



Università degli Studi “La Tuscia” di Viterbo

**Dipartimento di scienze e tecnologie per l'agricoltura, le
foreste, la natura e l'energia**



Relazione

***Corso di Dottorato di Ricerca in Ecosistemi e Sistemi Produttivi
Curriculum Ingegneria dei Biosistemi***

XXIX Ciclo

**Applicazione del fotovoltaico in agricoltura:
aspetti tecnici e normativi**

**Dottorando: Dott. Pierluigi Cavalletti
Tutor: Dott. Andrea Colantoni e Massimo Cecchini**

Sommario

Introduzione	4
Motivazioni del fotovoltaico	4
La produzione di energia tramite la conversione fotovoltaica	5
La radiazione solare	5
L'effetto fotovoltaico	6
Cenni tecnici sui componenti	8
Il funzionamento un impianto fotovoltaico	12
Normativa di riferimento.....	12
Alcuni risultati del Conto Energia in Italia	15
Il fotovoltaico nelle aziende agricole	17
Realizzazione di un impianto fotovoltaico.....	18
Introduzione	18
Autorizzazione alla realizzazione di un impianto fotovoltaico	18
Richiesta di allaccio alla rete elettrica nazionale	19
Iscrizione al registro nazionale degli impianti derivanti da fonte rinnovabile	19
Richiesta incentivi	19
Valorizzazione dell'energia elettrica prodotta e non consumata	19
Progettazione ed installazione	20
Progetto	20
Benefici Ambientali	27
Applicazioni del fotovoltaico in agricoltura.....	28
Cosa è una serra?	29
Quali benefici per l'agricoltura?	29
Quali sono le caratteristiche che fanno la differenza?	30
Costi	31
La normativa sulle serre fotovoltaiche	31
Quanto produce una serra con pannelli fotovoltaici.....	32
Quali sono i vantaggi del fotovoltaico su serra?	33
Quanto costa la serra solare.....	34

I modelli di gestione di una serra fotovoltaica industriale	35
Tipologia di serre	36
Qualche esempio di serra fotovoltaica	44
Censimento degli impianti fotovoltaici su serra in Italia	46
Diffusione delle serre solari fotovoltaiche in Italia	53
Valutazione dell'espansione di impianti fotovoltaici installati su terreni rurali in Italia.....	56
Introduzione	56
Metodologia	59
Risultati	61
Prototipo di serra fotovoltaica	68
Ombreggiamento tunnel fotovoltaico.....	71
Ritorno economico di un impianto fotovoltaico	85
Evoluzione del fotovoltaico	91
Come funziona l'impianto fotovoltaico con accumulo	91
I costi dell'impianto fotovoltaico con accumulo.....	91
Quanto si risparmia con l'impianto fotovoltaico con accumulo?	92
Bibliografia.....	93

Introduzione

Motivazioni del fotovoltaico

La realizzazione di un impianto fotovoltaico collegato alla rete elettrica di distribuzione ha lo scopo di realizzare una generazione distribuita dell'energia elettrica.

L'applicazione della tecnologia fotovoltaica consente:

- produzione di energia elettrica senza emissione di alcuna sostanza inquinante;
- risparmio di combustibile fossile;
- nessun inquinamento acustico;
- disponibilità dell'energia anche in località disagiate o lontane dalle grandi dorsali elettriche.

I sistemi fotovoltaici godono inoltre di alcuni interessanti vantaggi:

- sono modulari: si può facilmente dimensionare il sistema, in base alle particolari necessità, sfruttando il giusto numero di moduli;
- per il loro uso essi non richiedono combustibile, né riparazioni complicate;
- non richiedono manutenzione; questa infatti è sostanzialmente riconducibile a quella degli impianti elettrici consistente nella verifica annuale dell'isolamento e della continuità elettrica. Inoltre i moduli sono praticamente inattaccabili dagli agenti atmosferici e si puliscono automaticamente con le piogge, come dimostrato da esperienze in campo e in laboratorio;
- funzionano in automatico: non richiedono alcun intervento per l'esercizio dell'impianto;
- sono molto affidabili: l'esperienza sul campo ha dimostrato una maggiore affidabilità rispetto ai generatori diesel e a quelli eolici;
- hanno una elevata durata di vita: le prestazioni degradano di poco o niente dopo 20 anni di attività. Norme tecniche e di garanzia della qualità stabilite, per i moduli, da alcuni paesi europei garantiscono tale durata di vita;
- consentono l'utilizzo di superfici marginali o altrimenti inutilizzabili.

La produzione di energia tramite la conversione fotovoltaica

Gli impianti fotovoltaici sono sistemi costituiti da un insieme di componenti meccanici, elettrici ed elettronici in grado di captare e trasformare l'energia solare in energia elettrica. Sono generalmente impianti connessi ad una rete elettrica di distribuzione (grid-connected) che trasporta ai vari utilizzatori l'energia prodotta.

Un impianto è quindi costituito dal generatore fotovoltaico (costituito dall'insieme dei moduli) che produce corrente continua: tale corrente viene successivamente convertita da continua in alternata attraverso delle macchine che si chiamano inverter e quindi da un'unità di trasformazione viene portata alle condizioni idonee per l'immissione in rete.

Il rendimento di conversione complessivo di un impianto è il risultato di una serie di rendimenti, che a partire da quello della cella, passando per quello del modulo, del sistema di controllo della potenza e di quello di conversione, permette di ricavare la percentuale di energia incidente che è possibile trovare all'uscita dell'impianto, sotto forma di energia elettrica, resa al carico utilizzatore.

Per meglio comprendere il progetto tecnologico che segue si ritiene utile dare alcuni brevi cenni scientifici riguardanti i vari fenomeni astronomici, fisici, elettrici che intervengono nella trasformazione della energia solare in energia elettrica tramite il processo fotovoltaico.

La radiazione solare

L'intensità della radiazione solare, che dipende da numerose variabili di cui si tiene conto nei complessi calcoli di fisica e di astronomia, può essere approssimativamente considerata pari a circa 1000 Watt/m² a livello del mare in condizioni di giornata serena e sole a mezzogiorno.

L'utilizzo di questa energia dipende poi dal posizionamento al suolo della superficie captante ovvero dagli angoli in funzione dei quali si ottimizza la produzione dell'impianto fotovoltaico.

L'angolo β (tilt) indica l'inclinazione della superficie captante, (il modulo fotovoltaico), sul piano orizzontale, mentre l'angolo γ (azimut) indica l'inclinazione sul piano orizzontale tra la normale alla superficie e la direzione del sud geografico. Ad una latitudine ϕ per semplicità si

potrebbe porre la superficie captante con inclinazione $\beta =$ alla latitudine φ e rivolta esattamente a sud quindi con $\gamma=0$.

Alla radiazione diretta incidente va a sommarsi poi la radiazione diffusa dall'atmosfera proveniente da ogni direzione, e la radiazione riflessa dall'ambiente circostante. Entrambe queste grandezze sono influenzate dall'angolo β e per la radiazione riflessa anche dal coefficiente di albedo dell'ambiente circostante.

In Italia la norma UNI 10349 riporta i dati storici di radiazione solare nei capoluoghi di provincia, distinti in radiazione solare diretta e radiazione diffusa, entrambe sul piano orizzontale.

Il coefficiente o fattore di albedo varia con le caratteristiche ed i colori delle diverse superfici del terreno; la norma UNI 8477-1 ne riporta i valori teorici.

L'effetto fotovoltaico

Per comprendere il processo della conversione dalla radiazione solare in energia elettrica bisogna richiamare alcune nozioni di fisica quali: la struttura a bande di energia, l'effetto fotoelettrico, la generazione di coppie elettrone-lacuna, il processo di drogaggio dei semiconduttori, la giunzione p-n.

La struttura a bande di energia è l'insieme dei livelli energetici posseduti dagli elettroni ed è composta da:

- una banda di valenza, (costituita dagli elettroni che hanno un livello energetico basso tale da restare nei pressi dell'atomo di appartenenza);
- una banda di conduzione, (costituita dagli elettroni che hanno un livello energetico abbastanza alto tale da lasciare l'atomo di appartenenza dando origine ad una conduzione di tipo elettrico);
- una banda proibita, (costituita dall'insieme dei livelli energetici non consentiti tra la banda di valenza e la banda di conduzione).

L'energy gap è la quantità di energia necessaria all'elettrone per passare dalla banda di valenza alla banda di conduzione.

Nei materiali isolanti la banda proibita è molto grande e l'energy gap è elevato, per cui pochi elettroni hanno l'energia necessaria per passare nella banda di conduzione.

Nei materiali conduttori, le due bande sono sovrapposte eliminando di fatto la banda proibita pertanto gli elettroni hanno l'energia necessaria per passare alla banda di conduzione ed originare il flusso elettrico.

Nei materiali semiconduttori la banda proibita è molto piccola e di conseguenza l'energy gap è limitato; sarà sufficiente un fotone di energia per far passare un elettrone dalla banda di valenza a quella di conduzione. Tale fenomeno prende il nome di effetto fotoelettrico.

L'effetto fotoelettrico è dovuto all'emissione di un elettrone da una superficie, solitamente metallica, quando questa viene colpita da un fotone avente una frequenza superiore ad un certo valore di soglia relativa al tipo di metallo.

Omettendo qualsiasi formula possiamo dire che esiste una frequenza minima a cui corrisponde una lunghezza d'onda al di sopra della quale non si ha effetto fotovoltaico.

Solo i fotoni dotati di energia sufficiente sono in grado di innescare il processo fotoelettrico per un dato materiale mentre tutti gli altri, a causa della agitazione molecolare, contribuiscono in maniera negativa ad innalzare la temperatura del materiale.

Le coppie elettrone-lacuna sono dovute ad un elettrone che, passando dalla banda di valenza alla banda di conduzione, si lascia dietro una buca, cioè una lacuna che verrà tempestivamente colmata da un altro elettrone di un atomo vicino. Nel caso della struttura atomica del silicio cristallino ove ogni atomo possiede 14 elettroni, quattro dei quali, i più esterni, sono condivisi con altrettanti atomi di silicio legati insieme da legami covalenti. Tali legami possono essere spezzati mediante l'apporto di una quantità di energia sufficiente a far passare gli elettroni di valenza ad un livello superiore, cioè alla banda di conduzione; un fotone incidente con energia almeno pari al valore dell'energy gap del silicio = 1,1eV è in grado di far saltare l'elettrone.

Il processo di drogaggio dei semiconduttori consiste nell'immissione controllata, all'interno della struttura del semiconduttore, di sostanze in grado di modificare la concentrazione delle cariche mobili per avere un flusso ordinato di elettroni.

Utilizzando dosi controllate di fosforo e boro nella struttura cristallina del silicio si ottengono rispettivamente dei semiconduttori di tipo n (con un elettrone libero per ogni atomo di fosforo immesso) e dei semiconduttori di tipo p (con una lacuna per ogni atomo di boro immesso).

La giunzione di tipo p-n è costituita da due regioni di uno stesso semiconduttore di cui una drogata di tipo p e l'altra drogata di tipo n; l'intimo contatto di questi due strati di silicio p-n genera un campo elettrico con una corrente elettrica ordinata. L'interazione tra l'effetto fotoelettrico e l'effetto volta dà origine all'effetto fotovoltaico.

Cenni tecnici sui componenti

Di seguito sono riportate brevi note sulle funzioni e sulle caratteristiche dei principali apparati tecnologici costituenti l'impianto.

La cella fotovoltaica

La conversione della radiazione solare in energia elettrica avviene nella cella fotovoltaica, dispositivo elementare di ogni sistema fotovoltaico, costituita da un sottile strato (0,20-0,35 mm) di materiale semiconduttore, generalmente silicio nella cui struttura cristallina sono stati introdotti atomi di fosforo o atomi di boro; l'intimo contatto di questi due strati p-n genera un campo elettrico.



Per aumentare l'efficienza la cella viene trattata con un rivestimento superficiale antiriflesso, generalmente ossido di titanio.

Il flusso elettrico viene convogliato all'esterno per mezzo di una griglia metallica di raccolta serigrafata frontalmente e da un contatto sul retro.

La potenza di una cella varia in funzione della temperatura e dell'irraggiamento solare incidente.

Le condizioni standard di riferimento sono imposte dalle norme internazionali (Standard Test Condition) STC:

- radiazione incidente 1000 Watt/m²,
- temperatura moduli 25 °C,
- spettro 1,5 AM,

- velocità del vento 0 m/s.

La potenza che una cella tipica è in grado di erogare in condizioni STC è detta potenza di picco W_p .

Una cella fotovoltaica in condizioni STC è in grado di erogare generalmente una potenza di 1,5 W_p , una corrente di 3 A con una tensione di 0,5 V.

La temperatura nominale di funzionamento di una cella (Nominal Operating Cell Temperature) NOCT fornisce il comportamento termico dei moduli e viene definita alle seguenti condizioni di funzionamento:

- radiazione incidente 800 $Watt/m^2$,
- temperatura moduli 20°C,
- velocità del vento 1 m/s.

Il valore della NOCT è essenziale per il dimensionamento di un impianto.

Il modulo fotovoltaico



L'insieme delle celle costituisce un modulo o pannello fotovoltaico.

La fabbricazione dei moduli prevede sostanzialmente la connessione elettrica serie-parallelo delle singole celle, al fine di ottenere tensione e corrente desiderati, ed il loro incapsulamento tra una lastra di vetro ed una di materiale plastico racchiuse da una cornice fornita di connettori posti in una scatola di giunzione posta sul retro.

Ogni modulo, che è contraddistinto da un codice univoco riportato nella documentazione di

progetto e nei certificati di origine, ha caratteristiche proprie sulle quali si deve fare riferimento nell'assemblaggio del modulo stesso sulla stringa:

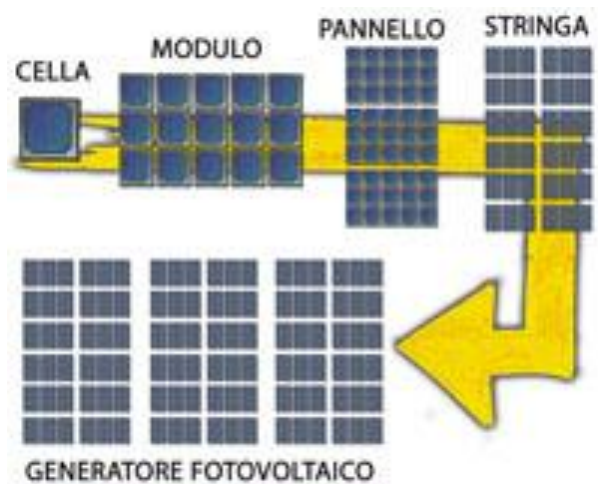
- efficienza del modulo %,
- potenza di picco Wp,
- tensione V sotto carico e a circuito aperto,
- corrente A sotto carico e di corto circuito,
- NOCT mW/cm²

Attualmente sono in commercio moduli di potenza pari a 300 W picco

Il generatore fotovoltaico

Collegando in serie-parallelo un insieme opportuno di moduli si ottiene un generatore o un campo fotovoltaico, con le caratteristiche desiderate di corrente e tensione di lavoro. I suoi parametri elettrici principali sono la potenza nominale, che è la potenza erogata dal generatore in condizioni nominali standard (irraggiamento di 1000 W/m² e temperatura dei moduli di 25°C) e la tensione nominale, tensione alla quale viene erogata la potenza nominale.

La configurazione elettrica del generatore fotovoltaico ha un ruolo importante nella efficienza e nella affidabilità dell'intero sistema; essa dipende anche dalla conformazione dell'area nonché dalla posizione geografica del sito.



Gli inverter e i trasformatori

L'inverter o convertitore statico è quel dispositivo che trasforma la corrente continua che arriva dal generatore fotovoltaico, in corrente alternata.

Inoltre nei sistemi connessi alla rete l'inverter adatta la tensione del generatore a quella di rete effettuando l'inseguimento del punto di massima potenza ricavando così il massimo dell'energia prodotta dai moduli.

L'importanza dell'inverter dipende anche dal fatto che il generatore fotovoltaico fornisce valori di tensione e corrente variabili in funzione dell'irraggiamento e della temperatura, mentre la corrente elettrica in uscita deve avere una tensione costante.



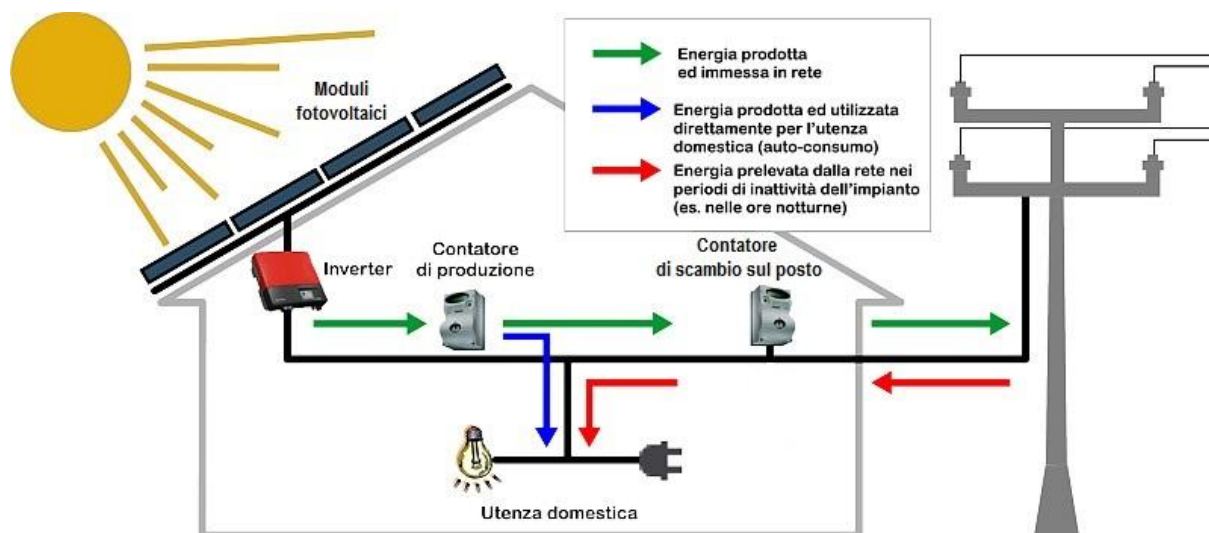
Le caratteristiche generali che deve avere l'inverter, compatibilmente con la funzione a cui è preposto riguardano la potenza nominale, il rendimento e la tipologia. Generalmente, per impianti collegati alla rete vengono usati inverter del tipo a commutazione forzata con tecnica PWM (modulazione a larghezza di impulso) senza riferimenti interni ovvero assimilabili a sistemi non idonei a sostenere la tensione in assenza di rete. Tali inverter sono provvisti di controllo MPPT (inseguimento del punto di massima potenza), di sistema di gestione automatica e di protezioni contro i guasti interni, sovratensioni e sovraccarichi. Inoltre, l'inverter deve rispondere alle norme generali su EMC (compatibilità elettromagnetica) e limitazione delle emissioni RF (radio frequenza).

Il trasformatore è quel dispositivo statico che garantisce la separazione galvanica tra l'impianto e la rete elettrica nazionale, così come imposto dalla normativa di settore.

Attualmente, per i piccoli e medi impianti, non è più necessario il trasformatore di separazione galvanica anche se l'impianto supera i 20kW, a condizione che l'inverter sia dotato di un sistema in grado di limitare l'immissione in rete di correnti con componenti continue superiori allo 0,5 % della corrente nominale, se questo accade il dispositivo di interfaccia dovrà intervenire entro 200ms se la componente continua supera 1A, ed entro 1 secondo se la componente continua supera lo 0,5% (gli impianti con punto mediano a terra invece dovranno avere il trasformatore).

Il funzionamento un impianto fotovoltaico

Di seguito si riporta uno schema di funzionamento di un impianto fotovoltaico:



L'energia prodotta dal generatore fotovoltaico viene convertita dall'inverter e contabilizzata dal *contatore di produzione* installato dal gestore di rete locale, a questo punto l'energia è pronta per essere utilizzata dall'utenza domestica (es: frigorifero, lavatrice, ecc). Se la produzione di energia derivante dall'impianto supera la richiesta domestica, il surplus viene immesso in rete e contabilizzato tramite il contatore di scambio. L'energia immessa in rete viene venduta e monetizzata tramite il *contratto di scambio sul posto*. Se invece la richiesta di energia dell'utente è superiore a quella prodotta dall'impianto la differenza viene colmata prelevandola dalla rete; anche in questo caso, l'energia prelevata viene contabilizzata dal contatore di scambio e pagata tramite la bolletta elettrica.

Normativa di riferimento

Lo sviluppo degli impianti fotovoltaici inizia a diffondersi in Italia con l'avvento degli incentivi nazionali volti appunto a favorirne la realizzazione, tale meccanismo prende il nome di "Conto Energia". Il conto energia introduce il meccanismo secondo il quale viene riconosciuta una tariffa incentivante per ogni kW prodotto dall'impianto fotovoltaico, questa

tariffa varia anche in base alla potenza complessiva dell'impianto stesso ed in funzione di altri parametri che verranno esposti in seguito.

Il primo Conto Energia è stato introdotto dal DM 28 luglio 2005, poi modificato dal DM 6 febbraio 2006 ed integrato dalle delibere AEEG 188/05 e 40/06.

In realtà la valorizzazione economica dell'energia prodotta da un impianto fotovoltaico si compone, oltre che dalla parte relativa all'energia prodotta, la quale è remunerata mediante la tariffa incentivante, anche di quanto attiene all'utilizzo successivo: autoconsumo, vendita o scambio sul posto.

L'energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico viene quindi, in prima istanza misurata all'uscita del gruppo di conversione (inverter) per essere valorizzata in conto energia mediante la tariffa incentivante. Tale remunerazione in conto energia R_c risulta essere pari a:

$$R_c = \text{Energia Prodotta} \times \text{Tariffa incentivante}$$

La stessa energia può essere del tutto o in parte autoconsumata, andando quindi a costituire un risparmio R_a pari a:

$$R_a = \text{Energia autoconsumata} \times \text{Prezzo di acquisto dell'energia}$$

Non sempre però è possibile autoconsumare tutta l'energia prodotta e quindi, in questi casi, occorre prevedere che una parte più o meno consistente di energia possa essere venduta. Vi sono poi impianti dedicati unicamente alla vendita, per i quali la frazione autoconsumata è trascurabile rispetto al totale. In entrambi i casi, la vendita di energia alla rete dà luogo ad una remunerazione pari a R_v , da calcolarsi come:

$$R_v = \text{Energia venduta} \times \text{Prezzo di vendita dell'energia}$$

La remunerazione complessiva dell'energia prodotta da un impianto fotovoltaico è quindi pari a:

$$R_t = R_c + R_a + R_v$$

Se la potenza dell'impianto non supera i 200 kWp è tuttavia possibile accedere al regime di scambio sul posto, attraverso il quale l'energia prodotta è considerata tutta autoconsumata, a patto che su base annua il consumo non sia inferiore alla produzione.

