



Finanziato
dall'Unione europea



Comune di Tradate

TAVOLA

02

P E I E 0 2 0 0

CODICE ELABORATO

PROGETTO ESECUTIVO

AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA, ESECUTIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE CON FACOLTA' DI AFFIDAMENTO EX ART. 63 c. 5 D.Lgs. 50/2016 DEL SERVIZIO DI DIREZIONE LAVORI E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE, RELATIVAMENTE ALL'INTERVENTO DI RIGENERAZIONE URBANA DI CAPANNONE INDUSTRIALE PER LA CREAZIONE DI UN NUOVO MUSEO DELLA MOTOCICLETTA FRERA, RISTORANTE, AULE STUDIO BIBLIOTECA PARCHEGGI E SISTEMAZIONI ESTERNE.

CIG : CUP C68I21000260001

PROGETTISTI
Arch. Giorgio Pala



Project Building Art s.r.l.

Project Building Art s.r.l.
Via Pavia, 22 - 00161 Roma
P. Iva/C.F. 10355621003
AMMINISTRATORE UNICO
Arch. Pasquale Barone

Ing. Giuseppe CERVAROLO



COLLABORATORI
Arch. Viola D'Ettore
Arch. Cecilia Marati
Arch. Paolo Monesi
Arch. Michele Preiti
Arch. Maria Simonetti
Arch. Pierette Rayes
Ing. Ilario Greco
Ing. Rosario Ierardi
Ing. Cosimo Mellone



RUP

DIREZIONE LAVORI

ELABORATO

RELAZIONE SPECIALISTICA E CALCOLO FOTOVOLTAICO

SCALA

DATA

GIUGNO 2023

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO
01	MARZO 2023	EMISSIONE PROGETTO DEFINITIVO			
02					
03					
04					

RELAZIONE DI PROGETTO

INTERVENTO DI RIGENERAZIONE URBANA DI CAPANNONE INDUSTRIALE PER LA CREAZIONE DI UN NUOVO MUSEO DELLA MOTOCICLETTA FRERA, RISTORANTE, AULE STUDIO BIBLIOTECA PARCHEGGI E SISTEMAZIONI ESTERNE.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. CARATTERISTICHE GENERALI D'IMPIANTO	7
4. PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	8
5. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI COMPONENTI	10
5.1. MODULI FOTOVOLTAICI	10
5.2. INVERTER.....	11
5.3. QUADRO SEZIONAMENTO STRINGHE	11
5.4. QUADRO FV	11
5.5. CAVI IN CORRENTE CONTINUA ED ALTERNATA.....	12
6. VERIFICA DEL CORRETTO ACCOPPIAMENTO ELETTRICO TRA GENERATORE FOTOVOLTAICO E GRUPPO DI CONVERSIONE DC/AC.....	13
6.1. VERIFICA SULLA TENSIONE DC.....	13
6.2. VERIFICA SULLA CORRENTE DC.....	13
6.3. VERIFICA SULLA POTENZA.....	14
7. CRITERI DI VERIFICA CAVI BT	15
7.1. CRITERIO DI CADUTA DI TENSIONE.....	16
7.2. CRITERIO TERMICO	16
8. DIMENSIONAMENTO LINEE ELETTRICHE	17
8.1. VERIFICA COLLEGAMENTO DELLE STRINGHE ALL'INVERTER.....	17
8.2. VERIFICA COLLEGAMENTO INVERTER – QUADRO FOTOVOLTAICO	17
8.3. VERIFICA COLLEGAMENTO QUADRO FOTOVOLTAICO-QUADRO DI IMMISSIONE IN RETE	17

1. INTRODUZIONE

La presente relazione specialistica riguarda l'installazione di un impianto fotovoltaico di potenza pari a 18,04 kWp sulla copertura del museo della moto Frera.

Verranno illustrate nel dettaglio le caratteristiche tecniche e prestazionali dei componenti, nonché i criteri di progettazione dell'impianto fotovoltaico per quanto riguarda la sicurezza, la funzionalità e l'economia di gestione.

L'impianto dovrà essere realizzato a regola d'arte, come prescritto dal DM 22/01/08 N° 37 regolamento concernente l'attuazione dell'art. 11-quaterdecies, c. 13, lett. a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici, in modo da minimizzare il rischio per l'incolumità delle persone e dei danni alle cose.

Le caratteristiche dell'impianto stesso, nonché dei suoi componenti, devono essere in accordo con le norme di legge e di regolamento vigenti ed in particolare essere conformi:

- alle prescrizioni di autorità locali, comprese quelle dei VVF;
- alle prescrizioni e indicazioni della Società distributrice di energia elettrica;
- alle norme CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano).

