



CONSORZIO ENERGIA TOSCANA AZIENDA USL TOSCANA SUD EST

LAVORI DI COMPLETAMENTO E MESSA IN ESERCIZIO DI
UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO INSTALLATO SU PENSILINA,
NELL'AREA PARCHEGGIO DELL'OSPEDALE DI CAMPOSTAGGIA,
COMUNE DI POGGIBONSI (SI)

RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA DELL'IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO



Siena, Settembre 2020

IL TECNICO
Ing. Giovanni-Luca Giannuzzi

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	DATI GENERALI.....	3
1.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
1.3	TERMINOLOGIA	4
2	ELEMENTI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	7
2.1	GENERATORE FOTOVOLTAICO	7
2.2	CABLAGGIO, QUADRI DI CAMPO E PARALLELO DI RETE.....	8
2.3	INVERTER	8
2.4	INTERFACCIA CON LA RETE ELETTRICA.....	9
2.5	SCARICHE ATMOSFERICHE	9
2.6	PRESTAZIONI DELL'IMPIANTO	9
3	VERIFICHE E CONTROLLI.....	12
3.1	VERIFICA TECNICO-FUNZIONALE	12
3.2	CONTROLLI IN ESERCIZIO DELL'IMPIANTO E LAVORI ELETTRICI.....	13
4	DOCUMENTAZIONE ALLEGATA.....	14

1 INTRODUZIONE

1.1 DATI GENERALI

L'impianto fotovoltaico in progetto è a servizio delle utenze elettriche riferite al presidio Ospedaliero di Campostaggia, committente Consorzio Energia Toscana C.E.T, ubicato sulle pensiline metalliche del parcheggio dell'ospedale, con i seguenti riferimenti geografici, catastali ed urbanistici:

- Proprietario: Azienda USL Sud Est
- Indirizzo: *Presidio Ospedaliero– Loc. Campostaggia, Comune di Poggibonsi (SI)*

Le principali caratteristiche tecniche dell'impianto sono:

- Moduli fotovoltaici: *celle solari in silicio policristallino (rendimento intorno al 15%);*
- Superficie installata: N° 12 pensiline metalliche dimensioni 5.91x12.87, totale circa 910 mq;
- Orientamento: *Est;*
- Inclinazione: 14°;
- Potenza dell'impianto: variabile fra **130-150 kWp** a seconda dell'offerta tecnica

1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- 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 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica
- 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 11-20: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria;
- 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;
- CEI EN 61727: Sistemi fotovoltaici (FV) – Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo con la rete;

- CEI EN 61215: Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo;
- CEI 61646 (82-12): Moduli a film sottile (SILICIO AMORFO) per applicazioni terrestri;
- CEI EN 61000-3-2: Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso = 16 A per fase);
- CEI EN 60555-1: Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili;
- CEI EN 60439-1-2-3: Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione;
- CEI EN 60445: Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico;
- CEI EN 60529: Gradi di protezione degli involucri (codice IP);
- CEI EN 60099-1-2: Scaricatori;
- CEI 20-19: Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V;
- CEI 20-20: Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V;
- CEI 81-1: Protezione delle strutture contro i fulmini;
- CEI 81-3: Valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato;
- CEI 81-4: Valutazione del rischio dovuto al fulmine;
- CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici;
- CEI 0-3: Guida per la compilazione della documentazione per la legge n. 46/1990;
- UNI 10349: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.;
- CEI EN 61724: Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici. Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati;
- IEC 60364-7-712 Electrical installations of buildings - Part 7-712: Requirements for special installations or locations Solar photovoltaic (PV) power supply systems.

Si applicano inoltre, per quanto compatibili con le norme sopra elencate, i documenti tecnici emanati dalle società di distribuzione di energia elettrica riportanti disposizioni applicative per la connessione di impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica.

1.3 TERMINOLOGIA

Si riportano di seguito le definizioni di alcuni termini ricorrenti nel campo dell'installazione di generatori fotovoltaici destinati alla connessione in rete elettrica.