Come precedentemente accennato il conto energia riconosce una tariffa incentivante a seconda della potenza dell'impianto fotovoltaico ed a seconda del tipo di impianto realizzato. Di seguito si riporta la tabella incentivante del 2 conto energia.

		TIPOLOGIA IMPIANTO		
Potenza nominale dell'impianto (kW)		1 Non integrato	2 Parzialmente integrato	3 Integrato
A)	$1 \leq P \leq 3$	0,384	0,422	0,470
B)	$3 < P \leq 20$	0,365	0,403	0,442
C)	$P > 20$	0,346	0,384	0,422

Tabella 1

I conti energia che si sono susseguiti hanno variato il valore della tariffa incentivante fino ad estinguerlo.

Il DM 19/02/07 definisce tre tipologie d'integrazione ai fini della determinazione della tariffa incentivante da riconoscere a ciascun impianto fotovoltaico:

- 1) impianto non integrato
- 2) impianto parzialmente integrato
- 3) impianto con integrazione architettonica

L'impianto fotovoltaico non integrato è l'impianto con moduli installati al suolo, ovvero collocati sugli elementi di arredo urbano e viario, sulle superfici esterne degli involucri degli edifici, di fabbricati e strutture edilizie di qualsiasi funzione e destinazione con modalità diverse da quelle previste per le tipologie 2) e 3).

Per il riconoscimento della parziale integrazione l'allegato 2 del citato Decreto ministeriale descrive tre specifiche tipologie d'intervento.

Per il riconoscimento dell'integrazione architettonica l'allegato 3 del citato Decreto ministeriale descrive dieci specifiche tipologie d'intervento.

Per rendere agevole e trasparente l'interpretazione di quanto previsto nei menzionati allegati, sul sito web del GSE è disponibile una guida agli interventi validi ai fini del riconoscimento dell'integrazione architettonica. Questo documento illustra in apposite schede le tredici tipologie specifiche d'intervento, definendo i requisiti minimi, funzionali e architettonici che ciascun impianto dovrà soddisfare per ottenere il riconoscimento della parziale o totale integrazione architettonica.

Impianto fotovoltaico non integrato	Impianto fotovoltaico parzialmente integrato	Impianto fotovoltaico non integrato
		

Figura 1

I conti energia sono stati 5:

- 1) Primo Conto Energia: DM 28 luglio 2005, poi modificato dal DM 6 febbraio 2006 ed integrato dalle delibere AEEG 188/05 e 40/06
- 2) Secondo Conto Energia: DM 19 febbraio 2007
- 3) Terzo Conto Energia: DM 6 agosto 2010
- 4) Quarto conto Energia: DM 5 maggio 2011
- 5) Quinto Conto Energia: DM 5 luglio 2012

Alcuni risultati del Conto Energia in Italia

Il Conto Energia, e in particolare la nuova versione del DM 19/02/2007, ha avuto un notevole successo nel nostro paese. I dati riportati di seguito indicano l'evoluzione della potenza e della numerosità degli impianti fotovoltaici in Italia nel periodo dal 2008 al 2015.

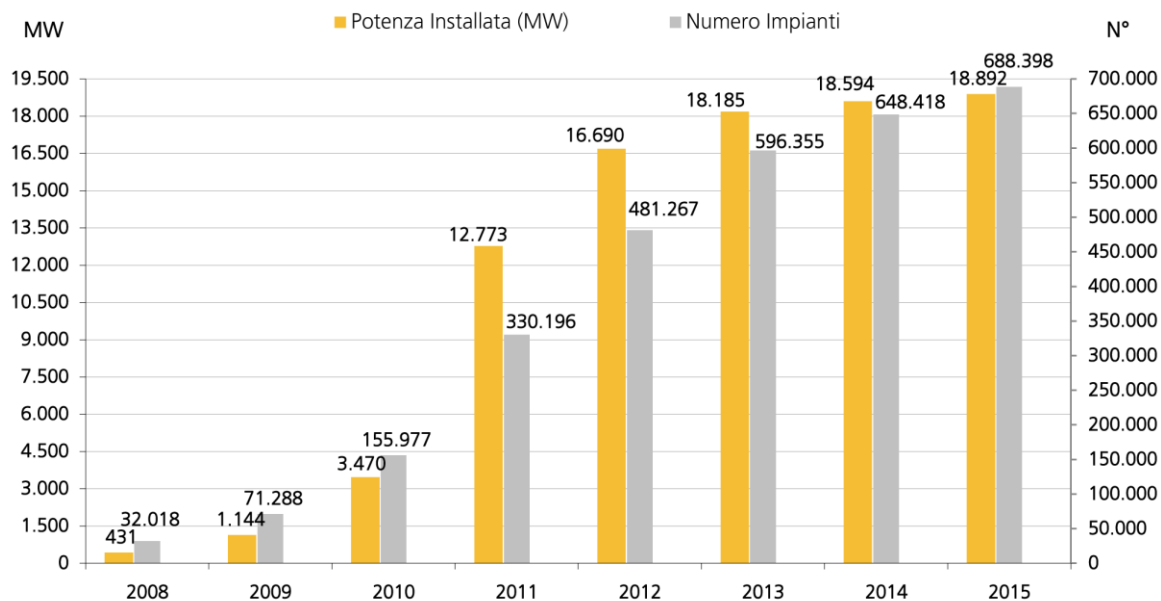


Figura 2

Il grafico mostra l'evoluzione della serie storica del numero e della potenza installata degli impianti fotovoltaici in Italia.

Si evidenzia la forte crescita nel periodo 2009-2012 dovuto alla presenza del conto energia che ha favorito la realizzazione di grandi impianti a terra.

Nel periodo successivo si nota come la potenza installata ha una curva di crescita inferiore rispetto al numero di impianti installati nello stesso periodo. Ciò evidenzia come negli ultimi anni sono stati realizzati soprattutto piccoli impianti residenziali a fronte di un quasi totale stop di grandi impianti.

Gli impianti entrati in esercizio nel corso del 2015 - per lo più installazioni a servizio di utenze domestiche - hanno una potenza media (7,1 kW) notevolmente più bassa rispetto a quella degli anni precedenti, portando la taglia media nazionale degli impianti fotovoltaici a poco più di 27 kW.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Taglia media cumulata (kW)	13,5	16,0	22,2	38,7	34,7	30,5	28,7	27,4
Taglia media annua (kW)	13,5	18,2	27,5	53,4	25,9	13,0	8,1	7,1

Il fotovoltaico nelle aziende agricole

L'agricoltura ha sempre rappresentato uno dei settori di maggior interesse per l'applicazione delle tecnologie fotovoltaiche. L'elettrificazione delle zone rurali attraverso l'ampliamento delle tradizionali reti elettriche comporta costi estremamente più elevati rispetto alle aree urbanizzate, a causa dell'estensione dei territori da coprire e della bassa densità delle utenze: vi assumono quindi importanza quei sistemi che, come i fotovoltaici, sono in grado di fornire energia in maniera autonoma. Le aree rurali italiane sono in genere già dotate di consistenti infrastrutture di rete, tuttavia la tecnologia fotovoltaica, attraverso i sistemi di incentivi messi in atto negli anni passati, ha suscitato particolare interesse da parte degli agricoltori per la possibilità di produrre elettricità a regime di incentivo, di risparmiare sugli acquisti di energia per gli usi produttivi e domestici, e di disporre di energia elettrica in situazioni di assenza di rete, soprattutto nelle zone collinari e montane.

Realizzazione di un impianto fotovoltaico

Introduzione

La realizzazione di un impianto fotovoltaico è composta dalle seguenti fasi, ad ognuna delle quali è preposto un ente:

- Autorizzazione alla realizzazione dell'impianto
- Richiesta di allaccio alla rete elettrica nazionale
- Iscrizione al registro nazionale degli impianti fotovoltaici
- Realizzazione dell'impianto
- Valorizzazione dell'energia fotovoltaica: incentivi, vendita, scambio sul posto

Ognuna delle seguenti fasi coinvolge un ente nazionale.

Autorizzazione alla realizzazione di un impianto fotovoltaico

La normativa italiana prevede per la realizzazione di impianti tecnologici, un iter ben preciso che si è evoluto nel corso degli anni passando dalla DIA alla. Tuttavia, al fine di sviluppare la diffusione di impianti di energia rinnovabile, sono state introdotte molto presto una serie di semplificazioni normative soprattutto a favore dei piccoli impianti residenziali. L'articolo 11, comma 3, del decreto legislativo 30 maggio 2008, n. 115 prevede ad esempio che: *"[...] gli interventi di incremento dell'efficienza energetica che prevedano l'installazione di [...] impianti solari termici o fotovoltaici aderenti o integrati nei tetti degli edifici con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda e i cui componenti non modificano la sagoma degli edifici stessi, sono considerati interventi di manutenzione ordinaria e non sono soggetti alla disciplina della denuncia di inizio attività"*, ossia tali interventi, se non sono presenti vincoli ambientali ostativi, possono essere realizzati semplicemente inviando una comunicazione in carta semplice al comune di installazione dell'impianto fotovoltaico stesso (CIL).

Richiesta di allaccio alla rete elettrica nazionale

Per poter allacciare un impianto di produzione di energia alla rete elettrica nazionale è necessario fare richiesta al gestore locale. L'iter prevede una domanda di allaccio a cui fa seguito un sopralluogo da parte dei tecnici del gestore stesso al fine di verificare l'idoneità della rete ad accettare la potenza di immissione richiesta. Una volta realizzato l'impianto è necessario produrre gli schemi e le certificazioni dell'impianto ed accettare il "Regolamento di esercizio" che norma le condizioni che deve garantire un produttore di energia quando si allaccia alla rete elettrica nazionale. Soddisfatte queste condizioni si può procedere all'allaccio stesso

Iscrizione al registro nazionale degli impianti derivanti da fonte rinnovabile

La normativa italiana prevede che ogni impianto derivante da fonte rinnovabile venga registrato su un registro nazionale gestito da Terna, il sistema viene chiamato Gaudì.

La registrazione consiste nell'iscrizione ad un portale on-line in cui vengono caricati i dati dell'impianto realizzato.

Richiesta incentivi

Questa fase, non più applicabile con il termine del Conto Energia, prevedeva l'invio, dapprima in maniera cartacea e successivamente per via telematica attraverso un portale on-line, di tutta la documentazione tecnica relativa l'impianto al GSE al fine di ottenere il riconoscimento degli incentivi statali.

Valorizzazione dell'energia elettrica prodotta e non consumata

L'ultimo passaggio prevede la domanda di accesso al meccanismo dello "scambio sul posto" gestita dal GSE. Tale meccanismo prevede la valorizzazione economica dell'energia immessa in rete e non consumata dall'azienda agricola. Tutta la procedura viene effettuata on-line. Per impianti di potenza superiore al 200 kW non si può applicare lo "scambio sul posto" ma si

può sottoscrivere direttamente un contratto di vendita di energia con il GSE, oppure vendere l'energia sul mercato libero.

Progettazione ed installazione

In questa fase si procede alla scelta del luogo più idoneo per l'installazione e al calcolo teorico di produzione dell'impianto, tramite analisi sulla radiazione solare e su eventuali ombreggiamenti. In base a questi dati si effettuano le scelte progettuali sul dimensionamento dell'impianto e sulla scelta dei materiali.

Successivamente si procede all'installazione ed al collaudo dell'impianto stesso.

Di seguito si riporta la progettazione di un impianto fotovoltaico da 36,4 kW utilizzato come caso di studio.

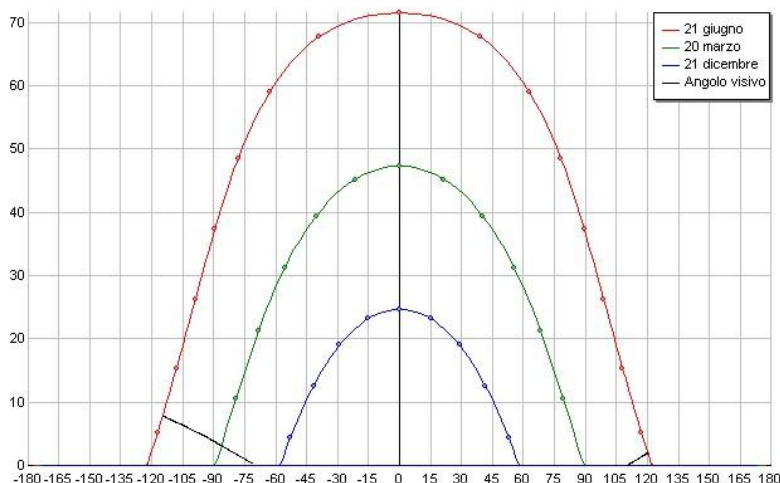
Progetto

L'attività progettuale ha riguardato dapprima l'individuazione della potenza necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico dell'azienda agricola tramite l'analisi dei consumi degli ultimi anni ricavato dalle bollette elettriche. Successivamente è stata individuata la sede più idonea per l'installazione dell'impianto all'interno dell'area a disposizione dell'azienda. La scelta si è subito indirizzata verso un capannone di circa 500 mq costituito da una copertura a due falde simmetriche, di cui una esposta a sud. Le scelte progettuali sono ricadute su questa struttura proprio per la buona esposizione alla radiazione solare della falda a sud su cui si può installare un impianto di produzione di 36,4 kW idoneo a coprire parte del fabbisogno dell'azienda agricola.

Produzione dell'impianto

Dati di rilievo clinometrico e diagramma delle ombre

Nella seguente figura sono riportati i dati di rilievo clinometrico ed il diagramma delle ombre dell'impianto.



le curve indicano l'inclinazione del sole durante alcuni periodi dell'anno come indicato in tabella.

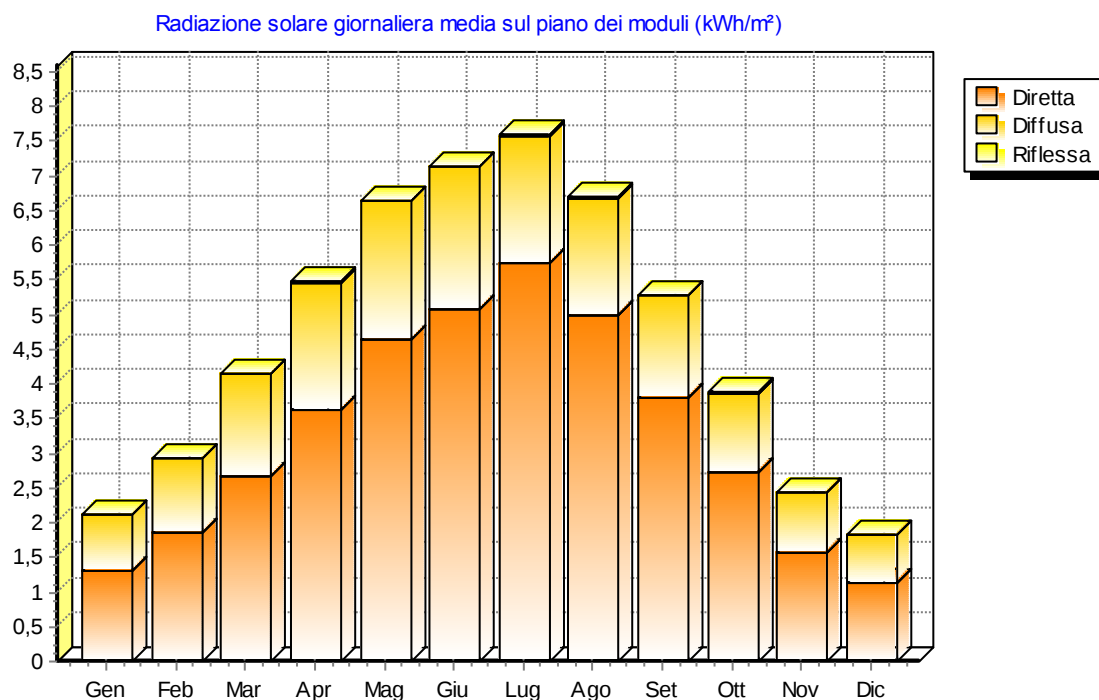
Irraggiamento sul piano dei moduli

Per la valutazione dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico si è fatto riferimento ai dati climatici indicati nella norma UNI 10349 per il capoluogo di provincia di Roma opportunamente mediati per tenere conto della localizzazione geografica del sito di installazione dell'impianto. Sulla base della inclinazione (20°) ed. orientamento (20°) dei moduli fotovoltaici si è ottenuto il valore annuo medio di irraggiamento sul piano dei pannelli utilizzando le formulazioni indicate nella norma UNI 8477.

TABELLA DI RADIAZIONE SOLARE

Mese	Radiazione Diretta [kWh/m ²]	Radiazione Diffusa [kWh/m ²]	Radiazione Riflessa [kWh/m ²]	Totale giornaliero [kWh/m ²]	Totale mensile [kWh/m ²]
Gennaio	1,312	0,798	0,003	2,113	65,498
Febbraio	1,848	1,073	0,005	2,926	81,918
Marzo	2,675	1,459	0,007	4,14	128,353
Aprile	3,62	1,844	0,01	5,474	164,215
Maggio	4,626	2,009	0,012	6,647	206,06
Giugno	5,069	2,064	0,013	7,147	214,401
Luglio	5,752	1,817	0,014	7,582	235,047
Agosto	4,973	1,706	0,012	6,691	207,426

Settembre	3,804	1,459	0,009	5,272	158,147
Ottobre	2,74	1,128	0,006	3,874	120,101
Novembre	1,576	0,853	0,004	2,433	72,996
Dicembre	1,119	0,716	0,003	1,838	56,966



Impianto Fotovoltaico da 36,4 kW

Il generatore è composto da n° 140 moduli del tipo Silicio policristallino con una vita utile stimata di oltre 20 anni e degradazione della produzione dovuta ad invecchiamento del 0,6 % annuo.

CARATTERISTICHE DEL GENERATORE FOTOVOLTAICO	
Tipo di realizzazione:	Su edificio
Numero di moduli:	140
Numero inverter:	2
Potenza nominale:	36400 W
Grado di efficienza:	101,7 %

DATI COSTRUTTIVI DEI MODULI	
Tecnologia costruttiva:	Silicio policristallino
Caratteristiche elettriche	
Potenza massima:	260 W
Rendimento:	15,6 %
Tensione nominale:	30,5 V
Tensione a vuoto:	37,8 V
Corrente nominale:	8,5 A
Corrente di corto circuito:	9,2 A
Dimensioni	
Dimensioni:	1000 mm x 1670 mm
Peso:	18,8 kg

I valori di tensione alle varie temperature di funzionamento (minima, massima e d'esercizio) rientrano nel range di accettabilità ammesso dall'inverter.

La linea elettrica proveniente dai moduli fotovoltaici è messa a terra mediante appositi scaricatori di sovratensione con indicazione ottica di fuori servizio, al fine di garantire la protezione dalle scariche di origine atmosferica.

Gruppo di conversione

Il gruppo di conversione è composto dai convertitori statici (Inverter).

Il convertitore c.c./c.a. utilizzato è idoneo al trasferimento della potenza dal campo fotovoltaico alla rete del distributore, in conformità ai requisiti normativi tecnici e di sicurezza applicabili. I valori della tensione e della corrente di ingresso di questa apparecchiatura sono compatibili con quelli del rispettivo campo fotovoltaico, mentre i valori della tensione e della frequenza in uscita sono compatibili con quelli della rete alla quale viene connesso l'impianto.

Le caratteristiche principali del gruppo di conversione sono:

- Inverter a commutazione forzata con tecnica PWM (pulse-width modulation), senza clock e/o riferimenti interni di tensione o di corrente, assimilabile a "sistema non idoneo a sostenere la tensione e frequenza nel campo normale", in conformità a quanto

prescritto per i sistemi di produzione dalla norma CEI 11-20 e dotato di funzione MPPT (inseguimento della massima potenza)

- Ingresso lato cc da generatore fotovoltaico gestibile con poli non connessi a terra, ovvero con sistema IT.
- Rispondenza alle norme generali su EMC e limitazione delle emissioni RF: conformità norme CEI 110-1, CEI 110-6, CEI 110-8.
- Protezioni per la sconnessione dalla rete per valori fuori soglia di tensione e frequenza della rete e per sovracorrente di guasto in conformità alle prescrizioni delle norme CEI 11-20 ed a quelle specificate dal distributore elettrico locale. Reset automatico delle protezioni per predisposizione ad avviamento automatico.
- Conformità marchio CE.
- Grado di protezione adeguato all'ubicazione in prossimità del campo fotovoltaico (IP65).
- Dichiarazione di conformità del prodotto alle normative tecniche applicabili, rilasciato dal costruttore, con riferimento a prove di tipo effettuate sul componente presso un organismo di certificazione abilitato e riconosciuto.
- Campo di tensione di ingresso adeguato alla tensione di uscita del generatore FV.
- Efficienza massima $\square$ 90 % al 70% della potenza nominale.

Il gruppo di conversione è composto da 2 inverter.