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Criteri di progetto e documentazione

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

Sicurezza elettrica

CEI 11-27 Lavori su impianti elettrici

CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua

CEI 64-12 Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario

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)

Norme fotovoltaiche

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 60891 (82-5) Caratteristiche I-V di dispositivi fotovoltaici in Silicio cristallino – Procedure di riporto dei valori misurati in funzione di temperatura e irraggiamento

CEI EN 60904-1 (82-1) Dispositivi fotovoltaici – Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche corrente-tensione

CEI EN 60904-2 (82-2) Dispositivi fotovoltaici – Parte 2: Prescrizione per le celle solari di riferimento

CEI EN 60904-3 (82-3) Dispositivi fotovoltaici – Parte 3: Principi di misura dei sistemi solari fotovoltaici (PV) per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento

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 61646 (82-12) Moduli fotovoltaici (FV) a film sottile per usi terrestri – Qualifica del progetto e approvazione di tipo

CEI EN 61277 (82-17) Sistemi fotovoltaici (FV) di uso terrestre per la generazione di energia elettrica – Generalità e guida

CEI EN 61345 (82-14) Prova all'UV dei moduli fotovoltaici (FV)

CEI EN 61701 (82-18) Prova di corrosione da nebbia salina dei moduli fotovoltaici (FV)

CEI EN 61724 (82-15) Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici – Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati

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 61683 (82-20) Sistemi fotovoltaici - Condizionatori di potenza - Procedura per misurare l'efficienza

CEI EN 62093 (82-24) Componenti di sistemi fotovoltaici - moduli esclusi (BOS) - Qualifica di progetto in condizioni ambientali naturali

CEI EN 62108 (CEI 82-30): Moduli e sistemi fotovoltaici a concentrazione (CPV) - Qualifica di progetto e approvazione di tipo;

Quadri elettrici

CEI EN 61439-1 (17-113) Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)
Parte 1: Regole generali

CEI EN 61439-2 (17-114) Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)
Parte 2: Quadri di potenza

CEI EN 60439-1 (17-13/1) Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) – Parte 1: Apparecchiature soggette a prove di tipo (AS) e apparecchiature parzialmente soggette a prove di tipo (ANS)

CEI EN 60439-3 (17-13/3) Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) – Parte 3: Prescrizioni particolari per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra destinate ad essere installate in luoghi dove personale non addestrato ha accesso al loro uso – Quadri di distribuzione ASD

CEI 23-51 Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare

Rete elettrica del distributore e allacciamento degli impianti

CEI 11-1 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 0-21, Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti BT delle Imprese distributrici di energia elettrica

CEI 0-16, Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti MT delle Imprese distributrici di energia elettrica

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

Cavi, cavidotti e accessori

CEI 20-19/1 Cavi con isolamento reticolato con tensione nominale non superiore a 450/750 V

– Parte 1: Prescrizioni generali

CEI 20-19/4 Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 4: Cavi flessibili

CEI 20-19/9 Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 9: Cavi unipolari senza guaina, per installazione fissa, a bassa emissione di fumi e di gas tossici e corrosivi

CEI 20-19/10 Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 10: Cavi flessibili isolati in EPR e sotto guaina di poliuretano

CEI 20-19/11 Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 11: Cavi flessibili con isolamento in EVA

CEI 20-19/12 Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 12: Cavi flessibili isolati in EPR resistenti al calore

CEI 20-19/13 Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 470/750 V – Parte 13: Cavi unipolari e multipolari, con isolante e guaina in miscela reticolata, a bassa emissione di fumi e di gas tossici e corrosivi

CEI 20-19/14 Cavi con isolamento reticolato con tensione nominale non superiore a 450/750V – Parte 14: Cavi per applicazioni con requisiti di alta flessibilità

CEI 20-19/16 Cavi isolati in gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 16: Cavi resistenti all'acqua sotto guaina di policloroprene o altro elastomero sintetico equivalente

CEI 20-20/1 Cavi con isolamento termoplastico con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 1: Prescrizioni generali

CEI 20-20/3 Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 3: Cavi senza guaina per posa fissa

CEI 20-20/4 Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 4: Cavi con guaina per posa fissa

CEI 20-20/5 Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 5: Cavi flessibili

CEI 20-20/9 Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 9: Cavi senza guaina per installazione a bassa temperatura

CEI 20-20/12 Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V – Parte 12: Cavi flessibili resistenti al calore

CEI 20-20/14 Cavi con isolamento termoplastico con tensione nominale non superiore a 450/750 V - Parte 14: Cavi flessibili con guaina e isolamento aventi mescole termoplastiche prive di alogeni

CEI-UNEL 35024-1 Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua – Portate di corrente in regime permanente per posa in aria

CEI-UNEL 35026 Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata

CEI 20-40 Guida per l'uso di cavi a bassa tensione

CEI 20-65 Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico, termoplastico e isolante minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua - Metodi di verifica termica (portata) per cavi raggruppati in fascio contenente conduttori di sezione differente

CEI 20-67 Guida per l'uso dei cavi 0,6/1 kV

CEI EN 50086-1 Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche – Parte 1: Prescrizioni generali

CEI EN 50086-2-1 (23-54) Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche – Parte 2-1: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi rigidi e accessori

CEI EN 50086-2-2 (23-55) Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche – Parte 2-2: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi pieghevoli e accessori