- *Angolo di azimuth*: angolo esistente tra la normale al piano di captazione solare (modulo fotovoltaico) e il piano del meridiano terrestre che interseca il piano di captazione in un punto centrale. L'angolo è positivo per orientamenti verso Est, negativo per orientamenti verso Ovest.

- *Angolo di inclinazione*: angolo formato dal modulo fotovoltaico con l'orizzontale (piano tangente alla superficie terrestre in quel punto). L'angolo è positivo per inclinazioni rivolte verso l'equatore, negativo per inclinazioni rivolte verso il polo.
- *Blocco o sottocampo o subcampo fotovoltaico*: una o più stringhe fotovoltaiche associate e distinte in base a determinate caratteristiche, così come può essere l'occupazione geometrica del suolo, oppure le cui stringhe sono interconnesse elettricamente per dare la potenza nominale al sistema di condizionamento della potenza (PCS).
- *Campo fotovoltaico*: l'insieme di tutti i blocchi o sottocampi che costituiscono l'impianto fotovoltaico.
- *Cella fotovoltaica*: dispositivo base allo stato solido che converte la radiazione solare direttamente in elettricità a corrente continua.
- *Condizioni Standard*: condizioni in cui l'irraggiamento della radiazione solare è pari a 1000 W/m^2 , con distribuzione dello spettro solare di riferimento di $AM=1,5$ e temperatura delle celle di 25°C .
- *Convertitore statico c.c./c.a.*: apparecchiatura che rende possibile la conversione ed il trasferimento della potenza da una rete in corrente continua alla rete in corrente alternata. E' denominato pure invertitore statico (inverter).
- *Impianto fotovoltaico connesso alla rete*: sistema di produzione dell'energia elettrica costituito da un insieme di componenti ed apparecchiature destinate a convertire l'energia contenuta nella radiazione solare in energia elettrica da consegnare alla rete di distribuzione in corrente alternata monofase o trifase. I componenti fondamentali dell'impianto sono:
 - il generatore fotovoltaico vero e proprio, costituito dal campo fotovoltaico;
 - il Sistema di Condizionamento della Potenza (PCS).
- *Modulo fotovoltaico*: insieme di celle fotovoltaiche, connesse elettricamente e sigillate meccanicamente dal costruttore in un'unica struttura (tipo piatto piano), o ricevitore ed ottica (tipo a concentrazione). Costituisce l'unità minima singolarmente maneggiabile e rimpiazzabile.
- *Potenza di picco*: è la potenza espressa in W_p (watt di picco), erogata nel punto di massima potenza nelle condizioni standard dal componente o sottosistema fotovoltaico.
- *Quadro di campo* (o anche di parallelo stringhe): è un quadro elettrico in cui sono convogliate le terminazioni di più stringhe per il loro collegamento in parallelo. In esso vengono installati anche dispositivi di sezionamento e protezione.
- *Quadro di consegna* (o anche d'interfaccia): è un quadro elettrico in cui viene effettuato il collegamento elettrico del gruppo di conversione statica in parallelo alla rete elettrica in bassa tensione. Esso contiene apparecchiature per sezionamento, interruzione, protezione e misura.

- *Rete pubblica in bassa tensione (BT)*: rete di distribuzione dedicata alla distribuzione pubblica in corrente alternata, di tipo monofase o trifase, con tensione nominale da oltre 50 V fino a 1000 V.
- *Sistema di Condizionamento della Potenza (PCS)*: è costituito da un componente principale, il convertitore statico c.c./c.a. (inverter), e da un insieme di apparecchiature di comando, misura, controllo e protezione affinché l'energia venga trasferita alla rete con i necessari requisiti di qualità ed in condizioni di sicurezza sia per gli impianti che per le persone.
- *Società Elettrica*: soggetto titolare della gestione ed esercizio della rete BT di distribuzione dell'energia elettrica agli utenti.
- *Stringa*: un insieme di moduli connessi elettricamente in serie per raggiungere la tensione di utilizzo idonea per il sistema di condizionamento della potenza (PCS). I moduli a costituire la stringa possono far parte di diverse schiere.
- *Utente*: persona fisica o giuridica che usufruisce del servizio di fornitura dell'energia elettrica. Tale servizio è regolato da un contratto di fornitura stipulato con la Società Elettrica.

