

## **1) GENERALITA' E SCOPO.**

Lo scopo della presente relazione è quello di verificare un impianto fotovoltaico sotto il profilo funzionale e normativo dato che si sono verificati dei guasti sull' impianto fotovoltaico che si sono ripercossi sull' impianto elettrico utilizzatore e sulle apparecchiature presenti nella struttura della proprietà stessa dell' impianto.

L'impianto in oggetto ha una potenza nominale di 46,35 KWp, di proprietà della Società R.E.M Srl alla quale è intestato l'impianto fotovoltaico in oggetto, esso è installato sulla copertura di un capannone ed è sito in Patrica (FR), in Via Ferruccia,16/A.

Le verifiche di cui sopra verranno effettuate sia a vista che attraverso delle prove strumentali.

## **2) DEFINIZIONI.**

Nella presente relazione i termini utilizzati hanno le seguenti definizioni in base alle normative tecniche vigenti in materia.

### **Distributore**

Persona fisica o giuridica responsabile dello svolgimento di attività e procedure che determinano il funzionamento e la pianificazione della rete elettrica di distribuzione di cui è proprietario.

### **Rete del distributore**

Rete elettrica di distribuzione AT, MT e BT alla quale possono collegarsi gli utenti.

### **Rete BT del distributore**

Rete a tensione nominale superiore a 50 V fino a 1.000 V compreso in c.a.

### **Rete MT del distributore**

Rete a tensione nominale superiore a 1.000 V in c.a. fino a 30.000 V compreso.

### **Rete di utente**

Insieme dei circuiti elettrici dell'utente, avente origine nel punto di consegna.

### **Utente della rete del distributore (o utente)**

Soggetto che utilizza la rete del distributore per cedere o acquistare energia elettrica.

### **Punto di consegna**

Punto di confine tra la rete del distributore e la rete di utente, dove l'energia scambiata con la rete del distributore viene contabilizzata e dove avviene la separazione funzionale tra rete del distributore e la rete di utente.

### **Punto di consegna per utenti attivi**

Il punto di consegna per gli utenti attivi si trova, dal punto di vista della rete del distributore, a monte dell'impianto di misura: quest'ultimo viene realizzato a carico dell'utente attivo che ne ha la completa responsabilità.

### **Utente attivo**

Soggetto che converte l'energia primaria in energia elettrica mediante impianti di produzione allacciati alla Rete di distribuzione.

### **Campo fotovoltaico o generatore fotovoltaico**

Insieme di tutte le schiere di moduli fotovoltaici in un sistema dato (CEI EN 61227).

### **Cella fotovoltaica**

Dispositivo fotovoltaico fondamentale che genera elettricità quando viene esposto alla radiazione solare (CEI EN 60904-3). Si tratta sostanzialmente di un diodo con grande superficie di giunzione, che esposto alla radiazione solare si comporta come un generatore di corrente, di valore proporzionale alla radiazione incidente su di esso.

### **Condizioni di Prova Standard (STC)**

Comprendono le seguenti condizioni di prova normalizzate (CEI EN 60904-3):

- Temperatura di cella:  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ .
- Irraggiamento:  $1000\text{ W/m}^2$ , con distribuzione spettrale di riferimento (massa d'aria AM 1.5).

### **Efficienza nominale di un generatore fotovoltaico:**

Rapporto fra la potenza nominale del generatore e l'irraggiamento solare incidente sull'area totale dei moduli, in STC; detta efficienza può essere approssimativamente ottenuta mediante rapporto tra la potenza nominale del generatore stesso (espressa in kWp) e la relativa superficie (espressa in  $\text{m}^2$ ), intesa come somma dell'area dei moduli.

### **Gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata (o inverter)**

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

### **Impianto (o Sistema) fotovoltaico**

Impianto di produzione di energia elettrica, mediante l'effetto fotovoltaico; esso è composto dall'insieme di moduli fotovoltaici (Campo fotovoltaico) e dagli altri componenti (BOS), tali da consentire di produrre energia elettrica e fornirla alle utenze elettriche e/o di immetterla nella rete del distributore.

