

Committente:

## MEDESANO SOLARE S.R.L.

via Nicolodi n. 5/A  
43126 Parma (PR)

titolo del progetto

### IMPIANTO FOTOVOLTAICO "GHIAIE DI MEDESANO"

REGIONE: EMILIA ROMAGNA

PROVINCIA: PARMA

COMUNI: MEDESANO E  
COLLECCHIO

Elaborato

numerazione

### RELAZIONE ENERGETICA

## R04

#### Responsabile progettazione

Prof. Ing. Giacomo Bizzarri - Via Cagni 1/4 - 42124 Reggio Emilia

#### Responsabile aspetti paesaggistici e ambientali

Ambiter s.r.l. - Via Nicolodi 5/a - 43126 Parma

**Direttore Tecnico**

Dott. Giorgio Neri

#### Data di emissione

Giugno 2021

rev. data descrizione redatto da

A			
B			
C			

#### Responsabile di progetto:

Prof. Ing. Giacomo Bizzarri

#### Collaboratori:

Dott. Ing. Leonardo Fumelli

Dott. Ing. Florian Hoxhaj

#### Aspetti paesaggistici e ambientali:

Dott. Amb. Gabriele Virgili - Ambiter s.r.l.

Dott. Arch. Daniela Pisciotano - Ambiter s.r.l.

Dott. Nat. Silvia Del Fiore - Ambiter s.r.l.

Dott. Geol. Adriano Biasia - Ambiter s.r.l.

Dott. Rossana Valentini - Ambiter s.r.l.

#### Aspetti acustici:

Ing. Luca Pasini - Silent Studio

Timbro e firma:



[1] RADIAZIONE SOLARE.....	2
[2] ANALISI ENERGETICA .....	4
[3] BENEFICI ENERGETICI ED AMBIENTALI.....	10

## IMPIANTO FOTOVOLTAICO “GHIAIE DI MEDESANO”

### COMUNE di MEDESANO PROVINCIA di PARMA

#### [1] RADIAZIONE SOLARE

La radiazione solare incidente su un modulo esposto alla latitudine del sito in oggetto è determinata, come da normativa UNI 10349 e UNI 8477 e dai database dei principali enti di settore, e porta ai seguenti risultati:

Radiazione solare mensile – kWh/m <sup>2</sup>	Gen	37,6
	Feb	60,0
	Mar	108,2
	Apr	143,1
	Mag	187,4
	Giu	198,6
	Lug	216,5
	Ago	186,5
	Set	131,4
	Ott	78,6
	Nov	43,3
	Dic	35,6
Anno		1426,9

Tab. 1: stima della radiazione solare sul piano orizzontale

Altre fonti di dati sono disponibili da letteratura e sono state utilizzate in questa sede. Tra le principali quelle fornite da ENEA e da PVGIS.

