

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
PROVINCIA DI FERRARA
Comuni di Codigoro e Fiscaglia (FE)
LOCALITA' "Valle Giralda"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN AVENTE POTENZA NOMINALE PARI A 71 MWp

Sezione 8:
RELAZIONI SPECIALISTICHE

Titolo elaborato:
Stima di producibilità dell'impianto

N. Elaborato: **8.4**

Scala:

Proponente

VIRGO ALPHA S.r.l.

Via Piave, 7
CAP 00187 - ROMA (RM)
P.Iva 17296991007

Progettazione



sede legale e operativa
Loc. Chianarile snc Area Industriale - 82010 San Martino Sannita (BN)
sede operativa
Via A.La Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Procuratore

Dott. Ing. SALVATORE FLORENI

Progettista

Dott. Ing. Massimo Lepore

Tecnico competente in Acustica Ambientale iscritto nell'elenco nazionale ENTECA al n° 8866 riconosciuto con DDR Campania n° 1396 del 19/12/2007, n° Rif. 653/07 ai sensi della legge 447/95 e DPCM 31/3/98



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	MAGGIO 2024	GDS sigla	ML sigla	ML sigla	Emissione progetto definitivo

Nome file sorgente	FV.CDG01.PD.8.4.R00.doc	Nome file stampa	FV.CDG01.PD.8.4.R00.pdf	Formato di stampa	A4
--------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	-------------------	----

INDICE

1.	PREMESSA.....	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
3.	DEFINIZIONI	6
4.	DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO	13
4.1.	SCHEDA SINTETICA DESCRITTIVA DEL PROGETTO	13
4.2.	SINTESI DELLA CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO.....	14
4.3.	CARATTERISTICHE TECNICHE DEL GENERATORE FOTOVOLTAICO	15
4.4.	GRUPPO DI CONVERSIONE CC/CA – BT/AT	17
5.	DATI CLIMATICI DELL'IMPIANTO	18
6.	FATTORI DI PERDITA DELL'IMPIANTO.....	20
7.	REPORT DI PRODUCIBILITÀ TOTALE	22
8.	CONCLUSIONI.....	24

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Caratteristiche moduli fotovoltaici di progetto	16
Figura 2 - Tipico string BOX	17
Figura 3 – Insolazione mensile su dati meteo per Passo di Pomposa	19
Figura 4 – Energia incidente sui collettori	19
Figura 5 – Diagramma iso-ombre e scena di ombreggiamento utilizzata nel modello di calcolo	21
Figura 6 – Risultati dettagliati della simulazione	22
Figura 7 – Diagramma fiume delle perdite	23
Figura 8 – Emissioni di CO2 evitate nel tempo	24

1. PREMESSA

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale installata pari a 71 MWp e potenza nominale di connessione pari a 60 MW da installare in provincia di Ferrara, nel comune di Codigoro in località "Valle Giralda", con opere di connessione ricadenti nei comuni di Codigoro e Fiscaglia.

Proponente dell'iniziativa è la società VIRGO ALPHA S.r.l. con sede in Via Piave, 7 - 00187 Roma (RM).

L'impianto agrivoltaico è costituito da 98628 moduli in silicio monocristallino, ognuno di potenza pari a 720 Wp. La configurazione dei pannelli, scelta in via preliminare, è costituita da un blocco di 7 file di tracker monoassiali. Ciascuna di esse consta di 24 moduli, ripartiti in n.12 moduli a valle ed a monte rispetto ad una barra di trasmissione tra le file parallele che traslerà in direzione est-ovest facendo ruotare, contemporaneamente, tutte le file ad esso collegate lungo la medesima direzione. Si precisa che la struttura descritta è la dimensione massima prevedibile, ma la stessa è modulabile per numero di moduli. Il limite di 7 file è dato, infatti, dalla massima trazione trasmissibile dalla barra per far scorrere le strutture ad esso collegate. L'impianto è organizzato in n.6 campi delimitati da una recinzione perimetrale e provvisti di un cancello di accesso. Ogni stringa di moduli fotovoltaici è montata su una struttura metallica in acciaio zincato ancorata al terreno. All'esterno della recinzione, lungo il perimetro visibile dell'impianto, è prevista una fascia a verde di ampiezza pari a 3 m per garantire la mitigazione ambientale e paesaggistica dell'intervento.

L'impianto è organizzato in gruppi di stringhe collegati alle cabine di campo attraverso gli inverter di stringa. In particolare, l'energia elettrica viene prodotta da ogni gruppo di stringhe collegate in parallelo tramite quadri di parallelo DC in corrente continua (denominati "string box") e viene trasmessa agli inverter installati in campo e ancorati ai pali di sostegno di una delle strutture, che provvedono alla conversione in corrente alternata. Gli inverter attraverso linee BT vengono collegati ai trasformatori BT/AT ubicati all'interno delle cabine di campo. Le linee AT 36 kV in cavo interrato collegano tra loro le cabine di campo, e quindi proseguono alla cabina di smistamento utente, prevista all'interno del campo 5. Dalla cabina di smistamento utente si sviluppa una linea 36 kV interrata per il trasferimento dell'energia dell'impianto agrivoltaico alla futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV "Ravenna Canala – Porto Tolle" e alle linee RTN 132 kV afferenti alla Cabina Primaria Codigoro ricollegata in doppia antenna alla suddetta Stazione Elettrica.

La proposta progettuale presentata è stata sviluppata in modo da ottimizzare al massimo il rapporto tra le opere di progetto ed il territorio, limitare al minimo gli impatti ambientali e paesaggistici e garantire la sostenibilità ambientale dell'intervento.

La presente relazione, nel dettaglio, descrive la stima di producibilità dell'impianto

2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Vengono di seguito elencati come esempio, alcuni riferimenti normativi relativi ad apparecchiature e componenti d'impianto:

- CEI 82-25 "Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione";
- CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua";
- CEI 64-8 parte 7, sezione 712: i sistemi fotovoltaici solari (PV) di alimentazione;
- CEI 11-20;V1 "Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria";
- CEI EN 61727(CEI 82-9): "Sistemi fotovoltaici (FV) – caratteristiche dell'interfaccia di raccordo con la rete";
- CEI EN 61215 (CEI 82-8): "Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo";
- CEI EN 60439-1 (CEI 17-13): "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)";
- CEI EN 60099-1 (CEI 37-1): "Scaricatori a resistori non lineari con spinterometri per sistemi a corrente alternata";
- CEI EN 62305 (CEI 81-10): "Protezione contro i fulmini; CEI 0-2: guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici; UNI 10349: riscaldamento e raffrescamento degli edifici; dati climatici";
- CEI 13-4: "Sistemi di misura dell'energia elettrica – composizione, precisione e verifica";
- CEI EN 62053-21 (CEI 13-43): "Apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.)".

La documentazione progettuale di riferimento è la seguente:

- FV. CDG01.PD.01.R00 - Relazione tecnica;
- FV. CDG01.PD.3.1.1.R00 - Layout di progetto su carta tecnica regionale (C.T.R.) – Quadro 1;
- FV. CDG01.PD.3.1.2.R00 - Layout di progetto su carta tecnica regionale (C.T.R.) – Quadro 2;
- FV. CDG01.PD.3.1.3.R00 - Layout di progetto su carta tecnica regionale (C.T.R.) – Quadro 3;
- FV. CDG01.PD.5.4.R00 - Schema elettrico unifilare impianto fotovoltaico.

