

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIREZIONE TECNICA

### S.O ENERGIA E TRAZIONE ELETTRICA

## PROGETTO DEFINITIVO

**LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO**  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
NUOVA FERMATA A SERVIZIO DELLA AREA ASI DI SALERNO.

## IMPIANTI LFM

Relazione tecnica di dimensionamento e prestazione  
dell'impianto fotovoltaico

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

NN2G 00 D 18 RH LF01A0 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificat	Data	Approva	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	F. Cerbone	12/2022	O. Di Berti	12/2022	M. Leogrande	12/2022	G. Guidi Buffarini 04/2023 ITAFERR S.p.A. U.O. Tecnologie Centro Ing. Guido Buffarini Ordine Ingegneri Provincia di Roma n° 7812
B	Emissione a seguito ODI RFI	F. Cerbone	04/2023	M. Castellani	04/2023	M. D'Avino	04/2023	

File

n. Elab.: -

## INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	NORME E LEGGI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	Norme impianti di cabina ed allacciamenti .....	5
2.2	Criteri di progetto e documentazione.....	5
2.3	Sicurezza elettrica.....	5
2.4	Norme impianti fotovoltaici.....	5
2.5	Quadri elettrici.....	6
2.6	Rete elettrica del distributore e allacciamento degli impianti.....	6
2.7	Conversione della potenza .....	7
2.8	Scariche atmosferiche e sovratensioni.....	7
2.9	Dispositivi di potenza .....	7
2.10	Compatibilità elettromagnetica .....	7
2.11	Energia solare.....	8
2.12	Prodotti da costruzione .....	8
2.13	Ministero dell'interno .....	8
2.14	Delibere per connessione .....	9
3	TERMINOLOGIA .....	10
4	SCELTE PROGETTUALI .....	11
4.1	Producibilità e ombreggiamenti .....	12
4.2	Aspetti impiantistici e di sicurezza .....	13
4.2.1	Interfacciamento con la rete .....	13
4.2.2	Scelta della tensione DC .....	13
4.2.3	Stati di funzionamento dell'impianto .....	13
4.3	Aspetti architettonici e strutturali.....	14
5	PROGETTO .....	15
5.1	Descrizione dell'impianto fotovoltaico.....	15
5.1.1	Moduli FV.....	16

5.1.2	Strutture di sostegno dei moduli .....	17
5.1.3	Dispositivo per la conversione DC/AC (inverter) .....	17
5.1.4	Cavi e cablaggi .....	19
5.1.5	Quadro Fotovoltaico (QPV) .....	20
5.1.6	Contatori di energia.....	20
5.1.7	Canalizzazioni portacavi .....	20
5.1.8	Sezione interfaccia rete .....	21
5.2	Verifica di compatibilità dei componenti .....	22
5.2.1	Verifica sulla tensione DC.....	22
5.2.2	Verifica sulla corrente DC .....	22
5.2.3	Verifica sulla potenza.....	22
5.2.4	Calcoli .....	23
5.3	Protezione contro le scariche atmosferiche.....	23
6	CALCOLO DELLA PRODUCIBILITÀ .....	24



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO**  
COMPLETAMENTO METROLOPITANA DI SALERNO  
NUOVA FERMATA A SERVIZIO DELL'AREA ASI DI SALERNO

LF00 – Nuova Fermata ASI  
Relazione tecnica impianto fotovoltaico

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN2G	00	D18RH	LF 01A0 001	B	4 di 26

## 1 PREMESSA

Lo scopo della presente relazione è quello di fornire le indicazioni preliminari per la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 8 kW<sub>p</sub>, destinato a operare in parallelo alla rete elettrica di E-distribuzione. Il campo fotovoltaico è installato sulla copertura del fabbricato tecnologico della fermata denominata ASI, nell'ambito degli interventi per la metropolitana di Salerno. I moduli saranno allocati sulla copertura piana del fabbricato con una inclinazione di circa 30° rispetto all'orizzontale e orientati a SUD. Le strutture di sostegno sono realizzate con baggioli appositamente realizzati in copertura.

Per quanto riguarda la stima di produttività si sono considerati i valori di insolazione riportati nella normativa UNI 10349-8477.

L'impianto sarà costituito dai seguenti componenti principali:

- Campo fotovoltaico
- Inverter
- Quadro di bassa tensione (Q-FV)

Si evidenzia che i calcoli allegati sono sviluppati con programmi software dedicati, i quali utilizzano le apparecchiature elettriche delle principali ditte fornitrici, universalmente riconosciuti di elevata affidabilità e debitamente validati.

## 2 NORME E LEGGI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Norme impianti di cabina ed allacciamenti

- CEI 0-16 “Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle Imprese distributrici di energia elettrica”
- CEI 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua”
- Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata  
CEI 11-20: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria;

### 2.2 Criteri di progetto e documentazione

- CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici

### 2.3 Sicurezza elettrica

- CEI 11-27 Lavori su impianti elettrici
- CEI 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua”
- CEI 64-14 Guida alla verifica degli impianti elettrici utilizzatori
- IEC/TS 60479-1 Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects
- IEC 60364-7-712 Electrical installations of buildings – Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems
- CEI EN 60529 (70-1) Gradi di protezione degli involucri (codice IP)

### 2.4 Norme impianti fotovoltaici

- IEC/TS 61836 Solar photovoltaic energy systems - Terms and symbols CEI EN 50380 (82-22) Fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici
- CEI EN 61173 (82-4) Protezione contro le sovratensioni dei sistemi fotovoltaici (FV) per la produzione di energia – Guida
- CEI EN 61215 (82-8) Moduli fotovoltaici in Silicio cristallino per applicazioni terrestri – Qualifica del progetto e omologazione del tipo
- CEI EN 61277 (82-17) Sistemi fotovoltaici (FV) di uso terrestre per la generazione di energia elettrica – Generalità e guida
- CEI EN 61727 (82-9) Sistemi fotovoltaici (FV) - Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo alla rete
- CEI EN 61829 (82-16) Schiere di moduli fotovoltaici (FV) in Silicio cristallino – Misura sul campo delle caratteristiche I-V

- CEI EN 62093 (82-24) Componenti di sistemi fotovoltaici - moduli esclusi (BOS) - Qualifica di progetto in condizioni ambientali naturali
- CEI EN 60904-1: Dispositivi fotovoltaici Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche tensione-corrente;
- CEI EN 60904-2: Dispositivi fotovoltaici - Parte 2: Prescrizione per le celle fotovoltaiche di riferimento;
- CEI EN 60904-3: Dispositivi fotovoltaici - Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento;