Dati costruttivi degli inverter	
Inseguitori	2
Ingressi per inseguitore	3
Caratteristiche elettriche	
Potenza nominale	17,5 kW
Potenza massima	17,9 kW
Potenza massima per inseguitore	9,8 kW
Tensione nominale	600 V
Tensione massima	1000 V
Tensione minima per inseguitore	370 V
Tensione massima per inseguitore	800 V

Tensione nominale di uscita	400 Vac
Corrente nominale	60 A
Corrente massima	60 A
Corrente massima per inseguitore	33 A
Rendimento	0,98

Inverter 1	MPPT 1	MPPT 2
Moduli in serie	18	17
Stringhe in parallelo	2	2
Esposizioni	Generatore FV	Generatore FV
Tensione di MPP (STC)	548,28 V	517,82 V
Numero di moduli	36	34

Inverter 2	MPPT 1	MPPT 2
Moduli in serie	18	17
Stringhe in parallelo	2	2
Esposizioni	Generatore FV	Generatore FV
Tensione di MPP (STC)	548,28 V	517,82 V
Numero di moduli	36	34

Dimensionamento

La potenza nominale del generatore è data da:

$$P = P_{\text{modulo}} * N^{\circ} \text{moduli} = 260 \text{ W} * 140 = 36400 \text{ W}$$

L'energia totale prodotta dall'impianto alle condizioni STC (irraggiamento dei moduli di 1000 W/m² a 25°C di temperatura) si calcola come:

Esposizione	N° moduli	Radiazione solare [kWh/m²]	Energia [kWh]
Generatore FV	140	1.711,13	62.285,04

$$E = E_n * (1 - \text{Disp}) = 50301,4 \text{ kWh}$$

dove

Disp = Perdite di potenza ottenuta da

Perdite per ombreggiamento	0,0 %
Perdite per aumento di temperatura	6,5 %

Perdite di mismatching	5,0 %
Perdite in corrente continua	0,1 %
Altre perdite (sporcizia, tolleranze...)	6,9 %
Perdite per conversione	2,2 %
Perdite totali	19,2 %

TABELLA PERDITE PER OMBREGGIAMENTO

Mese	Senza ostacoli [kWh]	Produzione reale [kWh]	Perdita [kWh]
Gennaio	1925,4	1925,4	0,0 %
Febbraio	2408,1	2408,1	0,0 %
Marzo	3773,1	3773,1	0,0 %
Aprile	4827,4	4827,4	0,0 %
Maggio	6057,5	6057,5	0,0 %
Giugno	6302,7	6302,7	0,0 %
Luglio	6909,6	6909,6	0,0 %
Agosto	6097,6	6097,6	0,0 %
Settembre	4649,0	4649,0	0,0 %
Ottobre	3530,6	3530,6	0,0 %
Novembre	2145,8	2145,8	0,0 %
Dicembre	1674,6	1674,6	0,0 %
Anno	50301,4	50301,4	0,0 %

Verifiche

Al termine dei lavori l'installatore dell'impianto effettuerà le seguenti verifiche tecnico-funzionali:

- corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni di potenza generata e nelle varie modalità previste dal gruppo di conversione (accensione, spegnimento, mancanza rete, ecc.);
- continuità elettrica e connessioni tra moduli;
- messa a terra di masse e scaricatori;
- isolamento dei circuiti elettrici dalle masse;

L'impianto deve essere realizzato con componenti che in fase di avvio dell'impianto fotovoltaico, il rapporto fra l'energia o la potenza prodotta in corrente alternata e l'energia o la potenza producibile in corrente alternata (determinata in funzione dell'irraggiamento solare

incidente sul piano dei moduli, della potenza nominale dell'impianto e della temperatura di funzionamento dei moduli) sia almeno superiore a 0,78 nel caso di utilizzo di inverter di potenza fino a 20 kW e 0,8 nel caso di utilizzo di inverter di potenza superiore, nel rispetto delle condizioni di misura e dei metodi di calcolo descritti nella medesima Guida CEI 82-25.

Il generatore Impianto FV 36,4 kW soddisfa le seguenti condizioni:

Limiti in tensione

Tensione minima V_n a 70,00 °C (431,1 V) maggiore di $V_{mpp \text{ min.}}$ (370,0 V)

Tensione massima V_n a -10,00 °C (619,7 V) inferiore a $V_{mpp \text{ max.}}$ (800,0 V)

Tensione a vuoto V_o a -10,00 °C (751,2 V) inferiore alla tensione max. dell'inverter (1000 V)

Tensione a vuoto V_o a -10,00 °C (751,2 V) inferiore alla tensione max. dell'inverter (1000 V)

Limiti in corrente

Corrente massima di ingresso riferita a I_{sc} (18,3 A) inferiore alla corrente massima inverter (33,0 A)

Limiti in potenza

Dimensionamento in potenza (109,7%) compreso tra 80,0% e il 120,0% [INV. 1/MPPT 2]

Benefici Ambientali

Ai fini dell'evidenziazione delle caratteristiche principali dell'impianto in oggetto si riporta in forma sintetica la seguente tabella relativa ai dati richiesti dal Decreto 13/12/2002 paragrafo 8.1.

Previsione dell'energia prodotta	3353 kWh/anno
Quantità di energia primaria risparmiata ¹⁾	9,41 TEP/anno
Emissioni evitate di CO ₂ ²⁾	26,86 tonnellate/anno

1) Il calcolo della quantità di energia primaria risparmiata è stato effettuato considerando il valore di 0,000187 TEP/kWh, fissato dai decreti ministeriali.

2) Il calcolo della CO₂ evitata è stato effettuato sulla base di una emissione media evitata di 534 kg/MWh (fonte rapporto ambientale ENEL 2001).

Applicazioni del fotovoltaico in agricoltura

Le fonti rinnovabili utilizzabili in campo agricolo, in particolare nelle colture protette, sono diverse, ma tre in particolare sembrano essere maggiormente impiegabili in questo settore: il fotovoltaico ed il micro e minieolico per la produzione di energia elettrica, e il solare-termico per la produzione di calore.

Tra questi, il fotovoltaico è quello su cui, negli ultimi 5 anni, si sono concentrate le attenzioni maggiori e ove anche la ricerca scientifica ha dato il proprio contributo.

Le serre fotovoltaiche, nonostante i tagli degli incentivi particolarmente drastici operati dal legislatore per frenare le speculazioni in atto, sono uno dei segmenti più promettenti nel campo delle energie alternative. Le serre, infatti, consentirebbero di combinare il tradizionale reddito agricolo con le entrate derivanti dalla vendita dell'energia in eccesso e con il risparmio in bolletta dovuto all'autoconsumo dell'energia prodotta.

Numerosi sono gli aspetti da considerare nella scelta di questo tipo di sistemi. La diffusione delle serre è stata finora frenata anche dagli elevati costi per il riscaldamento, un ostacolo che l'opzione fotovoltaica aiuterebbe a superare; inoltre l'installazione di pannelli su serre già esistenti è agevolata da processi autorizzativi più rapidi rispetto a quelli necessari per gli impianti a terra, ormai sorpassati; tali impianti sono poi esenti dal pagamento dell'IMU, purché i redditi prodotti siano connessi all'attività agricola.

La realizzazione di serre fotovoltaiche è tecnicamente possibile e relativamente semplice anche dal punto di vista costruttivo. Al contrario, realizzare serre fotovoltaiche in grado di offrire, oltre alla produzione elettrica, anche una produzione agricola, è tutt'altro che semplice. La proiezione dell'ombra della pannellatura fotovoltaica sul suolo, la quantità di radiazione fotosinteticamente attiva presente all'interno della struttura, la progettazione di apprestamenti protetti capaci di garantire una flessibilità sufficiente a permettere cambi di destinazione colturale in relazione al mutamento delle necessità del mercato, sono fattori che influenzano fortemente la progettazione di una serra fotovoltaica ad utilizzo florovivaistico.

Inoltre, il problema preminente del sistema serra consiste nell'entità dell'investimento economico richiesto all'avvio, impegno che appare più compatibile col settore dell'industria piuttosto che con quello dell'agricoltura tradizionale. Il costo di una serra equipaggiata si colloca tra 40 e 200 €/m² in funzione dell'area climatica ove la struttura viene realizzata, del

livello tecnologico e di infrastrutture prescelto, nonché della tipologia di coltura che si vuole realizzare e tali fattori condizionano totalmente i modelli.

Cosa è una serra?

“La serra è un ambiente costruito appositamente per coltivare fiori e piante con le stesse caratteristiche del loro habitat naturale o per l’essiccazione di prodotti dell’agricoltura e della selvicoltura”. Le serre, quindi, hanno la prerogativa di poter creare l’ambiente ideale per il tipo di coltivazione che si intende realizzare. La loro struttura può essere realizzata in diversi materiali: ferro, legno strutturale, muratura o alluminio. Di solito poggiano su una base in muratura o su supporti mobili avvitati nel terreno ed hanno pareti e tetto in materiale trasparente. A seconda delle necessità, al loro interno si può far entrare luce, regolare il calore e variare il livello di umidità. Le pareti sono di vetro trasparente e il tetto può essere a spiovente da uno o da entrambi i lati ed è dotato di finestre che si aprono verso l’esterno per permettere l’aerazione.

Quali benefici per l’agricoltura?

I benefici del loro uso in agricoltura sono molteplici e sono soprattutto pratici: permettono la coltivazione di prodotti freschi (come frutta, verdura, fiori, ecc.) in qualità, quantità e periodi di tempo altrimenti impossibili da raggiungere con la coltivazione a cielo aperto. Favoriscono la protezione della coltivazione dai fenomeni naturali (vento, pioggia, grandine, neve), dai danni degli animali, danno poi la possibilità di controllare le condizioni di irrigazione e fertilizzazione, di permettere il lavoro e la raccolta in ogni tipo di tempo. Non dimentichiamo che permettono anche di diversificare la produzione. Inoltre le serre sono costruite in modo che la loro esposizione sia a favore dell’irraggiamento solare diretto, quindi se vi applichiamo dei pannelli fotovoltaici, si ha poi un ulteriore vantaggio: offrono benefici ambientali e vantaggi economici derivanti dall’autoconsumo (sono energeticamente autosufficienti) e dalla vendita dell’energia in surplus. I pannelli fotovoltaici, infatti, si possono facilmente orientare alla giusta esposizione per catturare al meglio i raggi del sole e una serra di grandi dimensioni ha a disposizione vaste superfici per la loro installazione. Produrre energia è un’attività che può integrare la vendita delle coltivazioni in periodi difficili. È quindi evidente che l’elemento

interessante di questo connubio non risiede tanto nell'aspetto architettonico, quanto piuttosto nel coniugare due benefici in un'unica soluzione: la produzione agro-vivaistica e la produzione di energia pulita.

Quali sono le caratteristiche che fanno la differenza?

La valutazione della tipologia di impianto da realizzare dipende dall'incrocio di un insieme di elementi: la superficie, l'inclinazione (oltre che l'orientamento) delle falde destinate ai moduli fotovoltaici e da un calcolo matematico che ci indica le percentuali esatte di copertura fotovoltaica necessarie per garantire un'adeguata luminosità. La determinazione di questa percentuale è anche in funzione al tipo di piante coltivate all'interno della serra. Rientrano in questa tipologia tutte quelle installazioni nelle quali i moduli fotovoltaici costituiscono gli elementi costruttivi della copertura o delle pareti **in modo permanente**. Devono quindi essere integrati nella struttura che può essere realizzata in vari materiali e deve essere chiusa (la chiusura può essere stagionalmente rimovibile), fissa ed ancorata al terreno. L'integrazione nella struttura portante fa sì che la presenza dei pannelli fotovoltaici passi quasi inosservata, quindi si ha anche un impatto visivo nullo. Ci sono poi delle regole ben precise per la loro costruzione, infatti i moduli integrati devono avere una distanza minima dal suolo di 2 metri e devono essere posizionati nella parte della struttura che guarda a sud. Inoltre, la legge stabilisce che la presenza di moduli fotovoltaici sul tetto di una serra deve ricoprire al massimo il 50% della superficie totale. Questo per garantire la giusta trasparenza e un'adeguata penetrazione della luminosità all'interno della struttura al fine di preservare la primaria funzione per la quale è stata costruita: la coltivazione agricola o floro-vivaistica. I moduli applicati, generalmente, sono opachi o semi trasparenti.

La serra fotovoltaica differisce, quindi, dalla serra convenzionale per alcune caratteristiche:

- ha le parti in vetro orientate per ricevere il massimo calore solare durante l'inverno;
- è in grado di conservare e massimizzare il calore del sole d'inverno;
- ha una maggiore superficie di captazione dei raggi solari rivolta verso la parte di minore insolazione esterna;

- usa vetro e metodi per la loro installazione in grado di minimizzare le perdite di calore;
- sfrutta la ventilazione naturale per il raffrescamento estivo.

Costi

Come per gli altri tipi di installazione, anche per le serre non sono previsti incentivi, tuttavia presentano un interessante vantaggio fiscale, perché essendo una struttura accatastata come edificio agricolo sono esenti dall'IMU.

La normativa sulle serre fotovoltaiche

Ecco come la normativa definisce la serra fotovoltaica:

“una struttura nella quale i moduli fotovoltaici costituiscono un elemento costruttivo della copertura o delle pareti verticali della serra stessa. La serra fotovoltaica è in genere dedicata alla coltivazione agricola o alla floricoltura”(Terzo Conto Energia).

Inoltre, come esplicitato nella stessa normativa:

“la serra non deve caratterizzarsi come struttura amovibile, ma deve essere ben ancorata al suolo, fissa, e deve avere chiusure fisse o amovibili in relazione alla stagionalità delle coltivazioni praticate. I materiali di costruzione della serra possono essere legno, metallo o anche muratura, ma senza mai assumere le caratteristiche di edificio”.

La cosa più importante, però, è questa: il criterio fondamentale definito per assumere rilevanza di “serra fotovoltaica” è il rapporto tra ampiezza della copertura e ampiezza della superficie occupata dai moduli fotovoltaici: il tetto della serra fotovoltaica deve prevedere la copertura di moduli fotovoltaici per al massimo il 50% della superficie totale. Più precisamente:

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%.

Questo per garantire la giusta trasparenza ed un'adeguata penetrazione della luminosità all'interno della struttura al fine di preservare la primaria funzione per la quale è stata costruita: la coltivazione agricola o florovivaistica.

Come per le pensiline e le pergole fotovoltaiche le serre devono avere i moduli collocati almeno ad un'**altezza di due metri da terra**.

Queste definizioni, ovviamente, avevano senso nel momento in cui le serre solari erano oggetto d'incentivazione. Oggi la loro realizzazione è sottoposta solo ai vincoli autorizzativi dell'ente di competenza (che può essere il Comune, la Provincia o la Regione).

Quanto produce una serra con pannelli fotovoltaici

La serra fotovoltaica supporta generalmente pannelli per la metà della sua superficie, visto che deve garantire l'accesso della giusta luminosità naturale per le coltivazioni ospitate. Non è una regola fissa, ma un rapporto ottimale. Se si utilizzano, al posto dei classici pannelli opachi, pannelli fotovoltaici trasparenti o semitrasparenti (per intenderci, pannelli vetro-vetro) è possibile utilizzare maggiori rapporti di copertura della serra.

In tabella 2 sono riportati i valori di produzione stimati in base alla metratura della serra ed alla conseguente potenza installabile.

Zona di installazione	Metratura serra fotovoltaica	Impianto fv installabile	Stima produzione annua(kWh/a)	Stima produzione 25 anni (MWh)
Nord Italia	100 mq	6 kW	6.600 kWh/a	132 MWh
	500 mq	31 kW	34.100 kWh /a	682 MWh
	1.000 mq	62 kW	68.200 kWh /a	1.364 MWh
Centro Italia	100 mq	6 kW	7.800 kWh /a	156 MWh
	500 mq	30 kW	39.000 kWh /a	780 MWh
	1.000 mq	62 kW	80.600 kWh /a	1.612 MWh
Sud Italia	100 mq	6 kW	9.000 kWh /a	180 MWh
	500 mq	30 kW	45.000 kWh /a	900 MWh
	1.000 mq	62 kW	93.000 kWh /a	1.860 MWh

Tabella 2

Quali sono i vantaggi del fotovoltaico su serra?

Il vantaggio di realizzare il fotovoltaico su serra, prima di tutto, è che, non essendo la serra né un edificio, né una struttura fissa dotata di fondamenta, è possibile pensare al **giusto orientamento** dei pannelli già in fase di progettazione. Costruire una serra o costruirla per ospitare un impianto fotovoltaico fa la differenza. La copertura deve essere pensata per ospitare i pannelli con la giusta inclinazione, che alle nostre latitudini è tra i 30 ed i 35 gradi, e l'ottimale orientamento verso sud.

Non solo: mettere i pannelli su serra non è come metterli su un edificio, un capannone o un magazzino. La struttura di fissaggio dell'impianto fotovoltaico su serra può essere infatti molto più versatile se non addirittura semi-amovibile.

Nel caso in cui la struttura di sostegno dei pannelli sia semi-amovibile è possibile, come nella figura qui sotto, ottimizzare inclinazione ed orientamento dei moduli FV in base alla stagione o in base alla necessità di arieggiare o meno l'interno del vivaio.

L'altro grande vantaggio, ovviamente, è dato dalla possibilità di utilizzare sul momento (o accumulare) l'energia prodotta dai pannelli per il funzionamento stesso della serra. È qui che, in effetti, entrano in gioco i “principi della domotica e dell'automazione”: attraverso specifici sensori ed attuatori è possibile regolare con un sistema automatizzato il funzionamento della serra stessa. Ad esempio: con sensori di umidità e temperatura, che funzionano grazie all'energia fornita dal fotovoltaico, è possibile attivare dei sistemi di areazione in maniera automatizzata ed “auto-regolata”. Stessa cosa per l'irrigazione, per la quantità di luce, per misurare l'umidità esterna e interna alla serra, per far funzionare macchinari per la raccolta dei frutti, ecc.

In altre parole: un impianto fotovoltaico su serra consente prima di tutto di avere l'energia necessaria per attivare diversi automatismi che consentono di ottimizzare la coltivazione in vivaio. L'energia *non* utilizzata dalla serra stessa va a beneficio, ad esempio, dell'utenza di casa o di altre utenze. Non essendoci più gli incentivi, in effetti, ogni limite di utilizzo della “propria” energia è ormai abbattuto.

Per usare un'espressione di sintesi potremmo dire che **la serra fotovoltaica consente di trasformare la classica serra in una vera e propria serra automatizzata grazie all'utilizzo della domotica.**

Quanto costa la serra solare

Ovviamente la progettazione della serra fotovoltaica va fatta prima di tutto in funzione delle necessità agronomiche dell'azienda agricola. Anche i costi, dunque, saranno in funzione del tipo di progetto che si vuole realizzare.

I costi delle serre fotovoltaiche sono ovviamente estremamente variabili e includono separatamente almeno:

- il costo del terreno;
- il costo della struttura;
- il costo dell'impianto fotovoltaico integrato sulla copertura;
- il prezzo della messa in opera.

Il costo di un terreno agricolo varia dai 5 agli oltre 15 euro al metro quadro ed è molto variabile nelle diverse zone d'Italia.

Il costo di una serra adatta ad integrare dei pannelli fotovoltaici è anch'esso molto variabile e dipende prima di tutto dal materiale di cui è fatta: si va dalle poche centinaia di euro, fino ad oltre le decine di migliaia.

Il prezzo del fotovoltaico, oggi molto ribassato rispetto a qualche anno fa, si è stabilizzato tra i 1.000 ed i 2.000 euro per kWatt installato. Per i soli materiali possiamo trovare facilmente prezzi inferiori ai mille euro al kWatt.

Un altro vantaggio è che la serra, come il fotovoltaico, è una struttura per definizione modulare e "replicabile": se non si hanno limiti di spazio, non si hanno limiti di utilizzo.

I modelli di gestione di una serra fotovoltaica industriale

Per chi ha risorse (tempo, persone e denaro) per investire “di prima mano” in un’attività agronomica in serra associata al fotovoltaico il limite è solo quello della fantasia e del giusto calcolo del ritorno economico dell’investimento.

Per chi invece, pur essendo proprietario di un terreno o di una serra già realizzata, non voglia accollarsi anche l’impegno della realizzazione e della gestione di un impianto fotovoltaico, esiste una soluzione alternativa: la vendita del **diritto di superficie**. Il diritto di superficie, infatti, può essere acquistato (in genere per un periodo di tempo definito) sia per un terreno “vuoto”, che per la sola copertura della serra. In ambito edilizio il diritto di superficie può essere acquistato anche per i lastrici solari (ad esempio: i classici tetti piani dei palazzi).

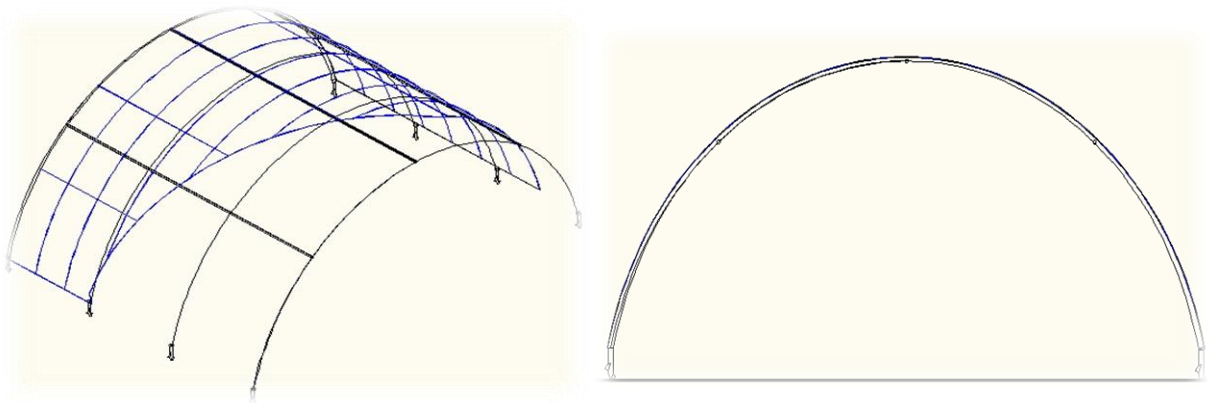
Con l’acquisto del diritto di superficie il produttore è una persona diversa dal proprietario del terreno o della serra. Chi acquista “*il diritto*”, acquista il diritto ad utilizzare per un periodo di tempo definito il terreno o la copertura della serra per **produrre e vendere energia prodotta col fotovoltaico**. In questo caso il produttore che acquista i diritti di superficie finanzia la realizzazione e la gestione dell’impianto fotovoltaico e vende l’energia prodotta.

Questo *modello di business* oggi può essere conveniente per le grandi serre industriali, in cui contano le economie di scala, e se il produttore ha la possibilità di vendere l’energia prodotta direttamente ad un utente finale.

Tipologia di serre

Serra a Tunnel

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.



Tipologia di fondazione: a vite

Struttura: tubolari a curvatura continua in acciaio zincato a sezione circolare ($\Phi=80/100$ mm)

Luce campata: 6,00 – 12,00 m

Lunghezza: 60,00 – 100,00 m

Altezza di gronda: -

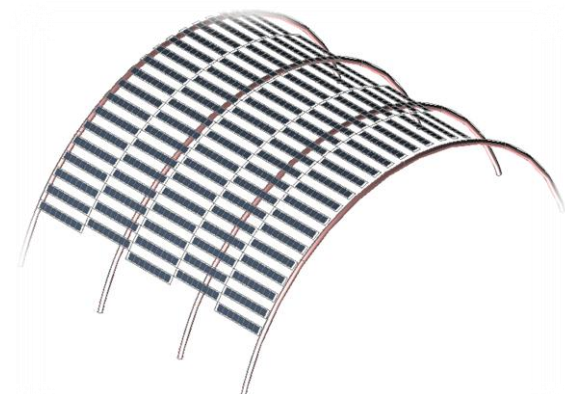
Altezza di colmo: 3,00 - 4,00 m

Materiale di copertura:

- 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).