3. DEFINIZIONI

- **Angolo di inclinazione (o di tilt)**

Angolo di inclinazione β del piano del dispositivo fotovoltaico rispetto al piano orizzontale (da IEC/TS 61836).

- **Angolo di orientazione (o di azimut)**

L'angolo di orientazione γ del piano del dispositivo fotovoltaico rispetto al meridiano corrispondente. In pratica, esso misura lo scostamento del piano rispetto all'orientazione verso Sud (per i siti nell'emisfero terrestre settentrionale) o verso Nord (per i siti nell'emisfero meridionale). Valori positivi dell'angolo di azimut indicano un orientamento verso ovest e valori negativi indicano un orientamento verso est (CEI EN 61194).
NOTA 1 L'angolo di azimut γ è misurato a partire da NORD nell'emisfero meridionale e a partire da SUD nell'emisfero settentrionale.

NOTA 2 Valori negativi dell'angolo di azimut indicano un orientamento verso EST e valori positivi un orientamento verso OVEST.

- **Cavo di stringa FV**

Cavo che collega moduli FV per costituire una stringa FV (CEI 64-8/7 par 712.3.8).

- **Cella fotovoltaica**

Dispositivo fondamentale che manifesta l'effetto fotovoltaico, cioè che genera una tensione elettrica in c.c. quando è sottoposto ad assorbimento di fotoni della radiazione solare. Si tratta sostanzialmente di un diodo a semiconduttore di grande area, che, esposto alla luce e chiuso su un carico elettrico, si comporta come un generatore di potenza elettrica la cui corrente di corto circuito assume un valore proporzionale alla radiazione incidente su di esso.

- **Condizioni di Prova Standard o normalizzate (STC)**

Le Condizioni di Prova Standard o normalizzate (STC – Standard Test Conditions) di un qualsiasi dispositivo FV consistono in (CEI EN 60904-3):

- Temperatura di giunzione di cella: $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- Irraggiamento sul piano del dispositivo: 1000 W/m^2 , con distribuzione spettrale di riferimento (massa d'aria AM 1,5).

- **Corrente massima in condizioni di prova normalizzate ($I_{m,STC}$)**

Corrente ai terminali di un dispositivo fotovoltaico, nel punto di massima potenza, in condizioni di prova normalizzate.

- **Corrente di corto circuito in condizioni di prova normalizzate ($I_{sc,STC}$)**

Corrente ai terminali in corto circuito di un dispositivo fotovoltaico, in condizioni di prova normalizzate.

- **Diodo di bypass**

Diodo connesso in anti-parallelo a un adeguato numero di celle fotovoltaiche, nella direzione della corrente diretta, al fine di permettere alla corrente del modulo di bypassare le celle eventualmente in ombra, prevenendo quindi riscaldamenti localizzati (hot-spot) che potrebbero danneggiare il modulo.

- **Dispositivo del generatore**

Dispositivo installato a valle dei terminali di ciascun generatore dell'impianto di produzione (CEI 11-20).

- **Dispositivo di interfaccia**

Dispositivo installato nel punto di collegamento della rete di utente in isola alla restante parte di rete del produttore, sul quale agiscono le protezioni d'interfaccia (CEI 11-20); esso separa l'impianto di produzione dalla rete di utente non in isola e quindi dalla rete del Distributore; esso comprende un organo di interruzione, sul quale agisce la protezione di interfaccia.

- **Dispositivo fotovoltaico**

Componente che manifesta l'effetto fotovoltaico. Esempi di dispositivi FV sono: celle, moduli, pannelli, stringhe o l'intero generatore FV.

- **Dispositivo generale**

Dispositivo installato all'origine della rete del produttore e cioè immediatamente a valle del punto di consegna dell'energia elettrica dalla rete pubblica (CEI 11-20).

- **Effetto fotovoltaico**

Fenomeno di conversione diretta della radiazione elettromagnetica (generalmente nel campo della luce visibile e, in particolare, della radiazione solare) in energia elettrica, senza trasformazione intermedia in energia termica. La conversione avviene mediante formazione di coppie elettrone-lacuna all'interno di semiconduttori particolari, le quali determinano la creazione di una differenza di potenziale e la conseguente circolazione di corrente nel caso di collegamento ad un circuito elettrico esterno.

- **Efficienza nominale di un generatore fotovoltaico**

Rapporto fra la potenza nominale del generatore e l'irraggiamento solare incidente sull'area totale dei moduli, in STC. Numericamente, detta efficienza può essere approssimativamente ottenuta mediante rapporto tra la potenza nominale del generatore stesso (espressa in kWp) e la relativa superficie (espressa in m²), intesa come somma dell'area dei moduli.

- **Efficienza nominale di un modulo fotovoltaico**

Rapporto fra la potenza nominale del modulo fotovoltaico e il prodotto dell'irraggiamento solare standard (1 000 W/m²) per la superficie complessiva del modulo, inclusa la sua cornice.

- **Efficienza operativa media di un generatore fotovoltaico**

Rapporto tra l'energia elettrica prodotta in c.c. dal generatore fotovoltaico e l'energia solare incidente sull'area totale dei moduli, in un determinato intervallo di tempo.

- **Efficienza operativa media di un impianto fotovoltaico**

Rapporto tra l'energia elettrica prodotta in c.a. dall'impianto fotovoltaico e l'energia solare incidente sull'area totale dei moduli, in un determinato intervallo di tempo.

- **Energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico**

L'energia elettrica (espressa in kWh) misurata all'uscita dal gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata, resa disponibile alle utenze elettriche e/o immessa nella rete del distributore.

- **Generatore fotovoltaico**

Vedi Campo fotovoltaico.

- **Gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata**

Insieme di inverter installati in un impianto fotovoltaico impiegati per la conversione in corrente alternata della corrente continua prodotta dalle varie sezioni che costituiscono il generatore fotovoltaico.

- **Impianto (o Sistema) fotovoltaico**

Insieme di componenti che producono e forniscono elettricità ottenuta per mezzo dell'effetto fotovoltaico. Esso è composto dall'insieme di moduli fotovoltaici (Campo fotovoltaico) e dagli altri componenti (BOS), tali da consentire di produrre energia elettrica e fornirla alle utenze elettriche e/o di immetterla nella rete del distributore.

- **Impianto (o Sistema) fotovoltaico collegato alla rete del distributore**

Impianto fotovoltaico in grado di funzionare (ossia di fornire energia elettrica) quando è collegato alla rete del distributore (indicato anche come "impianto grid-connected").

- **Impianto (o Sistema) fotovoltaico isolato dalla rete del distributore**

Impianto fotovoltaico in grado di funzionare (ossia di fornire energia elettrica) solo se isolato dalla rete del distributore. In funzione dell'utilizzo, esso può essere dotato di accumulo elettrochimico e di inverter in grado di sostenere una rete di utente o una rete elettrica locale.

- **Inseguitore della massima potenza (MPPT)**

Dispositivo di comando dell'inverter tale da far operare il generatore fotovoltaico nel punto di massima potenza. Esso può essere realizzato anche con un gruppo di conversione statico separato dall'inverter, soprattutto negli impianti non collegati ad un sistema in c.a.

- **Inverter (o convertitore di potenza c.c./c.a.)**

Apparecchiatura, tipicamente statica, impiegata per la conversione in corrente alternata monofase o trifase della corrente continua prodotta dal generatore fotovoltaico.

