

COMUNE di SAN MARCO IN LAMIS
Provincia di Foggia

PROGETTO
per l'installazione di
un impianto fotovoltaico
con potenza nominale di 10,0188 MWp
con relativa connessione alla RTN

COMMITTENTE

SISTEMI ENERGETICI S.p.A.

**PROGETTO
DEFINITIVO**

COMUNE: **SAN MARCO IN LAMIS**
LOCALITA': " **Posta D'Innanzi**"

Calcoli preliminari delle strutture e degli impianti

Scala:

-

Data:

11-11-2021

Rev:

01

Codifica:

FTV/SMIL/PTO/EL_CP

ELABORATO

CP

Progettazione:



Via Mario Forcella, 14 - 71121 FOGGIA

Tecnico incaricato:



Ing. Marcello Salvatori

INDICE

1	Verifica coordinamento delle protezioni contro le sovracorrenti	pag.2
1.1	Verifica linee di alimentazione dei moduli fotovoltaici	pag.3
1.2	Verifica linee di collegamento tra string box e main box	pag.3
1.3	Verifica linee di collegamento tra main box e inverter	pag.4
1.4	Verifica linee di collegamento tra inverter e trasformatore	pag.5
1.5	Verifica linee di collegamento tra trasformatore e quadro MT	pag.6
1.6	Verifica linee di collegamento tra cabine di conversione e tra queste e la Sottostazione Utente	pag.6
2	Verifica coordinamento delle protezioni contro il cortocircuito	pag.7
3	Verifica caduta di tensione lungo le linee	pag.8
3.1	Verifica linea di alimentazione dei moduli fotovoltaici	pag.9
3.2	Verifica linea di collegamento tra string box e main box	pag.10
3.3	Verifica linea di collegamento tra main box e inverter	pag.10
3.4	Verifica linea di collegamento tra inverter e trasformatore	pag.11
3.5	Verifica linea di collegamento tra trasformatore e quadro MT	pag.12
3.6	Verifica linea di collegamento tra cabina sottocampo n. 2 e Sottostazione Utente	pag.13

1 Verifica coordinamento delle protezioni contro le sovracorrenti

Il dimensionamento dei conduttori è stato eseguito tenendo presente la corrente di impiego I_b ed imponendo una caduta di tensione totale massima del 3% per le linee in corrente continua CC e del 4% per le linee in corrente alternata AC. Tale dimensionamento tiene inoltre conto del coordinamento tra caratteristiche della linea e degli interruttori per la protezione delle condutture contro il sovraccarico e il cortocircuito; a tale scopo sono state considerate anche la I_n e la caratteristica I^2t dell'interruttore posto a monte per la protezione di ogni linea.

Verifica coordinamento delle protezioni contro il sovraccarico

Per ogni linea elettrica, sia in corrente continua che in corrente alternata, sono state verificate le seguenti relazioni:

$$I_b \leq I_N \leq I_Z \qquad I_f \leq 1,45 \cdot I_Z$$

dove:

I_b è la corrente d'impiego per il conduttore di fase (F) o di neutro (N);

I_N è la corrente nominale dell'interruttore di protezione della linea;

I_Z è la portata del conduttore di fase (F) o di neutro (N);

I_f è la corrente minima di funzionamento dell'interruttore,

$I_f = 1,13 \cdot I_N$ per gli interruttori automatici;

$I_f = (1,6-2) \cdot I_N$ per i fusibili.

1.1 Verifica linee di alimentazione dei moduli fotovoltaici

Per l'alimentazione dei moduli fotovoltaici è stato utilizzato il cavo FG21M21 0,6/1 kV di formazione 2x6mm². Con questo cavo sono stati effettuati i collegamenti in serie dei moduli fotovoltaici per costituire le stringhe da 18 moduli FTV. Il dimensionamento delle linee si riferisce ai collegamenti di ogni singola stringa allo string box (raccoglitore di stringhe). La verifica è stata eseguita per una singola stringa essendo tutte le altre analoghe.