CEI EN 50086-2-3 (23-56) Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche – Parte 2-3: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi flessibili e accessori

CEI EN 50086-2-4 (23-46) Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche – Parte 2-4: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi interrati

CEI EN 50262 (20-57) Pressacavo metrici per installazioni elettriche

CEI EN 60423 (23-26) Tubi per installazioni elettriche – Diametri esterni dei tubi per installazioni elettriche e filettature per tubi e accessori

Norma EN 50575+A1 Applicabilità del Regolamento CPR

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

Scariche atmosferiche e sovratensioni

CEI 81-3 Valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato nei comuni d'Italia, in ordine alfabetico

CEI 81-8 Guida d'applicazione all'utilizzo di limitatori di sovratensioni sugli impianti elettrici utilizzatori di bassa tensione

CEI EN 50164-1 (81-5) Componenti per la protezione contro i fulmini (LPC) – Parte 1: Prescrizioni per i componenti di connessione

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

CEI EN 62305-1 (81-10/1) Protezione contro i fulmini – Parte 1: Principi generali

CEI EN 62305-2 (81-10/2) Protezione contro i fulmini – Parte 2: Valutazione del rischio

CEI EN 62305-3 (81-10/3) Protezione contro i fulmini – Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone

CEI EN 62305-4 (81-10/4) Protezione contro i fulmini – Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture

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

3. CARATTERISTICHE GENERALI D'IMPIANTO

L'impianto fotovoltaico sarà realizzato sfruttando la copertura dell'edificio, sulle falde esposte a Sud. Si rimanda all'elaborato grafico in allegato per il dettaglio della disposizione delle componenti di sistema dell'impianto.

L'impianto, di tipo grid-connected, avrà una potenza totale pari a 25,42 kWp e una produzione di energia annua pari a 30.360 kWh, derivante da 62 pannelli fotovoltaici marca SUNPOWER tipo MAXEON3 da 410 Wp cadauno, con una superficie captante totale pari a circa 105 m².

Posizionamento dei moduli

Struttura di sostegno

Irradiazione solare annua sul piano dei moduli

Potenza totale

Energia totale annua

In copertura
Integrata – su zavorre
1 550 kWh/m ²
25,42 kW
30 360 kWh

I moduli verranno posizionati in maniera integrata alla copertura, quindi con un angolo di tilt di 30° sulla copertura inclinata, e un tilt di 10° sulla copertura piana, e un angolo di azimuth di 0°. Considerando la potenza del modulo di riferimento pari a 410 Wp, per un totale di 62 moduli installati, la potenza complessiva dell'impianto sarà di 25,42 kWp.

I moduli fotovoltaici verranno collegati in sei stringhe.

Tutte le linee in corrente continua andranno al quadro di sezionamento stringhe, e da questo all'inverter fotovoltaico. Successivamente la linea in corrente alternata sarà collegata al Quadro Fotovoltaico ed al contatore di produzione.

L'inverter sarà dotato di interfaccia RS485 tramite la quale sarà possibile in futuro a discrezione della Stazione Appaltante collegare un sistema di monitoraggio (datalogger) e/o un display di produzione dell'impianto.

L'impianto fotovoltaico sarà collegato alla rete elettrica del distributore tramite l'impianto elettrico di utenza ed in particolare attraverso un interruttore magnetotermico installato all'interno dell'attuale quadro generale di bassa tensione, situato al piano terra. L'energia prodotta verrà in parte autoconsumata ed in parte immessa in rete mediante POD in bassa tensione attualmente esistente ed utilizzato per la fornitura di energia elettrica e sarà valorizzata mediante la convenzione di Scambio sul posto da stipulare con il GSE.

Si rimanda all'elaborato grafico per posizione dei pannelli e dispositivi elettrici.

E' stata individuata una soluzione tecnica per il fissaggio dei moduli fotovoltaici sulla copertura piana tale da evitare lavorazioni invasive, quali fori o simili, sulla copertura dell'edificio. La soluzione prevede l'installazione di blocchetti in cemento armato, aventi sia funzione di zavorra che di supporto per i moduli fotovoltaici.

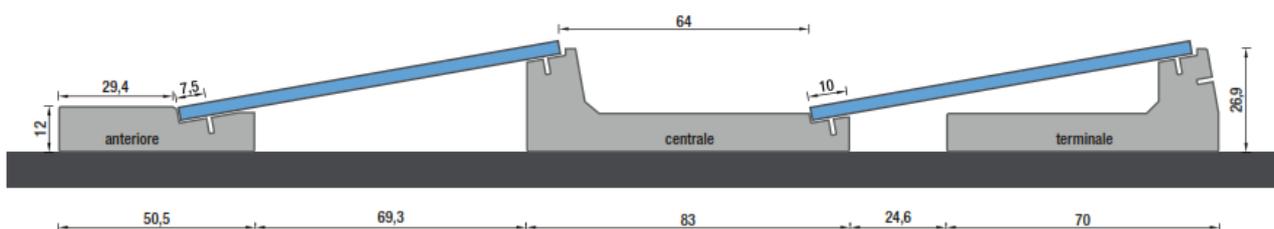


Figura 1: Sistema di supporto dei moduli fotovoltaico

Tramite l'uso di viti e morsetti i moduli verranno agganciati ai blocchetti di zavorra. L'impianto sarà quindi realizzato senza alterare la copertura.