## 2.5 Quadri elettrici

- CEI EN 61439-1: "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione"
- CEI 23-51 Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare

## 2.6 Rete elettrica del distributore e allacciamento degli impianti

- CEI 0-16 "Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle Imprese distributrici di energia elettrica"
- CEI 82-25 "Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione"
- CEI 82-25;V1 "Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione - Variante"
- CEI 82-25;V2 "Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione - Variante"
- Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) Messa a terra degli impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- CEI 11-17 Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo
- CEI 11-20 Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria
- CEI 11-20;V1 Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria – Variante
- CEI EN 50110-1 (11-48) Esercizio degli impianti elettrici
- CEI EN 50160 (110-22) Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione dell'energia elettrica

## 2.7 Conversione della potenza

- CEI 22-2 Convertitori elettronici di potenza per applicazioni industriali e di trazione
- CEI EN 60146-1-1 (22-7) Convertitori a semiconduttori – Prescrizioni generali e convertitori commutati dalla linea – Parte 1-1: Specifiche per le prescrizioni fondamentali
- CEI EN 60146-1-3 (22-8) Convertitori a semiconduttori – Prescrizioni generali e convertitori commutati dalla linea – Parte 1-3: Trasformatori e reattori
- CEI UNI EN 45510-2-4 Guida per l'approvvigionamento di apparecchiature destinate a centrali per la produzione di energia elettrica – Parte 2-4: Apparecchiature elettriche – Convertitori statici di potenza

## 2.8 Scariche atmosferiche e sovratensioni

- CEI 81-8 Guida d'applicazione all'utilizzo di limitatori di sovratensioni sugli impianti elettrici utilizzatori di bassa tensione
- CEI EN 61643-11 (37-8) Limitatori di sovratensioni di bassa tensione – Parte 11: Limitatori di sovratensioni connessi a sistemi di bassa tensione – Prescrizioni e prove

## 2.9 Dispositivi di potenza

- CEI EN 50123 (serie) (9-26 serie) Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Apparecchiatura a corrente continua
- CEI EN 60898-1 (23-3/1) Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari – Parte 1: Interruttori automatici per funzionamento in corrente alternata
- CEI EN 60947-4-1 (17-50) Apparecchiature a bassa tensione – Parte 4-1: Contattori ed avviatori – Contattori e avviatori elettromeccanici

## 2.10 Compatibilità elettromagnetica

- CEI 110-26 Guida alle norme generiche EMC
- CEI EN 50082-1 (110-8) Compatibilità elettromagnetica – Norma generica sull'immunità – Parte 1: Ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera
- CEI EN 50263 (95-9) Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Norma di prodotto per i relè di misura e i dispositivi di protezione
- CEI EN 60555-1 (77-2) Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili – Parte 1: Definizioni
- CEI EN 61000-2-2 (110-10) Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 2-2: Ambiente – Livelli di compatibilità per i disturbi condotti in bassa frequenza e la trasmissione dei segnali sulle reti pubbliche di alimentazione a bassa tensione

- CEI EN 61000-2-4 (110-27) Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 2-4: Ambiente – Livelli di compatibilità per disturbi condotti in bassa frequenza negli impianti industriali
- CEI EN 61000-3-2 (110-31) Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 3-2: Limiti – Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso  $\leq 16$  A per fase)
- CEI EN 61000-3-3 (110-28) Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 3: Limiti – Sezione 3: Limitazione delle fluttuazioni di tensione e del flicker in sistemi di alimentazione in bassa tensione per apparecchiature con corrente nominale  $< 16$  A e non soggette ad allacciamento su condizione
- CEI EN 61000-3-12 (210-81) Compatibilità elettromagnetica (EMC) – Parte 3-12: Limiti – Limiti per le correnti armoniche prodotte da apparecchiature collegate alla rete pubblica a bassa tensione aventi correnti di ingresso  $> 16$  A e  $\leq 75$  A per fase.
- CEI EN 61000-6-1 (210-64) Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-1: Norme generiche - Immunità per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera
- CEI EN 61000-6-2 (210-54) Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-2: Norme generiche – Immunità per gli ambienti industriali
- CEI EN 61000-6-3 (210-65) Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-3: Norme generiche - Emissione per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera
- CEI EN 61000-6-4 (210-66) Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-4: Norme generiche

## 2.11 Energia solare

- UNI 8477 Energia solare – Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia – Valutazione dell'energia raggiante ricevuta
- UNI EN ISO 9488 Energia solare - Vocabolario
- UNI 10349 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici

## 2.12 Prodotti da costruzione

- Regolamento CPR (UE 305/2011) relativamente ai cavi elettrici
- Decreto legislativo n.106/2017 "Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento UE n.305/2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CE"

## 2.13 Ministero dell'interno

- Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici - DCPREV, prot.5158 - Edizione 2012.



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO**  
COMPLETAMENTO METROLOPITANA DI SALERNO  
NUOVA FERMATA A SERVIZIO DELL'AREA ASI DI SALERNO

LF00 – Nuova Fermata ASI  
Relazione tecnica impianto fotovoltaico

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN2G	00	D18RH	LF 01A0 001	B	9 di 26

- Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici - Nota DCPREV, prot.1324 - Edizione 2012. Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici - Chiarimenti alla Nota DCPREV, prot.1324 "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici – Edizione 2012"

#### 2.14 Delibere per connessione

- Delibera ARG-elt n. 33-08: condizioni tecniche per la connessione alle reti di distribuzione dell'energia elettrica a tensione nominale superiore ad 1 kV.
- Delibera ARG-elt n.119-08: disposizioni inerenti l'applicazione della delibera dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas ARG/elt 33/08 e delle richieste di deroga alla norma CEI 0-16, in materia di connessioni alle reti elettriche di distribuzione con tensione maggiore di 1 kV. Deliberazione 84/2012/R/EEL 8 marzo 2012: interventi urgenti relativi agli impianti di produzione di energia elettrica, con particolare riferimento alla generazione distribuita, per garantire la sicurezza del sistema elettrico nazionale.
- ARERA - TESTO UNICO RICOGNITIVO DELLA PRODUZIONE ELETTRICA - rev 5 settembre 2019
- Allegato A alla delibera ARG/elt 99/08, come modificato dall'Allegato A alla deliberazione ARG/elt 125/10 recante "Testo integrato delle condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica (Testo integrato delle connessioni attive – TICA)"
- Delibera 595/2014/R/EEL: regolazione del servizio di misura dell'energia elettrica prodotta