- **Irraggiamento solare**

Intensità della radiazione elettromagnetica solare incidente su una superficie di area unitaria. Tale intensità è pari all'integrale della potenza associata a ciascun valore di frequenza dello spettro solare (CEI EN 60904-3). E' espresso in W/m².

- **Modulo fotovoltaico**

Il più piccolo insieme di celle fotovoltaiche interconnesse e protette dall'ambiente circostante (CEI EN 60904-3).

- **Modulo fotovoltaico in c.a.**

Modulo fotovoltaico con inverter integrato; la sua uscita è solo in corrente alternata.

- **Pannello fotovoltaico**

Gruppo di moduli preassemblati, fissati meccanicamente insieme e collegati elettricamente. Vedi Fig. C.6. In pratica è un insieme di moduli fotovoltaici e di altri necessari accessori collegati tra di loro meccanicamente ed elettricamente.

NOTA Il termine *pannello* è a volte utilizzato impropriamente come sinonimo di *modulo*.

- **Perdite per disaccoppiamento (o per mismatch)**

Differenza fra la potenza totale dei dispositivi fotovoltaici connessi in serie o in parallelo e la somma delle potenze di ciascun dispositivo, misurate separatamente nelle stesse condizioni.

Deriva dalla differenza fra le caratteristiche tensione-corrente dei singoli dispositivi e viene misurata in W o in percentuale rispetto alla somma delle potenze (da IEC/TS 61836).

- **Potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) di un generatore fotovoltaico**

Potenza elettrica (espressa in Wp), determinata dalla somma delle singole potenze nominali massime o di picco o di targa) di ciascun modulo costituente il generatore fotovoltaico, misurate in Condizioni di Prova Standard (STC).

- **Potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) di un impianto fotovoltaico**

Per prassi consolidata, coincide con la potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) del suo generatore fotovoltaico.

- **Potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) di un modulo fotovoltaico**

Potenza elettrica (espressa in Wp) del modulo, misurata in Condizioni di Prova Standard (STC).

- **Potenza effettiva di un generatore fotovoltaico**

Potenza di picco del generatore fotovoltaico (espressa in Wp), misurata ai morsetti in corrente continua dello stesso e riportata alle Condizioni di Prova Standard (STC) secondo definite procedure (CEI EN 61829).

- **Potenza prodotta da un impianto fotovoltaico**

Potenza di un impianto fotovoltaico (espressa in kW) misurata all'uscita dal gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata, resa disponibile alle utenze elettriche e/o immessa nella rete del distributore.

- **Quadro elettrico di giunzione del generatore FV**

Quadro elettrico nel quale tutte le stringhe FV sono collegate elettricamente ed in cui possono essere situati dispositivi di protezione, se necessario.

- **Radiazione solare**

Integrale dell'irraggiamento solare (espresso in kWh/m²), su un periodo di tempo specificato (CEI EN 60904-3).

- **Scatola di giunzione del modulo FV**

Involucro, posizionato sul retro del modulo, nel quale sono effettuate le connessioni elettriche del modulo ed in cui sono posizionati i diodi di bypass. A tale scatola di giunzione sono connessi i cavi di collegamento agli altri moduli o ai quadri elettrici di parallelo (CEI 64-8/7 par. 712.3.5).

NOTA I moduli senza cornice (laminati) in alcuni casi non sono dotati di scatola di giunzione come sopra descritta, ma sono adottate differenti soluzioni realizzative.

- **Schiera fotovoltaica**

Complesso, integrato meccanicamente e collegato elettricamente, di moduli, pannelli e delle relative strutture di supporto.

NOTA La schiera fotovoltaica non include le fondazioni, i dispositivi di inseguimento, il controllo della temperatura e altri componenti simili.

- **Separazione semplice**

La separazione tra circuiti o tra un circuito e la terra mediante isolamento principale (CEI 64-8/7 par. 712.3.20).

- **Sistema fotovoltaico**

Vedi Impianto fotovoltaico.

- **Solarimetro**

Strumento utilizzato per la misura dell'irraggiamento su un piano di captazione, basato su sensori al Silicio. È usualmente utilizzato nei sistemi di monitoraggio di impianti fotovoltaici. È spesso preferito al Piranometro poiché rispetto a quest'ultimo presenta un costo più contenuto e il vantaggio di non richiedere frequenti tarature.

- **Sezione di impianto fotovoltaico**

Parte del sistema o impianto fotovoltaico; esso è costituito da un gruppo di conversione c.c./c.a. e da tutte le stringhe fotovoltaiche che fanno capo ad esso.

- **Stringa fotovoltaica**

Insieme di moduli fotovoltaici collegati elettricamente in serie.

NOTA Il numero dei moduli collegati viene scelto in base alla tensione d'uscita desiderata.

- **Temperatura nominale di una cella fotovoltaica (NOCT)**

Temperatura media di equilibrio di giunzione di una cella solare all'interno di un modulo posto nelle condizioni di riferimento (irraggiamento = 800 W/m², temperatura ambiente = 20 °C, velocità

del vento = 1 m/s), elettricamente a circuito aperto ed installato su un telaio in modo tale che a mezzogiorno solare i raggi incidano normalmente sulla sua superficie esposta.

- **Tensione nominale di un dispositivo fotovoltaico:**

È la tensione al punto di massima potenza, come imposto dalla funzione MPPT dell'inverter a cui è collegato il dispositivo fotovoltaico (modulo, stringa, generatore, ...).

- **Tensione a vuoto in condizioni di prova normalizzate (VOC,STC)**

Tensione a circuito aperto di un dispositivo fotovoltaico, misurata in condizioni di prova normalizzate (STC).

- **Tensione massima di sistema ammessa dal modulo fotovoltaico**

Tensione massima ammessa per il sistema in cui il modulo fotovoltaico viene inserito, come dichiarata dal costruttore (CEI EN 50380) e normalmente certificata nel corso delle prove di qualifica secondo la norma CEI EN 61215 o CEI EN 61646, sottoponendo il modulo alla prova di isolamento.

NOTA Il valore usuale della tensione massima ammessa è attualmente compreso fra 600 V e 1 000 V.

- **Tensione massima di un generatore FV (Vm,max)**

Tensione massima che potrebbe raggiungere un generatore fotovoltaico. E' data dalla somma delle tensioni a vuoto (Voc) dei moduli fotovoltaici collegati tra loro in serie (stringhe) alla temperatura ambiente minima considerata nel progetto.

- **Tensione massima di un dispositivo fotovoltaico in condizioni di prova normalizzate (Vm,STC)**

Tensione ai terminali di un dispositivo fotovoltaico, nel punto di massima potenza, in condizioni di prova normalizzate (STC).

NOTA Tale tensione è ottenuta, al variare dell'irraggiamento solare e della temperatura del dispositivo fotovoltaico mediante un inseguitore di massima potenza, in genere inserito nell'inverter.

4. DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO

4.1. Scheda sintetica descrittiva del progetto

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale installata pari a 71 MWp e potenza nominale di connessione pari a 60 MW da installare in provincia di Ferrara, nel comune di Codigoro in località "Valle Giralda", con opere di connessione ricadenti nei comuni di Codigoro e Fiscaglia.

Di fatto un impianto agrivoltaico è una tipologia di impianto fotovoltaico installato su suoli agricoli che consente non solo di produrre energia elettrica da fonte solare, ma anche di continuare la coltivazione delle aree o di prevedere nuove coltivazioni. Si tratta, quindi, di un impianto fotovoltaico combinato all'attività di coltivazione dei campi.