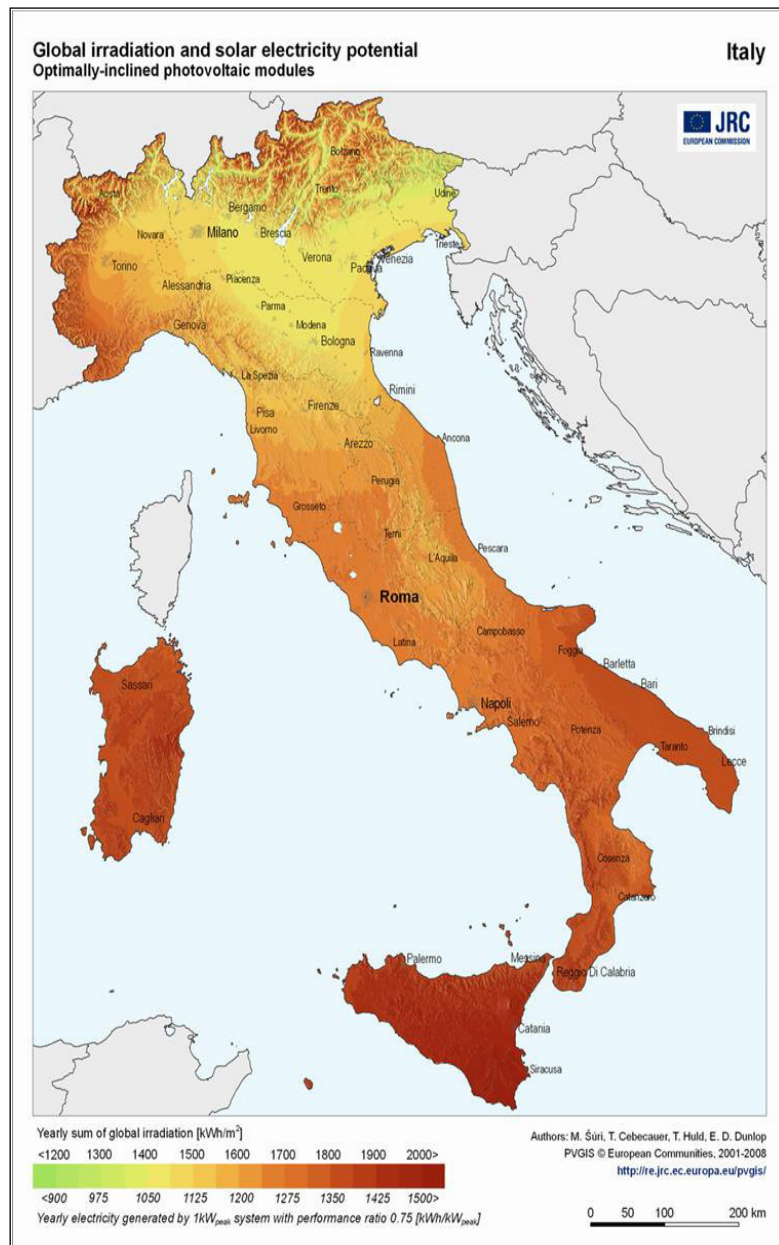


Fig. 1 – Irraggiamento annuo per una superficie inclinata secondo la migliore inclinazione nei diversi siti italiani, dati irraggiamento: JRC - Commissione Europea - Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) Sito internet <http://re.jrc.ec.europa.eu>

## [2] ANALISI ENERGETICA

Nella valutazione della potenzialità energetica dell'area si è fatto riferimento a due diversi tool di calcolo, uno realizzato direttamente dai progettisti e già utilizzato anche per studi di ricerca, l'altro disponibile nel mercato.

Nota la risorsa disponibile sul sito dai dati statistici e stabilita la tipologia e la modalità di installazione (inseguitore monoassiale) dei moduli fotovoltaici, si può infatti procedere al calcolo dell'energia elettrica prodotta.

Si è inizialmente definito il tipo di modulo: il pannello ipotizzato preliminarmente per tutto l'impianto fotovoltaico è in silicio monocristallino avente potenza 450 W<sub>p</sub>.

Il rendimento nominale dei moduli è pari a  $\eta_M = 20,7 \%$  sotto Standard Test Conditions (STC).

I calcoli sono stati effettuati con riferimento all'impianto fotovoltaico, oggetto della proposta, avente potenza di picco installata pari a 3.487,05 kW<sub>p</sub> e composto da 287 stringhe da 27 pannelli ciascuna.

### \_ Software progettisti

Nel calcolo utilizzando il software dei progettisti, si è considerato un rendimento dell'inverter pari a  $\eta_I = 98,69 \%$  a cui si devono aggiungere altri rendimenti secondari, legati a diverse dissipazioni (temperatura, ombreggiamento, mismatching). Tutte queste voci sono infine aggregate nel parametro di rendimento del BOS (balance of system) che per l'impianto fotovoltaico in oggetto può essere stimato pari a  $\eta_{BOS} = 85,38 \%$ .

Tale valore è stato determinato facendo nell'ambito della procedura per il calcolo del rendimento attraverso il seguente algoritmo i cui termini sono stati considerati con arrotondamenti fino seconda cifra decimale:

$\eta = [(1-a-b) \times (1-c-d) \times (1-e) \times (1-f)] - g$ , nella quale i parametri sono espressi in forma decimale ed hanno il seguente significato:

Perdite per irraggiamento non captato:

\_ Riflessione a

valore assunto  $a = 2 \%$

\_ Ombreggiamento  $b$

valore assunto  $b = 3 \%$ .

Perdite nel processo di conversione fotovoltaica

\_ *Mismatching*  $c$  (valore ammesso  $0.75 \times \Delta \%$ ),

valore assunto  $c = 0,9$  essendo  $\Delta \% = 1,1$ . Tale valore si determina in considerazione che il modulo prescelto da  $450 W_p$ , in silicio cristallino, ha tolleranza sulla potenza massima:

$0/+5 W$ , da cui  $\Delta \% = 1,1$ .