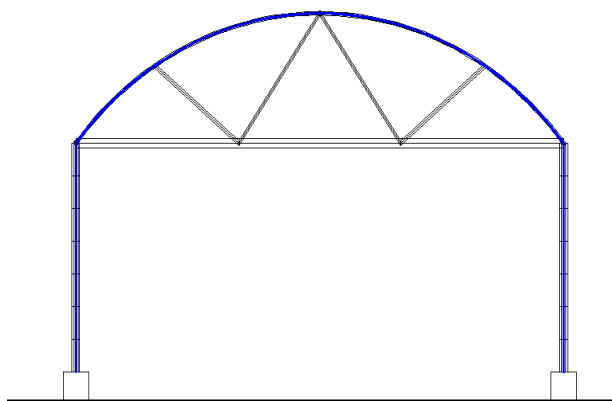
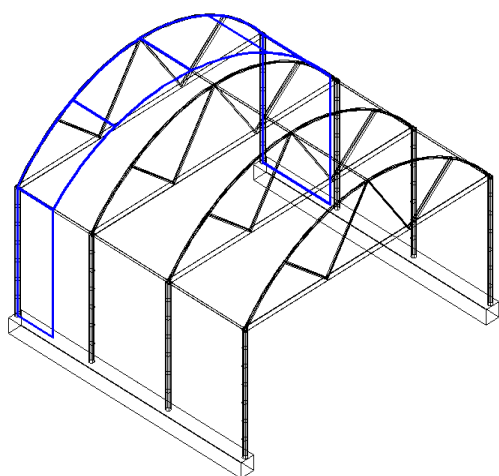
Pendenza falde: 40% (22°)

Possibili soluzioni di installazione di pannelli fotovoltaici



Serra a tetto curvilineo

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.



Tipologia di fondazione: Trave continua; plinto

Struttura: Tubolari semicircolari in acciaio zincato a sezione circolare ($\Phi=80$ mm)

Luce campata: 6,40 - 9,60 m

Lunghezza: 30,00 - 42,00 m

Altezza di gronda: 2,00 - 3,00 m

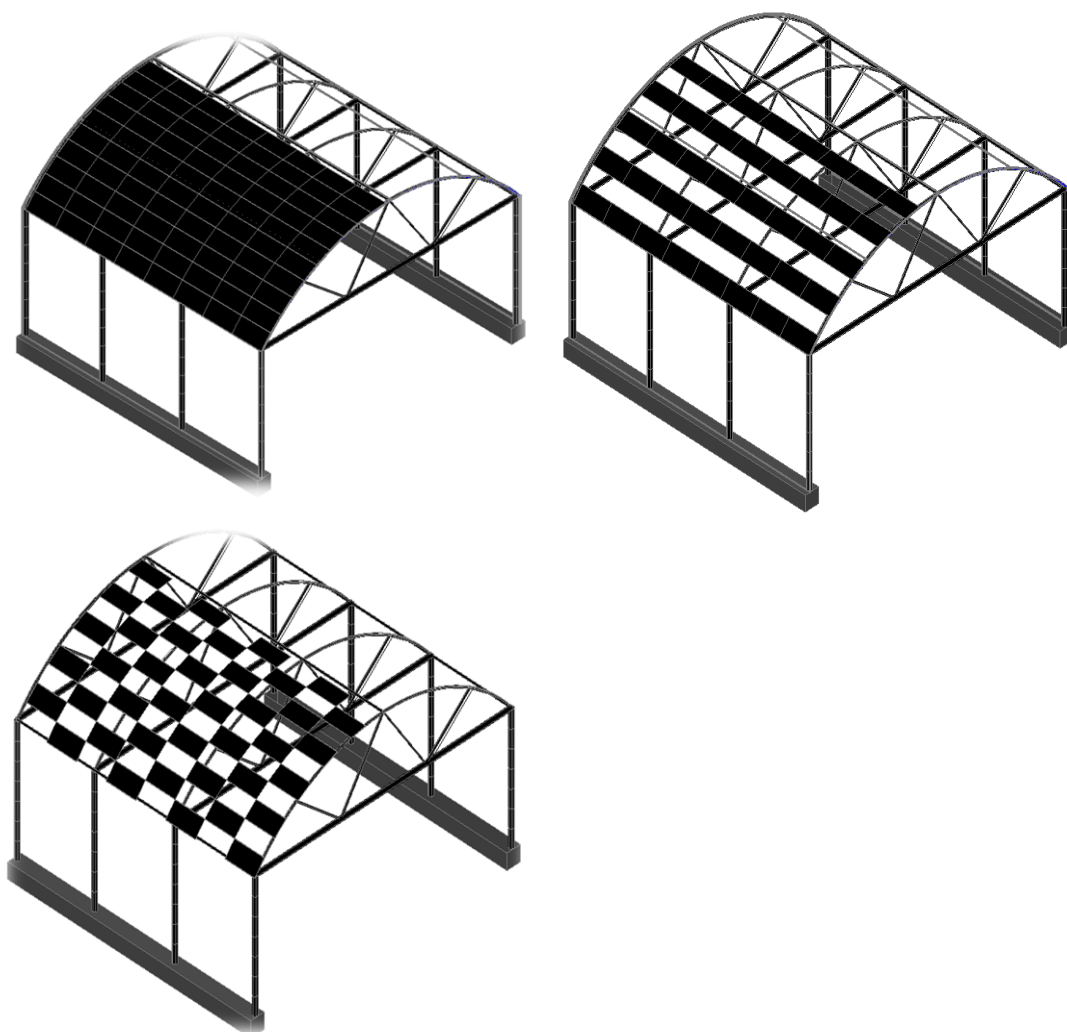
Altezza di colmo: 3,00 - 5,00 m

Materiale di copertura:

- 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).

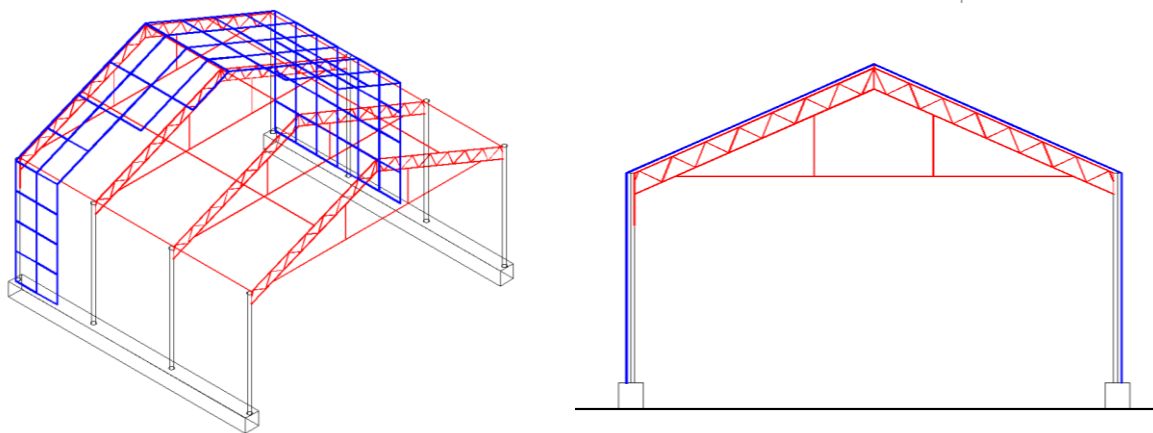
Pendenza falde: -

Possibili soluzioni di installazione di pannelli fotovoltaici



Serra a padiglione

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.



Tipologia di fondazione: Trave continua; plinto

Struttura: Tubolari in acciaio zincato (80/ 100 mm)

Luce campata: 9,60 - 12,80 m

Lunghezza: 30,00 - 100,00 m

Altezza di gronda: 3,00 – 5,00 m

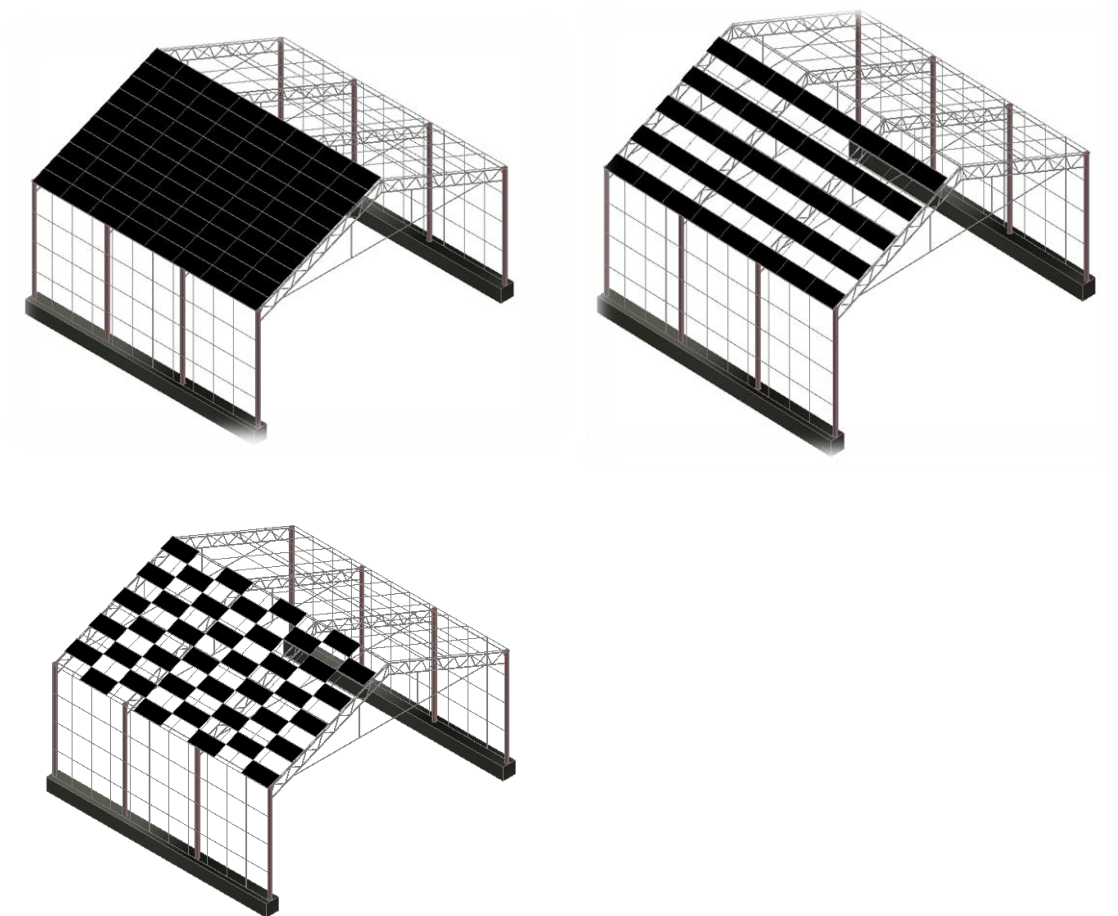
Altezza di colmo: 4,50 – 7,50 m

Materiale di copertura:

- Vetro
- Materiali plastici
 - Film plastici flessibili: polietilene (PE), cloruro di polivinile (PVC) ed etilene vinilacetato (EVA)
 - Laminati semi-rigidi: poliestere (PRFV), cloruro di polivinile (PVC), polimetilmetacrilato (PMMA).
 - Lastre rigide

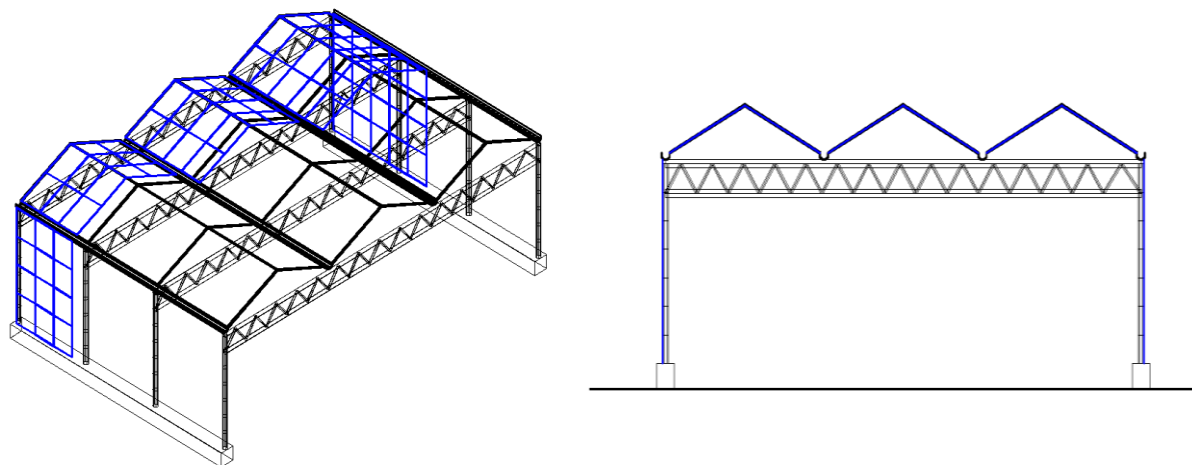
Pendenza falde: 40% (22°)

Possibili soluzioni di installazione di pannelli fotovoltaici



Serra di tipo venlo

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.



Tipologia di fondazione: Trave continua; plinto

Struttura: Tubolari in acciaio zincato (80/ 100 mm)

Luce campata: 9,60 - 12,80 m

Lunghezza: 30,00 - 100,00 m

Altezza di gronda: 3,00 – 5,00 m

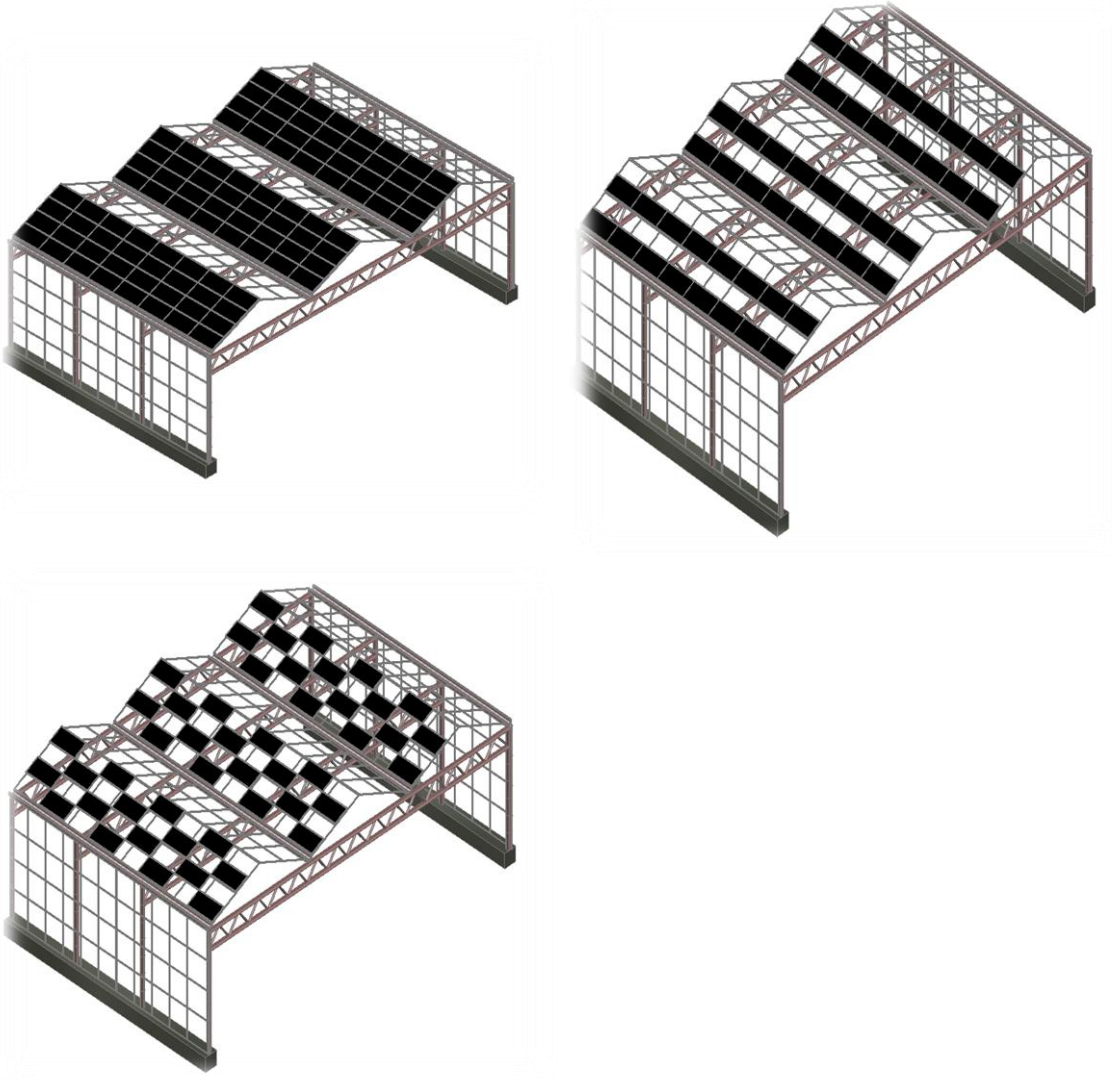
Altezza di colmo: 4,50 – 7,50 m

Materiale di copertura:

- Vetro
- 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).
 - Lastre rigide:

Pendenza falde: 40% (22°)

Possibili soluzioni di installazione di pannelli fotovoltaici



A seconda del tipo di soluzione adottata: copertura totale, a file orizzontali, o a scacchiera cambierà la potenza installata ma anche l'uniformità di ombreggiamento delle colture allevate nell'ambiente protetto.

In tabella 3 sono riportati i principali parametri dimensionali e costruttivi delle serre (ENEA e Ministero dello sviluppo economico 2014).

	SERRA TUNNEL	SERRA A TETTO CURVILINEO	SERRA A PADIGLIONE	SERRA VENLO
Tipologia di 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°)

Tabella 3. Parametri dimensionali e costruttivi delle serre

Qualche esempio di serra fotovoltaica

Qui di seguito alcuni esempi di serre fotovoltaiche.



Esempio 1: Serra fotovoltaica ad uso vivaistico con pannelli regolabili in base alle necessità.



Esempio 2: Serre fotovoltaiche industriali con pannelli esposti su falda unica (sola falda sud)



Esempio 3: Serra fotovoltaica industriale con struttura in ferro e pannelli posizionati su più falde



Esempio 4: Serra fotovoltaica agricola con moduli semitrasparenti vetro-vetro

Censimento degli impianti fotovoltaici su serra in Italia

Nella tabella sottostante viene riportato, a livello regionale, il numero di pratiche e la potenza (in kW) degli impianti fotovoltaici incentivati, collocati su serra, per ogni Conto Energia (fonte GSE)

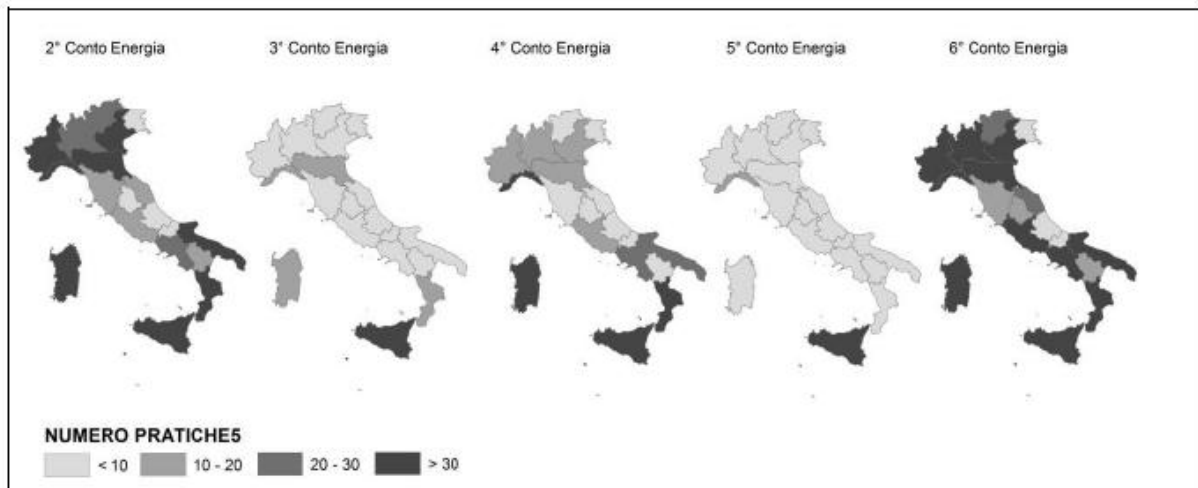
REGIONE	2° Conto Energia		3° Conto Energia		4° Conto Energia		5° Conto Energia	
	NUMERO PRATICHE	POTENZA (kW)	NUMERO PRATICHE	POTENZA (kW)	NUMERO PRATICHE	POTENZA (kW)	NUMERO PRATICHE	POTENZA (kW)
ABRUZZO	5	1.387			3	892		
BASILICATA	12	10.982	3	201	1	17	1	20
CALABRIA	41	20.145	20	5.407	58	47.285	1	60
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

Distribuzione a livello nazionale degli impianti FV collocati su serra

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.

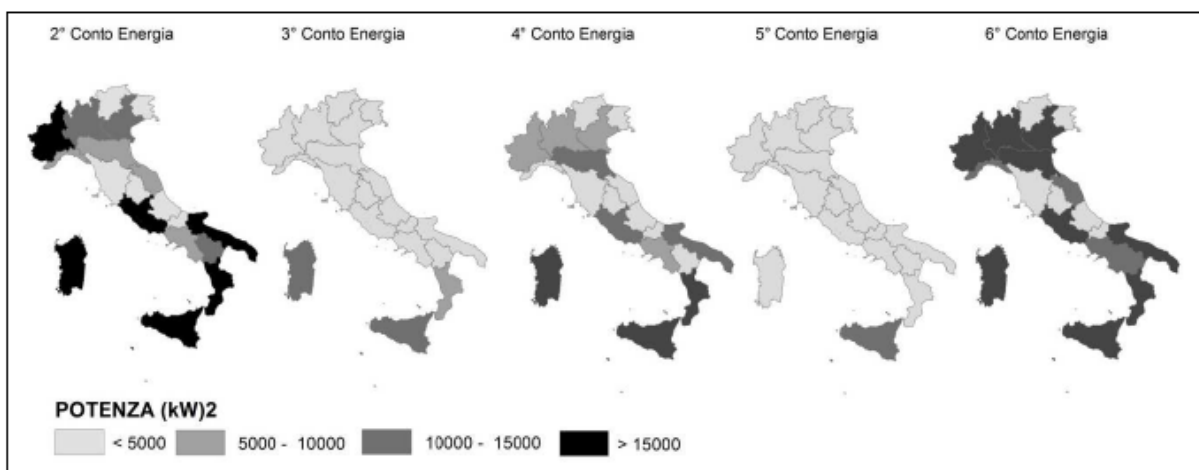
Numero di pratiche emesse per impianti incentivati e collocati su serra, per ogni conto energia

Nel tempo si concentrano nelle regioni insulari, meridionali e della pianura padana.