### 3 TERMINOLOGIA

- *Cella fotovoltaica*: Dispositivo semiconduttore che genera elettricità quando è esposto alla luce solare.
- *Modulo fotovoltaico*: Assieme di celle fotovoltaiche elettricamente collegate e protette dagli agenti atmosferici, anteriormente mediante vetro e posteriormente con vetro e/o materiale plastico. Il bordo esterno è protetto da una cornice in alluminio anodizzato.
- *Pannello fotovoltaico*: Un gruppo di moduli fissati su un supporto metallico.
- *Stringa fotovoltaica*: Un gruppo di moduli elettricamente collegati in serie. La tensione di lavoro dell'impianto è quella determinata dal carico elettrico "equivalente" visto dai morsetti della stringa.
- *Campo fotovoltaico*: Un insieme di stringhe collegate in parallelo e montate su strutture di supporto, generalmente realizzate con profilati in acciaio zincato.
- *Corrente di cortocircuito di un modulo o di una stringa*: Corrente erogata in condizioni di cortocircuito, ad una particolare temperatura e radiazione solare.
- *Tensione a vuoto di un modulo o di una stringa*: Tensione generata ai morsetti a circuito aperto, ad una particolare temperatura e radiazione solare.
- *Caratteristica corrente - tensione di un modulo o di una stringa*: Corrente erogata ad una particolare temperatura e radiazione, tracciata quale funzione della tensione di uscita.
- *Potenza massima di un modulo o di una stringa*: Potenza erogata, ad una particolare temperatura e radiazione, nel punto della caratteristica corrente - tensione dove il prodotto corrente - tensione ha il valore massimo.
- *Condizioni standard di funzionamento di un modulo o di una stringa*: Un modulo opera alle "condizioni standard" quando la temperatura delle giunzioni delle celle è 25 °C, la radiazione solare è 1.000 W/m<sup>2</sup> e la distribuzione spettrale della radiazione è quella standard (AM 1,5).
- *Condizioni operative di funzionamento di un modulo o di una stringa*: Un modulo lavora in "condizioni operative" quando la temperatura ambiente è di 20°C, la radiazione di 800 W/m<sup>2</sup> e la velocità del vento di 1 m/s.
- *Potenza di picco*: Potenza erogata nel punto di potenza massima alle condizioni standard
- *Efficienza di conversione di un modulo*: Rapporto tra la potenza massima del modulo ed il prodotto della sua superficie per la radiazione solare, espresso come percentuale.
- *Convertitore cc/ca (Inverter)*: Convertitore statico in cui viene effettuata la conversione dell'energia elettrica da continua ad alternata, tramite un trasformatore e un ponte a semiconduttori, opportuni dispositivi di controllo, che permettono di ottimizzare il rendimento del campo fotovoltaico.
- *Ottimizzatore*: apparecchio che viene installato sul retro di un pannello solare fotovoltaico. Ha la funzione di far dialogare il singolo modulo con l'inverter e lo rende indipendente dagli altri. L'ottimizzatore permette di avere il continuo monitoraggio, anche in tempo reale, del funzionamento del singolo modulo FV.

#### 4 SCELTE PROGETTUALI

Ai fini di un corretto funzionamento di un impianto fotovoltaico e dell'ottimizzazione dei rendimenti, la fase progettuale gioca un ruolo fondamentale. Infatti, scegliere in maniera corretta la struttura dell'impianto e le caratteristiche dei suoi componenti è determinante per ottimizzare la produzione di energia, limitando i fuori servizi, e aumentare, di conseguenza, la redditività dell'investimento.

Quindi i punti fondamentali sui quali focalizzare l'attenzione in questa fase di progetto sono:

- **Scelta dei componenti:** la scelta delle apparecchiature idonee alle esigenze dell'impianto che si va a progettare è stata effettuata basandosi sull'esperienza di progettazione acquisita negli anni e dalle apparecchiature che il mercato, in continua evoluzione, offre. Il primo passo è stato quello di scegliere il modulo fotovoltaico più adatto alla realizzazione del presente progetto in relazione alle caratteristiche architettoniche del tetto di installazione, andando a verificare le dimensioni, la potenza, le prestazioni e tutte le garanzie che la casa produttrice offre (rendimento, la durata negli anni, garanzia contro i difetti di fabbrica, ecc.). Il modulo fotovoltaico scelto ha tutte le caratteristiche fisiche, meccaniche ed elettriche in regola per soddisfare le esigenze di progetto al fine di raggiungere l'obiettivo di potenza da installare con la maggiore produzione annua di energia. I dettagli tecnici relativi al modulo fotovoltaico scelto sono riportati nei paragrafi successivi.

Individuato il modulo fotovoltaico, il passaggio seguente è stato la scelta dell'inverter tra un'ampia gamma che il mercato propone con caratteristiche pressoché simili in termini di potenza, efficienza, rendimento e garanzie. L'indagine ha portato all'individuazioni di un modello di inverter con 2 MPPT indipendenti e un'efficienza che raggiunge il 97,8%. Un inverter progettato per uso commerciale che ha una buona capacità di controllare le prestazioni dei pannelli fotovoltaici, specialmente durante periodi di condizioni ambientali variabili. L'inverter scelto ha una doppia sezione di ingresso con inseguimento MPPT indipendente, che consente una ottimale raccolta di energia anche nel caso di stringhe orientate in direzioni diverse. Per tali caratteristiche dell'inverter scelto, per le caratteristiche architettoniche del luogo di installazione e per la modesta dimensione dell'impianto da realizzare non si prevede l'impiego degli ottimizzatori, che sono particolarmente adatti nel caso in cui i moduli non abbiano tutti la stessa esposizione oppure ci siano problemi di ombra che possano far diminuire la producibilità di tutta una stringa.

- **Scelta della Struttura:** la scelta della struttura di sostegno dei moduli fotovoltaici è stata fatta in funzione dei moduli e alle caratteristiche architettoniche del manufatto che ospiterà l'impianto fotovoltaico. Pertanto architettonicamente saranno realizzati baggioli sulla copertura piana del manufatto che ospita l'impianto fotovoltaico che consentiranno l'esposizione a SUD

dell'impianto con una inclinazione di circa 30° e nessuna perforazione del solaio per l'ancoraggio. Tale disposizione consente di realizzare 2 stringhe con 15 moduli ciascuna con lo stesso orientamento ed inclinazione. Il dimensionamento dei baggioli su cui saranno montati i moduli e le verifiche strutturali per il maggior peso gravante sulla copertura del fabbricato esulano dal presente progetto.