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

Impianto fotovoltaico in grado di funzionare (ossia di fornire energia elettrica) quando è collegato alla rete del distributore.

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

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

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

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

### **Potenza effettiva di un impianto fotovoltaico**

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

### **Potenza prodotta da un impianto fotovoltaico**

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

### **Stringa fotovoltaica**

Insieme di moduli fotovoltaici collegati elettricamente in serie per ottenere la tensione d'uscita desiderata.

### **3) NORME E LEGGI DI RIFERIMENTO.**

Il sistema oggetto di verifica dovrà essere rispondente alla regola dell' arte, quindi le verifiche e la seguente relazione è stata condotta secondo le seguenti normative e leggi di riferimento:

- Norme CEI/IEC (in particolare le norme: EN 60439-1 e IEC 439 per i quadri elettrici, CEI 110-31 e CEI 110-28 per il contenuto di armoniche e i disturbi indotti sulla rete dal gruppo di conversione, CEI 110-1 110-6 110-8 per la compatibilità elettromagnetica EMC e la limitazione delle emissioni in RF) per gli aspetti elettrici ed elettronici convenzionali;
- Norme CEI/IEC per i moduli fotovoltaici;
- Conformità al Marchio CE per i moduli fotovoltaici ed il gruppo di conversione (direttiva 93/68/EWG – MARCHIO CE);
- Norme UNI/ISO per le strutture meccaniche di supporto e di ancoraggio dei moduli fotovoltaici;
- Norme CEI C.T. 82;
- D. M. n°37 del 22/01/08 per la sicurezza elettrica e l'installazione di impianti;
- D. Lgs. N°81/2008 testo unico per la sicurezza e la prevenzione degli infortuni sul lavoro;
- CEI 11-20 per il collegamento alla rete pubblica;
- CEI 82-25 (e successive varianti) Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di media e bassa tensione;
- CEI 0-2 Guida alla documentazione di progetto per gli impianti;
- Norme CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua;
- Norme CEI EN 61724 per la misura ed acquisizione dati;
- CEI C.T. 20 – Scelta ed installazione dei cavi;
- 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;
- Quant' altro previsto dalla vigente normativa di legge, ove applicabile.

### **4) DESCRIZIONE DELL' IMPIANTO.**

L' impianto in oggetto della potenza di 46.35 Kwp, è installato su copertura di capannone industriale nella località di Patrica (FR) in via Ferruccia,16/A, tale impianto è costituito da una serie di moduli fotovoltaici, connessi in serie/parallelo tra di loro, in modo da formare stringhe fotovoltaiche, le stringhe collegate ai gruppi di conversione (inverter) per la conversione di energia da CC a CA.

Gli inverter utilizzati per la realizzazione del presente impianto sono della serie Conergy IPG5S, in particolare sono stati utilizzati n° 09 inverter, tali inverter avendo l'uscita monofase 230V, sono stati collegati con il conduttore di neutro in comune per ottenere a gruppi di tre una tensione trifase, l'uscita del parallelo degli inverter è collegata ad un trasformatore d'isolamento stella/stella con rapporto di trasformazione 1:1 che effettua la separazione galvanica dell' impianto dalla rete elettrica, a valle del trasformatore è presente il sistema di protezione di interfaccia di rete SPI costituito da un contattore con funzioni di DDI e da una centralina di controllo con funzioni di PI, a valle del contattore avviene la misura dell' energia elettrica in CA prodotta ed è realizzata in BT 400V trifase, questa è contabilizzata da un contatore ENEL, a valle di questo avviene il parallelo con l'utenza e lo scambio con la rete che avviene anch' essa in BT attraverso il contatore di scambio ENEL.

## 5) DESCRIZIONE DEI GUASTI.

I guasti che si sono verificati sono:

- Cortocircuito sulla base a guida DIN dello scaricatore di sovratensione tra una fase ed il PE;
- Cortocircuito dell' interfaccia di rete;
- Vari cortocircuiti alle utenze monofase dell' impianto elettrico utilizzatore all' interno della struttura.
- Guasto all' inverter di una macchina utilizzatrice con sezionatore di alimentazione aperto e conduttore di PE collegato.