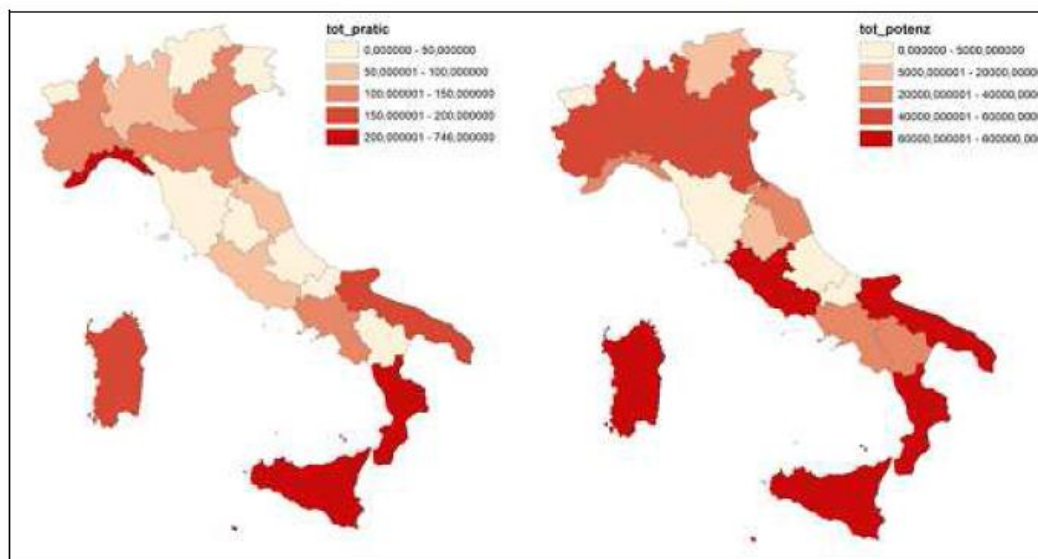
Potenza degli impianti, per ogni conto energia

La maggiore potenza installata si stabilisce sempre regioni insulari, ma anche in certe aree centrali (Lazio), meridionali (Puglia e Calabria) e della pianura padana.



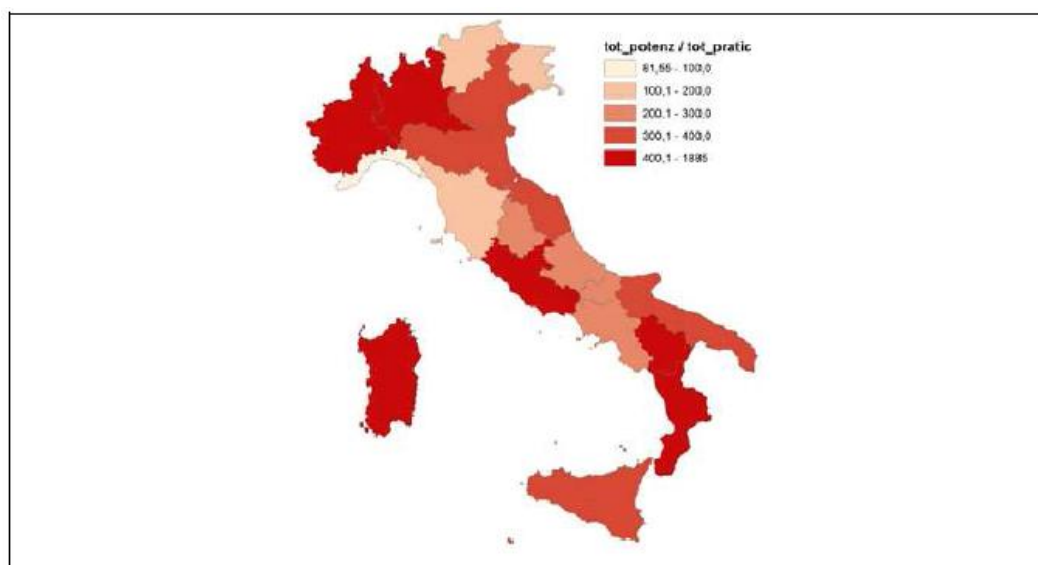
Totale del numero di pratiche e della potenza installata con i conti energia

Spiccano Sicilia e Calabria, per entrambi gli indicatori.



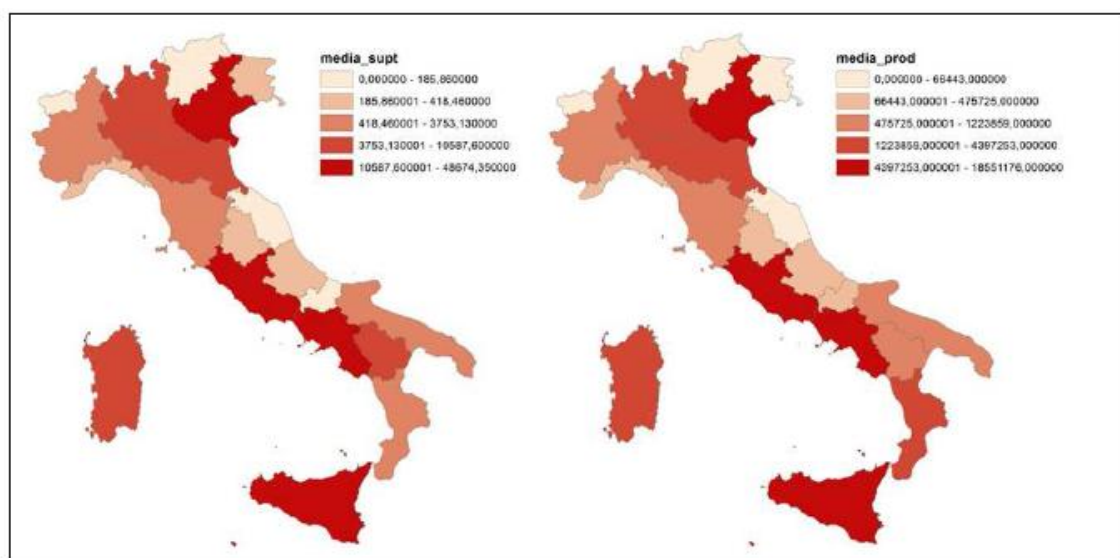
Potenza / numero di pratiche

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.

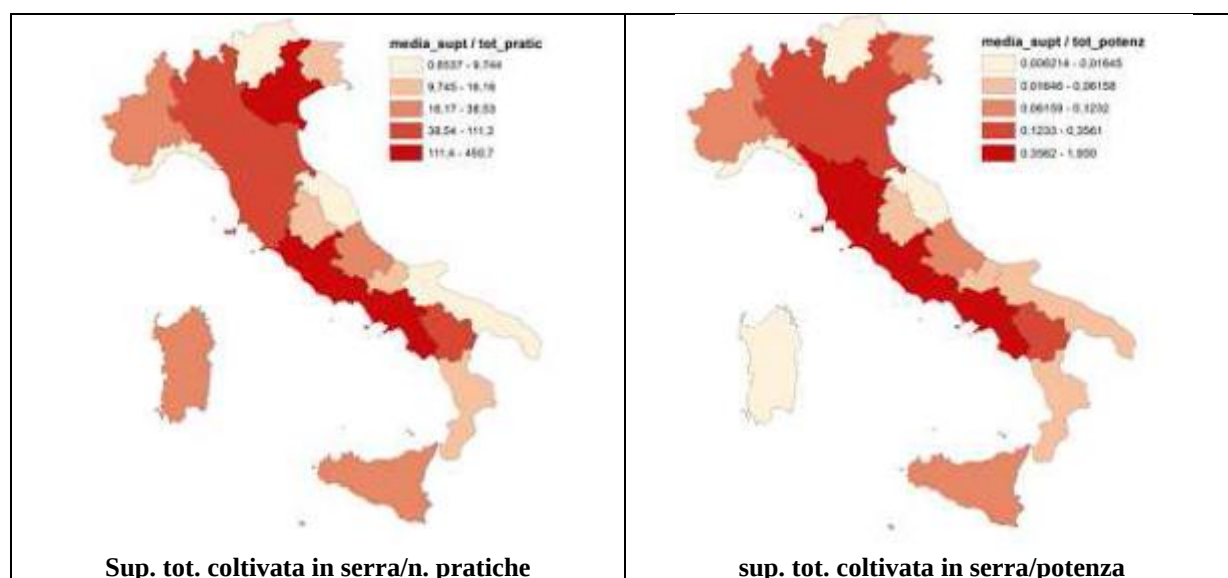


Superficie totale (ettari) e produzione totale (quintali) per ortaggi coltivati in serra

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).



Superficie tot. coltiv. in serra



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

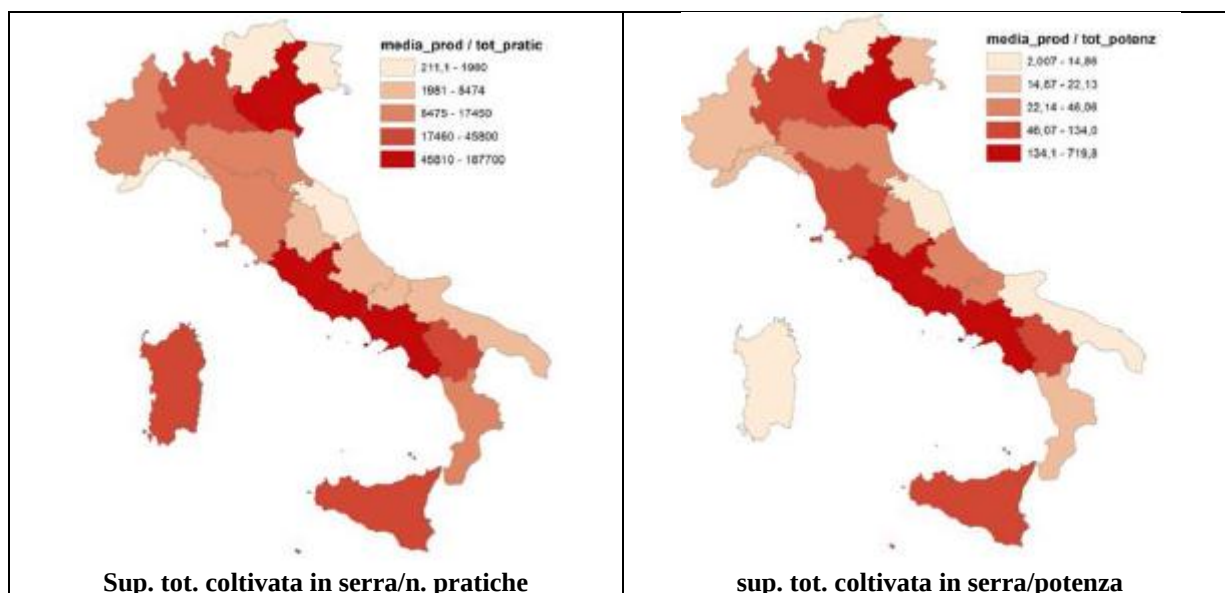
Sicilia: maggiore Superficie totale, maggiore numero di pratiche e di potenza

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

Produzione coltivazioni in serra



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

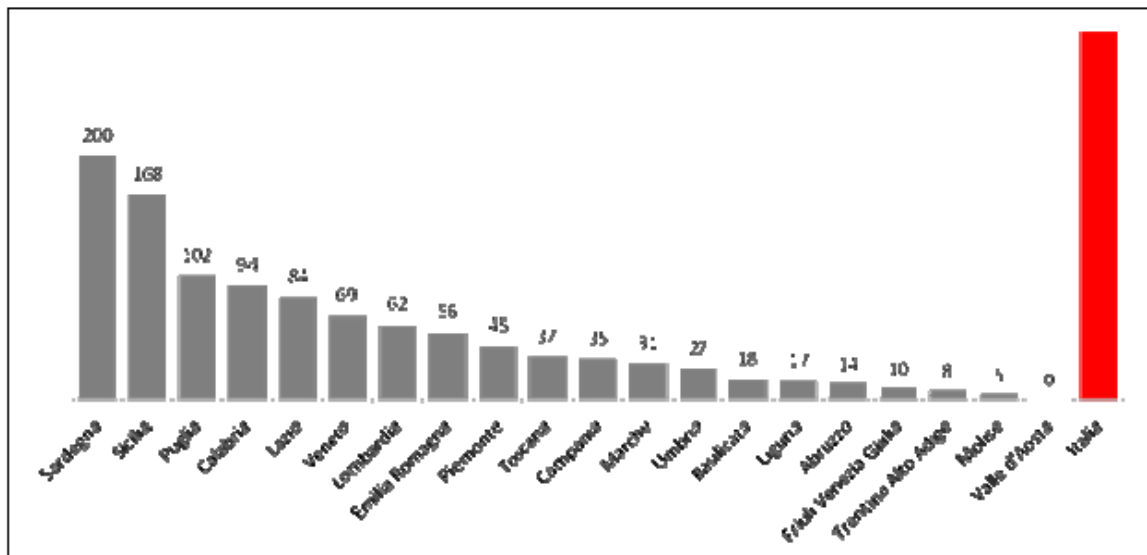
Veneto, Lazio: maggiore Produzione totale, minore pratiche, maggiore potenza

Campania: maggiore Produzione totale, minore pratiche e di potenza

Liguria: minore Produzione totale maggiore pratiche, minore potenza

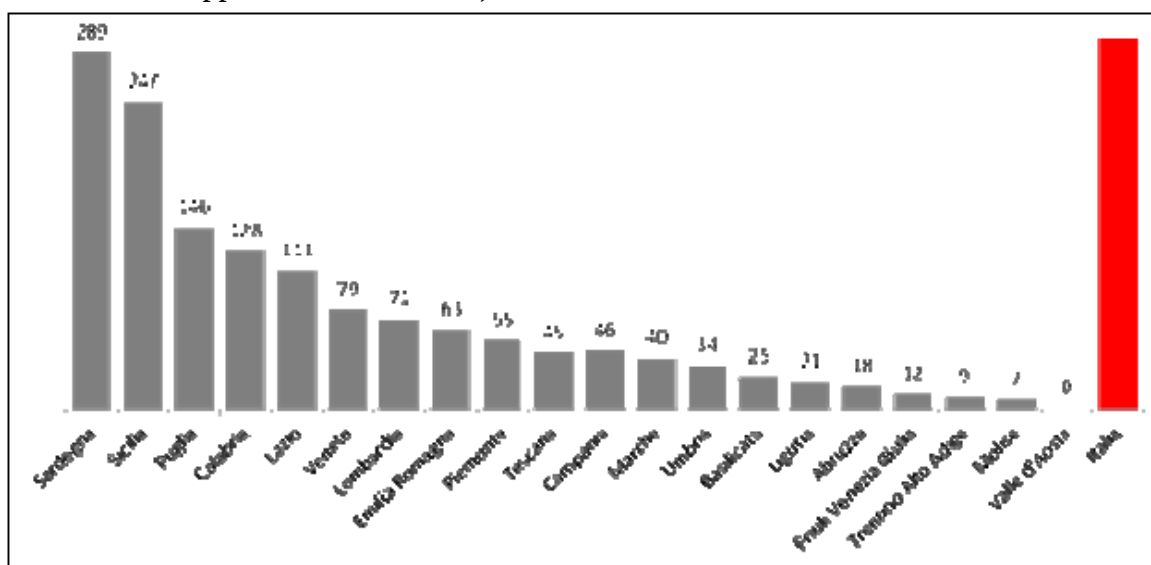
Impianti fotovoltaici: focus distribuzione impianti su serra/pensilina

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).



Impianti fotovoltaici: stima produzione impianti su serra/pensilina

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).



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

Regione	MW	Irraggiamento lordo (h)	Irraggiamento netto (h)	Produzione (GWh)
Sardegna	200	1084	143	289
Sicilia	168	1870	1466	247
Puglia	102	1820	1427	146
Calabria	94	1730	1356	128
Lazio	84	1650	1317	111
Veneto	69	1460	1145	79
Lombardia	62	1470	1152	71
Emilia Romagna	56	1430	1121	63
Piemonte	45	1560	1223	55
Toscana	37	1540	1207	45
Campania	35	1690	1325	46
Marche	31	1660	1301	40
Umbria	27	1600	1254	34
Basilicata	18	1790	1403	25
Liguria	17	1560	1223	21
Abruzzo	14	1630	1278	18
Friuli Venezia Giulia	10	1470	1152	12
Trentino Alto Adige	8	1390	1090	9
Molise	5	1710	1341	7
Valle d'Aosta	0	1600	1256	0
ITALIA	1084	1701	1334	1445

Diffusione delle serre solari fotovoltaiche in Italia

L'analisi di seguito riportata è stata realizzata sulla base delle informazioni ad oggi disponibili sulla diffusione delle serre fotovoltaiche in Italia.

Il dato delle serre dal database dell'ISTAT è stato riassunto dal 2007 al 2011 nelle seguenti tabelle. 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.

	2007				2008				2009			
REGIONE	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

Applicazione del fotovoltaico in agricoltura: aspetti tecnici e normativi

	2010				2011				media			
REGIONE	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 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.

Regione	Variaz11-07 suptot – ett	Variaz11-07 supprod – ett	Variaz11-07 prodtot – q	Variaz11-07 prodracc – 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, consumo di suolo, degrado del suolo e perdita di terreni agricoli tradizionali e della biodiversità.

La tabella illustra i diversi tassi di espansione di campi fotovoltaici a terra nel corso degli ultimi anni (2007-2014). I risultati indicano che la superficie di campi 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 di saturazione e politiche che contengono la diffusione di impianti solari su *campi agricoli o verdi*.

Risultano anche importanti differenze nella densità di impianti solari montati a terra tra i comuni settentrionali e quelli meridionali. In particolare risulta evidente come i comuni rurali del sud Italia con una densità di popolazione intermedia e grande disponibilità di terreni siano stati i più esposti alla diffusione degli impianti solari su *campi agricoli o verdi* negli ultimi dieci anni.

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

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.

Metodologia

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).

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.

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).

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.

Risultati

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, 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.

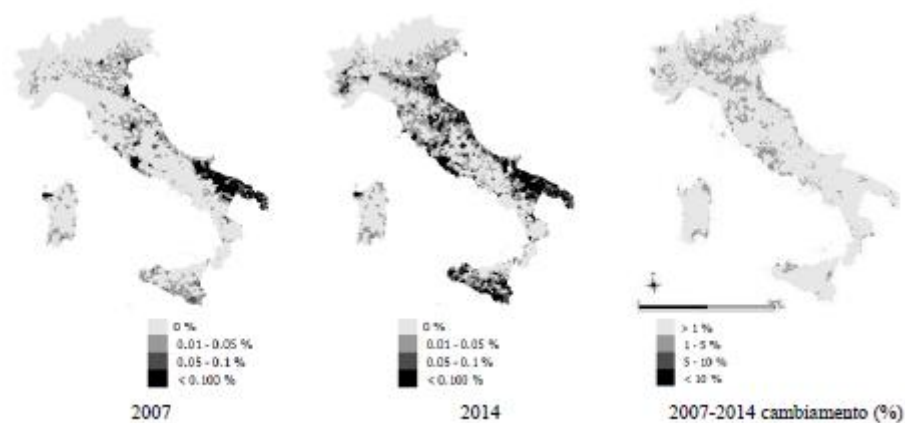
Questa cifra è moderatamente più elevata rispetto a quanto osservato nel sud Italia (0,08%) e sostanzialmente superiore al valore osservato nel nord Italia (0,02%).

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.

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



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

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).

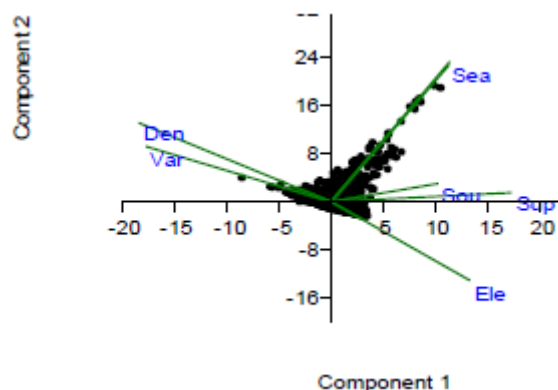
La superficie coperta da campi fotovoltaici a terra nel 2007 è aumentato nei comuni italiani meridionali ($r_s = 0.21$, $p < 0.05$, $n = 8092$) e nei comuni che gestiscono grandi superfici ($r_s = 0.17$, $p < 0.05$, $n = 8092$). Nel 2014, la superficie coperta da campi fotovoltaici a terra è aumentata con la dimensione dei comuni ($r_s = 0.29$, $p < 0.05$, $n = 8092$) e è diminuita seguendo l'elevazione ($r_s = -0.15$, $p < 0.05$, $n = 8092$).

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 Figura successiva riporta un biplot 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.

Variable	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

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



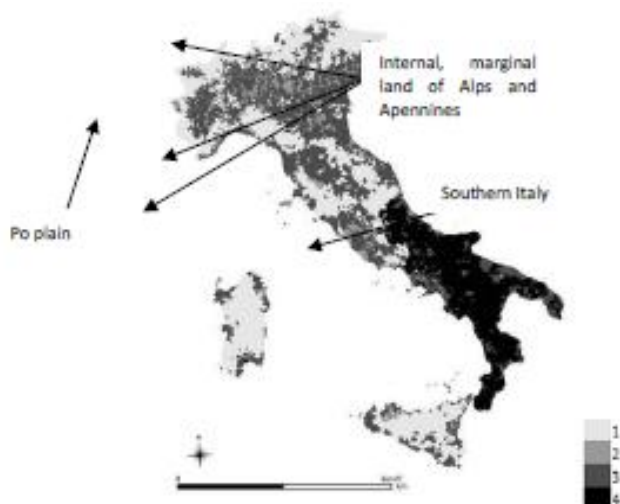
Principal Component Analysis biplot (Sea = percent sealed land in 2007 and 2014, Den =population density (2007), Var = population growth rate (2007-2014), Ele = elevation, Sup =municipal surface area, Sou = binary variable indicating southern Italy municipalities).

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). 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).

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

Distribuzione delle variabili contestuali nei comuni italiani dal k-means clusters



Classificazione dei comuni italiani in homogeneous k-means clusters.

Discussione

Gli impianti di fonte di energia solare sono cresciuti in modo esponenziale e globale (Booth, 2014; Hernandez et al, 2014A, 2014b; Jäger-Waldau et al, 2011.). La tecnologia fotovoltaica ha avuto un notevole successo nel mercato dell'energia (Gunderson et al, 2015; Suri et al., 2007). Secondo Dupraz et al. (2011), 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 (Kapetanakis et al, 2014; Marcheggiani et al, 2013; Vasseur e Kemp, 2011). Dal momento che lo sviluppo di impianti fotovoltaici ha portato ad una notevole perdita di terreni agricoli (Stephens e Angel, 2012), 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 (Marrou et al, 2013; Nonhebel, 2005; Tsantopoulos et al, 2014). 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 (Guerrero-Lemus et al, 2015; Holtmeyer et al, 2013; Murphy et al, 2015; Talavera et al 2014).