\_ Effetto della temperatura  $d$ ,

valore assunto  $d = 4\%$

Perdite nell'impianto di corrente continua,

Cavi, quadri, filtri, stimate  $a$ :

$e = 2 \%$

Perdite inverter  $f$  (valore ammesso  $1 - \eta_e$ ),

valore assunto  $f = 1,3$

Perdite nell'impianto di corrente alternata

Cavi, quadri, filtri, trasformatori, stimate  $a$ :

$g = 2 \%$

Con riferimento ai valori prima specificati, il calcolo porge:

$\eta_{BOS} = 85,38 \%$

CALCOLO DEL BOS (BALANCE OF SYSTEM)			
		Valore	Contributo
Perdite per irraggiamento non captato: Perdite per riflessione Perdite per ombreggiamento	A	2,00%	95,00%
	B	3,00%	
Perdite nel processo di conversione fotovoltaica Mismatching Temperatura	C	0,900%	95,10%
	D	4,00%	
Perdite nell'impianto in corrente continua Cavi, quadri, filtri (vedi relazione)	E	2,00%	98,00%
Perdite negli inverter Perdite inverter	F	1,31%	98,69%
Perdite nell'impianto in corrente alternata Cavi, quadri, filtri, trasformatori	G	2,00%	2,00%
TOTALE PERDITE BOS		14,62%	
RENDIMENTO BOS		85,38%	

Tab. 2: riepilogo calcoli BOS, in campitura magenta i valori stimati

DATI TECNICI		
<b>MODULO FOTOVOLTAICO</b>		
Tipologia		MONOCRISTALLINO
Dimensione 1	m	2,094
Dimensione 2	m	1,038
Superficie	m <sup>2</sup>	2,17
Efficienza Nominale	%	20,70
Potenza Nominale Modulo	W	450,00
<b>INVERTER</b>		
Modello		
Tipologia		DI STRINGA
Efficienza Nominale	%	98,69
Potenza gestita	kW	185
<b>BOS (COMPRESO INVERTER)</b>		
Efficienza	%	85,38
<b>ALTRE (DECR. TEMP. SU ANNO, TRANSITORI)</b>		
Efficienza	%	98,00

Definiti questi parametri, il calcolo di  $E_E$  energia elettrica prodotta è facilmente determinabile dalla formula:

$$E_E = E_S * S * \eta_M * \eta_I * \eta_{BOS}$$

dove:

$E_S$  è l'energia solare irradiante un elemento di superficie unitaria.

$S$  è la superficie del campo fotovoltaico determinabile dal prodotto della superficie del singolo modulo per il numero dei moduli costituenti il campo.

$\eta_M$  è il rendimento dei moduli fotovoltaici.

$\eta_{BOS}$  è il rendimento della componentistica del sistema (BOS).

$\eta_I$  è un indice di sicurezza valutato forfettariamente che tiene conto di altri effetti (prevalentemente transitori sui parametri del BOS, che possono verificarsi soprattutto durante la stagione estiva e che vanno a ridurre la producibilità attesa dall'impianto);

Complessivamente, all'anno zero ci si può attendere una produzione di 5.525.866 kWh<sub>e</sub>.

ANALISI ENERGETICA		
località	Medesano (PR)	
potenza di picco impianto	kWp	3487,050
irraggiamento medio annuo	kWh/m <sup>2</sup>	1426,9
efficienza pannello	%	20,70
efficienza bos	%	85,38
franco (transitori, temp su anno)	%	90,00
estensione superficie fotovoltaica	m <sup>2</sup>	16843
area captante singolo modulo	m <sup>2</sup>	2,17
numero di pannelli		7749
numero di inverter		16
energia elettrica prodotta annualmente(c.a.)	kWh	5525866

Nella valutazione del decremento del rendimento dei moduli fotovoltaici in seguito a invecchiamento (fattore di *aging*) si è fatto riferimento ai valori forniti dalla letteratura per i moduli ad alta efficienza.

Tali dati mostrano successivi decrementi annui di circa un punto percentuale rispetto al rendimento nominale all'anno zero come dichiarato dai produttori all'anno.

Definito il fattore di *aging* come il rapporto tra il rendimento di conversione fotovoltaica all'anno  $n$  e quello nominale all'anno zero, si può costruire la seguente tabella per ciascuno degli anni di esercizio.