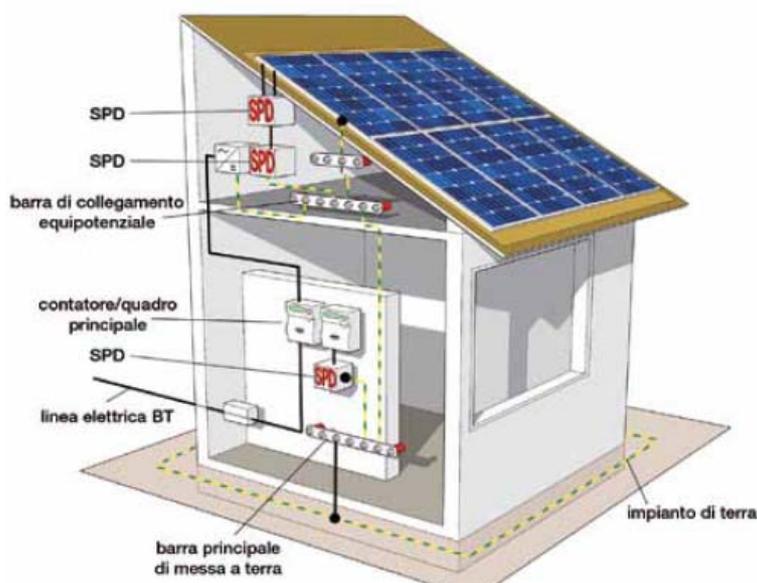
Si precisa inoltre che due inverter appartenenti all' impianto fotovoltaico sono guasti.

## 6) VERIFICA DELLA DOCUMENTAZIONE E VERIFICA A VISTA DELL' IMPIANTO.

L'impianto in oggetto costituito da 9 inverter monofase da 5KW/cad, ad alcuni inverter sono collegate due stringhe fotovoltaiche in parallelo da 12 moduli cad, ed alcuni inverter invece è collegata un' unica stringa fotovoltaica composta da 22 moduli, all' ingresso di ogni inverter è presente una coppia di scaricatori di sovratensione, il sezionamento delle stringhe avviene per mezzo dei sezionatori rotativi presenti sugli inverter, tale sezionamento è conforme a quanto prescritto dalla norma CEI 82-25 e dalla norma CEI 64-8/7.

I moduli fotovoltaici utilizzati sono in classe di isolamento II, ed il collegamento a terra della struttura di sostegno non è stata effettuata, a tal riguardo la norma CEI 82-25 prescrive che la messa a terra delle strutture di sostegno deve essere valutata dal tecnico/progettista caso per caso, in particolare se la struttura presenta un valore di resistenza a terra inferiore a  $1000\Omega$ , questa andrebbe obbligatoriamente messa a terra, inoltre la norma CEI 64-8/7 prescrive che per evitare la messa a terra della struttura di sostegno dei moduli tutti i componenti lato c.c. (compresi cavi, quadri, morsettiere, ecc...) devono essere in classe di isolamento II, altrimenti la messa a terra della struttura dei moduli è obbligatoria, non ultimo, deve essere valutato il funzionamento del sistema di controllo dell' isolamento dell' inverter, difatti senza la messa a terra della struttura di sostegno dei moduli, e quindi anche delle cornici metalliche dei moduli, il sistema di controllo dell' isolamento dell' inverter potrebbe non funzionare correttamente, purtroppo, per il caso specifico era stata posta domanda specifica alla società Conergy che è costruttrice degli inverter, ma non è stata fornita risposta in merito.

