 44/2012, Luxembourg.
12. Espinosa, N., Hösel, M., Jørgensen, M., Krebs, F.C., 2014. Large scale deployment of polymer solar cells on land, on sea and in the air. *Energy and Environmental Science* 7(3), 855-866.
13. Fabiani, S., Tartaglia, F., 2013. L'evoluzione del fotovoltaico in Italia: analisi critica e prospettive alla luce del regime di incentivazione con il 'Conto energia': un focus nel settore agricolo. Serie 'Rapporti, Politiche per l'ambiente e l'agricoltura'. Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA), Rome.
14. Graebig, M., Bringezu, S., Fenner, R., 2010. Comparative analysis of environmental impacts of maize-biogas and photovoltaics on a land use basis. *Solar Energy* 84(7), 1255-1263.
15. GSE, 2012. Rapporto statistico 2012 - Solare fotovoltaico. Gestore Servizi Energetici, Rome.
16. Guerrero-Lemus, R., González-Díaz, B., Ríos, G., Dib, R.N., 2015. Study of the new Spanish legislation applied to an insular system that has achieved grid parity on PV and wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49, 426-436.
17. Gunderson, I., Goyette, S., Gago-Silva, A., Quiquerez, L., Lehmann, A., 2015. Climate and land-use change impacts on potential solar photovoltaic power generation in the Black Sea region. *Environmental Science and Policy* 46, 70-81.
18. Harinarayana, T., Sri Venkata Vasavi, K., 2014. Solar Energy Generation Using Agriculture Cultivated Lands. *Smart Grid and Renewable Energy* 5, 31-42.
19. Hernandez, R.R., Hoffacker, M.K., Field, C.B., 2014a. Land-use efficiency of big solar. *Environmental Science and Technology* 48(2), 1315-1323.
20. Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., Allen, M.F., 2014b. Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, 766-779.

20. Holmes, K.J., Papay, L., 2011. Prospects for electricity from renewable resources in the United States. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 3(4), 042701.
21. Holtmeyer, M.L., Wang, S., Axelbaum, R.L., 2013. Considerations for decision-making on distributed power generation in rural areas. *Energy Policy* 63, 708-715.
22. INEA, 2013. *Annuario dell'agricoltura italiana*. Volume LXVII. Istituto Nazionale di Economia Agraria, Rome.
23. Istat, 2011. *Atlante statistico dei comuni*. Istituto Nazionale di Statistica, Rome.
24. Jäger-Waldau, A., Szabó, M., Scarlat, N., Monforti-Ferrario, F., 2011. Renewable electricity in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8), 3703-3716.
25. Kapetanakis, I.A., Kolokotsa, D., Maria, E.A., 2014. Parametric analysis and assessment of the photovoltaics' landscape integration: Technical and legal aspects. *Renewable Energy* 67, 207-214.
- Kim, Y.S., Kang, S.-M., Winston, R., 2013. Modeling of a concentrating photovoltaic system for optimum land use. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 21(2), 240-249.
26. Koldrack, N., Bill, R., Walz, U., 2014. GIS-based calculation of the current land use for renewable energy in Germany [GIS-basierte ermittlung der flächeninanspruchnahme für energieinfrastrukturen in Deutschland]. *GIS-Zeitschrift für Geoinformatik* 2, 55-63.
27. Marcheggiani, E., Gulinck, H., Galli, A., 2013. Detection of fast landscape changes: The case of solar modules on agricultural land, in: Murgante, B., et al. (Eds.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2013, Lecture Notes in Computer Science 7974 LNCS (PART 4)*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 315-327.
28. Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., Dupraz, C., 2013. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy* 44, 54-66.
29. Murphy, D.J., Horner, R.M., Clark, C.E., 2015. The impact of off-site land use energy intensity on the overall life cycle land use energy intensity for utility-scale solar electricity generation technologies. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 7(3), 033116.
30. Naspetti, S., Mandolesi S., Zanolì, R., 2016. Using visual Q sorting to determine the impact of photovoltaic applications on the landscape. *Land Use Policy* 56, 564-573.
31. Nonhebel, S., 2005. Renewable energy and food supply: will there be enough land?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9(2), 191-201.
32. Salvati, L., 2013. 'Rural' sprawl, Mykonian style: a scaling paradox. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 20(2), 109-115.
33. Salvati, L., 2014. Exploring the Spatial Pattern of Soil Sealing in a Mediterranean Periurban Area. *Journal of Environmental Planning and Management* 57(6), 848-861.
34. Salvati, L., Bajocco, S., Mancini, A., Gemmiti, R., Carlucci M., 2011. Socioeconomic development and vulnerability to land degradation in Italy. *Regional Environmental Change* 11(4), 767-777.
- Salvati, L., Zitti, M., 2009. The environmental 'risky' region: identifying land degradation processes through integration of socio-economic and ecological indicators in a multivariate regionalization model. *Environmental Management* 44(5), 888-899.
35. Schiffer, H.-W., 2015. Europe's road to a sustainable energy-supply system. *Energy and Environment* 26(1-2), 111-126.
36. Squatrito, R., Sgroi, F., Tudisca, S., Di Trapani, A.M., Testa, R., 2014. Post Feed-in Scheme Photovoltaic System Feasibility Evaluation in Italy: Sicilian Case Studies. *Energies* 7, 7147-7165.
- Stephens, K., Angel, J.R.P., 2012. Comparison of collection and land use efficiency for various solar concentrating field geometries. *Proceedings of SPIE (The International Society for Optical Engineering)* 8468, 846804.
37. Suri, M., Huld, T.A., Dunlop, E.D., Ossenbrink, H.A., 2007. Potential of Solar Electricity Generation in the European Union Member States and Candidate Countries. *Solar Energy* 81, 1295-1305.
38. Talavera, D.L., De La Casa, J., Muñoz-Cerón, E., Almonacid, G., 2014. Grid parity and self-consumption with photovoltaic systems under the present regulatory framework in Spain: The case

- of the University of Jaén Campus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, 752-771.
39. Tani, A., Shiina, S., Nakashima, K., Hayashi, M., 2014. Improvement in lettuce growth by light diffusion under solar panels. *Journal of Agricultural Meteorology* 70(3), 139-149.
 40. Tsantopoulos, G., Arabatzis, G., Tampakis, S., 2014. Public attitudes towards photovoltaic developments: Case study from Greece. *Energy Policy* 71, 94-106.
 41. Weinzettel, J., Hertwich, E. G., Peters, G. P., Steen-Olsen, K., Galli, A., 2013. Affluence drives the global displacement of land use. *Global Environmental Change* 23(2), 433-438.
 42. Vasseur, V., Kemp, R., 2011. The role of policy in the evolution of technological innovation systems for photovoltaic power in Germany and the Netherlands. *International Journal of Technology, Policy and Management* 11(3-4), 307-327.