- Dimensionamento di massima: la scelta della potenza del modulo (400W) e dell'inverter (10 kW) è stata fatta in relazione alla potenza da installare (8 kW), infatti con il poco spazio a disposizione con un modulo di quella potenza è possibile raggiungere l'obiettivo di potenza prefissato (minimo 4 kW in accordo al Dlgs 199/2021). La taglia dell'inverter è tale da avere una macchina che lavora a pieno delle sue capacità, correttamente bilanciata rispetto alla potenza di picco dei moduli. Tutti ciò ha permesso di ottimizzare il rapporto qualità/prezzo anche in relazione delle caratteristiche architettoniche del luogo di installazione.

#### 4.1 Producibilità e ombreggiamenti

Dal punto di vista energetico, il criterio utilizzato nella scelta dell'esposizione dei generatori fotovoltaici (insieme di moduli e relative strutture di sostegno di un impianto fotovoltaico) è quello di massimizzare la quantità di energia solare raccolta su base annua. Generalmente, l'esposizione ottimale si ha scegliendo per i moduli un orientamento a Sud ed una inclinazione rispetto al piano orizzontale leggermente inferiore al valore della latitudine del sito di installazione (tipicamente da 5° a 10° in meno della latitudine, in funzione del rapporto tra la radiazione annua diffusa e quella diretta del sito).

Tuttavia dal momento che nel caso dell'impianto in oggetto l'orientamento e l'inclinazione dei moduli sono soggetti a vincoli architettonici del fabbricato, il generatore fotovoltaico presenta la seguente esposizione:

- Azimut: 113°
- Tilt: 26°

Al fine di smaltire agevolmente il calore prodotto dai moduli causato dall'irraggiamento solare diretto, e quindi di limitare le perdite per temperatura, si dovrà favorire la circolazione d'aria fra la parte posteriore dei moduli e la superficie su cui essi sono posati. A tale scopo sono state appositamente realizzate sui parapetti della copertura delle aperture a rompi tratta della muratura, per favorire tale ricircolo di aria.

Le caratteristiche elettriche dei moduli (corrente di cortocircuito e corrente alla massima potenza) che fanno parte della stessa stringa saranno simili tra loro nel range e con le tolleranze previste dai pannelli di fascia di qualità alta.



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO**  
COMPLETAMENTO METROLOPITANA DI SALERNO  
NUOVA FERMATA A SERVIZIO DELL'AREA ASI DI SALERNO

LF00 – Nuova Fermata ASI  
Relazione tecnica impianto fotovoltaico

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN2G	00	D18RH	LF 01A0 001	B	13 di 26

Le caratteristiche elettriche delle stringhe (tensione a vuoto e tensione alla massima potenza) che fanno parte dello stesso campo fotovoltaico saranno simili tra loro in modo da limitare le perdite di potenza per mismatching di tensione.

Il dimensionamento delle condutture elettriche è stato fatto in modo da limitare le cadute di tensione al massimo entro il 2,5 % della tensione nominale del circuito, ma anche di assicurare una durata di vita delle condutture pari almeno a quella dell'impianto (30 anni) tenendo conto delle particolari condizioni di posa delle stesse.

La scelta della tensione dei generatori fotovoltaici è stata fatta in modo da ridurre le correnti in gioco e quindi le perdite di potenza per effetto Joule.

Nel caso degli impianti in oggetto non esistono fenomeni importanti di ombreggiamento.

## **4.2 Aspetti impiantistici e di sicurezza**

### *4.2.1 Interfacciamento con la rete*

L'energia elettrica prodotta verrà totalmente immessa e ceduta alla rete. Il collegamento con la rete di distribuzione (BT a 400V) dovrà essere conforme a quanto specificato nelle norme CEI 0-21 e CEI 82-25.

### *4.2.2 Scelta della tensione DC*

La tensione del generatore fotovoltaico (tensione DC) è stata scelta in base al tipo di moduli e di inverter che si prevede verranno utilizzati. In particolare, poiché la tensione DC è influenzata dalla temperatura delle celle e dall'irraggiamento solare, per un corretto accoppiamento tra generatore fotovoltaico e gruppo di conversione, la tensione del generatore fotovoltaico è stata scelta in modo che le sue variazioni siano sempre contenute all'interno della finestra di tensione ammessa dagli inverter.

Inoltre, si è scelta una tensione DC in modo che il suo valore massimo non superi mai la tensione massima di sistema del modulo fotovoltaico, pena la distruzione del modulo stesso. Il valore massimo della tensione DC si ha in condizioni di alto irraggiamento solare, bassa temperatura di cella e in condizioni di circuito aperto.

### *4.2.3 Stati di funzionamento dell'impianto*

L'impianto di produzione di energia elettrica da fotovoltaico, oggetto della presente relazione, produrrà energia che sarà totalmente ceduta alla rete elettrica nazionale senza autoconsumo.

L'impianto FV avrà un suo contatore (unico) di produzione e consegna ad ENEL mentre il sito di installazione (PT) e la Stazione saranno alimentati separatamente, tramite una consegna in MT da rete e tramite una cabina



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO**  
COMPLETAMENTO METROLOPITANA DI SALERNO  
NUOVA FERMATA A SERVIZIO DELL'AREA ASI DI SALERNO

LF00 – Nuova Fermata ASI  
Relazione tecnica impianto fotovoltaico

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN2G	00	D18RH	LF 01A0 001	B	14 di 26

MT/BT di utente si fornirà l'energia in BT a tutto l'impianto di stazione metropolitana e di posto tecnologico, al riscaldamento deviatore (Metro e LS), al sistema di illuminazione parcheggio e alle necessarie alimentazioni aggiuntive di adeguamento a STI della stazione esistente sulla LS, ma nessuno di questi carichi verrà alimentato dall'impianto FV. Dall'impianto BT di Stazione nessuna alimentazione sarà derivata per il funzionamento dell'impianto FV. I due impianti sono completamente separati.

L'impianto non potrà mai funzionare in isola e non sono previsti carichi privilegiati alimentati dall'impianto. Pertanto se si manifestano fuori servizio della rete ENEL interverranno le protezioni dell'impianto isolandolo dal sistema BT.

#### **4.3 Aspetti architettonici e strutturali**

L'impianto fotovoltaico è dimensionato in modo tale da rispondere ai requisiti strutturali, funzionali ed architettonici richiesti dall'installazione stessa.

Il parapetto del Posto Tecnologico presenta aperture che favoriscono il ricircolo d'aria sulla copertura e favorendo la temperatura di lavoro dei pannelli.

La copertura presenta dei baggioli idonei al fissaggio delle strutture metalliche alla copertura. La soluzione scelta evitando di vincolare il campo solare con zavorre a gravità, evita l'impiego di tiranti di fissaggio obbligatori nel caso si fosse usata la soluzione a zavorre.