L'impianto è organizzato in n. 6 campi all'interno dei quali si prevede l'installazione delle pannellature fotovoltaiche disposte su supporti su tracker monoassiali, a loro volta, ancorati al suolo tramite sostegni infissi.

La distanza tra le file parallele delle pannellature, disposte con asse in direzione est-ovest, è pari a 5,50 m dal palo centrale di ogni fila ed è tale da evitare l'ombreggiamento reciproco tra le strutture, consentire le operazioni di pulizia e manutenzione dei pannelli, nonché permettere la coltivazione delle fasce di terreno d'interfila in maniera agevole, garantendo l'accesso ai mezzi agricoli.

Il progetto prevede, inoltre, la realizzazione di una fascia arborea di mitigazione posta lungo il perimetro visibile del campo agrivoltaico, di larghezza pari a 3 m.

In particolare, la fascia si estende dal lato nord-ovest al lato sud-est dell'impianto, ovvero in corrispondenza dell'affaccio all'Abbazia di Santa Maria di Pomposa e della Chiavica dell'Agrioglio, entrambe tutelate, in quanto beni architettonici, ai sensi dell'art. 142 del D.lgs 42/2004.

La zona di impianto è caratterizzata dalla presenza di numerosi canali di scolo che si dispongono su tutta la superficie. Si tratta di canali atti alla regimentazione idraulica del territorio, necessaria per l'intensa irrigazione delle coltivazioni o per le precipitazioni abbondanti, vista la natura pianeggiante dell'area stessa.

Per la definizione del layout di impianto, si è perseguita la scelta di pannellare tutta l'area tombando, quindi, i canali presenti. Data la necessità di mantenere l'invarianza idraulica dell'area, sarà garantita una lieve pendenza al fine di convogliare, attraverso delle tubazioni di scarico in PVC, le acque eventualmente presenti sulla superficie di impianto verso i collettori e gli scoli presenti nelle immediate vicinanze, ovvero: Scolo Cinesio, Collettore Giralda e Scolo Usviglio.

Le strutture di sostegno ipotizzate hanno la caratteristica di poter essere infisse nel terreno senza bisogno di alcun tipo di fondazione in calcestruzzo, compatibilmente alle caratteristiche geotecniche del terreno ed alle prove penetrometriche che verranno effettuate in fase esecutiva. Come certificato dal costruttore, le strutture sono in grado di supportare il peso dei moduli anche in presenza di raffiche di vento di elevata velocità, di neve ed altri carichi accidentali. Le caratteristiche dimensionali delle strutture sono riportate nell'elaborato grafico "Particolari costruttivi della struttura di fissaggio dei moduli fotovoltaici" (cfr. elab. FV.CDG01.PD.4.1.R00).

I pannelli fotovoltaici hanno dimensioni 2384 x 1303 mm, incapsulati in una cornice di alluminio anodizzato dello spessore di 33 mm, per un peso totale di 38,3 kg ognuno.

Il suddetto impianto è costituito da 98628 moduli fotovoltaici, suddivisi in sottocampi e stringhe, i quali sono collegati in serie o in parallelo a seconda del livello. Genericamente, una serie di moduli costituisce una stringa, la quale si collega in parallelo ad altre stringhe per formare il sottocampo, il quale forma, con altri sottocampi sempre collegati in parallelo, il campo agrivoltaico.

L'impianto agrivoltaico è costituito da 98628 moduli in silicio monocristallino, ognuno di potenza pari a 720 Wp. La configurazione dei pannelli, scelta in via preliminare, è costituita da un blocco di 7 file di tracker monoassiali. Ciascuna di esse consta di 24 moduli, ripartiti in n.12 moduli a valle ed a monte rispetto ad una barra di trasmissione tra le file parallele che traslerà in direzione est-ovest facendo ruotare, contemporaneamente, tutte le file ad esso collegate lungo la medesima direzione. Si precisa che la struttura descritta è la dimensione massima prevedibile, ma la stessa è modulabile per numero di moduli. Il limite di 7 file è dato, infatti, dalla massima trazione trasmissibile dalla barra per far scorrere le strutture ad esso collegate.

Le strutture di sostegno sono realizzate in acciaio al carbonio galvanizzato, resistente alla corrosione, costituite da pali verticali infissi al suolo e collegati superiormente ad un telaio piano orizzontale con tilt predefinito sul quale sono alloggiati i pannelli.

4.2. Sintesi della configurazione dell'impianto

L'impianto agrivoltaico di progetto ha una potenza complessiva nominale pari a 71 MWp e potenza nominale di connessione pari a 60 MW ed è costituito da 98628 moduli in silicio monocristallino ognuno di potenza pari a 720 Wp.

Dal punto di vista elettrico più moduli fotovoltaici vengono collegati in serie a formare una stringa e più stringhe vengono collegate in parallelo tramite quadri di parallelo DC (denominati "string box"). L'energia prodotta e convogliata attraverso cavi DC dalle string box ad un gruppo di conversione costituito da un inverter e da un trasformatore elevatore.

Nel dettaglio, il progetto prevede la realizzazione/installazione di:

- N° 98628 moduli fotovoltaici da 720 Wp collegati in stringhe installate su strutture di supporto;
- N°20 cabine di campo all'interno dell'area d'impianto comprensive di cabine "Spare";
- N°300 inverter di stringa DC/AC;
- N°20 trasformatori MT/BT comprensivi di trasformatori "Spare";
- N°6 cabine per i servizi ausiliari;
- N°1 cabina di smistamento utente 36 kV all'interno del campo 5;
- Recinzione esterna perimetrale alle aree di installazione dei pannelli fotovoltaici;
- N°8 cancelli carrai da installare lungo la recinzione perimetrale per l'accesso ai campi agrivoltaici;

- Realizzazione di circa 7,35 km di viabilità a servizio dell'impianto;
- Un cavidotto AT interrato interno al campo agrivoltaico per il collegamento delle cabine di campo alla cabina di smistamento utente, avente una lunghezza complessiva di circa 6 km;
- Un cavidotto AT interrato esterno al campo agrivoltaico per il collegamento della cabina di smistamento alla futura stazione elettrica 380/132/36 kV di Fiscaglia, avente una lunghezza complessiva di circa 17,93 km;
- Fascia arborea prevista lungo il perimetro esterno della recinzione dell'impianto agrivoltaico.

Per la realizzazione dell'impianto sono previste le seguenti opere ed infrastrutture:

- **Opere civili:** installazione delle strutture di supporto dei moduli fotovoltaici; realizzazione della viabilità interna ai campi agrivoltaici; realizzazione della recinzione perimetrale ai campi agrivoltaici; realizzazione degli scavi per la posa dei cavi elettrici; realizzazione delle cabine di campo, delle cabine per i servizi ausiliari e della cabina di smistamento.
- **Opere impiantistiche:** installazione dei moduli fotovoltaici collegati in stringhe; installazione degli inverter; installazione dei trasformatori all'interno delle cabine di campo; installazione delle apparecchiature e realizzazione dei collegamenti all'interno della cabina di smistamento utente; esecuzione dei collegamenti elettrici, tramite cavidotti interrati, tra i moduli fotovoltaici, le cabine di campo e la cabina di smistamento utente; realizzazione degli impianti di terra dei gruppi di campo, delle cabine di campo, della cabina di smistamento utente.
- **Coltivazioni, opere di mitigazione e compensazione:** preparazione del terreno degli spazi di interfila ai fini della coltivazione e messa a dimora delle essenze previste per la fascia arborea perimetrale al campo.