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 (Salvati e Zitti, 2009).

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 (Beck et al., 2012). 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 (Weinzettel et al., 2013). 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 (Ceccarelli et al., 2014).

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).

Prototipo di serra fotovoltaica

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.



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 m³h⁻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 policarbonato ondulato.

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



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.

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

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
<i>(STC: irradiance 1000 W m⁻², cell temperature 25°C, AM 1.5)</i>	

Caratteristiche dei pannelli fotovoltaici SL20

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.

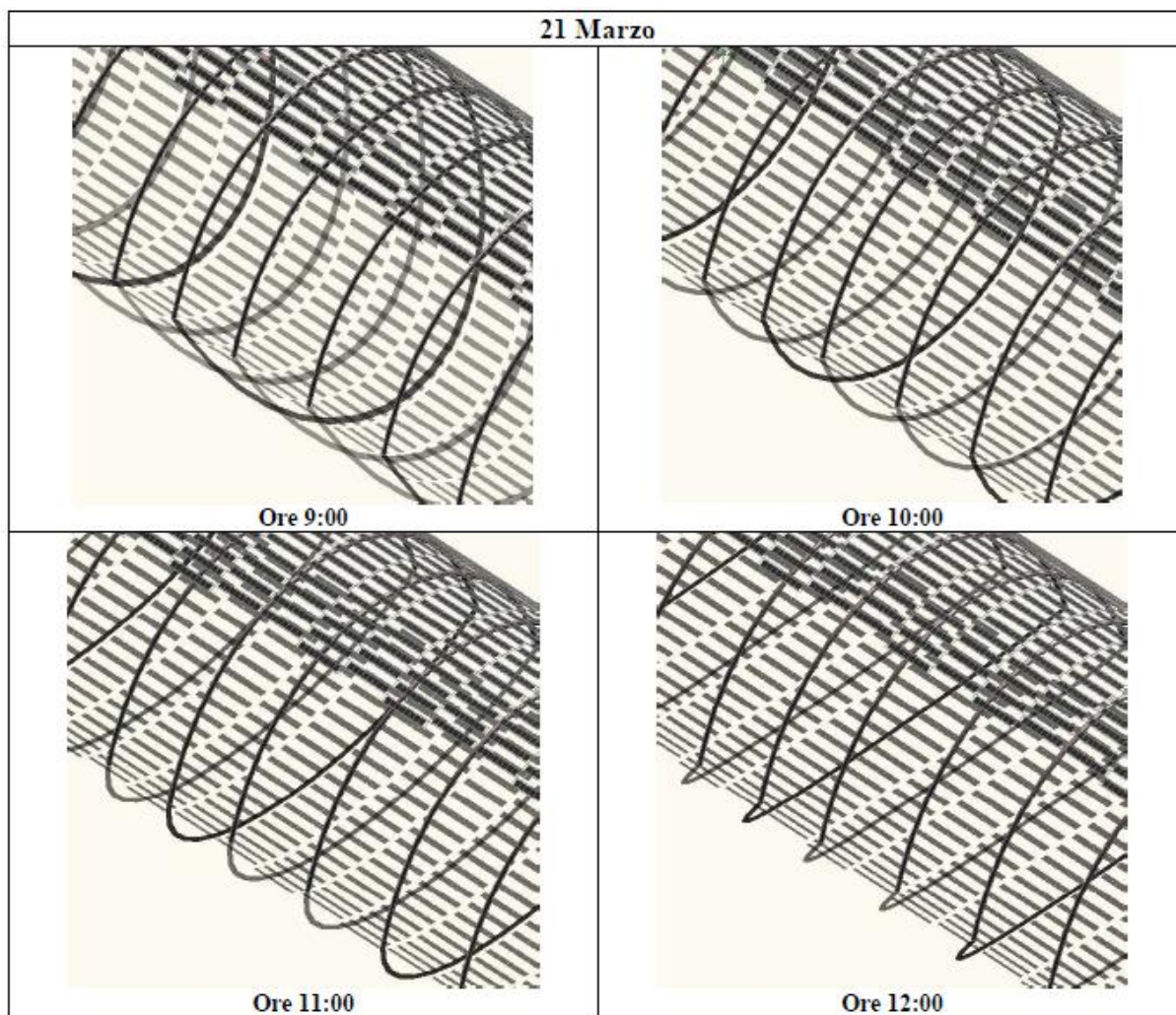
La disposizione a scacchiera consente di ridurre l'eccessivo ombreggiamento spesso deleterio per la maggior parte delle colture e allo stesso tempo rispettare i vincoli normativi sul rapporto tra ampiezza della copertura e ampiezza della superficie occupata dai moduli fotovoltaici. Infatti, secondo la 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%.”

Ombreggiamento tunnel fotovoltaico

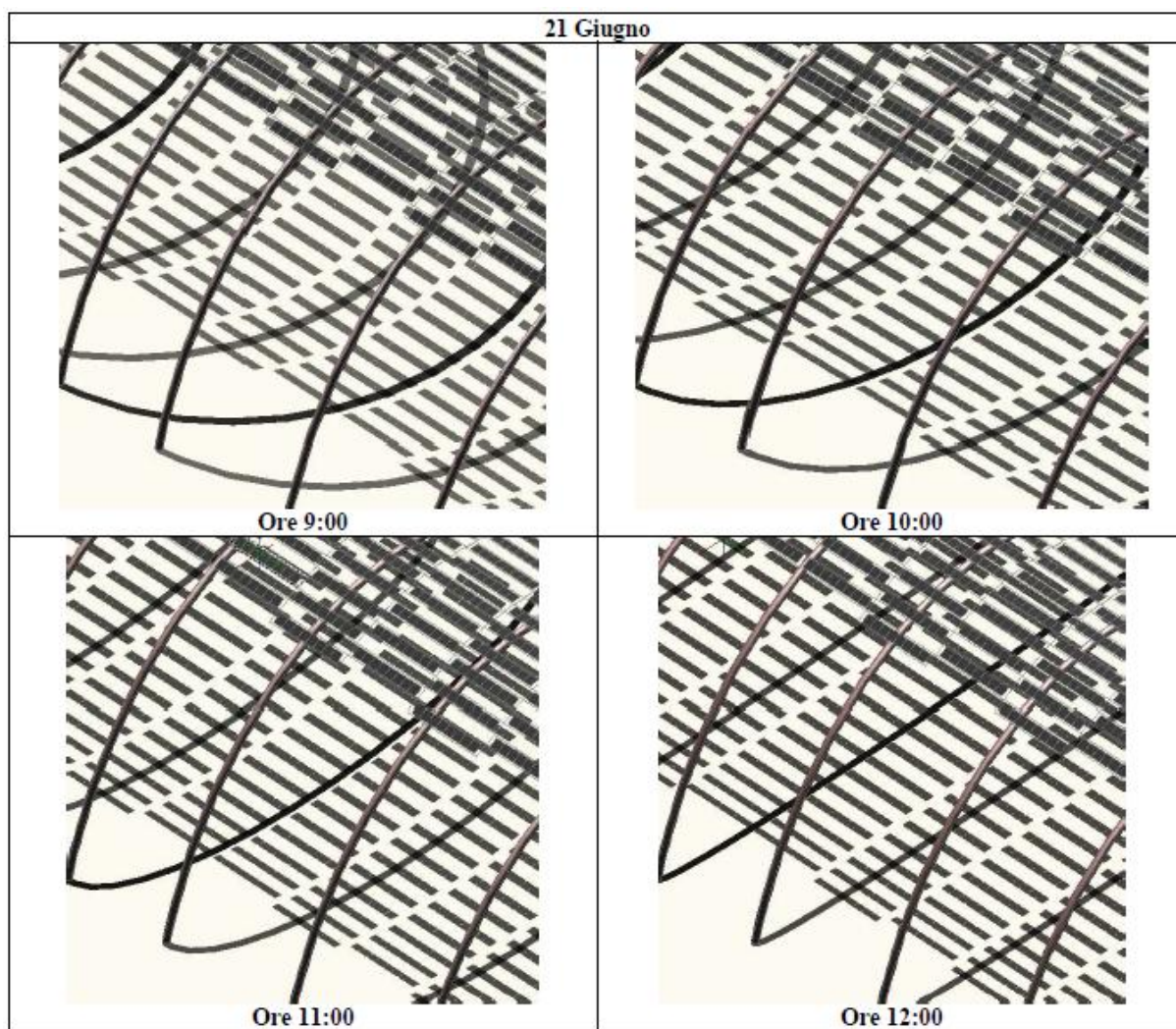
Affinché una serra sia idonea alla coltivazione deve garantire determinate condizioni climatiche in funzione dei diversi fabbisogni delle piante coltivate al suo interno. Per ottenere ciò è possibile intervenire mediante diverse applicazioni meccaniche e artificiali per controllare le condizioni ambientali 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.

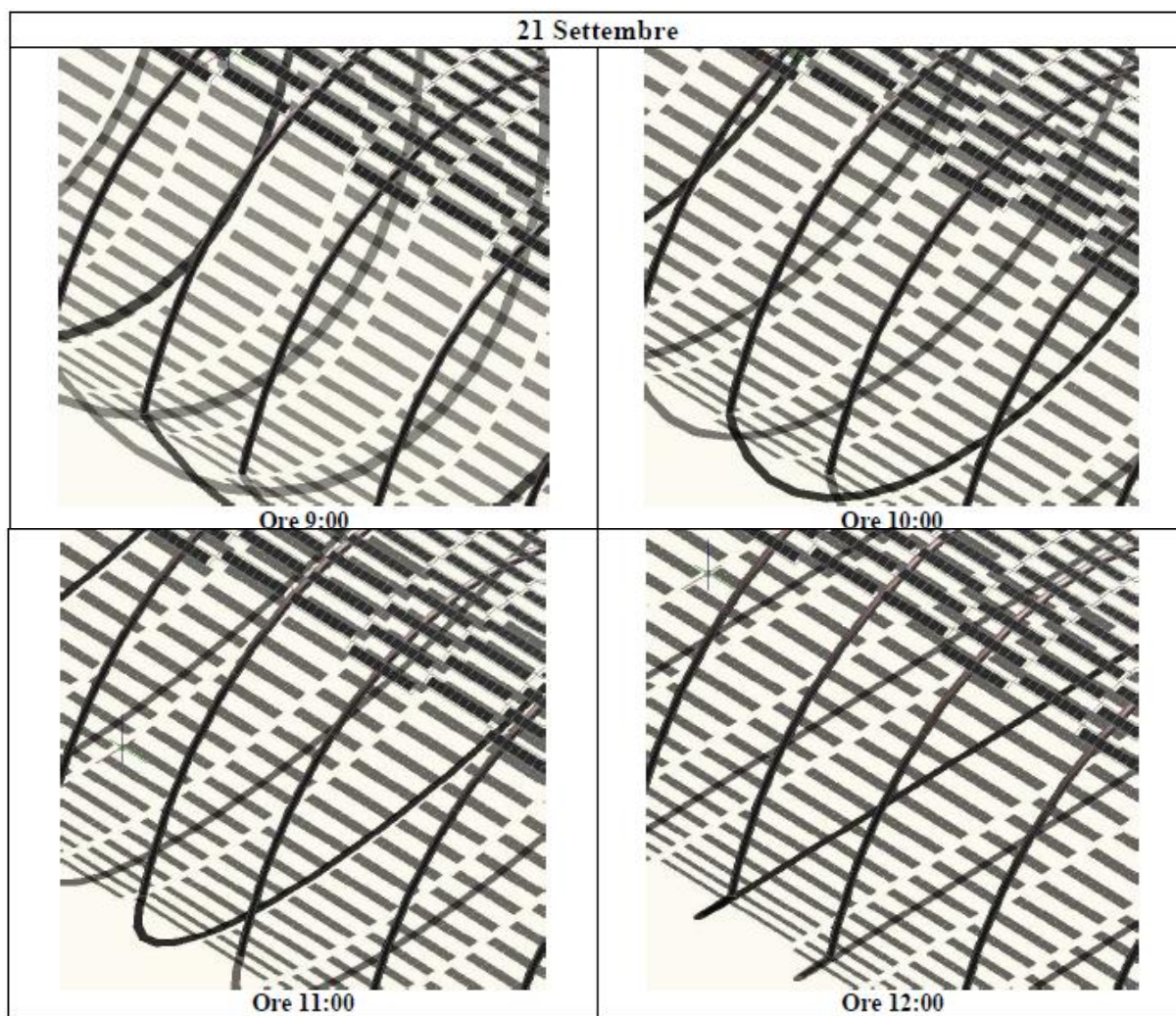
Sulla base di quanto detto, con il presente elaborato, si è pensato di analizzare il comportamento dell'ombreggiamento interno alla serra-tunnel fotovoltaica oggetto dell'esperimento.



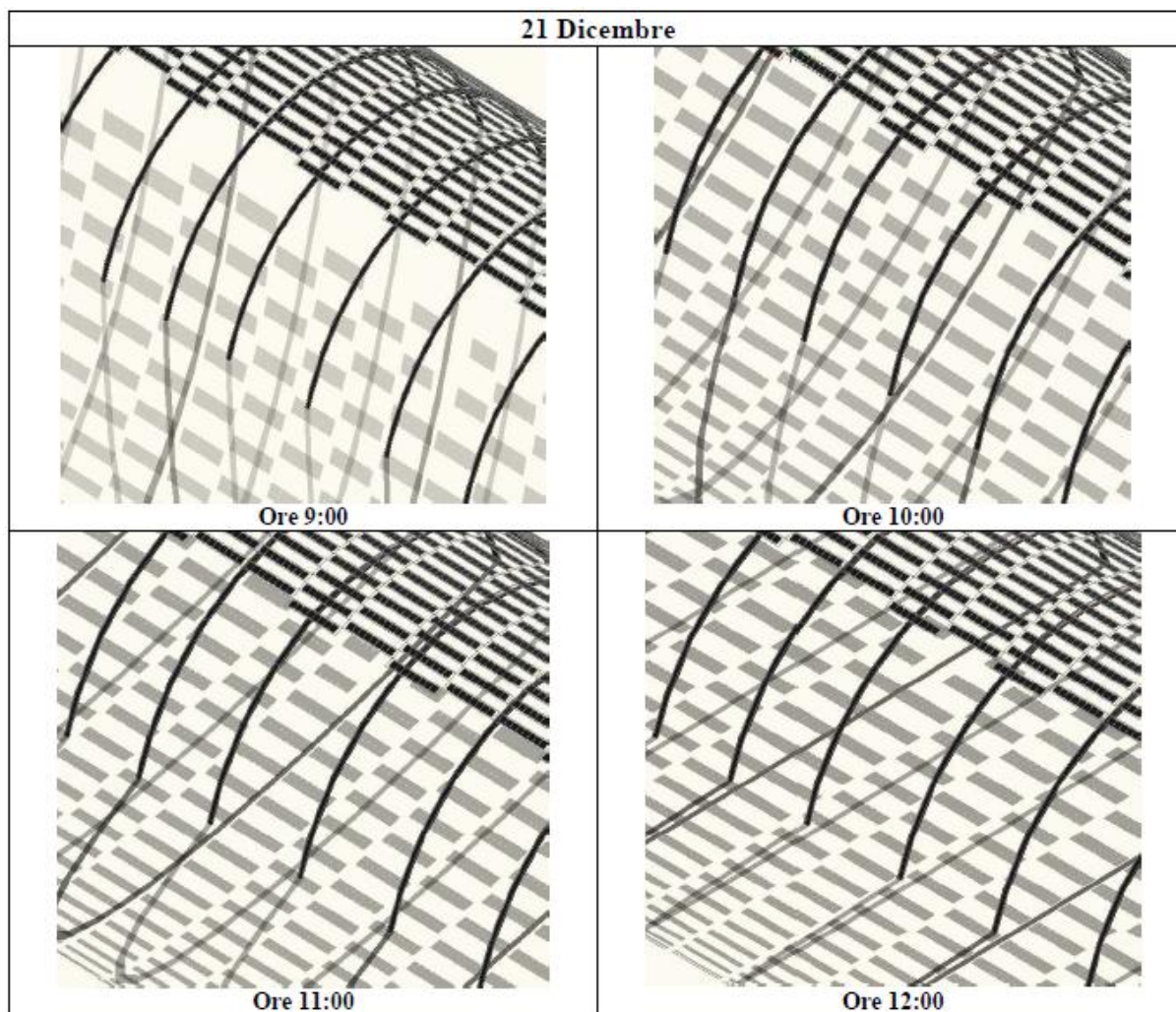
Andamento dell'ombreggiamento il 21 Marzo durante alcune ore della giornata (vista Nord- Est)



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



Andamento dell'ombreggiamento il 21 Settembre durante alcune ore della giornata (vista Nord- Est).



Andamento dell'ombreggiamento il 21 Dicembre durante alcune ore della giornata (vista Nord- Est)

Nelle immagini riportate, 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.

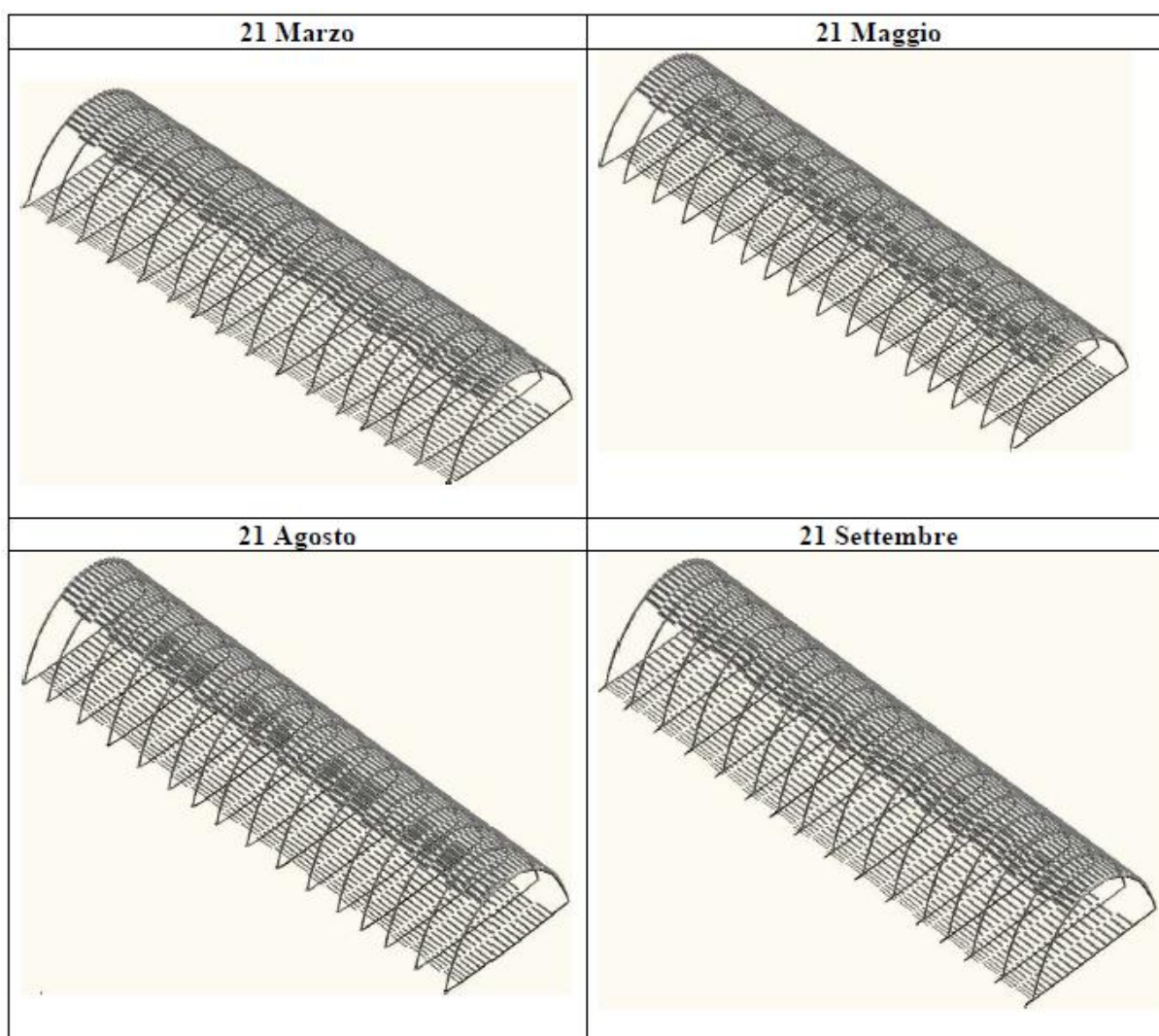
Nei mesi di Marzo, Giugno e Settembre l'ombreggiamento, nelle ore della mattina, ricade all'interno della struttura, mentre nel mese di Dicembre, alle ore 9:00, l'ombra si trova quasi

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.

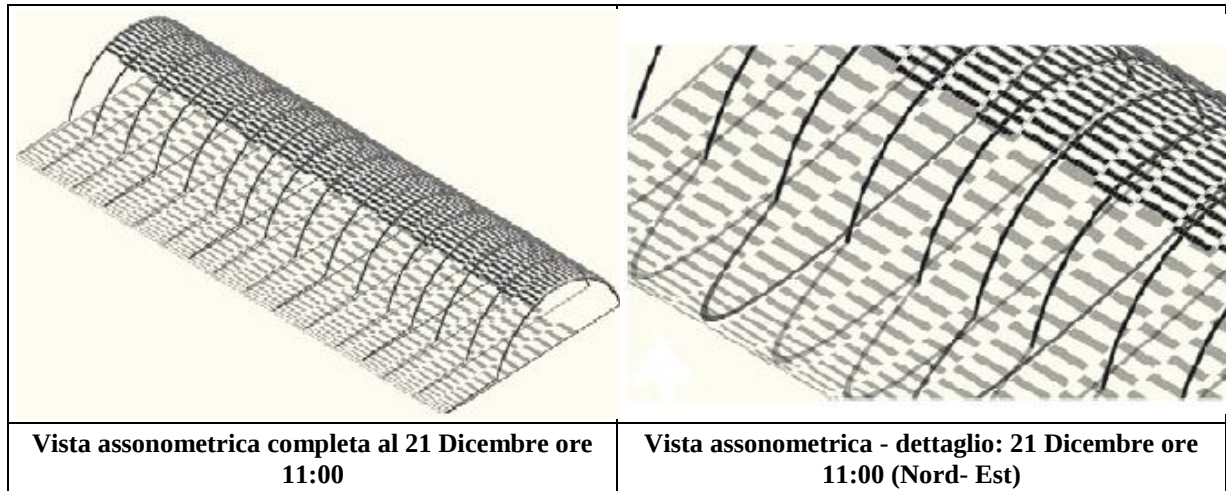
Negli altri mesi dell'anno in parte si trova all'interno e in parte all'esterno della serra tunnel.