Il collegamento dei cavi in c.c. agli inverter situati in un apposito locale sottostante è assicurato da idonei camini per la discesa dei conduttori.

L'accesso alla copertura per le manutenzioni è assicurato da idonea scala esterna.

## 5 PROGETTO

I dati generali di progetto sono di seguito riportati e riguardano il sito di installazione, l'irraggiamento medio mensile sul piano e i dati sulla fornitura elettrica.

<b>Caratteristiche sito di installazione</b>	
Località	Salerno
Vincoli	Nessuno
Latitudine	40° 40' Nord
Longitudine	14° 46' Est
Altitudine	25 m.s.l.m.
Irraggiamento annuale	1.612,18 kWh/m <sup>2</sup>

<b>Fornitura elettrica</b>	
Gestore di Rete	ENEL Distribuzione
Fornitura	BT
Tipologia	Trifase
Tensione di alimentazione	400 V

### 5.1 Descrizione dell'impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 8 kWp non verrà collegato al QGT di fermata, bensì a un quadro bt (QPV) dedicato e l'energia prodotta verrà totalmente immessa in rete. La disposizione dei moduli avverrà come descritto negli elaborati di progetto, orientati a sud con un angolo di tilt di 26° circa.

L'impianto è caratterizzato da un unico campo fotovoltaico costituito da 20 moduli in silicio monocristallino da 400 Wp ciascuno. I moduli di tale campo sono connessi in 2 stringhe da 10 moduli ciascuna, le quali a loro volta sono connesse ai canali dell'inverter. La struttura dell'impianto è meglio definita negli elaborati grafici.

I componenti sono:

- Moduli FV da 400 Wp in silicio monocristallino europeo (marchio CE)
- Inverter con Pn=8 kW, 2 MPPT indipendenti, dotato di sezionatori e di sistemi di protezione dalle sovracorrenti (fusibili) e dalle sovratensioni (scaricatori) sia lato DC che lato AC. Se tali sezionatori e protezioni non sono fornite con gli inverter devono essere previsti in quadri appositi. I sezionatori lato DC devono essere di tipo adatto per correnti continue (DC21B);
- Quadro a servizio del fotovoltaico (Q\_PV) contenente i dispositivi di generatore (DDG) ed il dispositivo di interfaccia (DDI).

Nella seguente tabella sono riassunte le caratteristiche salienti dell'impianto in oggetto:

<b>Caratteristiche impianto fotovoltaico</b>	
Numero complessivo di moduli FV:	20
Potenza singolo modulo FV:	400 Wp
Picco di potenza intero impianto (lato DC):	8 kWp
Numero di inverter FV:	1

Nel seguito verranno meglio descritte le caratteristiche dei componenti.

#### 5.1.1 Moduli FV

In tabella sono riportate le caratteristiche tecniche in condizioni di test standard (STC: 1000 W/m<sup>2</sup> @ 25°C):

<b>Caratteristiche tecniche moduli fotovoltaici</b>	
Potenza nominale	400 Wp
Tipo di cella	Silicio monocristallino europeo
Tensione a circuito aperto (V <sub>OC</sub> )	37,16 V
Tensione alla max. potenza (V <sub>MPP</sub> )	40,8 V
Corrente di corto circuito (I <sub>SC</sub> )	13,54 A
Corrente alla max. potenza (I <sub>MPP</sub> )	12,90 A
Efficienza del modulo	20,8 %

Temperatura di lavoro	-40 / 85 °C
Variazione termica corrente di cortocircuito	0,04%/°C
Variazione termica tensione a vuoto	- 0,27%/°C
Variazione termica massima potenza	- 0.34%/°C
Tensione massima di sistema	1000 V
Diodi di bypass	3
Certificazioni	IEC/EN 61215 Ed. 2 IEC/EN 61730

### 5.1.2 Strutture di sostegno dei moduli

La struttura di sostegno dei moduli fotovoltaici sarà realizzata mediante ancoraggio permanente e rigido ai baggioli in cls appositamente creati sulla copertura per evitare ogni perforazione dell'isolamento. Il dimensionamento dei baggioli su cui saranno montati i moduli e le verifiche strutturali per il maggior peso gravante sulla copertura del fabbricato esulano dal presente progetto.

### 5.1.3 Dispositivo per la conversione DC/AC (inverter)

Il gruppo di conversione dell'impianto fotovoltaico in oggetto è costituito da n. 1 inverter trifase per una potenza nominale di 10 kVA. L'inverter sarà costituito da un ponte di conversione DC/AC e da un insieme di componenti quali dispositivi di protezione contro guasti interni e contro le sovratensioni, e da filtri che rendono il gruppo idoneo al trasferimento della potenza dal generatore fotovoltaico alla rete elettrica in corrente alternata in conformità ai requisiti normativi tecnici e di sicurezza applicabili.

Le principali caratteristiche tecniche dell'inverter sono di seguito riassunte:

<b>Caratteristiche tecniche inverter</b>	
Potenza nominale in uscita	~ 10 kVA @ $\cos\varphi=1$
Efficienza max.	97,8%
Efficienza europea	97,2%
Potenza nominale DC in ingresso	~ 10,2 kW

Numero di MPPT indipendenti	2
Stringhe per MPPT	1
Min. tensione MPPT	320 V
Max. tensione MPPT	800 V
Max tensione in ingresso	1000 V
Max corrente in ingresso	20 A / 12 A
Max corrente in ingresso per ogni MPPT	18 A
Tensione nominale di uscita	400 V
Max corrente in uscita	20 A
Frequenza nominale in uscita	50-60 Hz
THD (Distorsione Armonica Totale di Corrente)	≤ 2%
Protezioni di ingresso (DC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protezione da inversione di polarità</li> <li>- Protezione da sovratensione con scaricatore</li> <li>- Monitoraggio della dispersione verso terra e monitoraggio della rete</li> <li>- Monitoraggio delle correnti di guasto</li> <li>- Sezionatore DC</li> <li>- Fusibili</li> </ul>
Protezioni di uscita (AC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protezione da sovratensione con scaricatore</li> <li>- Sezionatore AC</li> <li>- Resistenza ai cortocircuiti lato alternata</li> </ul>
Interfaccia utente	WLAN
Temperatura di funzionamento	-25 ÷ 60 °C
Grado di protezione	IP65
Livello di isolamento	Classe I
Principali norme EMC e di sicurezza	EN 50178, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, AS/NZS 3100, AS/NZS 60950.1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO</b> COMPLETAMENTO METROLOPITANA DI SALERNO NUOVA FERMATA A SERVIZIO DELL'AREA ASI DI SALERNO					
LF00 – Nuova Fermata ASI Relazione tecnica impianto fotovoltaico	COMMESSA NN2G	LOTTO 00	CODIFICA D18RH	DOCUMENTO LF 01A0 001	REV. B	FOGLIO 19 di 26

Tale inverter è conforme alla direttive nazionali ed europee per la sicurezza e l'immissione in rete degli impianti fotovoltaici, comprese le direttive ENEL DK5940 e DK5950, norme CEI e successive modifiche e integrazioni.