Nel caso peggiore, al ventesimo anno di esercizio i moduli dovrebbero mostrare rendimenti di conversione pari allo 80% dei corrispondenti valori nominali all'anno zero. Questi rendimenti minimi sono, di norma, garantiti dai produttori.



Anno	Coefficiente Invecchiamento Moduli Fattore di Aging	Produzione Energia Elettrica da Impianto Fotovoltaico
		[kWh <sub>e</sub> ]
0	1,00	5525866
1	0,99	5479835
2	0,98	5433805
3	0,98	5387774
4	0,97	5341744
5	0,96	5295713
6	0,95	5249683
7	0,94	5203653
8	0,93	5157622
9	0,93	5111592
10	0,92	5065561
11	0,91	5019531
12	0,90	4973279
13	0,89	4904206
14	0,88	4835133
15	0,86	4766059
16	0,85	4696986
17	0,84	4627913
18	0,83	4558839
19	0,81	4489766
20	0,80	4420693

#### *\_ Software commerciale*

Nel calcolo mediante software commerciale si è partiti dagli stessi valori di irraggiamento. Tuttavia, la procedura prevede una più attenta analisi dei componenti fotovoltaici (moduli e inverter) specificatamente selezionati e considera fenomeni di ombreggiamento più puntuali. Anche le perdite risultano più dettagliate.

**Produzione normalizzata (per kWp installato): Potenza nominale 3487 kWp**

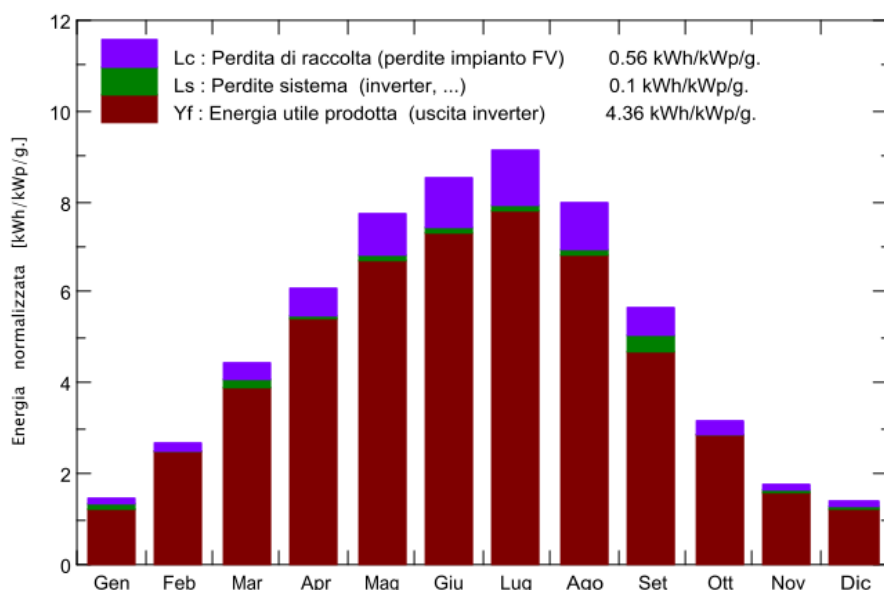


Fig. 2 – Produzione normalizzata

Il calcolo porge ad una produzione di energia elettrica pari a 5.548 MWh/anno.

I valori determinati sembrano confermare la discreta vocazione del sito in esame a ospitare impianti fotovoltaici.

Le stime sull'invecchiamento possono essere ripetute anche in questo caso restituendo valori simili a quelli calcolati con il primo software.

Sarebbe stato altresì possibile prevedere una ulteriore soluzione a *tracking* totale, realizzando un impianto a tilt e azimuth variabili. Questi sistemi sono particolarmente desiderabili essendo forieri di notevoli incrementi di produzione su base annua. Presentano tuttavia numerosi inconvenienti, oltre ad un costo sensibilmente superiore rispetto alle soluzioni a configurazione ad inseguimento monoassiale. Essi infatti occupano uno spazio superiore a parità di potenza installata e, in virtù della movimentazione meccanica che aziona le strutture consentendo l'inseguimento, necessitano di fondazioni profonde e implicano la definizione di un accurato programma di manutenzione. Il meccanismo di inseguimento rischia poi di portare a diseconomie difficilmente sostenibili nel momento in cui dovessero manifestarsi guasti nell'ultima fase di vita dell'impianto. Per tutti questi motivi si è ritenuto che la soluzione con inseguitori monoassiali fosse la più idonea per il sito in questione.