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

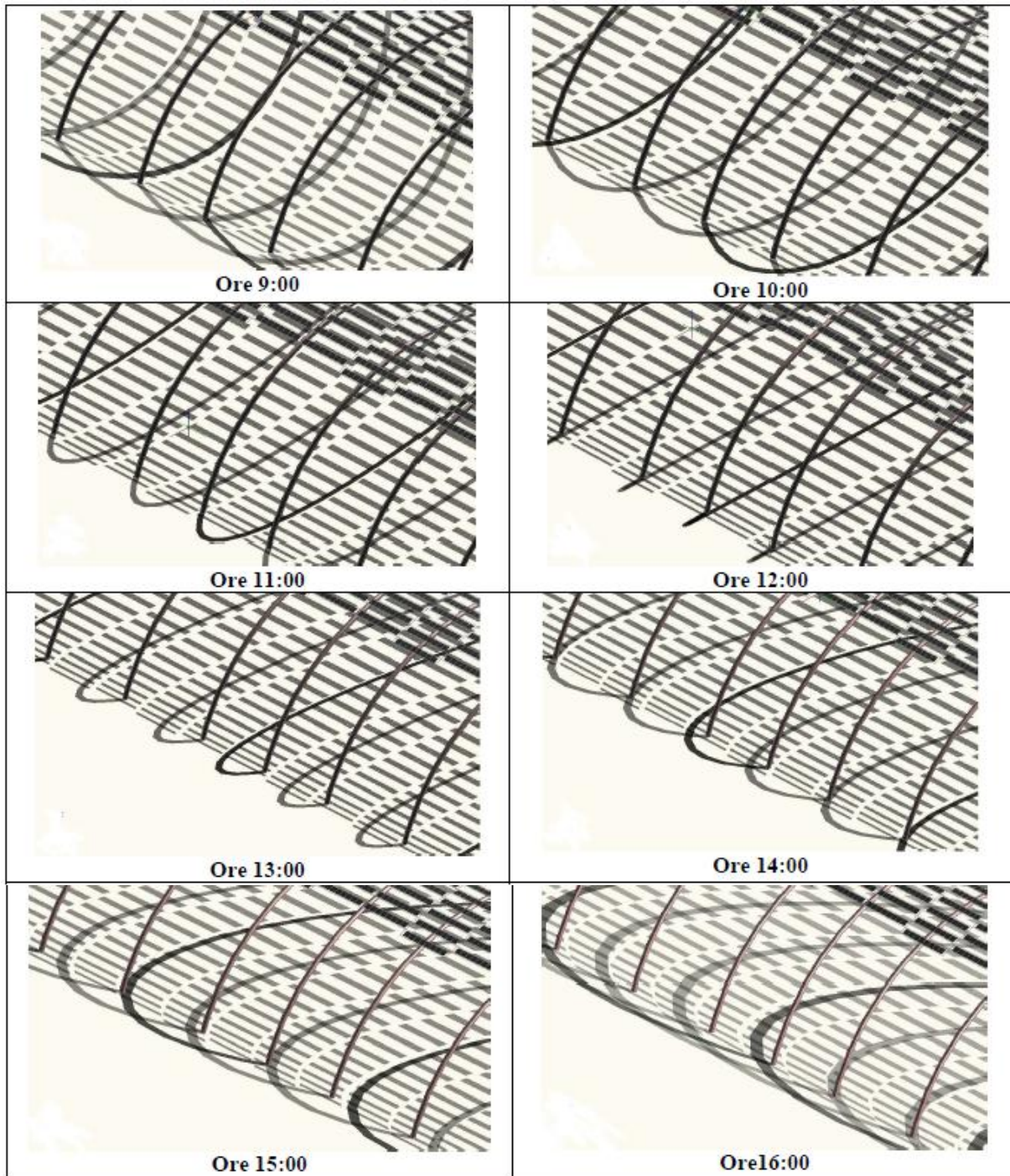


Ombreggiamento dei mesi in cui le ombre ricadono all'interno della serra (vista Nord-Est).

Nella seguente figura, 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.



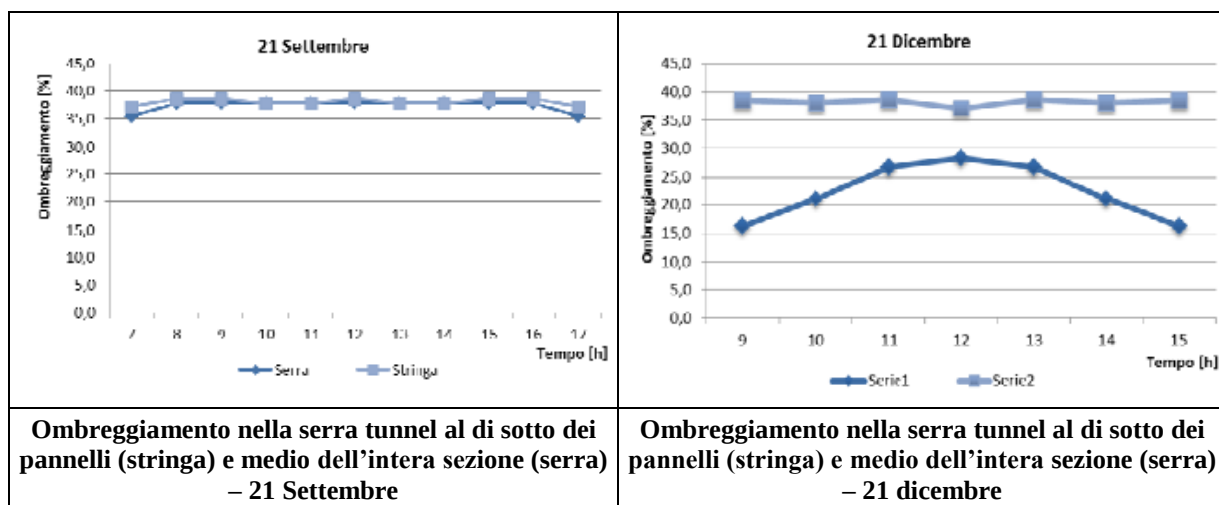
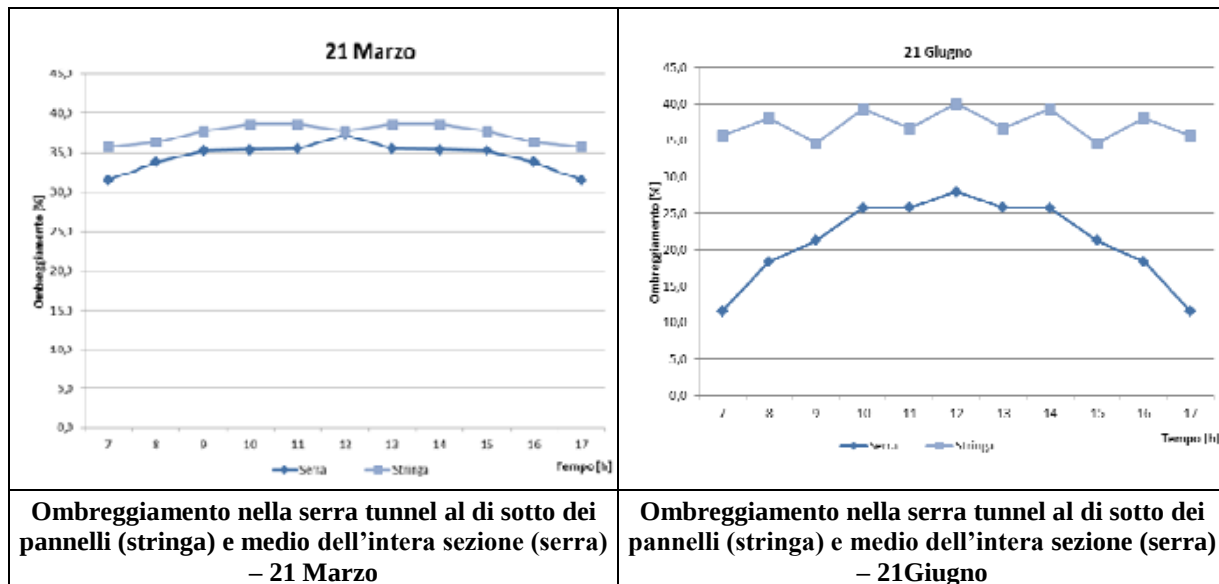
Un altro caso particolare è quello del 21 Settembre in cui l'ombreggiamento risulta costante durante la giornata subendo soltanto una traslazione in senso longitudinale (vedi figura seguente)



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

Nelle figura seguente 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.

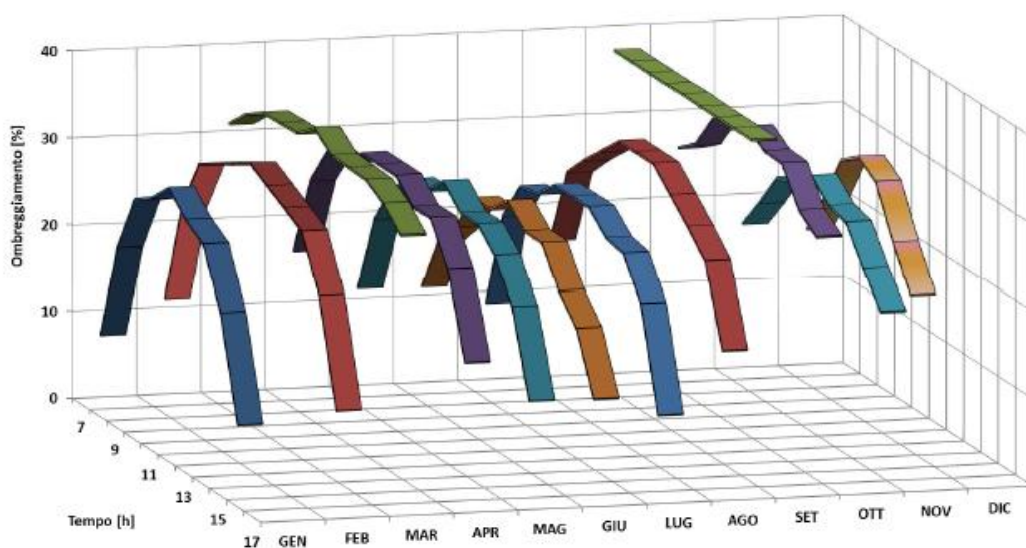


Dai grafici sopra riportati emerge che, in prossimità degli equinozi, la percentuale di ombreggiamento mantiene un andamento costante sia se si considera quella sotto la stringa dei pannelli, sia se si fa riferimento a quella dell'intera superficie al di sotto della copertura. Quando il giorno considerato si avvicina ai solstizi (21 giugno e 21 dicembre) l'andamento dell'ombreggiamento percentuale, riferito all'intera superficie della serra, assume

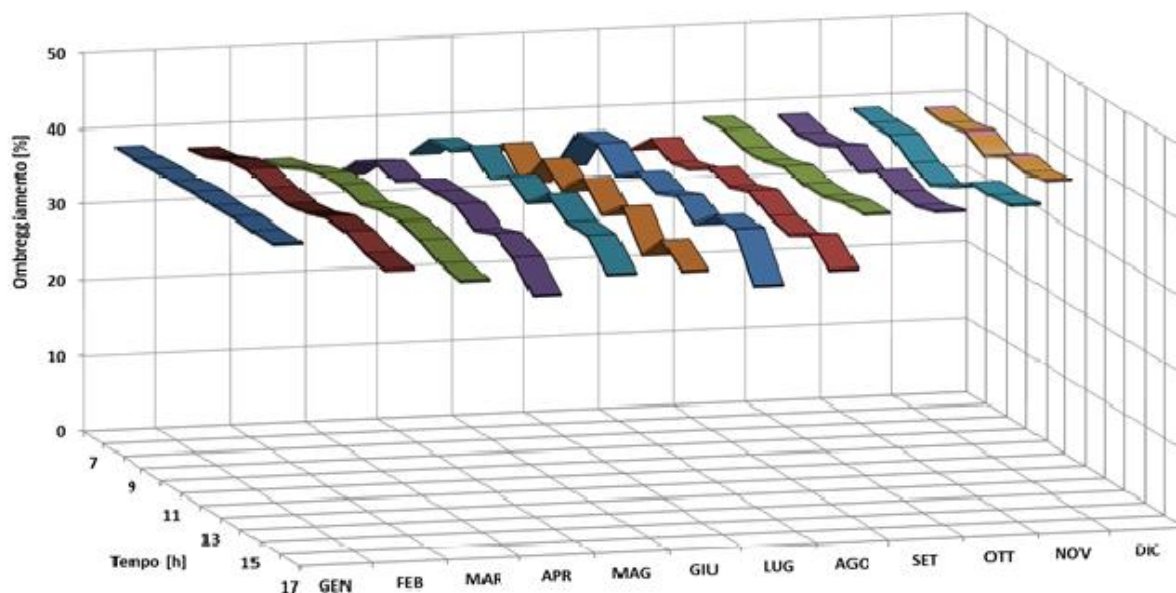
l'andamento di una parabola con la concavità rivolta verso il basso, mentre la percentuale riferita alla stringa oscilla tra il 35 e il 40 %, senza mai superare quest'ultimo valore.

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 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, 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 riferito 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.



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



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

Nelle precedenti figure sono riportate le percentuali di ombreggiamento durante il ventunesimo giorno di tutti i mesi dell'anno riferite, rispettivamente alla superficie totale delle 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.

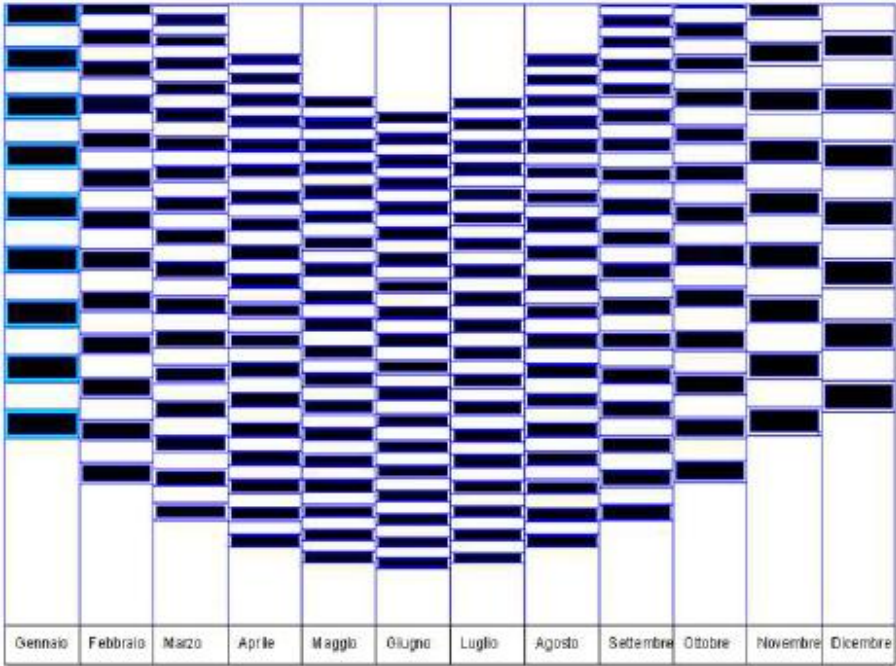
Dall'analisi dei dati riguardanti l'ombreggiamento è emerso che solamente nei mesi di Maggio, Giugno, Luglio e Agosto l'ombra di tutti i pannelli ricade completamente all'interno della sezione della serra tunnel. In questi mesi la dimensione dell'ombra lungo la sezione risulta compresa tra 0,10 m e 0,15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

		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	-	-	-	-

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

Nelle figure successive 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.



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

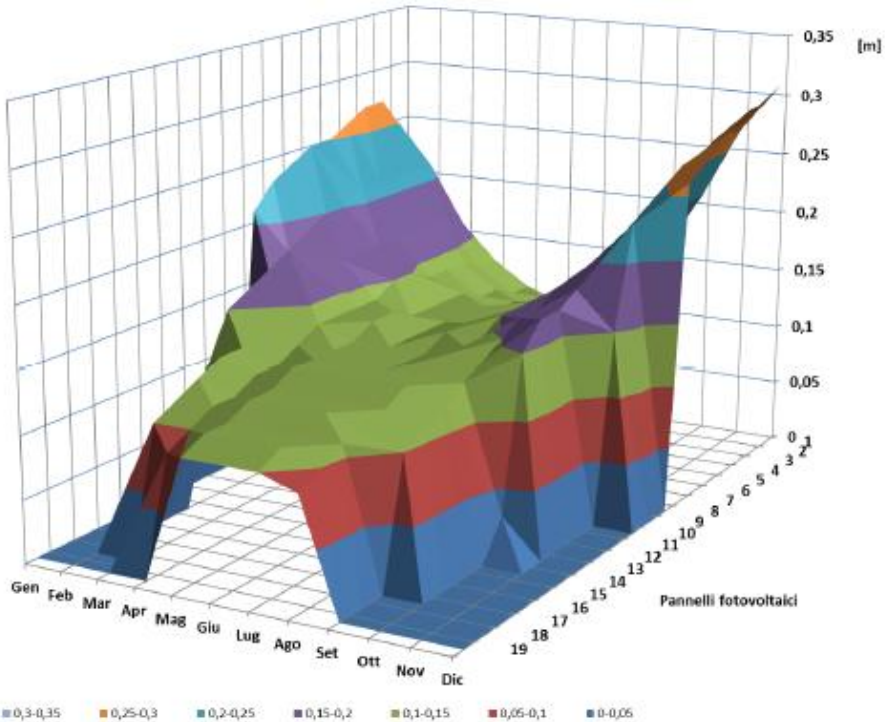


Grafico della variazione della dimensione delle ombre di una stringa durante il 21° giorno di ogni mese dell'anno

Ritorno economico di un impianto fotovoltaico

Di seguito si riporta l'analisi economica di un impianto fotovoltaico realizzato presso un'azienda agricola che è stato caso di studio in questi anni.

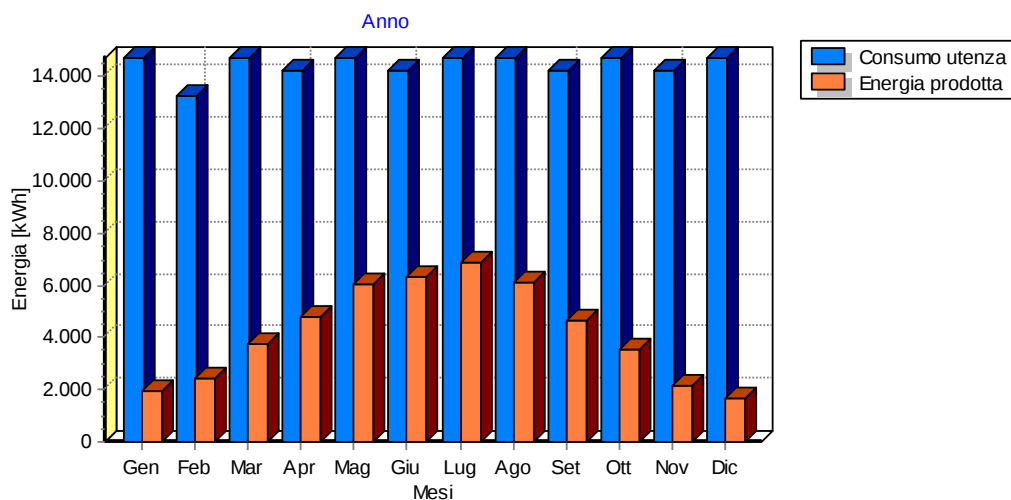
L'attività progettuale ha riguardato dapprima l'individuazione della potenza necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico dell'azienda agricola tramite l'analisi dei consumi degli ultimi anni ricavato dalle bollette elettriche. Successivamente è stata individuata la sede più idonea per l'installazione dell'impianto all'interno dell'area a disposizione dell'azienda, in modo da beneficiare di una buona esposizione solare, un basso ombreggiamento dovuto a fattori esterni ed il minor impatto sull'attività dell'azienda agricola stessa. La scelta si è subito indirizzata verso un capannone di circa 500 mq costituito da una copertura a due falde simmetriche, di cui una esposta a sud. Le scelte progettuali sono ricadute su questa struttura proprio per la buona esposizione alla radiazione solare della falda a sud su cui si può installare un impianto di produzione di 36,4 kW idoneo a coprire parte del fabbisogno dell'azienda agricola.