#### 5.1.4 Cavi e cablaggi

Per l'interconnessione dei vari elementi dell'impianto fotovoltaico dovrà essere utilizzato cavo di tipo H1Z2Z2-K LSZH conforme al CPR 305/2011, di colore rosso e nero. Il cavo è adatto per installazione fissa all'esterno ed all'interno, senza necessaria protezione entro tubazioni in vista o incassate, o sistemi chiusi simili. Il cavo è adatto anche per la posa direttamente interrata o tubo interrato secondo le prescrizioni della Norma CEI 20-17. Il cavo possiede la caratteristica di non propagazione della fiamma secondo la CEI 20-35/1-2 (EN 60332-1-2), di bassa emissione dei fumi CEI EN 61034-2 e gas tossici CEI 20-37/4/0. I componenti non metallici sono privi di alogeni secondo le Norme CEI 20-37/2-1 (EN 50267-2-1) e CEI 20-37/2-2 (EN 50267-2-2).

Per il collegamento tra l'inverter e il Q\_PV verrà utilizzato un cavo FG16(O)M16.

Per non compromettere la sicurezza di chi opera sull'impianto durante la verifica o l'adeguamento o la manutenzione, i conduttori avranno la seguente colorazione:

- Conduttori di protezione: giallo-verde (obbligatorio)
- Conduttore di neutro: blu chiaro (obbligatorio)
- Conduttore di fase: grigio / marrone
- Conduttore per circuiti DC: rosso/nero (chiaramente siglato con indicazione del positivo con "+" e del negativo con "-").

Saranno dettagliate tutte le condutture elettriche presenti nell'impianto. In particolare, per ciascuna di esse, verranno riportate la sigla, la descrizione, la formazione, il tipo di posa, la lunghezza e la sezione dei cavi, la tipologia e la caduta di tensione percentuale. A tal proposito, la caduta di tensione totale, valutata dal modulo fotovoltaico più lontano fino all'ingresso in corrente continua del convertitore dovrà essere mantenuta entro il 2%. Le sezioni dei cavi saranno determinate inoltre in modo da assicurare una durata di vita soddisfacente dei conduttori e degli isolamenti sottoposti agli effetti termici causati dal passaggio della corrente per periodi prolungati ed in condizioni ordinarie di esercizio. Il cablaggio fra i moduli fotovoltaici sarà realizzato mediante appositi connettori. I cavi a formare le stringhe saranno, se necessario, fissati alla struttura di sostegno mediante fascette.

Tutti gli organi di manovra sono interni e garantiscono il distacco automatico con sezionamento in caso di mancanza rete ed il riallaccio automatico al ripristino della rete.

L'equipotenzialità dei componenti sarà garantita mediante giunzioni meccaniche e cavallotti di messa a terra. Gli elementi saranno collegati alla rete di terra esistente mediante corda di rame di opportuna sezione.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO</b> COMPLETAMENTO METROLOPITANA DI SALERNO NUOVA FERMATA A SERVIZIO DELL'AREA ASI DI SALERNO					
LF00 – Nuova Fermata ASI Relazione tecnica impianto fotovoltaico	COMMESSA NN2G	LOTTO 00	CODIFICA D18RH	DOCUMENTO LF 01A0 001	REV. B	FOGLIO 20 di 26

### 5.1.5 Quadro Fotovoltaico (QPV)

Sarà installato un quadro in bassa tensione all'interno del fabbricato nel quale saranno installati il dispositivo d'interfaccia e tutti gli organi e dispositivi necessari a proteggere l'impianto e i suoi componenti.

I quadri elettrici dovranno avere un grado di protezione IP idoneo alla tipologia di installazione (IP65 per installazioni esterne) ed essere dotati di apposita morsettiera su cui attestare i cavi entranti ed uscenti. La morsettiera dovrà essere provvista di morsetto di terra al quale collegare tutte le masse interne al quadro per il loro collegamento a terra. I quadri dovranno preferibilmente essere fissati a parete e possibilmente non saranno esposti alla radiazione solare diretta.

I quadri elettrici dovranno contenere i dispositivi di manovra, protezione che saranno scelti in funzione delle grandezze elettriche presenti nel punto di installazione. In particolare, per la sezione in corrente continua saranno utilizzati dispositivi di protezione e manovra appositamente realizzati per l'impiego in corrente continua. Non sono quindi ammessi dispositivi di protezione e manovra realizzati per l'impiego in corrente alternata a meno che il costruttore non indichi chiaramente il coefficiente di declassamento necessario per poterli utilizzare in tutta sicurezza anche in corrente continua.

La scelta del quadro, in particolare per le sue dimensioni, sarà fatta in modo che la temperatura al proprio interno non raggiunga valori tali da compromettere il buon funzionamento delle apparecchiature e dei dispositivi presenti al proprio interno.

I quadri elettrici dovranno infine riportare chiaramente ed in modo indelebile il nominativo del costruttore del quadro.

### 5.1.6 Contatori di energia

Il nuovo impianto fotovoltaico oggetto della presente relazione sarà collegato alla rete elettrica tramite un punto di consegna dedicato separato dalla fornitura che alimenta il fabbricato tecnologico. La misura dell'energia immessa in rete sarà effettuata mediante un contatore omologato E-Distribuzione. Tale contatore sarà posto in un locale accessibile sia dall'Utente che dal personale E-Distribuzione e sarà installato da E-Distribuzione S.p.A..

### 5.1.7 Canalizzazioni portacavi

Per la distribuzione ed il raccordo delle linee FV in copertura verranno previste canalizzazioni del tipo in filo di acciaio elettrozincato, senza coperchio, di idonee dimensioni, staffate mediante idonei sistemi, simili a quelle di seguito raffigurate. All'interno di tali canale potranno essere posati solo i cavi detti "solari", cioè idonei ad essere posati in aria sul tetto, quindi adatti a sopportare alte temperature e resistenti ai raggi ultravioletti.



I cavi in uscita dagli inverter saranno posati all'interno di tubi protettivi in PVC/canala portacavi staffati alle pareti del fabbricato.