2 ELEMENTI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

2.1 GENERATORE FOTOVOLTAICO

Il generatore fotovoltaico in oggetto è costituito da moduli in silicio policristallino che presentano le seguenti caratteristiche:

- *Marca e modello: modulo policristallino 300 Wp;*
- *Potenza nominale in uscita del singolo modulo: **300 Wp**;*
- *Tensione a circuito aperto: **39.9 V**;*
- *Corrente di corto circuito: **9.25 A**;*
- *Tensione massima di sistema a corrente continua: **1000 V**;*
- *Dimensioni: **1.7 x 1.0 m**;*
- *Certificazioni: **IEC 61215**;*

Valori corrispondenti alle condizioni standard di prova: irraggiamento di 1000 W/m², spettro della massa d'aria AM 1,5 e temperatura della cella di 25°C.

Il dati del generatore fotovoltaico, nel suo complesso, sono:

- *Potenza nominale: **130 kWp** (a base di gara)*
- *Configurazione elettrica: **n° 27 stringhe da 16 moduli fotovoltaici collegati in serie.***

2.2 CABLAGGIO, QUADRI DI CAMPO E PARALLELO DI RETE

L'impianto in oggetto è costituito da n°27 stringhe elettriche (di 16 moduli in serie), collegate sugli MPPT degli inverter di potenza 50 kW, uscita trifase 400 V, come da schema allegato.

Il quadro di consegna dell'energia e parallelo rete è preposto ad effettuare il collegamento in parallelo degli inverter alla rete elettrica di distribuzione in bassa tensione monofase. All'interno di tale quadro è contenuto il dispositivo di interruzione della linea in uscita dall'inverter.

L'impianto fotovoltaico viene connesso elettricamente alla rete di proprietà dell'utente a valle del dispositivo generale di utente di controllo e misura, di proprietà del distributore della rete.

2.3 INVERTER

I convertitori statici CC/CA e le stringhe elettriche fotovoltaiche sono stati dimensionati in base alle tensioni di ingresso nell'inverter, al range operativo del sistema MPPT ed alla tensione di uscita AC. In questo caso, le stringhe elettriche sono collegate ad un inverter, dalle seguenti caratteristiche:

- Marca e Modello: tipo **ABB- TRIO-TM-50.0-400**;
- Potenza nominale: **50 kW**;
- Range assoluto di Tensione in Ingresso: **da 0 a 1000 Vdc**;
- Numero di MPPT: **3**;
- Range Operativo per Max Power Point Tracking: **da 480 a 800 Vdc**;
- Tensione di uscita AC nominale : **Trifase 400**;
- Frequenza di uscita AC nominale: **50 Hz**;
- Fattore di potenza sulla linea: **1**
- Uscita sinusoidale **pura**
- Rendimento: **almeno 90% al 10% del carico**;
- Temperatura ambiente di esercizio: **da -25 a +60°C**;
- grado di protezione **IP65**;
- controllo **MPPT** ad alta velocità per l' inseguimento dinamico del punto di massima potenza (Power Tracking);
- alta resistenza al sovraccarico;
- protezione "Anti-isola";
- funzionamento in connessione alla rete certificato in conformità alle normative nazionali in vigore e omologazione Enel;
- display LCD frontale per il monitoraggio dei parametri principali.

2.4 INTERFACCIA CON LA RETE ELETTRICA

Per motivi di sicurezza, per il collegamento in parallelo alla rete pubblica l'impianto sarà provvisto di protezioni che ne impediscano il funzionamento in isola elettrica, conforme alla normativa CEI 0-21 in BT e CEI 0-16 in MT.

L'impianto sarà equipaggiato con un sistema di protezione che si articola su tre livelli:

-Dispositivo del generatore. L'inverter è internamente protetto contro il cortocircuito ed il sovraccarico. Il riconoscimento della presenza di guasti interni provoca l'immediato distacco dell'inverter dalla rete elettrica. L'interruttore magnetotermico presente sull'uscita di ogni inverter agisce come ricalzo a tale funzione.