Figura 2 Esempio di installazione del sistema di fissaggio

Trattandosi inoltre di un impianto installato su una attività soggetta ai controlli di prevenzione incendi ai sensi del D.P.R. 151 del 1 agosto 2011 (per quanto attualmente sprovvista di CPI), è previsto l'utilizzo di pannelli fotovoltaici di classe I di reazione al fuoco che consente di rispettare le indicazioni fornite dai Vigili del Fuoco nella "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici - Edizione 2012" (nota prot. n.1324 del 7 febbraio 2012) e nella successiva nota di chiarimenti (nota prot. n. 6334 del 4 maggio 2012).

4. PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO

Al fine di valutare la produzione di energia elettrica, si è fatto riferimento all'irraggiamento solare sulla superficie dei pannelli, nella località di latitudine e longitudine corrispondente al sito di installazione dell'impianto, sulla base dei dati della European Communities, 2001-2010, Climate CMSAF-PVGIS.

Sulla base dei dati statistici del sistema PVGIS è stata calcolata una produzione annua totale pari a 30.360 kWh/anno.

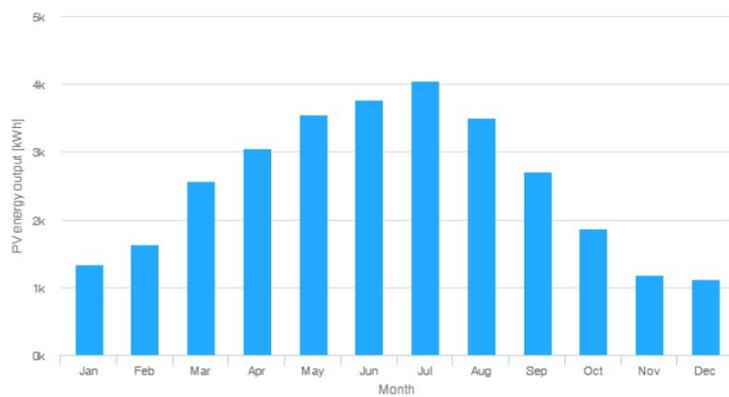
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 45.714,8.904
Horizon: Calculated
Database used: PVGIS-SARAH2
PV technology: Crystalline silicon
PV installed: 25.42 kWp
System loss: 14 %

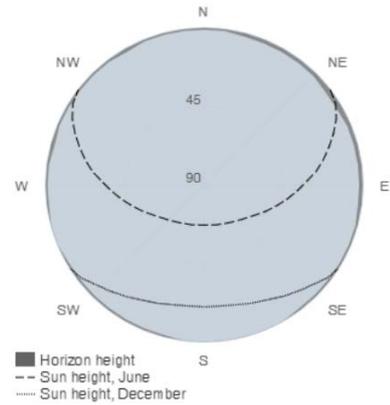
Simulation outputs

Slope angle: 10 °
Azimuth angle: 0 °
Yearly PV energy production: 30360.57 kWh
Yearly in-plane irradiation: 1553.15 kWh/m²
Year-to-year variability: 1305.89 kWh
Changes in output due to:
 Angle of incidence: -3.45 %
 Spectral effects: 1.02 %
 Temperature and low irradiance: -8.32 %
Total loss: -23.1 %

Monthly energy output from fix-angle PV system:



Outline of horizon at chosen location:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	1336.3	64.5	274.5
February	1635.2	79.3	276.7
March	2566.9	126.1	331.8
April	3047.1	153.5	420.7
May	3546.8	182.7	370.9
June	3771.2	198.6	328.0
July	4056.6	215.9	254.2
August	3504.6	185.1	215.4
September	2717.7	139.9	195.5
October	1868.8	93.1	305.8
November	1186.7	59.1	262.0
December	1122.6	55.3	212.9

Dove:

Em è la produzione elettrica media mensile del sistema in kWh

H(i)m è la media dell'irraggiamento mensile al metro quadro ricevuto dai pannelli in kWh/mq

SDm è la deviazione standard della produzione mensile dovuta alla variazione annuale

5. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI COMPONENTI

5.1. Moduli fotovoltaici

Saranno installati moduli fotovoltaici SUNPOWER, tipo SP-MAX3-410-BLK.