### [3] BENEFICI ENERGETICI ED AMBIENTALI

Gli impatti positivi si registrano in fase di esercizio dell'impianto, in termini di emissioni evitate grazie all'utilizzo di energia rinnovabile. Infatti, la generazione di energia elettrica per via fotovoltaica presenta l'indiscutibile vantaggio ambientale di non immettere in atmosfera sostanze inquinanti quali polveri, ossidi di azoto, ossidi di zolfo, componenti di idrocarburi incombusti volatili (VOC) calore, come invece accade nel caso in cui la stessa energia elettrica sia generata mediante l'esercizio di tradizionali impianti termoelettrici.

Per la valutazione dei benefici ambientali in termini di emissioni climalteranti e inquinanti evitate, si deve far riferimento al fattore di emissione specifica come definiti da letteratura.

Recentemente l'istituto ETH Zurich, Institut fur Verfahrens und Kältetechnik (IVUK), è giunto ad una stima abbastanza precisa di questi fattori.

Nel caso di impianti fotovoltaici di queste dimensioni si può ragionevolmente assumere che l'elettricità prodotta dagli impianti sia consegnata in media tensione ma verosimilmente consumata da utenze finali comunque prossime al sito di produzione.

In questo caso i valori da considerare per la valutazione emissioni specifiche evitate risultano essere:

CO <sub>2</sub> :	680 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>e</sub>
SO <sub>x</sub> :	1,4 g SO <sub>x</sub> /kWh <sub>e</sub>
NO <sub>x</sub> :	1,699 g NO <sub>x</sub> /kWh <sub>e</sub>

Ipotizzando di realizzare la produzione di energia elettrica di 5.525.866 kWh<sub>e</sub>/anno, si ottengono i seguenti benefici cumulati:

CO <sub>2</sub> :	3750 ton CO <sub>2</sub> /kWh <sub>e</sub>
SO <sub>x</sub> :	7,7 ton SO <sub>x</sub> /kWh <sub>e</sub>
NO <sub>x</sub> :	9,3 ton NO <sub>x</sub> /kWh <sub>e</sub>

Mentre l'anidride carbonica ha effetto climalterante, gli altri gas, se presenti ad elevate concentrazioni, possono risultare dannosi per la salute umana e per il patrimonio storico e naturale.

I benefici energetici sono stati valutati rispetto ad uno scenario di confronto nel quale l'energia elettrica da fotovoltaico verrebbe diversamente prodotta con le altre tecnologie disponibili nel macroscenario italiano.

Per calcolare l'energia primaria fossile risparmiata grazie all'esercizio di un impianto fotovoltaico deve così essere impostato il seguente bilancio energetico:

$$E_P = \frac{E_{PV} \eta_{AUTO}}{\eta_{ES}}$$

dove:

\_  $E_P$  è l'energia primaria fossile risparmiata

\_  $E_{PV}$  è l'energia elettrica prodotta con l'impianto fotovoltaico

\_  $\eta_{AUTO} = 0,997$  è il rendimento al netto delle dissipazioni nel caso che l'energia sia "autoconsumata", cioè utilizzata direttamente dal produttore o da altre utenze a lui vicine. Tale rendimento è stato stimato con riferimento a quanto indicato nel Piano Energetico 2007 della Regione Emilia-Romagna, per gli autoproduttori ai sensi del D. Lgs. n. 79/99, art. 2, comma 2.

\_  $\eta_{ES} = 0,400$  è il rendimento elettrico medio della tecnologia di *benchmark*, normalmente coincidente con il rendimento medio caratterizzante il parco termoelettrico nazionale in cui, in questo caso, sono stati detratte, in via cautelativa, le dissipazioni per trasmissione e trasformazione, giungendo a un valore del 40 % anche in linea con quanto previsto dalla Delibera della Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) n. 296/05.

Se si fa riferimento alla stessa stima di 5.525.866 kWh<sub>e</sub>/anno di energia elettrica prodotta, può essere determinato un minor consumo di energia primaria fossile pari a 13,7 GWh<sub>P</sub>/anno.

L'esercizio dell'impianto fotovoltaico non determinerà quindi alcun peggioramento rispetto alla situazione in essere, dello stato di contaminazione dell'atmosfera, ma produrrà diversamente considerevoli benefici in termini di una significativa diminuzione sia delle emissioni climalteranti che di quelle inquinanti associate alla produzione dei quantitativi di energia elettrica resi disponibili dall'impianto stesso.