#### 5.1.8 Sezione interfaccia rete

La sezione di interfaccia rete conterrà il Sistema di Protezione di Interfaccia (SPI), il dispositivo di interfaccia (DDI) e il sistema di misura dell'energia prodotta.

Il sistema di protezione di interfaccia (SPI), costituito essenzialmente da relè di frequenza e di tensione, è richiesto, secondo la norma CEI 11-20, a tutela degli impianti del Gestore di Rete in occasione di guasti e malfunzionamenti della rete pubblica durante il regime di parallelo. Il sistema di protezione di interfaccia (SPI) e il dispositivo di interfaccia (DDI) sono installati nel quadro di bassa tensione Q\_PV. Il sistema di misura dell'energia elettrica prodotta sarà collocato all'interno del Q\_PV e darà indicazione dell'energia elettrica prodotta dal generatore FV nel suo complesso.

Il Titolare dell'impianto fotovoltaico sarà responsabile dell'installazione e della manutenzione del sistema di misura dell'energia prodotta.

Il dispositivo d'interfaccia sarà installato nel quadro generale QPV con la relativa protezione. Esso sarà costituito da un contattore ed un relè di protezione. Il relè di protezione voltmetrico multifunzione è impiegato come protezione d'interfaccia in accordo alle prescrizioni della norma CEI 0-21 e a quelle ENEL. Esso comprende in un'unica apparecchiatura tutte le protezioni che ogni utente attivo, operante in parallelo con la rete BT di distribuzione pubblica, deve installare a protezione di quest'ultima.

In tal modo viene impedito che:

- per mancanza di alimentazione dalla rete di distribuzione l'autoproduttore continui ad alimentare la rete stessa con valori di tensione e frequenza non consentiti;
- in caso di guasto sulla rete di distribuzione l'autoproduttore possa continuare ad alimentare il guasto stesso;
- in caso di richiuse automatiche o manuali di interruttori del Distributore, il generatore possa trovarsi in discordanza di fase con la rete di distribuzione.

Per informazioni più dettagliate riguardo questi componenti ed i loro collegamenti si veda lo schema a blocchi dell'impianto fotovoltaico.

## 5.2 Verifica di compatibilità dei componenti

Il corretto accoppiamento tra generatore FV e Inverter è stato verificato per mezzo di software di calcolo dedicati. In particolare tali verifiche si riferiscono alla sezione in corrente continua dell'impianto fotovoltaico e riguardano:

- La verifica sulla tensione DC;
- La verifica sulla corrente DC;
- La verifica sulla potenza.

### 5.2.1 Verifica sulla tensione DC

La verifica sulla tensione DC consiste nel controllare che l'insieme delle tensioni fornite dal campo fotovoltaico sia compatibile con il campo di variazione della tensione di ingresso dell'inverter.

In altri termini è necessario calcolare la tensione minima e massima del campo fotovoltaico e verificare che la prima sia superiore alla tensione minima di ingresso ammessa dall'inverter, e la seconda sia inferiore alla tensione massima di ingresso ammessa dall'inverter.

### 5.2.2 Verifica sulla corrente DC

La verifica sulla corrente DC consiste nel controllare che la corrente di cortocircuito a STC del campo fotovoltaico sia inferiore alla massima corrente di ingresso ammessa dall'inverter.

### 5.2.3 Verifica sulla potenza

La verifica sulla potenza consiste nel controllare la potenza nominale del gruppo di conversione DC/AC (somma delle potenze nominali degli inverter) sia superiore al 75% e inferiore al 120% della potenza nominale dell'impianto fotovoltaico (somma delle potenze nominali dei moduli fotovoltaici).

### 5.2.4 Calcoli

Dai risultati del software utilizzato per il dimensionamento delle stringhe si evince che le condizioni di cui sopra sono tutte rispettate. Per comodità in tabella sono riportati gli output del software di progettazione.

#### Dati dimensionamento FV

##### Ingresso A: Generatore FV 2

10 x Hanwha Q.Cells GmbH Q.PEAK DUO M-G11 400 (08/2022), Azimut: 113 °, Inclinazione: 30 °, Tipo di montaggio: Tetto

##### Ingresso B: Generatore FV 1

10 x Hanwha Q.Cells GmbH Q.PEAK DUO M-G11 400 (08/2022), Azimut: 113 °, Inclinazione: 30 °, Tipo di montaggio: Tetto

	Ingresso A:	Ingresso B:
Numero delle stringhe:	1	1
Moduli fotovoltaici:	10	10
Picco di potenza (ingresso):	4,00 kWp	4,00 kWp
Tensione CC min. INVERSOR (Tensione di rete 230 V):	125 V	125 V
Tensione fotovoltaica tipica:	✓ 284 V	✓ 284 V
Tensione fotovoltaica min.:	271 V	271 V
Tensione CC max (Modulo FV):	1000 V	1000 V
Tensione fotovoltaica max.	✓ 397 V	✓ 397 V
Corrente d'ingresso max per l'inseguimento MPP:	20 A	12 A
Corrente max generatore:	✓ 12,7 A	✓ 12,7 A
Corrente di cortocircuito max per l'inseguimento MPP:	30 A	18 A
Corrente di cortocircuito max FV	✓ 13,4 A	✓ 13,4 A

### 5.3 Protezione contro le scariche atmosferiche

Il riferimento normativo in questo ambito sono le norme CEI 81-10 1/2/3/4 e CEI 82-4. Per proteggere il generatore fotovoltaico contro gli effetti prodotti da sovratensioni indotte a seguito di scariche atmosferiche verranno utilizzati scaricatori (SPD di classe II) posti all'interno dell'inverter e nel quadro di bassa tensione.

## 6 CALCOLO DELLA PRODUCIBILITÀ

Nel seguente capitolo si fornisce un valore della producibilità del generatore fotovoltaico in oggetto in termini di energia nella vita utile prevista dell'impianto. I valori riportati sono indicativi e si basano su valori desunti dalle normative. Si potranno evidenziare difformità rispetto ai valori reali, che potrebbero essere causate da una molteplicità di fattori esterni impossibili da prevedere in questa fase.