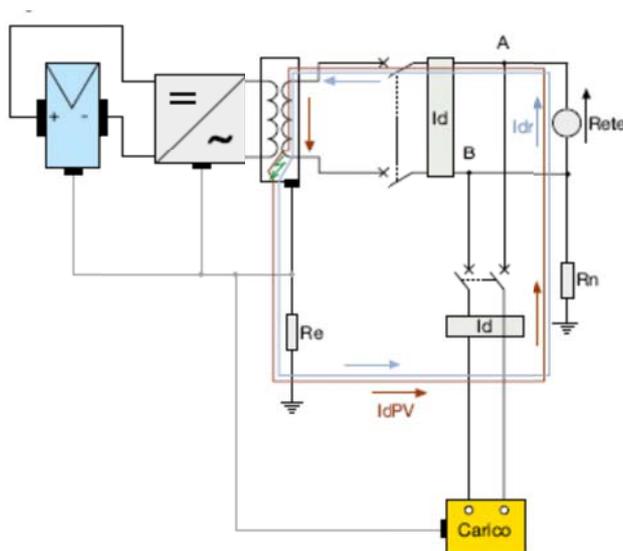
Si ricorda inoltre che è opportuno valutare il collegamento equipotenziale della struttura di sostegno dei moduli ai fini della protezione da scariche atmosferiche.



SCHEMA ILLUSTRATIVO COLLEGAMENTI EQUIPOTENZIALI

L'uscita in CA degli inverter è monofase 230 V, tale uscita è protetta con un interruttore magnetotermico differenziale con  $I_d = 0.03A$  in classe A, le uscite degli inverter vengono collegate ad una morsettiera per effettuare il collegamento in comune dei conduttori di neutro in modo da ottenere una tensione trifase, l'uscita trifase dalla morsettiera è protetta con interruttore magnetotermico, a tal proposito si precisa che:

- La norma CEI 64/8 prescrive che all'uscita in CA degli inverter vengano utilizzati interruttori differenziali in classe B, tali interruttori possono essere in classe A o AC solo ed esclusivamente se il costruttore dell'inverter dichiara che la macchina per costruzione non è in grado di iniettare correnti continue di guasto a terra, anche nel caso specifico era stata posta domanda alla società Conergy, ma non è stata fornita risposta in merito, nel manuale di installazione dell'inverter Conergy è solamente indicato che nelle reti TT è necessario installare una protezione differenziale, senza specificare la classe;



SCHEMA ILLUSTRATIVO GUASTO A TERRA SISTEMA TT CON TRASFORMATORE

- Dato che è stato effettuato una messa in comune dei conduttori di neutro è opportuno installare una protezione differenziale anche trifase, difatti a valle del collegamento in comune dei conduttori di neutro, e quindi dal punto in cui è presente il collegamento trifase, fino al punto di scambio con l'utente non è presente la protezione differenziale;
- Essendo l'impianto costituito da 9 inverter monofase da 5 KW, suddivisi in 3 per ogni fase, si potrebbe verificare, in caso di malfunzionamento di due o più inverter uno squilibrio tra le fasi superiore a 6KW, tale limite è imposto dalla direttiva ENEL DK 5940, Norma CEI 11-20 e attualmente Norma CEI 0-21, è quindi necessario installare un sistema di controllo di squilibrio delle fasi, in modo tale che in qualsiasi condizione di esercizio non si abbia mai la condizione per cui è presente uno squilibrio delle fasi superiore a 6KW.

L'uscita dell'interruttore trifase di parallelo è collegato al trasformatore di isolamento che ha un rapporto di trasformazione di 1:1 ed il collegamento è di tipo stella/stella, il centro stella lato fotovoltaico è collegato a terra, mentre lato rete non è collegato a terra.

Si fa presente in ultimo che l'uscita del contattore DDI è direttamente connesso in parallelo con l'impianto dell'utente, non è previsto nessun dispositivo di sezionamento, quindi non è possibile escludere totalmente l'impianto fotovoltaico se non si agisce sul contattore DDI, è consigliabile installare un dispositivo di sezionamento generale tra l'impianto fotovoltaico e l'impianto dell'utente.

## 7) VERIFICA STRUMENTALE DELL' IMPIANTO.

Sono state effettuate sull' impianto in oggetto varie verifiche strumentali volte ad individuare la causa del malfunzionamento che ha portato ai guasti elencati precedentemente.