4.3. Caratteristiche tecniche del generatore fotovoltaico

Il generatore fotovoltaico è composto complessivamente da 98628 moduli fotovoltaici di potenza nominale pari a 720 Wp in silicio monocristallino con vetro temperato, resine EVA, strati impermeabili e cornice in alluminio.

La tipologia specifica sarà definita in fase esecutiva, inoltre, le caratteristiche preliminari dimensionali dei moduli utilizzati per l'impianto sono riportate nella seguente figura.

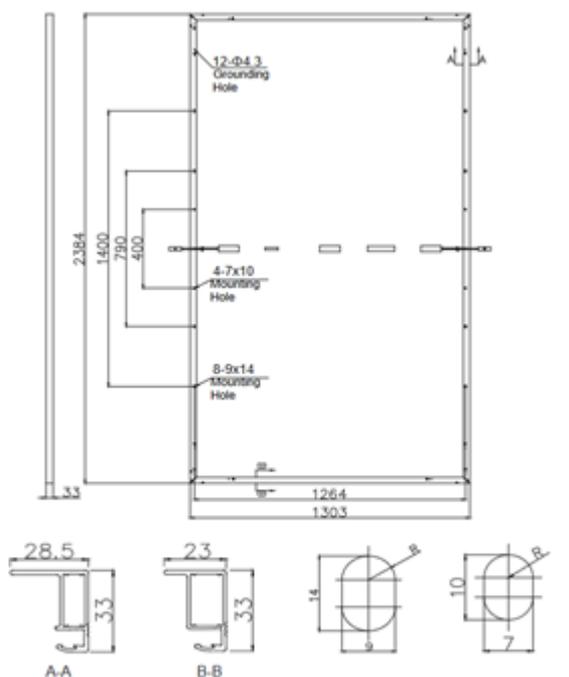


Figura 1 - Caratteristiche moduli fotovoltaici di progetto

Nella parte posteriore di ogni modulo sono collocate le scatole di giunzione per il collegamento dei moduli al resto dell'impianto. Tali scatole, che hanno grado di protezione meccanica IP55, sono dotate di diodi di by-pass per evitare il flusso di corrente in direzione inversa (ad esempio in caso di ombreggiamento dei moduli) e conseguenti fenomeni di hotspot che potrebbero danneggiare i moduli stessi. I moduli sono marcati CE e sono certificati in classe di isolamento II e rispondenti alla norma CEI 82-25.

I moduli fotovoltaici sono collegati tra loro in serie attraverso dei connettori di tipo maschio-femmina (tipo MC4 e/o MC3), formando delle stringhe.

Le diverse stringhe sono raggruppate e connesse in parallelo alle string boxes (quadri di parallelo DC), a loro volta collegate agli inverter tramite cavi DC. Le string boxes sono installate all'esterno, sotto le vele e il loro involucro garantirà lunga durata e massima sicurezza. Le String Boxes con 16, 24 o 32 ingressi di stringa sono dotati di 2 uscite per i cavi per ciascun polo e comprendono un campo di tenuta da 17 a 38,5 millimetri. Possono essere utilizzati cavi con sezioni da 70 a 240 mm².



Figura 2 - Tipico string BOX

La potenza complessiva nominale risulta essere di 71 MWp potenza nominale di picco, mentre lato corrente alternata la potenza risulta essere 60 MW.

4.4. Gruppo di conversione CC/CA – BT/AT

Ogni gruppo di conversione è composto da un inverter CC/AC e da un trasformatore BT/AT. Gli inverter hanno la funzione di riportare la potenza generata in corrente continua dai moduli fotovoltaici alla frequenza di rete, mentre il trasformatore provvede ad innalzare la tensione al livello della rete interna dell'impianto (36 kV).

I componenti del gruppo di conversione sono selezionati sulla base delle seguenti caratteristiche principali:

- Conformità alle normative europee di sicurezza;
- Funzionamento automatico, e quindi semplicità di uso e di installazione;
- Sfruttamento ottimale del campo fotovoltaico con la funzione MPPT (maximum power point tracking) integrata;
- Elevato rendimento globale;
- Massima sicurezza, con il trasformatore di isolamento a frequenza di rete integrato;
- Forma d'onda d'uscita perfettamente sinusoidale.

Nello specifico gli inverter e trasformatori possono essere alloggiati a seconda delle esigenze di trasporto e dalle disponibilità di mercato in:

- Esterni (outdoor) e/o in container aperti;
- Interni (indoor) in cabine prefabbricate e/o in container chiusi;
- Una via di mezzo ai punti precedenti, ad esempio inverter outdoor mentre trasformatori e locali quadri in locali chiusi (cabine e/o container).

La tipologia specifica del gruppo di conversione sarà definita in fase di progettazione esecutiva, scegliendo tra i vari produttori di inverter e/o gruppi di conversione.

Il gruppo di conversione individuato in questa fase preliminare di progettazione prevede l'utilizzo di un inverter DC/AC e un trasformatore elevatore AT/BT, inclusivi di compartimenti AT e BT alloggiati in un container (ovvero cabina di campo), con porzioni di pannelli laterali aperti e/o tettoie apribili, per favorire la circolazione dell'area.

Il trasformatore elevatore è di tipo a secco ed è corredato dei relativi dispositivi di protezione elettromeccanica, quali sensori di temperatura, rele Buchholtz., inoltre; il quadro MT, composto da 2 o 3 scomparti, a seconda che avvenga un entra-esci verso un'altra Power Station o meno (Cella MT arrivo, partenza e trasformatore).

All'interno del gruppo di conversione sono installate le seguenti apparecchiature di bassa tensione:

Quadro BT per alimentazioni ausiliarie (F.M., illuminazione, ausiliari quadri, ecc), pannello contatori per la misura dell' energia attiva prodotta a valle della sezione inverter; UPS per alimentazioni ausiliarie degli inverter e delle apparecchiature di monitoraggio d'impianto alloggiate nella cabina inverter; trasformatore di tensione per i servizi ausiliari.

Tale soluzione è compatta, versatile ed efficiente, che ben si presta per il luogo di installazione e la configurazione dell'impianto.

5. DATI CLIMATICI DELL'IMPIANTO

La quantità di energia elettrica producibile sarà calcolata sulla base dei dati radiometrici di PVGIS® che è una fonte meteorologica comunemente usata per località internazionali. Tale fonte meteorologica satellitare fornisce una metodologia uniforme per il calcolo dell'irradiazione.

Di seguito si riporta l'insolazione mensile e l'energia incidente sui collettori.