-Dispositivo di interfaccia. Il dispositivo di interfaccia deve provocare il distacco dell'intero sistema di generazione in caso di guasto sulla rete elettrica. La protezione offerta dal dispositivo di interfaccia impedisce, tra l'altro, che l'inverter continui a funzionare, con particolari configurazioni di carico, anche nel caso di black-out esterno.

-Dispositivo generale. Il dispositivo generale ha la funzione di salvaguardare il funzionamento della rete nei confronti di guasti di generazione elettrica. Per i piccoli impianti come quello oggetto della presente relazione tecnica è sufficiente la protezione contro il corto circuito e il sovraccarico.

È prevista infine l'installazione di un sistema di misura.

2.5 SCARICHE ATMOSFERICHE

In merito alla fulminazione indiretta, l'abbattersi di scariche atmosferiche in prossimità dell'impianto può provocare il concatenamento del flusso magnetico associato alla corrente di fulmine con i circuiti dell'impianto fotovoltaico, così da provocare sovratensioni in grado di mettere fuori uso i componenti tra cui, in particolare, l'inverter. La protezione da sovratensioni viene effettuata sul lato CA con scaricatori di sovratensione.

2.6 PRESTAZIONI DELL'IMPIANTO

L'energia raccolta dai moduli fotovoltaici dipende dalla latitudine del sito, dall'esposizione dei moduli, dall'irraggiamento e dagli ombreggiamenti.

L'irraggiamento dipende dalla stagione, dall'ora del giorno e dalle condizioni meteorologiche. Inoltre, la quantità di energia raccolta dal generatore fotovoltaico dipende dalla temperatura dei moduli, dalla configurazione del campo, dalle caratteristiche elettriche e ottiche dei moduli fotovoltaici e, infine, dalla riflettanza (o albedo) del terreno.

Le prestazioni dei moduli sono influenzate dalla tolleranza sulla potenza (che non deve superare il 5%) e dal decadimento delle prestazioni, garantite all'80 % della potenza nominale dopo 20 anni.

In assenza di specifici vincoli progettuali tecnici-architettonici, i pannelli fotovoltaici dovrebbero essere installati rivolti verso il sud (angolo di azimuth 0°). Si alterano le modalità con cui l'energia viene raccolta nell'arco del giorno se l'orientamento si discosta dal sud di circa 45°: in questo caso si ha una diminuzione dell'energia raccolta di qualche percento, mentre riduzioni pari al 20% si raggiungono per angoli intorno ai 90° (superfici esposte a est o a ovest).

A parità di insolazione, all'aumentare della temperatura delle celle, si ha una diminuzione della tensione e della potenza erogata. In particolare, nel caso di moduli al silicio cristallino, per ogni 10°C di aumento di temperatura si ha una diminuzione della potenza erogata pari a circa il 5% e una diminuzione di tensione dell'ordine del 3%.

Per ciascun periodo dell'anno esiste un diverso valore dell'angolo di inclinazione ottimale (tilt).

Il picco invernale viene raccolto per angoli di tilt elevati (65°) mentre il picco estivo si ottiene per angoli di tilt piccoli (15°): il picco su base annuale si ottiene invece per angoli di tilt leggermente inferiori alla latitudine del sito.

L'installazione dell'impianto e le successive modifiche o ampliamenti sono soggetti al rilascio della certificazione di conformità da parte dell'installatore secondo la Legge 37/08.

L'installazione e la manutenzione delle macchine devono avvenire secondo il manuale di istruzione predisposto dal costruttore, al fine di mantenere nel tempo le caratteristiche di sicurezza ed efficienza dell'ambiente di lavoro.

Il datore di lavoro deve effettuare regolare manutenzione dell'impianto e dei dispositivi di protezione, devono essere controllati e sottoposti a regolare manutenzione: i controlli dell'impianto elettrico, di sicurezza e di allarme devono essere annotati su apposito registro.

Nelle guide CEI sono previste le seguenti verifiche e prove da eseguire con la collaborazione di una persona responsabile degli ambienti:

- ogni mese gli apparecchi di sicurezza;
- ogni sei mesi gli interruttori differenziali e comandi di emergenza;
- verifica annuale dei contatti in morsettiera;
- in caso di intervento delle protezioni ed almeno ogni anno esame a vista degli isolamenti, connessioni, nodo di terra e prove di continuità a campione dei conduttori di protezione;
- ogni tre anni prove strumentali dei collegamenti equipotenziali.