I moduli fotovoltaici dovranno avere le seguenti caratteristiche minime:

- Potenza: 410 W
- Tolleranza sulla potenza: $\pm 5\%$
- Efficienza: 22,2%
- Classe di isolamento: Doppio isolamento
- Classe di resistenza al fuoco: Classe 1

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche del modulo di riferimento:

Dati Elettrici			
	SPR-MAX3-420- BLK	SPR-MAX3-415- BLK	SPR-MAX3-410- BLK
Potenza nominale (P _{nom}) ²	420 W	415 W	410 W
Tolleranza di potenza	+5/0%	+5/0%	+5/0%
Efficienza del modulo	22,2%	21,9%	21,6%
Tensione al punto di massima potenza (V _{mpp})	71,3 V	70,8 V	70,4 V
Corrente al punto di massima potenza (I _{mpp})	5,89 A	5,86 A	5,82 A
Tensione a circuito aperto (V _{oc}) (+/-3)	81,5 V	81,4 V	81,4 V
Corrente di cortocircuito (I _{sc}) (+/-3)	6,33 A	6,32 A	6,31 A
Tensione massima del sistema	1000 V IEC		
Corrente massima del fusibile	20 A		
Coeff. temp. potenza	-0,27% / °C		
Coeff. temp. tensione	-0,236% / °C		
Coeff. temp. corrente	0,058% / °C		

5.2. Inverter

La linea in continua proveniente dal quadro di sezionamento stringhe sarà collegata all'ingresso DC dell'inverter. L'inverter previsto è del tipo SMA STP20000-TL.

L'inverter avrà una potenza di 25 kW sul lato alternata (45 kW massimi in ingresso lato continua) e le seguenti caratteristiche tecniche di riferimento:

Dati tecnici	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Ingresso (CC)			
Potenza del generatore fotovoltaico max.	27000 Wp	36000 Wp	45000 Wp
Potenza nominale CC	15330 W	20440 W	25550 W
Tensione d'ingresso max	1000 V	1000 V	1000 V
Range di tensione MPP / tensione nominale d'ingresso	240 V a 800 V / 600 V	320 V a 800 V / 600 V	390 V a 800 V / 600 V
Tensione d'ingresso min. / tensione d'ingresso d'avviamento	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Corrente d'ingresso max. ingresso A / ingresso B	33 A / 33 A	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Corrente di cortocircuito max. ingresso A / ingresso B	43 A / 43 A	43 A / 43 A	43 A / 43 A
Numero di ingressi MPP indipendenti / stringhe per ingresso MPP	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
Uscita (CA)			
Potenza massima (a 230 V, 50 Hz)	15000 W	20000 W	25000 W
Potenza apparente CA max.	15000 VA	20000 VA	25000 VA
Tensione nominale CA		3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	
Range di tensione CA		180 V bis 280 V	
Frequenza di rete CA / range		50 Hz / 44 Hz a 55 Hz 60 Hz / 54 Hz a 65 Hz	
Frequenza di rete nominale / tensione di rete nominale		50 Hz / 230 V	
Corrente d'uscita max / corrente d'uscita nominale	29 A / 21,7 A	29 A / 29 A	36,2 A / 36,2 A
Fattore di potenza alla potenza massima / Fattore di sfasamento regolabile		1 / 0 sovraeccitato a 0 sottoeccitato	
THD		≤ 3 %	
Fasi di immissione / fasi di collegamento		3 / 3	
Grado di rendimento			
Grado di rendimento max. / grado di rendimento europ.	98,4 % / 98,0 %	98,4% / 98,0%	98,3% / 98,1%

5.3. Quadro sezionamento stringhe

L'impianto fotovoltaico verrà suddiviso in 6 stringhe:

- Stringa A da 10 moduli fotovoltaici, per una potenza di 4100 Wp
- Stringa B da 10 moduli fotovoltaici, per una potenza di 4100 Wp
- Stringa C da 10 moduli fotovoltaici, per una potenza di 4100 Wp
- Stringa D da 10 moduli fotovoltaici, per una potenza di 4100 Wp
- Stringa E da 11 moduli fotovoltaici, per una potenza di 4510 Wp
- Stringa F da 11 moduli fotovoltaici, per una potenza di 4510 Wp

Il quadro di campo conterrà quattro sezionatori con fusibili per il sezionamento delle stringhe, e quindi quattro scaricatori di sovratensione per la protezione da eventi atmosferici.

5.4. Quadro FV

L'inverter sarà collegato mediante cavi FG16(O)M16 al quadro FV contenente il dispositivo del generatore (DDG) ed il sistema di protezione di interfaccia (SPI).

Il dispositivo del generatore (DDG) sarà composto da un magnetotermico differenziale, il sistema di protezione di interfaccia (SPI) sarà costituito da un relè elettronico conforme alla norma CEI 0-21 e da un contattore quadripolare idoneo per la corrente nominale dell'impianto in categoria AC-3. Non è stato previsto il dispositivo di rinalzo in quanto non richiesto obbligatoriamente dalla norma CEI 0-21 per impianti di potenza inferiore a 20 kW.

La protezione offerta dal dispositivo di interfaccia impedisce, tra l'altro, che l'inverter continui a funzionare in caso di black-out esterno, condizione che invece potrebbe verificarsi in assenza della protezione di interfaccia

ed in particolari condizioni di carico. Questo fenomeno, detto funzionamento in isola, deve essere assolutamente evitato, soprattutto perché può tradursi in condizioni di pericolo per il personale addetto alla ricerca e alla riparazione dei guasti.