Il valore della corrente d'impiego è stato calcolato dalla formula seguente:

$$P = U \cdot I_b \Rightarrow I_b = \frac{P}{U} \quad (\text{per la corrente continua})$$

essendo:

- I_b la corrente d'impiego;
- U la tensione di stringa;
- P la potenza relativa ad una stringa.

quindi:

$$I_b = 10.890 \text{ W} / 622,8 \text{ V} = 17,48 \text{ A}$$

La portata del cavo FG21M21 0,6/1 kV, per la sezione di 6 mm² è pari a 70 A, mentre per la protezione della linea è costituita da un fusibile presente sullo string box con portata pari a 20 A, quindi:

$$I_b \leq I_N \leq I_Z \leftrightarrow 17,49 \leq 20 \leq 70 \quad I_f \leq 1,45 \cdot I_Z \leftrightarrow 2 \cdot 20 \leq 1,45 \cdot 70$$

entrambe le relazioni sono verificate.

1.2 Verifica linee di collegamento tra string box e main box

Per il collegamento elettrico tra string box e main box è stato utilizzato il cavo FG16OR16 di formazione 2x120 mm². La verifica è stata eseguita per una singola linea essendo tutte le altre analoghe.

Il valore della corrente d'impiego è stato calcolato dalla formula seguente:

$$P_2 = U \cdot I_{b2} \Rightarrow I_{b21} = \frac{P_2}{U} \quad (\text{per la corrente continua})$$

essendo:

I_{b2} la corrente d'impiego;

U la tensione di stringa;

P_2 la potenza relativa a n. 10 stringhe collegate in parallelo (caso conservativo con string box che collegano 10 stringhe. Ci sono casi in cui string box collegano 9 stringhe) .

quindi:

$$I_b = 108.900 \text{ W} / 622,8 \text{ V} = 174,85 \text{ A}$$

La portata del cavo FG16OR16, per la sezione di 120 mm² è pari a 332 A, mentre per la protezione della linea è costituita da un interruttore scatolato con corrente nominale pari a 200 A, quindi:

$$I_b \leq I_N \leq I_Z \leftrightarrow 174,85 \leq 200 \leq 274 \quad I_f \leq 1,45 \cdot I_Z \leftrightarrow 2 \cdot 200 \leq 1,45 \cdot 332$$

entrambe le relazioni sono verificate.

1.3 Verifica linee di collegamento tra main box e inverter

Per il collegamento elettrico tra main box e inverter è stato utilizzato il cavo FG16R16 di formazione 2x2x1x240 mm². La verifica è stata eseguita per una singola linea essendo tutte le altre analoghe.

Il valore della corrente d'impiego è stato calcolato dalla formula seguente:

$$P_2 = U \cdot I_{b2} \Rightarrow I_{b21} = \frac{P_2}{U} \quad (\text{per la corrente continua})$$

essendo:

- I_{b2} la corrente d'impiego;
- U la tensione di stringa;
- P_2 la potenza relativa a n. 47 stringhe collegate in parallelo.

quindi:

$$I_{b2} = \frac{511.830}{622,8} = 821,82 A$$

La portata del cavo FG16R16, per la sezione di 2x2x1x240 mm² è pari a 1100A, mentre per la protezione della linea di che trattasi è stato utilizzato un interruttore CC con corrente nominale pari a 1000A, quindi:

$$I_{b2} \leq I_N \leq I_Z \Leftrightarrow 821,82 \leq 1000 \leq 1100 \qquad I_f \leq 1,45 \cdot I_Z \Leftrightarrow 1,13 \cdot 400 \leq 1,45 \cdot 1100$$

entrambe le relazioni sono verificate.

1.4 Verifica linee di collegamento tra inverter e trasformatore

Per i tratti di collegamento elettrico tra l'inverter ed il trasformatore è stato utilizzato il cavo FG16R16 di formazione 3Fx(4x1x240 mm²).

