

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO ECOVOLTAICO

DELLA POTENZA PARI A 144.21 MWp

Comune di Sassari (SS)

Loc. "Giuanne Abbas" e "Elighe longu"

Autorizzazione Unica
(art.12 D.lgs 387/2003 e s.m.i.)

Oggetto:

4.01-ELE-Relazione di calcolo preliminare delle opere elettriche

Proponente:



SIGMA ARIETE S.R.L.

Via Mercato n.3, MILANO (MI), 20121

P.I. 11467070964

REA MI - 2604780

PEC sigmaariete@legalmail.it

Progetto sviluppato da Regener8 Power per Canadian Solar



<https://regener8power.com/>

The Surrey Technology Centre,

The Surrey Research Park, Guildford, Surrey, England,

GU2 7YG

Progettista:



Stantec S.p.A.

Centro Direzionale Milano 2, Palazzo Canova

Segrate (Milano)

italia.info@stantec.com

Phone: +39 02 94757240



Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	25/11/21	Prima Emissione	D.Stangalino	P.Marcello	D.Stangalino

Fase progetto: **Definitivo**

Formato elaborato: **A4**

Nome File: **4.01-00-A-ELE relazione di calcolo**

Indice

1. Premessa	2
2. Normativa di riferimento	2
3. Descrizione dell'impianto fotovoltaico	2
4. Dimensionamento dei cavi di bassa tensione	3
4.1 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO	3
4.1.1 Generalità	3
4.1.2 Valori ammissibili della caduta di tensione.....	3
4.1.3 Tipi di installazione	3
4.1.4 Calcolo della portata.....	4
4.2 COEFFICIENTI DI CORREZIONE DELLA PORTATA	4
4.2.1 Coefficiente k1 di correzione della temperatura ambiente	4
4.2.2 Coefficiente k2 di correzione PER RESISTIVITA' DEL TERRENO	4
4.2.3 Coefficiente k3 di correzione PER PROFONDITA' DI POSA.....	4
4.2.4 Coefficiente k4 di correzione per presenza di conduttori adiacenti.....	4
4.3 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE.....	4
4.3.1 Scelta delle tensioni di isolamento	5
4.3.2 Dimensionamento in funzione della portata	5
4.3.3 Verifica della massima caduta di tensione	5
4.3.4 Verifica della protezione contro le sovracorrenti	5
4.3.5 Protezione contro i sovraccarichi	5
4.3.6 Protezione contro i corto circuiti	6
4.3.7 Protezione contro i contatti indiretti	6
4.3.8 TIPOLOGIA DI CAVI UTILIZZATI	7
5. Dimensionamento dei trasformatori bt/mt	8
6. Dimensionamento dei cavi di media tensione	8
6.1 LINEA DI COLLEGAMENTO TRASFORMATORI ELEVATORI.....	8
6.2 LINEA DI COLLEGAMENTO TRASFORMATORE SERVIZI AUSILIARI	9
6.3 LINEA DI COLLEGAMENTO TRA LE CABINE.....	9
6.4 LINEE IN CAVO MT DI COLLEGAMENTO ALLA SOTTOSTAZIONE.....	10
6.5 LINEE IN CAVO MT DI COLLEGATO AI TRASFORMATORI ELEVATORI	11
7. Dimensionamento del trasformatore elevatore	11
8. Dimensionamento dell'elettrodotto in cavo at.....	12
9. Corto circuito di fase	13
10. Guasti a terra	13
11. Valutazione della caduta di tensione	14
12. Valutazione delle perdite	14

1. Premessa

Lo scopo della presente relazione tecnica è quello di descrivere i criteri di dimensionamento dei componenti l'impianto fotovoltaico da 144,21 MWp che si desidera realizzare nel comune di Sassari e che sarà connesso alla rete nazionale di Trasmissione (RTN) a 150 kV.