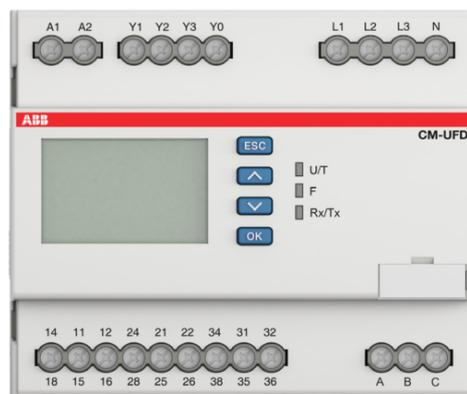
Inoltre, la protezione di interfaccia consentirà al distributore di sganciare l'impianto di produzione dalla rete tramite un comando remoto (teledistacco) e selezionare all'occorrenza la finestra di frequenza all'interno del quale è consentito mantenere l'impianto connesso alla rete. Tutto il SPI sarà alimentato tramite un sistema di accumulo di energia ABB serie CP-E 24 e modulo buffer ABB serie CP-B in conformità a quanto prescritto dall'allegato A.2 alla CEI 0-21. Il sistema di alimentazione ausiliario è stato opportunamente dimensionato per consentire, in assenza dell'alimentazione principale, il funzionamento del SPI e la tenuta in chiusura del DDI per il tempo previsto da normativa (5 secondi).

Il sistema in questione verrà anche utilizzato per fornire alimentazione ai circuiti di sgancio di emergenza del quadro di stringa e del dispositivo di generatore dell'impianto fotovoltaico.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche del sistema di protezione di interfaccia di riferimento (ABB CM-UFD):

Caratteristiche principali

Tipo	CM-UFD.M22M
Codice d'ordine	1SVR560731R3700
Tensione di alimentazione	24-240 V CC 110-240 V CA (-15, +10%)
Buffer di 5 secondi in assenza di tensione ausiliaria secondo CEI 0-21	esterno (CP-B)
Consumo	1,6 W 24Vcc / 5,4 VA 230Vca
Intervallo di misura sovra-/sotto tensione	(L-N) 0 -312 V CA
Intervallo di misura sovra-/sotto frequenza	(L-L) 0 - 540 V CA
Precisione della misura di tensione	$\leq 0,5\% \pm 0,5$ V del valore misurato
Precisione della misura di frequenza	$\pm 0,02$ Hz
Relè di uscita	250 V CA - 5 A
Ingressi	Auto alimentati, lunghezza massima cavi non schermati 10 m
Dimensioni	108 x 90 x 67 mm
Temperatura di funzionamento	-20...+60 °C
Standard di riferimento	CEI 0-21 ed. Luglio 2016



5.5. Cavi in corrente continua ed alternata

Il cablaggio elettrico avverrà per mezzo di cavi con conduttori isolati in linea con i requisiti base e le caratteristiche essenziali armonizzate prescritte dal Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR) stabilite dalla legislazione europea per i prodotti progettati per essere installati in modo permanente nelle opere di ingegneria civile. Saranno utilizzati i seguenti cavi:

- Tipo H1Z2Z2-K per le linee in corrente continua dai moduli fotovoltaici agli inverter;
- Tipo FG17 per le linee in corrente alternata.

I cavi saranno a norma CEI 20-13, CEI 20-22 II e CEI 20-37 I, marchiatura I.M.Q., colorazione delle anime secondo norme UNEL.

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
- Conduttore di neutro blu chiaro
- Conduttore di fase grigio / marrone / nero
- Conduttore per circuiti in C.C. rosso per il positivo e nero per il negativo - oppure siglato
indicazione del "+" e del "-"

In generale i cavi dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- essere posati dentro elementi protettivi (tubi, canaline, passerelle etc.)
- non propagare l'incendio;
- tipo unipolare per i circuiti di potenza in corrente continua;
- tipo multipolare per i circuiti di potenza in corrente alternata;
- estremità terminate con idonei capicorda o connettori ad innesto rapido di tipo multicontact

I cavi dovranno essere sistemati in modo da semplificare e ridurre al minimo le operazioni di posa in opera. Le portate dei cavi in regime permanente relative alle condutture da installare sono state verificate secondo le tabelle CEI-UNEL 35024 applicando ai valori individuati, dei coefficienti di riduzione che dipendono dalle specifiche condizioni di posa e dalla temperatura ambiente. Le sezioni dei cavi sono state verificate anche dal punto di vista della caduta di tensione alla corrente di normale utilizzo, secondo quanto riportato nelle Norme CEI 64-8.

6. VERIFICA DEL CORRETTO ACCOPPIAMENTO ELETTRICO TRA GENERATORE FOTOVOLTAICO E GRUPPO DI CONVERSIONE DC/AC

Per poter scegliere un inverter correttamente occorre preventivamente verificare la compatibilità tra gli inverter utilizzati ed i relativi campi fotovoltaici.