Il progressivo decadimento dell'impianto elettrico deve essere limitato con operazioni di ispezione, controllo e riparazione, necessarie affinché l'impianto possa conservare le caratteristiche di sicurezza, affidabilità e funzionalità originarie.

Per la valutazione dell'energia elettrica prodotta dall'impianto si è fatto riferimento ai dati climatici indicati nell'atlante della radiazione solare PVGIS per il sito in oggetto: considerando le perdite al generatore, la **producibilità media annua complessiva di energia elettrica dell'impianto risulta essere circa 1100 kWh/kWp.**

Per un impianto di 130 kWp (a base di gara), si attende una produzione annua di $130 \times 1100 = 143.000$ kWh.

PVGIS-5 stima del rendimento energetico FV:

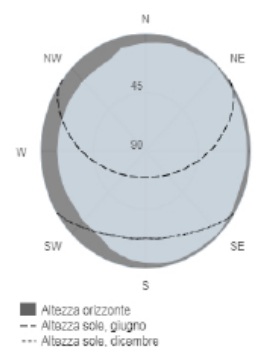
Valori inseriti:

Lat./Long.: 43.451, 11.148
 Orizzonte: Calcolato
 Database solare: PVGIS-SARAH
 Tecnologia FV: Silicio cristallino
 FV installato: 1 kWp
 Perdite di sistema: 18 %

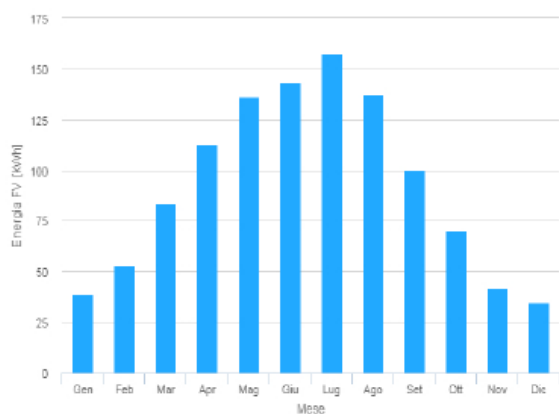
Output del calcolo

Angolo inclinazione: 14 °
 Angolo orientamento: -85 °
 Produzione annuale FV: 1109.45 kWh
 Irraggiamento annuale: 1500.45 kWh/m²
 Variazione interannuale: 60.99 kWh
 Variazione di produzione a causa di:
 Angolo d'incidenza: -3.64 %
 Effetti spettrali: 0.96 %
 Temperatura e irradianza bassa: -7.31 %
 Perdite totali: -26.06 %

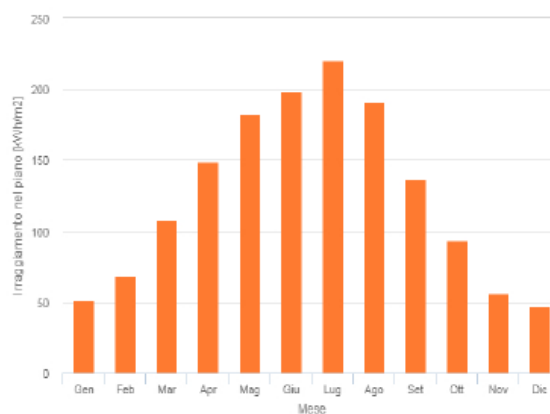
Grafico dell'orizzonte:



Energia prodotta dal sistema FV fisso fisso:



Irraggiamento mensile sul piano fisso:



3 VERIFICHE E CONTROLLI

3.1 VERIFICA TECNICO-FUNZIONALE

Prima della messa in servizio, l'installatore deve effettuare le seguenti verifiche:

- esame a vista delle apparecchiature e del macchinario;
- verifica congruenza schemi unifilari d'impianto;
- verifica congruenza delle caratteristiche dell'impianto di generazione fotovoltaica;
- verifica congruenza delle caratteristiche del dispositivo di interfaccia e dispositivo generale;
- verifica congruenza delle caratteristiche delle protezioni di interfaccia e delle tarature delle stesse con apposita strumentazione;
- verifica con impianto in tensione del regolare funzionamento in chiusura ed in apertura del dispositivo di interfaccia e dell'apertura dello stesso per mancanza di tensione ausiliaria;
- verifica funzionamento di eventuali dispositivi di interblocco;
- rilievo caratteristiche di eventuali dispositivi non richiesti da ENEL Distribuzione, ma installati dal cliente produttore che possono essere di interesse per il servizio (dispositivi di richiusura automatica linee, reinserzioni di gruppi generatori, ecc.);
- verifiche conseguenti a modifiche delle modalità di esercizio

L'impianto deve essere mantenuto in efficienza controllando periodicamente il dispositivo di interfaccia, le tarature delle soglie di intervento e ripetendo periodicamente le verifiche di funzionamento.

A lavori ultimati, dovranno essere effettuate le seguenti verifiche tecnico-funzionali:

- continuità elettrica e connessioni tra moduli;
- messa a terra di masse e scaricatori;
- isolamento dei circuiti elettrici dalle masse;
- corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni di potenza generata e nelle varie modalità previste dal gruppo di conversione (accensione, spegnimento, mancanza rete, ecc.);
- condizione: $P_{cc} > 0,85 \cdot P_{nom} \cdot I / I_{STC}$, ove:
 - ☐ P_{cc} è la potenza (in kW) misurata all'uscita del generatore fotovoltaico, con precisione migliore del 2%,
 - ☐ P_{nom} è la potenza nominale (in kW) del generatore fotovoltaico;

- I è l'irraggiamento (in W/m^2) misurato sul piano dei moduli, con precisione migliore del 3%;
- $ISTC$, pari a $1000 W/m^2$, è l'irraggiamento in condizioni standard;

Tale condizione deve essere verificata per $I > 600 W/m^2$

- condizione: $P_{ca} > 0,9 \cdot P_{cc}$, ove: P_{ca} è la potenza attiva (in kW) misurata all'uscita del gruppo di conversione, con precisione migliore del 2%; tale condizione deve essere verificata per $P_{ca} > 90\%$ della potenza di targa del gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata.

Tutti i componenti e materiali utilizzati dovranno essere scelti ed installati conformemente alle disposizioni elencate nelle norme DK 5940 e nell'allegato 1 del D.M. 19 febbraio 2007, al fine dell'ottenimento degli incentivi in "conto-energia" riferiti al livello di "totale integrazione architettonica", predisposto tecnicamente per l'opzione del regime di scambio sul posto (*net metering*). Il tutto per dare il titolo di compiuto e finito a regola d'arte.

3.2 CONTROLLI IN ESERCIZIO DELL'IMPIANTO E LAVORI ELETTRICI

Controlli. Controllare quotidianamente la presenza di eventuali messaggi di allarme sul display dell'inverter, eventualmente prevedere un intervento di diagnostica per la tempestiva eliminazione del guasto e la successiva verifica dell'impianto.

Al fine di assicurare la sicurezza dell'impianto fotovoltaico è fondamentale la puntuale applicazione delle operazioni di verifica, manutenzione e controllo dei messaggi di allarme.

Messa in sicurezza in caso di lavori. Ai fini della sicurezza del personale, nell'esecuzione dei lavori o di altri interventi presentanti pericolo di contatto con elementi in tensione, devono essere osservate le prescrizioni contenute nella normativa vigente (CEI EN 50110-1).

Interventi di manutenzione. Gli impianti e dispositivi elettrici posti a servizio dei fabbricati devono essere eseguiti a regola d'arte in osservanza alle norme del Comitato Elettrotecnico Italiano (legge 1° marzo 1968, n. 186).

4 DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

Allegati facenti parte integrante della presente Relazione Tecnica:

TAVOLA	DESCRIZIONE
	Progetto tecnico-architettonico dell'impianto fotovoltaico.
	Schema elettrico generale dell'impianto

Siena, Settembre 2020

IL TECNICO

Ing. Giovanni-Luca Giannuzzi