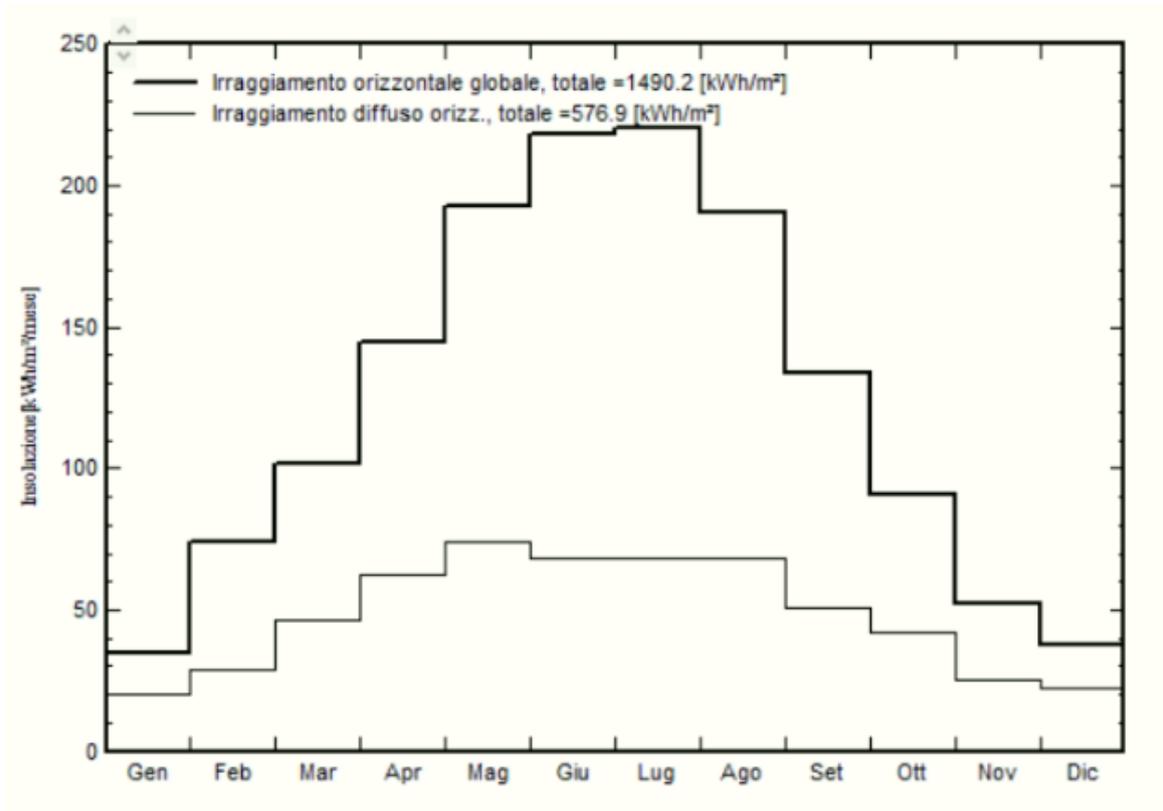


Figura 3 – Insolazione mensile su dati meteo per Passo di Pomposa

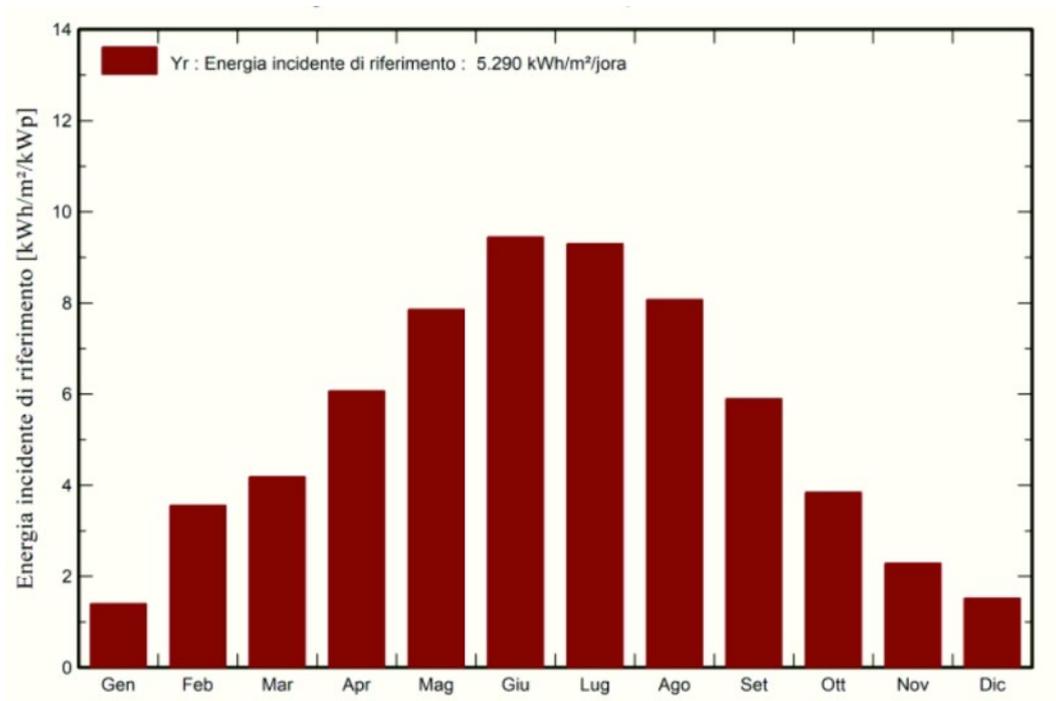


Figura 4 – Energia incidente sui collettori

6. FATTORI DI PERDITA DELL'IMPIANTO

Per il calcolo della stima di producibilità, si è tenuto conto dei seguenti fattori di perdita:

- Perdita per ombre vicine che sono funzione della geometria di disposizione del campo fotovoltaico e degli ostacoli all'orizzonte.
- Perdite dovute all'angolo di incidenza, ovvero tra la direzione dei raggi solari e la normale alla superficie del modulo fotovoltaico.
- Perdite per conversione fotovoltaica legata al rendimento dei singoli moduli fotovoltaici.
- Perdita a causa del livello d'irraggiamento solare.
- Perdita a causa della temperatura dei moduli fotovoltaici.
- Perdita dovute alla qualità del modulo fotovoltaico.
- Perdite di mismatching dovute all'accoppiamento non ottimale fra le stringhe.
- Perdite ohmiche di cablaggio dovute alle sezioni e alla lunghezza dei cavi elettrici e al loro cablaggio, ossia dovute al loro allacciamento e collegamento.
- Perdita dovuta all'efficienza dell'inverter in funzione, ovvero, la percentuale di energia disponibile in corrente continua che viene immessa in rete in corrente alternata.
- Perdite sugli inverter per:
 - superamento della potenza massima (P_{max}), della massima corrente in ingresso, della tensione massima (V_{max});
 - non raggiungimento della potenza minima (P_{min}), della tensione minima (V_{min});
 - Consumi notturni.

Di seguito si riporta il diagramma delle perdite dovute all'ombreggiamento tra le strutture.