Dalla elaborazione dei dati si ottiene:

Calcolo irraggiamento su piano inclinato ed orientato (UNI 10349 - 8477)					
<b>Località:</b>					
<b>Salerno</b>	<b>Latitudine 40,67 Nord</b>				
<b>IRRAGGIAMENTO</b>					
		<i>MJ/mq/giorno</i>	<i>kWh/mq/giorno</i>	<i>kWh/mq/giorno</i>	
	ro	<b>Piano Orizzontale</b>	<b>Piano Orizzontale</b>	<b>Azimut= 0</b>	<b>Tilt= 30</b>
<b>GENNAIO</b>	0,25	6,90	1,92	<b>3,06</b>	
<b>FEBBRAIO</b>	0,25	9,40	2,61	<b>3,61</b>	
<b>MARZO</b>	0,25	14,00	3,89	<b>4,72</b>	
<b>APRILE</b>	0,25	18,00	5,00	<b>5,28</b>	
<b>MAGGIO</b>	0,25	21,80	6,06	<b>5,82</b>	
<b>GIUGNO</b>	0,25	23,80	6,61	<b>6,09</b>	
<b>LUGLIO</b>	0,25	23,60	6,56	<b>6,15</b>	
<b>AGOSTO</b>	0,25	20,80	5,78	<b>5,88</b>	
<b>SETTEMBRE</b>	0,25	16,10	4,47	<b>5,15</b>	
<b>OTTOBRE</b>	0,25	11,70	3,25	<b>4,39</b>	
<b>NOVEMBRE</b>	0,25	7,80	2,17	<b>3,37</b>	
<b>DICEMBRE</b>	0,25	6,10	1,69	<b>2,821</b>	
<b>Irrag. Medio giorno</b>		<b>15,00</b>	<b>4,17</b>	<b>4,70</b>	
<b>Irrag. Medio anno</b>		<b>5478,8</b>	<b>1521,9</b>	<b>1715,42</b>	

Dalla tabella si evince che l'energia solare captata mediamente dal piano orientato dei moduli fotovoltaici è  $E = 1.715,42 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ .

Il campo è costituito da 20 moduli da 400  $W_p$ :

- superficie complessiva (piano dei moduli)  $S_g = 44,16 \text{ m}^2$
- potenza nominale totale  $P_g = P_m * N_m = 400 * 20 = 8,00 \text{ kW}$

La potenza totale di picco rappresenta in pratica la potenza in corrente continua disponibile ai morsetti del generatore fotovoltaico riferita alle condizioni di irraggiamento standard STC (irraggiamento solare  $E=1.000 \text{ W/m}^2$ , temperatura delle celle fotovoltaiche  $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$ , spettro della radiazione solare  $AM=1,5$ ).

Per calcolare l'energia che il sistema è in grado di produrre con le ipotesi di rendimento e i dati di irraggiamento disponibili, occorre considerare:

- rendimento nominale  $\eta_{mod}$  di conversione dei moduli fotovoltaici;
- perdite di sistema (rendimento  $\eta_{sist}$ );
- perdite per ombreggiamenti (parametro di rettifica  $K$ ).

L'efficienza nominale  $\eta_{mod}$  (o rendimento di conversione) dei moduli fotovoltaici è data dal rapporto tra la potenza nominale del generatore fotovoltaico espressa in  $\text{kW}_p$  e la relativa superficie complessiva espressa in  $\text{m}^2$ :

$$\eta_{mod} = P_g / S_g = 0,1818$$

Nel punto di installazione del generatore fotovoltaico non è stato evidenziato alcun tipo di ombreggiamento, tale da richiedere una eventuale rettifica dell'energia solare incidente; pertanto può essere assunto  $K = 1$ . Se ne deduce quindi, che il valore indicativo del rendimento globale operativo  $\eta_g$  del sistema (o efficienza operativa annua), è pari a :

$$\eta_g = \eta_{mod} * \eta_{sist} * K = 0,1818 * 0,81 * 1 = 0,147$$

L'energia elettrica  $E_p$  annualmente producibile in corrente alternata per  $\text{m}^2$  è data da:

$$E_p = \eta_g * E_s = 0,147 * 1.715,42 = 252,16 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

dove  $E_s$  è la quantità di energia solare annualmente captata dal piano dei moduli fotovoltaici come calcolato precedentemente.

Si può pertanto stimare una produzione annua di energia elettrica  $E_1$  pari a:

$$E_1 = E_p * S_g = 252,16 * 44,16 = 11.135 \text{ kWh/anno}$$

L'energia totale  $E_{tot}$  erogabile dal sistema nella sua vita utile  $V_u$ , assunta pari a 25 anni, e, quindi, il risparmio energetico conseguibile tramite l'intervento proposto, è pari a:

$$E_{tot} = (E_1) * V_u = 11.135 * 25 * (0,992)^{25} = 277.849 \text{ kWh}$$



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO**  
COMPLETAMENTO METROLOPITANA DI SALERNO  
NUOVA FERMATA A SERVIZIO DELL'AREA ASI DI SALERNO

LF00 – Nuova Fermata ASI  
Relazione tecnica impianto fotovoltaico

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN2G	00	D18RH	LF 01A0 001	B	26 di 26

La potenza utile  $P_{ca}$  resa dal sistema fotovoltaico rappresenta la massima potenza disponibile in corrente alternata che l'impianto può immettere in rete e tiene conto delle perdite del sistema dovute al discostarsi dalle condizioni standard e alla trasformazione della corrente da continua in alternata.

Considerando quindi la somma delle perdite che si hanno tra i moduli fotovoltaici e la rete elettrica di collegamento, si può stimare un rendimento complessivo  $\eta_{sist}$  del sistema pari all' 81 %, che rappresenta praticamente il rapporto tra la massima potenza  $P_{ca}$  disponibile in corrente alternata alle utenze e la potenza totale di picco  $P_g$  del generatore fotovoltaico. I valori delle suddette perdite, che permettono di ottenere un rendimento dell'81 %, sono riassunti nella seguente tabella:

per scostamento dalla condizioni di targa dei moduli fotovoltaici per effetto della temperatura (il riscaldamento dei moduli porta ad un peggioramento delle loro prestazioni)	5%
per riflessione	2%
per effetto di mismatching (accoppiamento tra moduli fotovoltaici che hanno differenti prestazioni elettriche)	4%
dovute a resistenza elettrica dei cavi	1%
nel sistema di conversione CC/CA (valore stimato medio annuo)	6%
per polluzione sui moduli	1%

Pertanto:

$$P_{ca} = P_g * \eta_{sist} = 8 * 0,81 = 6,48 \text{ kW}$$

Mediamente nel corso dell'anno, vengono prodotti ogni giorno

$$E_d = 18.133 / 365 = 49,68 \text{ kWh/giorno}$$

Il numero medio di ore/giorno di soleggiamento sul piano dei moduli, uguale al numero medio di ore/giorno di funzionamento dell'utenza, essendo il sistema collegato alla rete, è dato da:

$$E_d / P_{ca} = 49,68 / 10,57 = 4,70 \text{ h/d}$$