Analisi dei costi

Costo totale dell'impianto:	€ 80.444,00
Costo specifico:	€/kW 2.210,00

Consumo utenza

Consumo annuo utenza:	173.400 kWh
Consumo contemporaneo di energia prodotta:	45.271,3 kWh
Energia immessa:	5.030,1 kWh
Energia prelevata:	128.128,7 kWh



Rendimento economico

La simulazione del rendimento economico dell'impianto nel determinato periodo di calcolo avviene considerando i seguenti parametri:

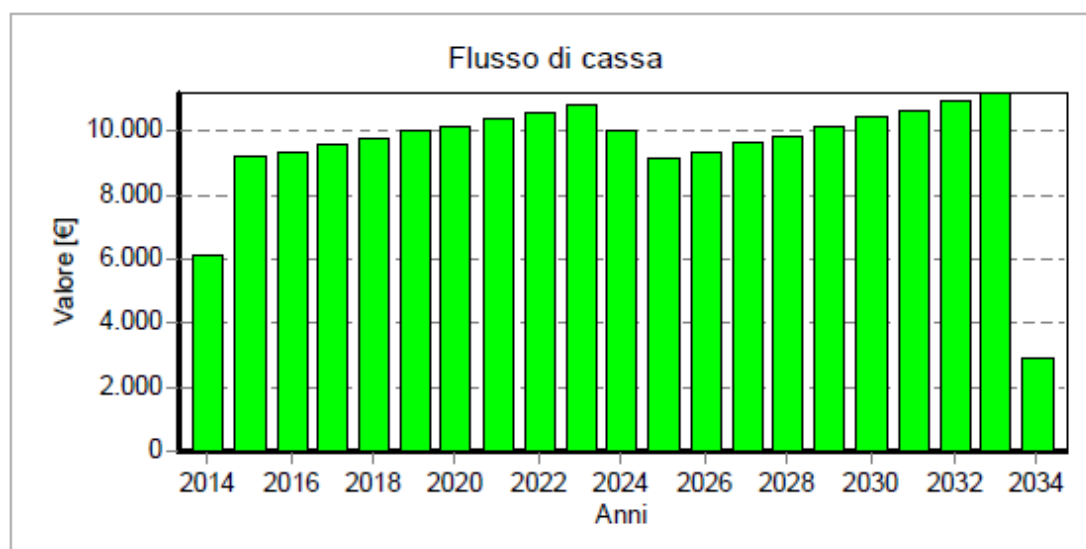
Degradazione annua dell'impianto causa invecchiamento:	0,6 %
Tasso d'inflazione annuo:	3 %
Tasso interesse attivo:	0 %
Costo servizio di scambio sul posto	€ 45,00

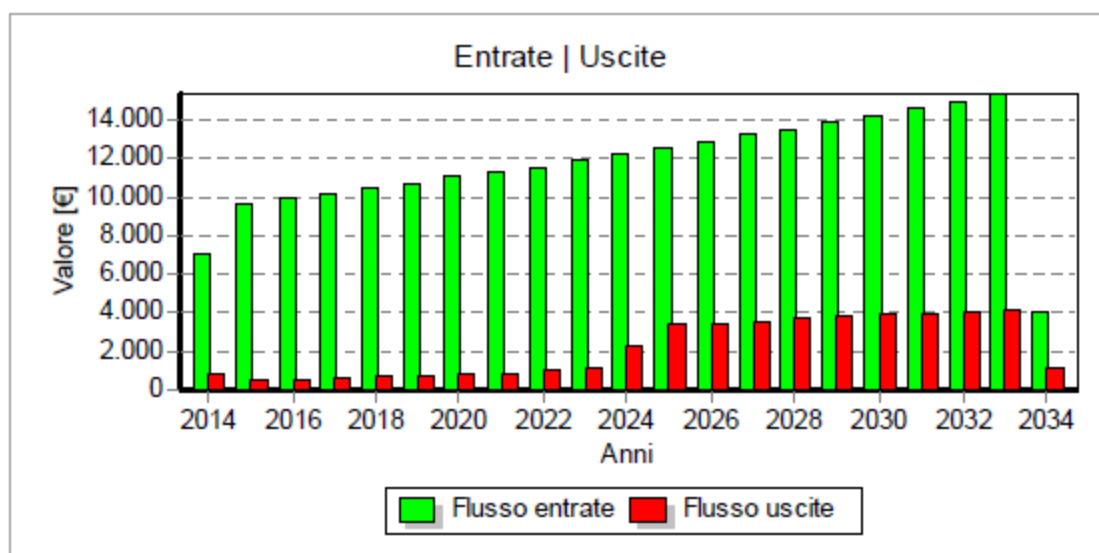
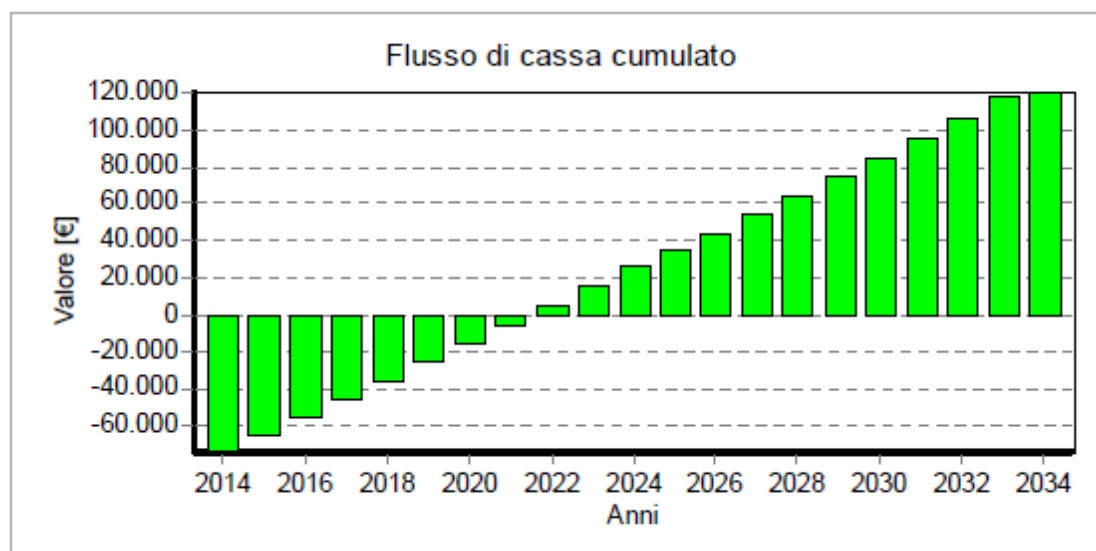
Rendimento dell'investimento effettuato nell'impianto fotovoltaico:

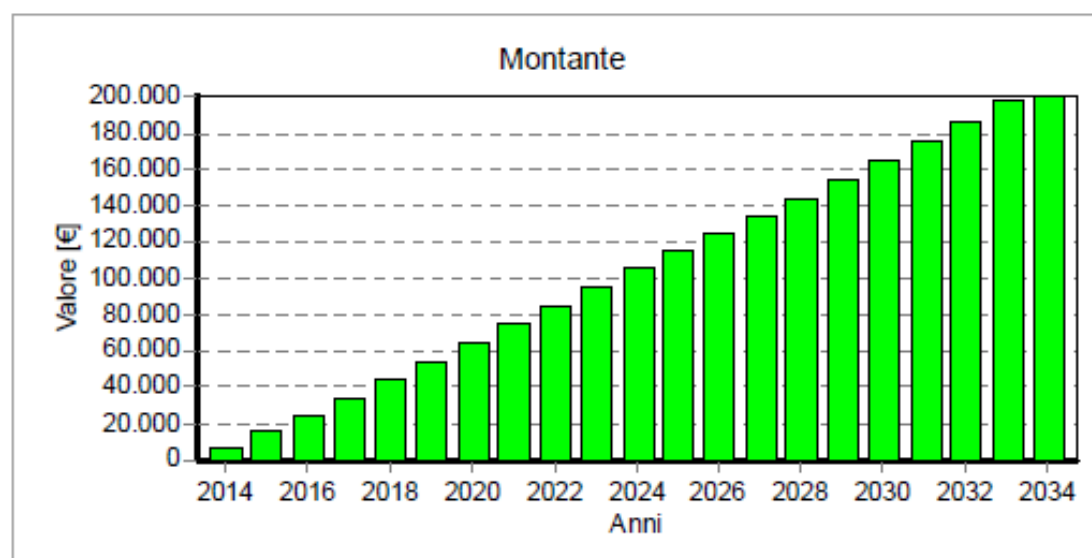
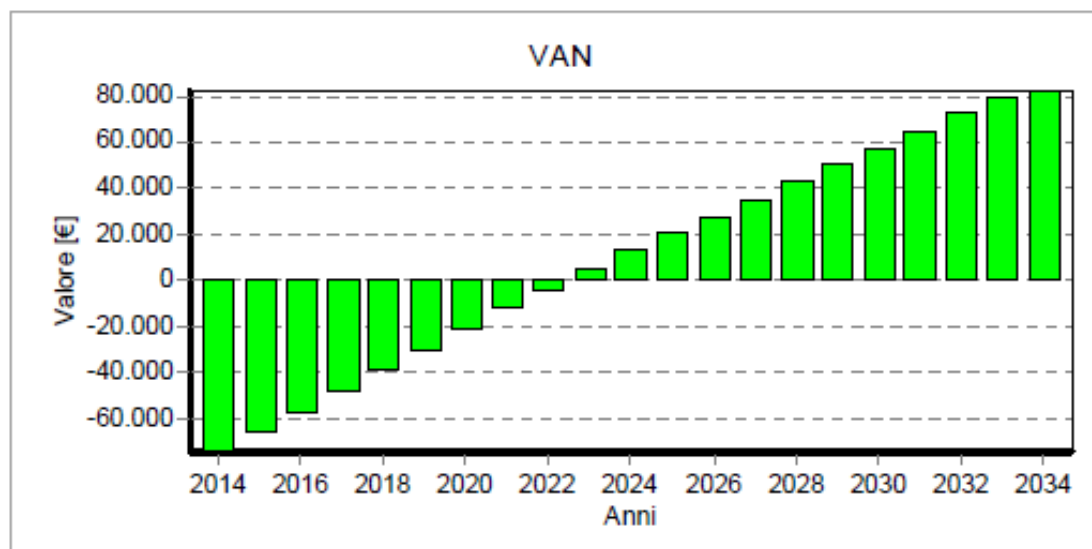
Consumo contemporaneo di energia prodotta:	90%
Data entrata in esercizio	01/11/2014
Data fine analisi	30/10/2034
Incentivo	€ 0,00
Risparmio consumi	€ 240.113,90
Interessi attivi	€ 0,00
Altre entrate	€ 0,00
Ricavo da vendita energia non consumata	€ 0,00
Contributo in conto scambio	€ 5.513,61
A dedurre costi annuali	€ 945,00
A dedurre imposte	€ 44.192,81
Totale	€ 200.489,70
Capitale proprio	€ 80.444,00
Flusso di cassa cumulato	€ 120.045,70
Totale a credito consumi	€ 0,00

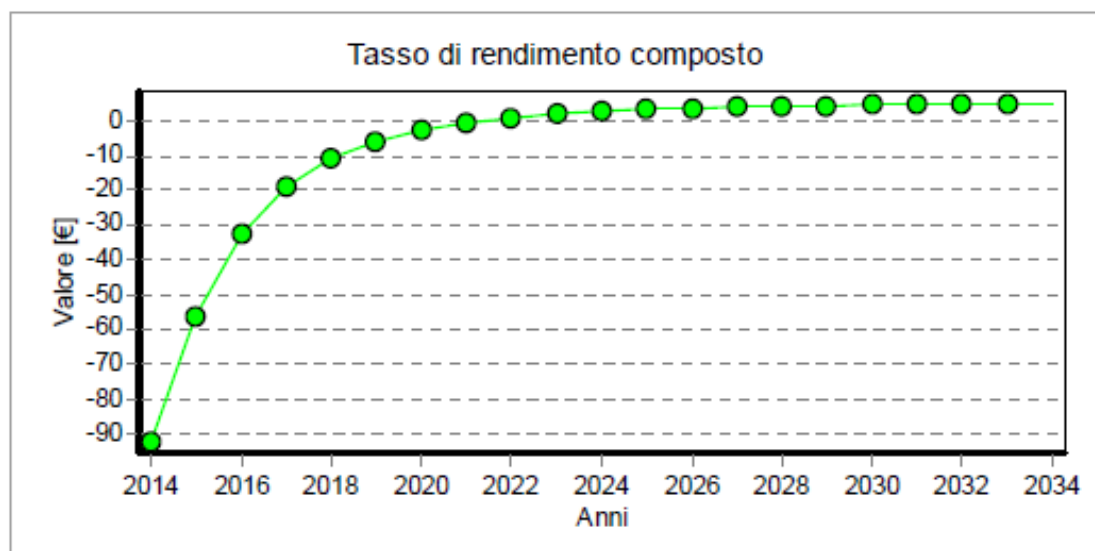
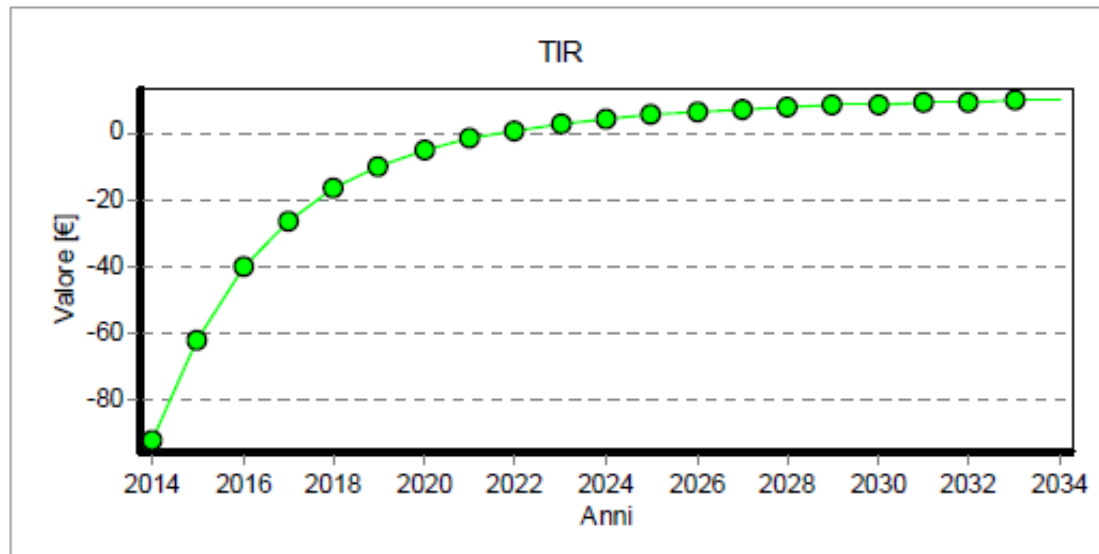
A dedurre costi annuali	€ 945,00
A dedurre imposte	€ 44.192,81
Totale	€ 200.489,70
Capitale proprio	€ 80.444,00
Flusso di cassa cumulato	€ 120.045,70
Totale a credito consumi	€ 0,00
Costi straordinari	€ 0,00
Periodo di rimborso (anni):	9
Montante dopo 21 anni	€ 200.489,70
Tasso di rendimento composto	4,445 %
Tasso di attualizzazione	2 %
VAN	€ 81.812,68
TIR	10,15 %

Nel calcolo degli anni successivi al primo vengono considerati il coefficiente di degradazione dell'impianto, il tasso d'inflazione ed il tasso di rendimento attivo del capitale accumulato.









I grafici riportano la sintesi dell'andamento dell'investimento.

Considerato un periodo di vita dell'impianto di 20 anni, già al nono anno si raggiunge il break evenpoint.

Evoluzione del fotovoltaico

Si sta diffondendo negli ultimi anni, l'integrazione di un sistema di accumulo agli impianti fotovoltaici, questo permette di massimizzare l'autoconsumo dell'azienda stessa. L'energia prodotta e non direttamente autoconsumata, viene immagazzinata in accumulatori per poi essere utilizzata la sera.

Come funziona l'impianto fotovoltaico con accumulo

In poche parole, un tipico impianto fotovoltaico produce energia elettrica che non viene usata interamente per l'abitazione, poiché quella che non viene utilizzata durante l'arco della giornata viene successivamente mandata alle rete elettrica durante le ore di irraggiamento; questo processo si chiama più correttamente "scambio sul posto".

Ciò che spesso succede però è che **i maggiori consumi di energia elettrica si hanno durante la notte**, proprio quando non c'è irraggiamento solare.

Per questa ragione sono nati gli impianti fotovoltaici con batteria per l'accumulo dell'energia elettrica: quest'ultimi riescono a sfruttare in pieno la corrente prodotta durante le ore di irraggiamento solare; il tutto collegando l'impianto fotovoltaico ad una batteria che è capace di accumulare la corrente da utilizzare durante le ore notturne.

Con l'installazione di un impianto fotovoltaico con accumulo, si riesce a coprire addirittura l'80% del fabbisogno energetico giornaliero.

Quindi, fino a qualche anno fa l'unica opzione che si poteva scegliere era quella di installare un impianto fotovoltaico caratterizzato dallo scambio sul posto, mentre adesso, per merito soprattutto del progresso tecnologico nel campo delle batterie per l'accumulo d'energia, che sono sempre più efficienti ed economiche, si può decidere quest'ultima opzione, che conviene anche dal punto di vista dei costi.

I costi dell'impianto fotovoltaico con accumulo

L'impianto fotovoltaico ad accumulo, è in grado di diminuire considerevolmente l'impatto sulle spese elettriche, soprattutto nella bolletta; c'è da considerare però il costo dell'installazione.

Ormai il mercato del fotovoltaico ad accumulo esiste da qualche anno, ed è passato dall'essere di nicchia, ad essere aperto ad un pubblico più esteso; tutto ciò ha portato ad un calo dei prezzi delle innovative batterie per l'accumulo, con il conseguente aumento delle tipologie di prodotti in commercio, infatti, adesso, si trovano: batterie di accumulo con tecnologie ad alta temperatura, batterie di accumulo al nichel, batterie di accumulo al nichel- cadmio, batterie di accumulo al piombo, batterie di accumulo agli Ioni di litio, ecc.

Fino al 2014 investire su un impianto fotovoltaico con accumulo era sconveniente, considerando i costi delle batterie, ma adesso, l'investimento totale conviene, perché i prezzi delle batterie sono in netto calo anno dopo anno, con previsioni positive rispetto al 2017 e al 2018.

Quanto si risparmia con l'impianto fotovoltaico con accumulo?

Avendo analizzato quanto impattano i costi d'installazione di un impianto fotovoltaico ad accumulo, la considerazione finale è, sicuramente, che con questo tipo d'impianto il **risparmio è considerevole**.

Visto che i costi dell'impianto sono ancora maggiori rispetto ad uno standard, il risparmio si ha successivamente, poiché il costo dell'energia elettrica è approssimativamente 0,25 Euro al kW all'acquisto, mentre quando viene venduta la sua media si aggira attorno ai 0,14 Euro al kW; ne consegue ovviamente che venderla è uno spreco inutile se possiamo utilizzarla, **e ciò comporta un risparmio di almeno il 40% sull'energia elettrica**.

Infatti, ipotizzando un investimento ventennale, per un impianto fotovoltaico da 3kWp con batteria da 5,5 kWh, si spendono circa 13mila euro, aggiungendo le spese di manutenzione e prevedendo di dover sostituire nel corso di questi vent'anni almeno 2 volte le batterie e l'inverter.

Come detto, ipotizzando questo tipo di investimento, anche se i costi delle batterie sono decisamente alti (ma diminuiranno sempre più nel corso degli anni), **il bilancio finale è ottimale, poiché quest'impianto fotovoltaico analizzato riesce a ripagarsi in 8/10 anni** (dipende se si è a sud/centro/nord Italia, e da altri fattori), e nell'arco del ventennio totale si risparmiano circa 17 mila euro sull'elettricità.

Bibliografia

Agenzia delle Entrate, Circolare n. 32/E, del 6 luglio 2009; -Decreto Legislativo del 29 dicembre 2003, n. 387, “Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità”, in GU n. 25, del 31 gennaio 2004, SO n.17;

Decreto Legislativo 29 marzo 2004, n. 99, “Disposizioni in materia di soggetti e attività, integrità aziendale e semplificazione amministrativa in agricoltura, a norma dell'articolo 1, comma 2, lettere d), f), g), l), ee), della legge 7 marzo 2003, n. 38”, in GU n. 94 del 22 aprile 2004;

Decreto Ministeriale del 28 luglio 2005, “Criteri per l'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare”, in GU n. 181, del 5 maggio 2005;

Decreto Ministeriale del 6 febbraio 2006, “Criteri per l'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare”, in GU n. 38, del 15 febbraio 2006;

Decreto Ministeriale del 19 febbraio 2007, “Criteri e modalità per incentivare la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare, in attuazione dell'Art. 7 del Decreto Legislativo 29 dicembre 2003”, in GU del 23 febbraio 2007, n. 45;(*Secondo Conto Energia*)

Decreto Ministeriale del 6 agosto 2010: “Incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare”, in GU del 24 agosto 2010, n. 197; (*Terzo Conto Energia*)

Decreto Ministeriale del 5 maggio 2011: “Incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici”, in GU del 12 maggio 2011, n. 109; (*Quarto Conto Energia*)

Decreto Ministeriale del 5 luglio 2012: “Attuazione dell'art. 25 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, recante incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici (c.d. Quinto Conto Energia)”, in GU del 10 luglio 2012, n. 159; (*Quinto Conto Energia*)

Delibera 03/06/2008 – ARG/elt 74/2008 (Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas), “Testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per lo scambio sul posto (TISP)”;

Direttiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'Unione Europea del 27 settembre 2001, “sulla promozione dell'energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità”, in GU L 283 del 27 ottobre 2001;

GSE, 2009a, Guida al Conto Energia, Decreto 19 febbraio 2007, la richiesta dell'incentivazione per gli impianti fotovoltaici, 3a Edizione, marzo 2009, Gestore Servizi Elettrici – GSE Spa, Roma;

GSE, 2009b, Statistiche sulle fonti rinnovabili in Italia – Anno 2008, Gestore Servizi Elettrici – GSE Spa, Roma; -GSE, 2009c, Il fotovoltaico – Risultati del Conto Energia al 31 dicembre 2008, Gestore Servizi Elettrici – GSE Spa, Roma;

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.

Beckman, J., Xiarchos, I.M., 2013. Why are Californian farmers adopting more (and larger) renewable energy operations?. *Renewable Energy* 55, 322-330.

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.

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.

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.

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.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Eurostat, 2012. Report Renewable energy. Issue no. 44/2012, Luxembourg.
- 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.
- 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.
- 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.
- GSE, 2012. Rapporto statistico 2012 - Solare fotovoltaico. Gestore Servizi Energetici, Rome.
- 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.
- Gunderson, I., Goyette, S., Gago-Silva, A., Quiquerez, L., Lehmann, A., 2015. Climate and landuse change impacts on potential solar photovoltaic power generation in the Black Sea region. *Environmental Science and Policy* 46, 70-81.

- Harinarayana, T., Sri Venkata Vasavi, K., 2014. Solar Energy Generation Using Agriculture Cultivated Lands. *Smart Grid and Renewable Energy* 5, 31-42.
- Hernandez, R.R., Hoffacker, M.K., Field, C.B., 2014a. Land-use efficiency of big solar. *Environmental Science and Technology* 48(2), 1315-1323.
- 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.
- 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.
- 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.
- INEA, 2013. *Annuario dell'agricoltura italiana*. Volume LXVII. Istituto Nazionale di Economia Agraria, Rome.
- Istat, 2011. *Atlante statistico dei comuni*. Istituto Nazionale di Statistica, Rome.
- Jäger-Waldau, A., Szabó, M., Scarlat, N., Monforti-Ferrario, F., 2011. Renewable electricity in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8), 3703-3716.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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.
- Nonhebel, S., 2005. Renewable energy and food supply: will there be enough land?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9(2), 191–201.
- Salvati, L., 2013. ‘Rural’ sprawl, Mykonian style: a scaling paradox. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 20(2), 109-115.
- 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.
- 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.
- Schiffer, H.-W., 2015. Europe's road to a sustainable energy-supply system. *Energy and Environment* 26(1-2), 111-126.
- Squatrìto, 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.

- 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.
- Talavera, D.L., De La Casa, J., Muñoz-Cerón, E., Almonacid, G., 2014. Grid parity and selfconsumption 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.
- 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.
- Tsantopoulos, G., Arabatzis, G., Tampakis, S., 2014. Public attitudes towards photovoltaic developments: Case study from Greece. *Energy Policy* 71, 94-106.
- 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.
- 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.