Il valore della corrente d'impiego è stato calcolato dalla formula seguente:

$$I_b = 511.830 W / \sqrt{3} \cdot 400 V = 739,63 A$$

La portata del cavo FG16R16, per la sezione di 240 mm² è pari a 2200 A, mentre per la protezione della linea è costituita da un interruttore scatolato con corrente nominale pari a 1000 A, quindi:

$$I_b \leq I_N \leq I_Z \Leftrightarrow 739,63 \leq 1000 \leq 2200 \qquad I_f \leq 1,45 \cdot I_Z \Leftrightarrow 2 \cdot 1000 \leq 1,45 \cdot 2200$$

entrambe le relazioni sono verificate.

1.5 Verifica linee di collegamento tra trasformatore e quadro MT

Per il collegamento elettrico tra la cabina di trasformazione e la cabina di ricezione è stato utilizzato il cavo RG7H1R/12-20 di formazione 3x1x25 mm².

Il valore della corrente d'impiego è stato calcolato dalla formula seguente:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_b \cdot \cos \varphi \Rightarrow I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} \quad (\text{per la corrente alternata trifase})$$

essendo:

I_b la corrente d'impiego;

U_n la tensione di esercizio;

P la potenza relativa a n. 47 stringhe collegate in parallelo.

quindi:

$$I = 1.001.880 \text{ W} / (\sqrt{3} * 20.000 * 0,9) = 31,19 \text{ A}$$

La portata del cavo RG7H1R/12-20, per la sezione di 25 mm² è pari a 120A, mentre per la protezione della linea di che trattasi è stato utilizzato un fusibile MT con corrente pari a 100A, quindi:

$$I_b \leq I_R \leq I_Z \leftrightarrow 31,19 \leq 100 \leq 120 \quad I_f \leq 1,45 * I_Z \leftrightarrow 1,13 * 100 \leq 1,45 * 120$$

entrambe le relazioni sono verificate.

1.6 Verifica linee di collegamento tra cabine di conversione e tra queste e la Sottostazione Utente

Per il collegamento elettrico tra la cabina di trasformazione e la cabina di ricezione è stato utilizzato il cavo ARE4H1R/12-20 di formazione 3x1x185 mm².

Il valore della corrente d'impiego è stato calcolato dalla formula seguente:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_b \cdot \cos \varphi \Rightarrow I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} \quad (\text{per la corrente alternata trifase})$$

essendo:

I_b la corrente d'impiego;

U_n la tensione di esercizio;

P la potenza complessiva del parco agrovoltaiico.

quindi:

$$I = 10.018.800 \text{ W} / (\sqrt{3} * 20.000 * 0,9) = 321,73 \text{ A}$$

La portata del cavo ARE4H1R/12-20, per la sezione di 185 mm² è pari a 368A, mentre per la protezione della linea di che trattasi è stato utilizzato un interruttore MT con corrente 400 regolato a 350A, quindi:

$$I_b \leq I_R \leq I_Z \leftrightarrow 321,73 \leq 350 \leq 368 \quad I_f \leq 1,45 * I_Z \leftrightarrow 1,13 * 350 \leq 1,45 * 368$$

entrambe le relazioni sono verificate.

2 Verifica coordinamento delle protezioni contro il cortocircuito

Per ogni linea sono verificate le relazioni seguenti:

$$I^2 t^{(1)} \leq K_f^2 S_f^2 \quad I^2 t^{(2)} \leq K_n^2 S_n^2 \quad I_{cn} \geq I_{cc \max}$$

essendo:

$I^2 t$ l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore per:

- (1) su sganciatore di fase alla corrente di c.to c.to massima (trifase) ai morsetti;
- (2) su sganciatore adibito a protezione del neutro alla c.te di c.to c.to fase-neutro ai morsetti.

K coefficiente che tiene conto del tipo di materiale del conduttore e del tipo del suo isolante, per il conduttore di fase (f) o di neutro (n);

S la sezione del conduttore di fase (f), neutro (n);

I_{cn} il potere di interruzione nominale del dispositivo di protezione;

I_{cc} la corrente di corto circuito massima sulla linea (trifase ai morsetti per sistemi trifase e fase neutro ai morsetti per i sistemi monofase).