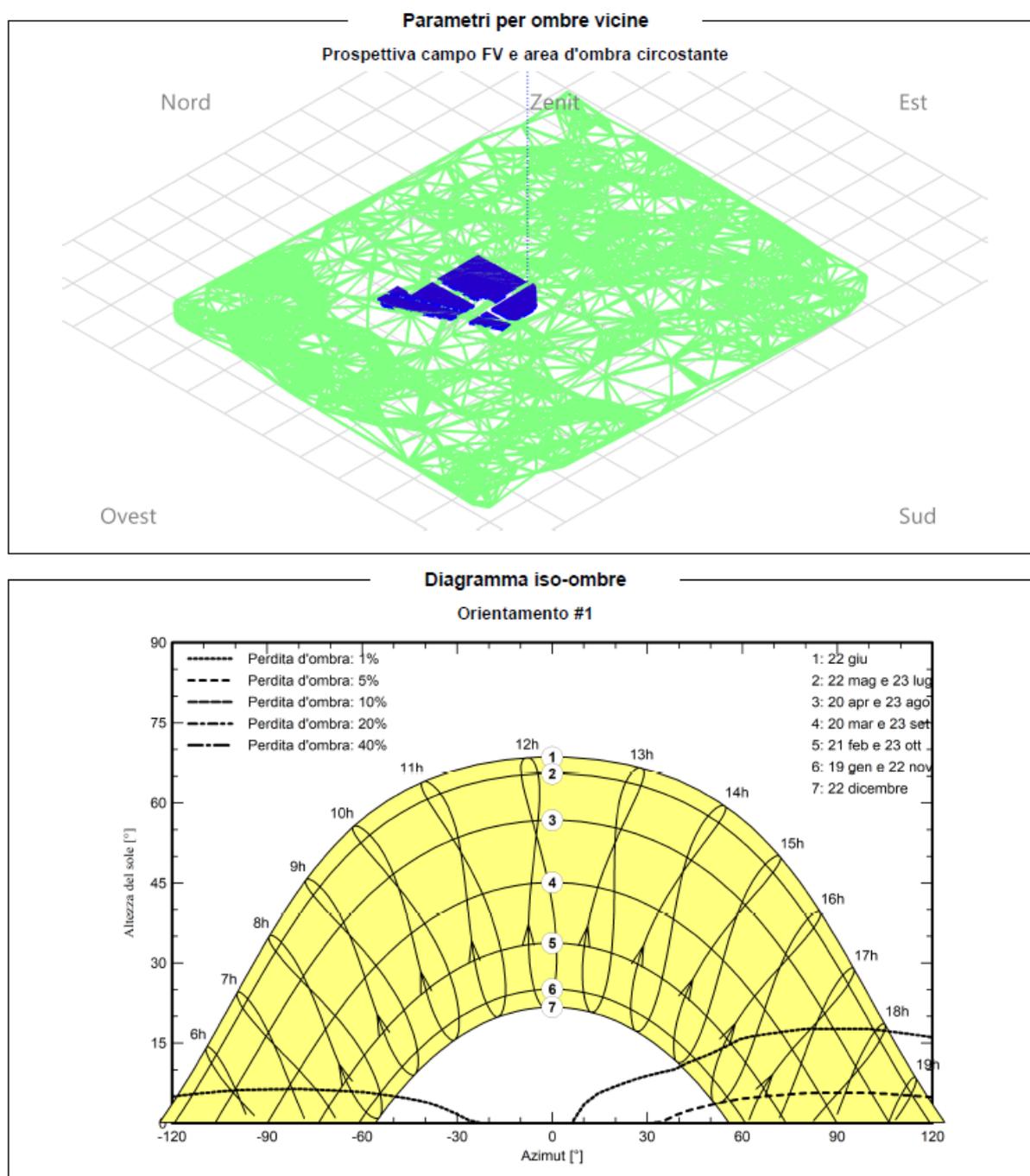


Figura 5 – Diagramma iso-ombre e scena di ombreggiamento utilizzata nel modello di calcolo

7. REPORT DI PRODUCIBILITÀ TOTALE

La stima di producibilità dell'impianto è stata eseguita con il software PVsyst, il quale consente la valutazione della produzione di energia attesa su base mensile, la valutazione delle perdite che interessano i singoli moduli e l'energia complessivamente immessa in rete al netto delle perdite.

Nelle seguenti figure e tabelle sono rappresentati i risultati della simulazione su base mensile.

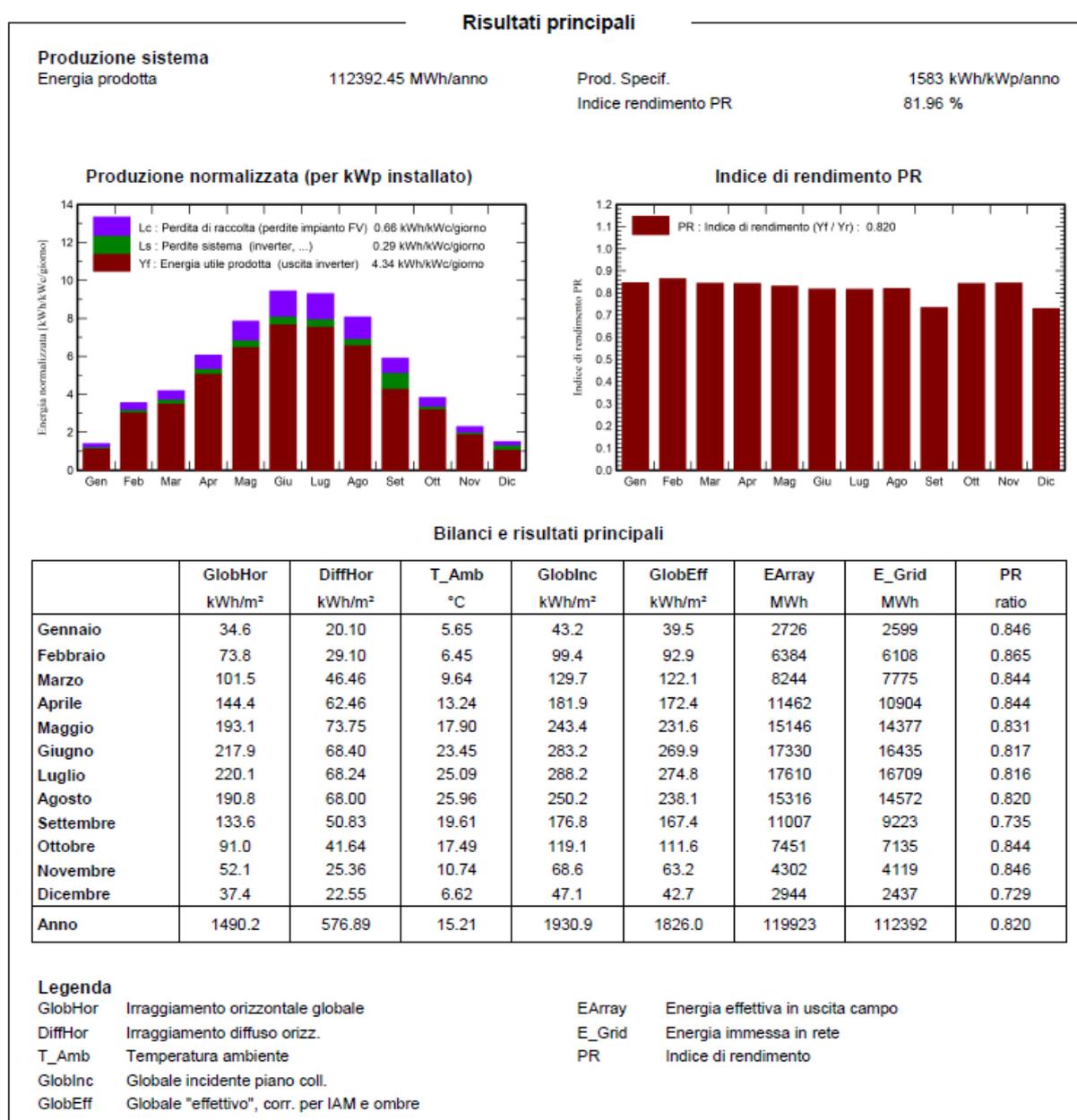


Figura 6 – Risultati dettagliati della simulazione

Nella seguente figura, invece, è mostrato il diagramma delle perdite dettagliate.