2. Normativa di riferimento

Nella stesura della presente relazione tecnica, sono state seguite le prescrizioni indicate e applicabili al caso specifico dalle seguenti norme:

- ✓ Guida CEI 0-2 II Ed. 2002, "Guida per la definizione della documentazione di progetto per gli Impianti Elettrici".
- ✓ Norma CEI EN 61936-1, "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- ✓ Parte 1: Prescrizioni comuni".
- ✓ Norma CEI EN 50522, "Messa a terra degli impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a".
- ✓ Norma CEI 11-17, "Linee in cavo".
- ✓ Norma IEC 62271-200, "A.C. metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV".
- ✓ Norma CEI 64-8, "Impianti elettrici utilizzatori".
- ✓ Norma CEI EN 60076, "Trasformatori di potenza".
- ✓ Norma CEI 0-16, "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica".
- ✓ Codice di rete Terna e suoi allegati

3. Descrizione dell'impianto fotovoltaico

Si tratta di un nuovo impianto fotovoltaico ubicato nel comune di Sassari, avente potenza installata pari a 144,21 MWp.

L'impianto fotovoltaico può essere suddiviso in due principali sezioni funzionali:

- la sezione di produzione dell'energia elettrica, comprendente i moduli fotovoltaici (fissati su strutture portanti) e le apparecchiature elettriche di bassa e media tensione;
- la connessione alla rete elettrica di alta tensione, realizzata tramite la costruzione di una sottostazione di trasformazione a 150 kV e del cavidotto in alta tensione a 150 kV fino alla stazione Terna di futura costruzione, come da relativa STMG.

I principali componenti che costituiscono l'impianto fotovoltaico possono essere così riassunti:

- Moduli fotovoltaici;
- Inverter;
- Quadri di parallelo inverter;
- Trasformatori elevatori BT/MT;
- Quadri MT di sezionamento e protezione;
- Complesso dei conduttori in CC e in CA (sia BT che MT) per i collegamenti di potenza;
- Cabine di campo (che accolgono i quadri di bassa tensione, i trasformatori e i quadri MT);
- Cabine di raccolta (per la raccolta delle linee in media tensione provenienti dalle cabine di campo)
- Elettrodotti in media tensione dalle cabine di campo alla sottostazione utente
- Sottostazione utente AT/MT;
- Cavo AT di connessione alla stazione Terna.

La connessione alla stazione Terna, di futura relazione, sarà effettuata a partire da una nuova sottostazione utente, di nuova realizzazione su una particella di terreno adiacente alla futura stazione Terna 380kV/150 kV e sarà connessa in antenna, tramite elettrodotto in cavo in alta tensione.

4. Dimensionamento dei cavi di bassa tensione

I cavi di bassa tensione in corrente continua presenti sull'impianto sono:

- Cavi di collegamento dai pannelli fotovoltaici ai quadri di primo parallelo
- Cavi di collegamento dai quadri di primo parallelo agli inverter di stringa

I cavi di bassa tensione in corrente alternata presenti sull'impianto sono:

- Cavi di collegamento da inverter di stringa a QGBT
- Cavi di collegamento da QGBT a trasformatore elevatore
- Cavi di collegamento da trasformatore servizi ausiliari a QSG
- Cavi dei servizi ausiliari

I cavi di collegamento dagli inverter di stringa ai quadri QGBT saranno posati interrati. Tutti gli altri cavi sono posati in passerelle in aria libera o in tubazioni a parete.

4.1 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

4.1.1 Generalità

Per il dimensionamento dei cavi di bassa tensione è stata utilizzata la corrente di impiego della conduttura, come di seguito indicato:

- Cavi di collegamento ai quadri di distribuzione: 100% della corrente nominale del trasformatore di alimentazione
- Cavi di collegamento ai quadri di sottodistribuzione: 100% della corrente di assorbimento nelle condizioni nominali di esercizio
- Cavi di alimentazione motori: 100% della corrente nominale e di avviamento dei motori
- Cavi di alimentazione utenze statiche: 100% della corrente nominale dell'utenza

4.1.2 Valori ammissibili della caduta di tensione

La massima caduta di tensione ammissibile riferita alla tensione nominale di funzionamento della conduttura sarà la seguente:

- | | |
|--------------------------------------------------------|----|
| ✓ alimentazione quadri e sotto quadri di distribuzione | 2% |
| ✓ alimentazione utilizzatori finali | 4% |

I valori indicati per gli utilizzatori finali sono valori complessivi a partire dalla sorgente di alimentazione.