In particolare:

- è stata verificata la presenza di eventuali cortocircuiti, la verifica ha dato esito negativo, non sono presenti cortocircuiti;
- è stata testata la resistenza di isolamento dei cavi in CA, la verifica ha dato esito positivo, le resistenze di isolamento dei cavi rientrano nei valori imposti dalla norma;
- sono state verificate eventuali dispersioni verso terra, la verifica ha dato esito positivo, infatti è presente una corrente di guasto verso terra misurata sul conduttore generale di PE, tale corrente è pari a circa 5mA con l'impianto fotovoltaico completamente spento, nel momento in cui si energizza il trasformatore tale corrente subisce un transitorio di breve durata ed è di circa 60A, subito dopo scende e rimane ad un livello stazionario di 1,5A ( a trasformatore energizzato e inverter spenti), nel momento in cui vengo avviati gli inverter la corrente di guasto aumenta fino ad arrivare a circa 2A.  
Successivamente è stata effettuata la verifica per cui è stato scollegato dall' impianto fotovoltaico il trasformatore e sono stati messi in funzione gli inverter, quindi senza trasformatore, in questo caso la corrente di guasto a terra era di circa 10 mA.  
La corrente di guasto che si genera è data presumibilmente dalla mancanza del collegamento a terra del centro stella del trasformatore, difatti tenendo conto che il sistema in esame è di tipo TT, il centro stella, quindi il conduttore di neutro deve essere collegato a terra anche dal lato rete, mancando il collegamento a terra del centro stella lato rete il sistema che si definisce IT, si quindi creare delle differenze di potenziale sul conduttore di neutro che non è equipotenzializzato o si possono generare delle sovratensioni su una o due fasi in caso di guasto su una delle restanti fasi, tenendo anche conto che essendo i carichi squilibrati la corrente sul conduttore di neutro non è 0, difatti in alcuni casi (es.: mancanza di una fase, abbassamento della tensione di una fase) si può arrivare ad avere sul neutro la stessa tensione di una fase, andando quindi ad alimentare i carichi monofase non più con una tensione di 230V ma con una tensione di 400V.
- è stata eseguita con apposita strumentazione l'analisi della qualità dei parametri di rete, si è evidenziato che ad impianto fotovoltaico spento, la qualità della tensione e della corrente era nella norma, ovvero non erano presenti distorsioni rilevanti delle forme d'onda e non erano presenti contenuti armonici energeticamente rilevanti, una volta messo in funzione l'impianto fotovoltaico, si è rilevato che la forma d'onda della corrente presentava molte distorsioni con delle armoniche con contenuto energetico rilevante, la forma d'onda della tensione sostanzialmente è rimasta invariata.

## 8) CONCLUSIONI.

Per quanto esposto nella presente relazione, le conclusioni a cui si è giunti sono:

- a) Si necessita di installare una protezione differenziale trifase in classe B, o con classe diversa se viene presentata dichiarazione da parte del costruttore dell' inverter come da norma CEI 64/8;
- b) Se la dichiarazione da parte del costruttore dell' inverter per l'utilizzo di protezioni differenziali in classe A o AC non è presente, si necessita sostituire tutte le protezioni differenziali monofasi presenti e installarle in classe B;
- c) Non avendo informazioni specifiche da parte della società Conergy, valutare di effettuare il collegamento equipotenziale della struttura di sostegno dei moduli fotovoltaici;
- d) Si necessita installare un' interruttore magnetotermico generale per sezionare completamente l'impianto fotovoltaico subito a valle del punto di scambio presente nel quadro generale;
- e) Si necessita di installare il sistema di controllo di squilibrio della potenza delle fasi come richiesto dalla norma CEI 82-25, CEI 11-20 e CEI 0-21 (squilibrio massimo tra le fasi 6KW);
- f) Per ottenere un sistema elettrico di Tipo TT è necessario collegare il centro stella del trasformatore lato rete a terra.

IL TECNICO  
Per. Ind. Arnaldo Pagani