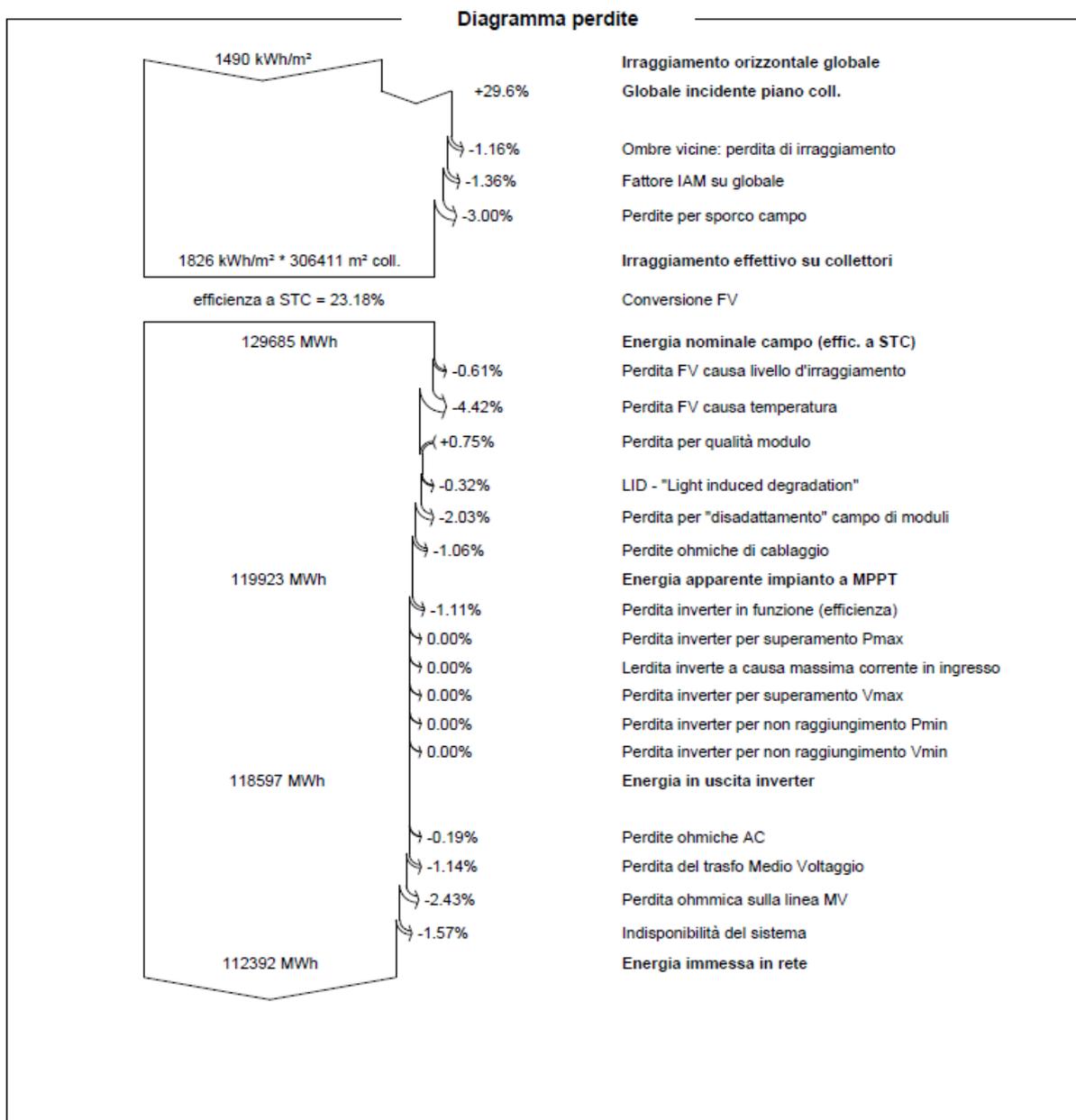


Figura 7 – Diagramma fiume delle perdite

8. CONCLUSIONI

L'impianto fotovoltaico di progetto ha una potenza complessiva di picco installata pari a **71 MWp** per una produzione di **112,39 GWh annui**, corrispondente a **1583 ore di funzionamento equivalenti annue**.

Considerando un ciclo di vita di trent'anni dei pannelli fotovoltaici ed utilizzando i dati messi a disposizione da IEA List, si stima che l'impianto fotovoltaico permetterà un risparmio di circa **1094051** tonnellate di anidride carbonica durante il corso della sua vita utile, stimata essere di 30 anni (riferimento Figura 8).

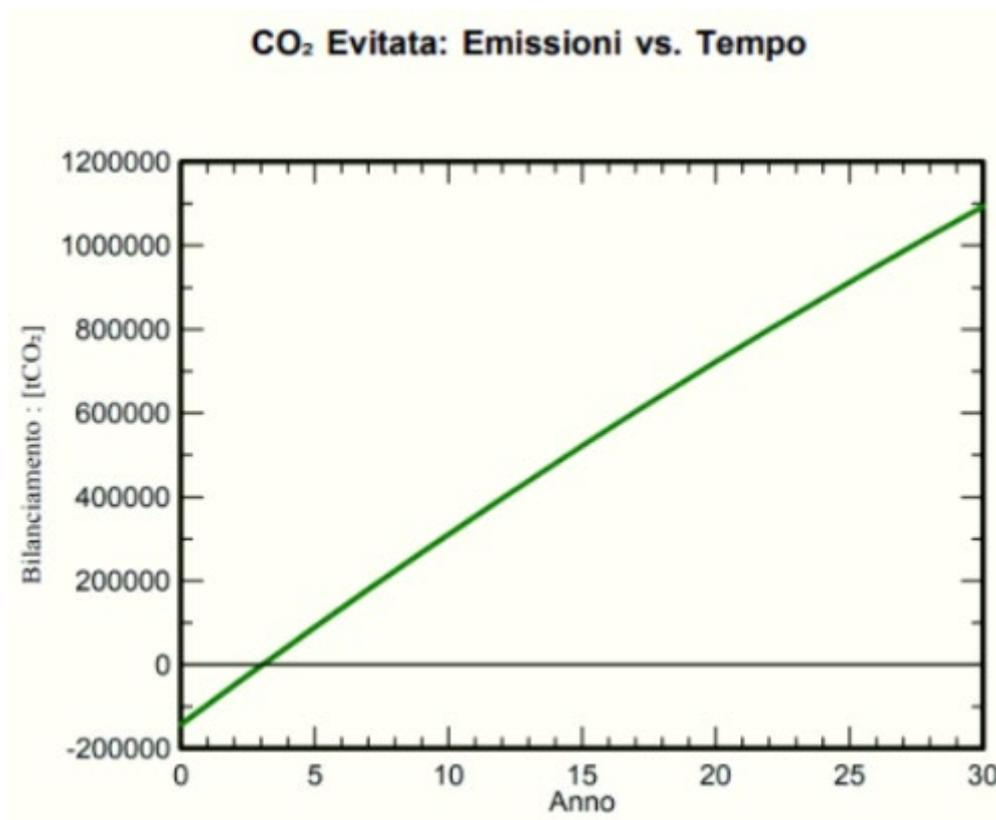


Figura 8 – Emissioni di CO₂ evitate nel tempo

Mentre in tabella, si riporta l'emissione generate per la realizzazione dell'impianto.

<i>Elemento</i>	<i>LCE Life Cycle Emission</i>	<i>Quantità</i>	<i>SubTotale [kgCO₂]</i>
<i>Moduli</i>	1.713 kgCO ₂ /kWp	71012 kWp	121623340
<i>Inverter</i>	436 kgCO ₂ /unità	300 unità	130838
<i>Altre parti di impianto</i>	4.40 kgCO ₂ /kg	4932000 kg	21711650
TOTALE			143465828