Le verifiche sugli inverter 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.

6.1. 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.

6.2. Verifica sulla corrente DC

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

6.3. 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 all'80 % e inferiore al 120% della potenza nominale dell'impianto fotovoltaico (somma delle potenze nominali dei moduli fotovoltaici).

Le tabelle che seguono riportano il risultato di tali verifiche:

Modulo fotovoltaico		SUNPOWER MAXEON3 SPR-MAX3-410-BLK
Potenza max	Pmax	410 W
Tensione max	Vpm	70,4 V
Corrente max	Ipm	5,82 A
Tensione circuito aperto	Voc	84,40 V
Corrente di cortocircuito	Isc	6,61 A
Coefficiente di temperatura Pmax		-0,27 %/C°
Coefficiente di temperatura Voc		-0,236 %/C°
Coefficiente di temperatura Isc		0,058 %/C°
Temperatura minima	Tmin	-10°C
Voc(T)		89,66 V
Vm(T)		79,85 V
Temperatura massima	Tmax	70°C
Vm(T)		58,25 V

Inverter fotovoltaico	SMA STP2000TL
Potenza max ingresso	45000 W
Tensione max ingresso	1000 V
Tensione nominale ingresso	800 V
V _{MPPT} massima	800 V
V _{MPPT} minima	390 V
Corrente max ingresso	33 A
Potenza nominale	25000 W

Caratteristiche campo fotovoltaico		
Numero di stringhe		6
Numero di moduli per stringa		10-11
Numero di moduli campo		62
Picco di potenza (ingresso)	kW	25,42

Verifica configurazione Generatore FV - Inverter		Stringa tipo
Numero di moduli per stringa		10

<i>Temperatura minima</i>	[°C]	-10
<i>Voc,stringa (T)</i>	[V]	896,60
<i>Voc,stringa < V_{inv,max}</i>		VERIFICATO
<i>Vm,stringa(T)</i>	[V]	798,50
<i>Vm,stringa < V_{MPPT,max}</i>		VERIFICATO
<i>Temperatura massima</i>	[°C]	70
<i>Vm,stringa (T)</i>	[V]	582,50
<i>Vm,stringa > V_{MPPT,min}</i>		VERIFICATO

<i>Verifica configurazione Generatore FV - Inverter</i>		<i>Stringa tipo</i>
<i>Numero di moduli per stringa</i>		11
<i>Temperatura minima</i>	[°C]	-10
<i>Voc,stringa (T)</i>	[V]	986,26
<i>Voc,stringa < V_{inv,max}</i>		VERIFICATO
<i>Vm,stringa(T)</i>	[V]	878,35
<i>Vm,stringa < V_{MPPT,max}</i>		VERIFICATO
<i>Temperatura massima</i>	[°C]	70
<i>Vm,stringa (T)</i>	[V]	640,75
<i>Vm,stringa > V_{MPPT,min}</i>		VERIFICATO

<i>Verifica configurazione Generatore FV - Inverter</i>		
<i>Potenza nominale inverter PCA</i>	W	45000
<i>Potenza nominale impianto</i>	W	25420
<i>PCA/Pn</i>		VERIFICATO

7. CRITERI DI VERIFICA CAVI BT

I cavi di energia (230/400 V) saranno adatti a tensione nominale (U0/U) non inferiori a 450/750 V (simbolo di designazione 07), non inferiori a 0,6/1 kV per eventuali sezioni di impianto posate in cavidotto di PVC interrato.

I conduttori impiegati nell'esecuzione dell'impianto saranno contraddistinti dalle colorazioni stabilite dalle vigenti norme di unificazione CEI-UNEL 00722-74 e 00712. In particolare il conduttore di neutro sarà di colore blu chiaro e quello di protezione bicolore giallo-verde; i conduttori di fase saranno contraddistinti in modo univoco in tutto l'impianto dai colori nero, grigio o marrone.

La sezione dei cavi lato CC e lato CA viene determinata in maniera da comportare cadute di tensione < 3%. La scelta delle sezioni dei cavi dell'impianto oggetto della relazione è stata effettuata in base a due criteri: criterio della caduta di tensione e criterio termico.

7.1. Criterio di caduta di tensione

Nella norma CEI- UNEL 64-8/5 non è presente una raccomandazione specifica per impianti di produzione fotovoltaici per ciò che concerne la caduta di tensione massima ammissibile in un impianto. L'unico riferimento è una caduta di tensione massima del 4% tra l'origine di un impianto utilizzatore e un carico. Pertanto si è deciso di procedere alla scelta delle sezioni dei cavi da installare considerando una caduta di tensione massima del 4% della tensione in DC e dello stesso 4% della tensione dall'inverter al contatore di energia scambiata con la rete tenendo comunque conto che l'inverter stesso è in grado di regolare il valore di tensione a quello normalizzato.