Per quanto indicato nei punti precedenti, visto le sez. 433, 434 e l'art. 533.3 della norma CEI 64-8, tutte le linee risultano adeguatamente protette contro le sovracorrenti.

3 Verifica caduta di tensione lungo le linee

La caduta di tensione su ogni linea deve essere inferiore al 3% per le linee in corrente continua CC ed inferiore al 4% per le linee in corrente alternata. La relazione per tale verifica è:

$$\Delta U = k \cdot I_b \cdot L \cdot (r_L \cdot \cos \varphi + x_L \cdot \sin \varphi)$$

dove:

k è uguale a 2 se monofase e $\sqrt{3}$ se trifase;

I_b è la corrente d'impiego [A];

L è la lunghezza della linea [km];

r_L è la resistenza unitaria [Ω/km];

x_L è la reattanza unitaria [Ω/km];

$\cos \varphi$ è il fattore di potenza del carico.

Per la verifica della caduta di tensione percentuale si è adottata la seguente relazione:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100$$

3.1 Verifica linea di alimentazione dei moduli fotovoltaici

La verifica della caduta di tensione sulle linee che vanno dalle stringhe agli string box è stata fatta considerando la linea più lunga. In questo modo, se la relazione della caduta di tensione è verificata per questa linea, tale condizione diventa necessaria e sufficiente per la verifica sulle altre linee di collegamento delle stringhe agli string box.

Il valore della corrente d'impiego I_b è così determinato:

$$I_b = 10.890 \text{ W} / 622,8 \text{ V} = 17,48 \text{ A}$$

essendo:

I_b la corrente d'impiego;

U la tensione di stringa;

P la potenza relativa ad una stringa.

La lunghezza della linea è pari a 30m, mentre i parametri del cavo sono:

$$r_L = 4,95 [\Omega/\text{Km}] \quad x_L = 0$$

quindi:

$$\Delta U = (30/1000) * 2 * 17,48 * 4,95 = 5,19 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = (5,19 / 622,8) * 100 = 0,83 \%$$

La caduta di tensione è inferiore al 3% (linea in CC).

3.2 Verifica linea di collegamento tra string box e main box

La verifica della caduta di tensione sulle linee che vanno dagli string box all'inverter, è stata fatta considerando la linea più lunga. In questo modo, se la relazione della caduta di tensione è verificata per questa linea, tale condizione diventa necessaria e sufficiente per la verifica sulle altre linee di collegamento dagli string box all'inverter.

Il valore della corrente d'impiego I_b è così determinato:

$$I_b = P_2 / U = 108.900 \text{ W} / 622,8 \text{ V} = 174,85 \text{ A}$$

essendo:

I_{b2} la corrente d'impiego;

U la tensione di stringa;

P_2 la potenza relativa a n. 10 stringhe collegate in parallelo (caso conservativo con string box che collegano 10 stringhe. Ci sono casi in cui string box collegano 9 stringhe)

La lunghezza della linea è pari a 125m, mentre i parametri del cavo sono:

$$r_L = 0,343 \text{ } [\Omega/\text{Km}] \quad x_L = 0$$

quindi:

$$\Delta U = (125/1000) * 2 * 174,85 * 0,196 = 8,56 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = (8,56 / 622,8) * 100 = 1,37 \%$$

La caduta di tensione è inferiore al 3% (linea in CC).

3.3 Verifica linea di collegamento tra main box e inverter

La verifica della caduta di tensione sulle linee che vanno dai main box all'inverter, è stata fatta considerando la linea più lunga. In questo modo, se la relazione della caduta di tensione è verificata

per questa linea, tale condizione diventa necessaria e sufficiente per la verifica sulle altre linee di collegamento dai main box agli inverter.

Il valore della corrente d'impiego I_b è così determinato:

$$I_b = \frac{P_2}{U} = \frac{511.830}{622,8} = 821,82 A$$

essendo:

I_b la corrente d'impiego;

U la tensione di stringa;

P_2 la potenza relativa a n. 47 stringhe collegate in parallelo.