La caduta di tensione ΔV in una linea di corrente continua risponde all'espressione:

$$\Delta V = 2 \times I_{SDC} \times \rho \times \frac{l}{S}$$

Dove:

ρ = resistività del rame

L = lunghezza del cavo nel tratto considerato

S = sezione del cavo [mm²]

I_{S,DC} = intensità di corrente nella stringa in [A]

La caduta di tensione ΔU in una linea di corrente alternata trifase risponde all'espressione:

$$\Delta U \% = \frac{k \cdot I_b \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi))}{U_n}$$

Dove:

k è un numero adimensionale di valore 2 per i sistemi monofase e bifase, 1.73 nei sistemi trifase

I_{b,DC} = corrente che scorre nel cavo

l = lunghezza del cavo

r = resistenza chilometrica del cavo

x = impedenza chilometrica del cavo

U_n = tensione nominale dell'impianto

cos φ = fattore di potenza dell'impianto

7.2. Criterio termico

In accordo con la normativa prevista, la protezione delle linee dal sovraccarico sarà realizzata attraverso l'uso di dispositivi automatici che interrompono le correnti di sovraccarico nei conduttori del circuito prima che possano provocare un riscaldamento nocivo all'isolamento, ai collegamenti, ai terminali o all'ambiente circostante. La verifica per sovraccarico è stata eseguita utilizzando le seguenti relazioni:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad \text{e} \quad I_f \leq 1,45 I_Z$$

dove:

I_B = corrente di impiego del circuito

I_N = corrente nominale dell'interruttore

I_Z = portata del cavo

I_f = corrente convenzionale che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione.

Sulle linee in corrente continua non si possono avere sovraccarichi ma solo cortocircuiti.

8. DIMENSIONAMENTO LINEE ELETTRICHE

8.1. Verifica collegamento delle stringhe all'inverter

Per la parte in corrente continua il collegamento sarà realizzato mediante cavi solari H1Z2Z2-K di sezione 6 mm² posati in canalina metallica sulla copertura, all'interno di tubo protettivo in PVC nella discesa al quadro di campo. La corrente I_b rappresenta la corrente di impiego passante nel cavo, la corrente I_z rappresenta la portata del cavo, la corrente I_N rappresenta la corrente nominale del dispositivo di protezione.

Stringa tipo		11	10
Potenza	W	4510,00	4100,00
Tensione min	V	586	644
I_b	A	7,70	6,37
I_z	A	70	70
I_N	A	32	32
Sezione	mm ²	6	6
Lunghezza	m	80	80
cdt		0,740%	0,557%
Formazione		2x(1x6)	2x(1x6)
Tipo di cavo		H1Z2Z2-K	H1Z2Z2-K
Tipo di posa		Tubo PVC	Tubo PVC

La massima caduta di tensione è pari a 0,74%. Rientra pertanto nel limite previsto.

8.2. Verifica collegamento inverter – quadro fotovoltaico

Il collegamento tra l'inverter e il quadro fotovoltaico è realizzato tramite cavi FG16OM16 di sezione 10 mm² posati passarella in acciaio esterna.

Sulle linee in corrente alternata non è stata calcolata la caduta di tensione tra l'inverter ed il quadro fotovoltaico, vista la ridotta distanza tra gli stessi.

8.3. Verifica collegamento quadro fotovoltaico-quadro di immissione in rete

Il collegamento tra il quadro fotovoltaico e il quadro generale di bassa tensione è realizzato tramite cavi FG16OM16 di sezione 10 mmq posati in tubazione in PVC sotto traccia. I cavi in uscita dal contatore di produzione andranno a collegarsi al quadro generale dell'edificio.

Si riportano di seguito le verifiche di dimensionamento:

Dati nominali linea:

Tipo di circuito		Trifase
Tensione	[V]	400
Frequenza	[hz]	50
Potenza attiva	[W]	25420
Fattore di potenza		0,8
Corrente di impiego Ib	[A]	45,86

Dati nominali cavo e calcolo caduta di tensione:

Tipo cavo		FG16OM16
Tipo isolamento		HEPR
Tensione nominale	[kV]	0,6/1
Lunghezza	[m]	80,00
Sezione	[mm ²]	5G10
Portata Iz	[A]	75
P max carico	[W]	25420
Resistenza a 20°C	[Ohm/km]	1,910
Reattanza	[Ohm/km]	0,086
Tmax esercizio	[°C]	90
Tmax corto circuito	[°C]	250
Verifica cdt MAX		2,60%

Dati correnti di corto circuito:

Corrente di impiego I_b	[A]	45,86
Corrente nominale interruttore	[A]	40
Portata cavo in aria 30°C	[A]	75
Corrente c.c max della rete a monte	[kA]	6
Potere di interruzione del dispositivo di protezione	[kA]	6
Impedenza rete	[ohm]	0,038
Impedenza cavo	[ohm]	0,153
Impedenza totale	[ohm]	0,191
Corrente c.c. trifase massimo	[A]	1267