La lunghezza della linea è pari a 20m, mentre i parametri del cavo sono:

$$r_L = 0,100 [\Omega/Km] \quad x_L = 0$$

quindi:

$$\Delta U = (20/1000) * 2 * (821,82/2) * 0,100 = 1,64 V$$

$$\Delta U\% = (1,64 / 622,8) * 100 = 0,26 \%$$

La caduta di tensione è inferiore al 3% (linea in CC).

3.4 Verifica linea di collegamento tra inverter e trasformatore

La verifica della caduta di tensione sulle linee che vanno dagli inverter al trasformatore, è stata fatta considerando la linea più lunga. In questo modo, se la relazione della caduta di tensione è verificata per questa linea, tale condizione diventa necessaria e sufficiente per la verifica sulle altre linee di collegamento dagli inverter al trasformatore.

Il valore della corrente d'impiego I_b è così determinato:

$$I_b = P / \sqrt{3} * U = 511.830 \text{ W} / \sqrt{3} * 400 \text{ V} = 739,63 \text{ A}$$

essendo:

I_b la corrente d'impiego;

U la tensione di esercizio;

P la potenza relativa a n. 47 stringhe collegate in parallelo.

La lunghezza della linea è pari a 10m, mentre i parametri del cavo sono:

$$r_L = 0,100 \text{ } [\Omega/\text{Km}] \quad x_L = 0,10$$

quindi:

$$\Delta U = (10/1000) * \sqrt{3} * (739,63 / 4) * 0,343 = 4,43 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = (4,43 / 400) * 100 = 1,10 \%$$

$$\Delta U = (10/1000) * (739,63/4) * (0,100*0,9 + 0,10*0,4) * \sqrt{3} = 0,41 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = (0,41 / 400) * 100 = 0,103 \%$$

La caduta di tensione è inferiore al 4% (linea in ca).

3.5 Verifica linea di collegamento tra trasformatore e quadro MT

La verifica della caduta di tensione sulle linee che vanno dagli inverter al trasformatore, è stata fatta considerando la linea più lunga. In questo modo, se la relazione della caduta di tensione è verificata per questa linea, tale condizione diventa necessaria e sufficiente per la verifica sulle altre linee di collegamento da trasformatore e quadro MT.

Il valore della corrente d'impiego I_b è così determinato:

$$I = P / \sqrt{3} * U = 1.001.880 \text{ W} / (\sqrt{3} * 20.000 * 0,9) = 31,19 \text{ A}$$

essendo:

- I_b la corrente d'impiego;
- U la tensione di esercizio;
- P la potenza relativa a un sottocampo.

La lunghezza della linea è pari a 15m, mentre i parametri del cavo sono:

$$r_L = 0,927 \text{ } [\Omega/\text{Km}] \quad x_L = 0,15 \text{ } [\Omega/\text{Km}]$$

quindi:

$$\Delta U = (15/1000) * (31,19) * (0,927*0,9 + 0,15*0,4) * 1,73 = 0,72 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = (0,72 / 20.000) * 100 = 0,0036 \%$$

La caduta di tensione inferiore al 4% (linea in AC).

3.6 Verifica linea di collegamento tra cabina sottocampo n. 2 e Sottostazione Utente

Il valore della corrente d'impiego I_b è così determinato:

$$I = P / \sqrt{3} * U = 10.018.800 \text{ W} / (\sqrt{3} * 20.000 * 0,9) = 321,73 \text{ A}$$

essendo:

- I_b la corrente d'impiego;
- U la tensione di esercizio;
- P la potenza relativa all'intero impianto agrovoltatico.

La lunghezza della linea è pari a 200m, mentre i parametri del cavo sono:

$$r_L = 0,217[\Omega/\text{Km}] \quad x_L = 0,11 [\Omega/\text{Km}]$$

quindi:

$$\Delta U = (200/1000) * (321,73) * (0,217*0,9 + 0,11*0,4) * 1,73 = 26,63\text{V}$$

$$\Delta U\% = (26.63 / 20.000) * 100 = 0,133 \%$$

La caduta di tensione inferiore al 4% (linea in AC).

Foggia, 11/11/2021

Ing. Marcello Salvatori