4.1.3 Tipi di installazione

In accordo alle modalità di installazione espresse dalla Norma CEI 64-8 i tipi di installazione previsti e adottati per l'impianto in esame sono:

- ✓ Cavi unipolari in aria libera posati su passerelle: tipo di posa 13
- ✓ Cavi multipolari in aria libera posati su passerelle: tipo di posa 13
- ✓ Cavi multipolari in aria libera in tubi: tipo di posa 3A
- ✓ Cavi unipolari e multipolari interrati: tipo di posa 61 (in tubi interrati) tipo di posa 62 (direttamente interrati)

I cavi unipolari in passerella saranno disposti a trifoglio e ogni terna distanziata 2 volte il diametro esterno.

Per i cavi multipolari di sezione $\geq 25 \text{ mm}^2$ posati in passerella si adotta la disposizione su uno strato solo.

Per i cavi di sezione inferiore a 25 mm^2 posati in passerella si adotta la disposizione su due strati con un riempimento lineare della passerella pari all'80%.

Per i cavi multipolari posati in tubo si ammette un riempimento massimo del tubo pari al 60% della sua superficie.

4.1.4 Calcolo della portata

La portata effettiva di un cavo (I_{zeff}) è influenzata dai seguenti fattori:

- temperatura dell'ambiente circostante (diversa dai valori di riferimento: 30°C posa in aria, 20° C posa interrata,
- presenza o meno di conduttori attivi adiacenti,
- reale tipo di installazione.

Pertanto verranno impiegati opportuni coefficienti di correzione per determinare l'effettivo valore della portata effettiva di un cavo (I_{zeff}) riferita alle reali condizioni di posa.

Questi coefficienti saranno:

- K1 coefficiente di correzione della temperatura ambiente (*)
- K2 coefficiente di correzione per resistività del terreno diversa da 1,5 Km/W
- K3 coefficiente di correzione per posa a profondità diversa da 0,8 m
- K4 coefficiente di correzione per presenza di conduttori adiacenti.

(*) la temperatura ambiente è da intendersi come la temperatura riferita all'ambiente di posa (aria o terreno per la posa interrata).

L'effettiva portata di un cavo posato in aria sarà: $I_{zeff} = IZ \times K1 \times K4$

L'effettiva portata di un cavo posato interrati sarà: $I_{zeff} = IZ \times K1 \times K2 \times K3 \times K4$

4.2 COEFFICIENTI DI CORREZIONE DELLA PORTATA

4.2.1 Coefficiente k1 di correzione della temperatura ambiente

Per la posa in aria e temperatura ambiente diversa da 30 °C il fattore di correzione assume i seguenti valori, validi per cavi isolati in EPR:

Temperatura 35°C – $K1=0,96$

Per la posa interrata e temperatura ambiente diversa da 20 °C il fattore di correzione assume i seguenti valori, validi per i cavi isolati in EPR:

Temperatura 25°C – $K1=0,94$

4.2.2 Coefficiente k2 di correzione PER RESISTIVITA' DEL TERRENO

Per la posa interrata si assume un valore di resistività del terreno pari al valore nominale, pertanto il coefficiente $K2$ risulterà pari a 1.

4.2.3 Coefficiente k3 di correzione PER PROFONDITA' DI POSA

Per la posa interrata si assume un valore della profondità di posa pari a 0,9 m, pertanto il coefficiente $K3$ risulterà pari a 0,98.

4.2.4 Coefficiente k4 di correzione per presenza di conduttori adiacenti

Cavi unipolari posati in passerella	$k4 = 0,89$
Cavi multipolari posati su passerelle	$k4 = 0,8$
Cavi multipolari posati a fascio su passerelle	$k4 = 0,7$
Cavi multipolari posati in tubo in aria	$k4 = 0,7$
Cavi multipolari posati interrati	$K4 = 0,92$
Cavi unipolari a trifoglio posati interrati	$K4 = 0,92$

4.3 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE

Il dimensionamento dei cavi di bassa tensione sarà realizzato considerando il seguente schema operativo:

- determinazione della corrente di impiego delle condutture (I_b) in funzione dei dati nominali dell'utenza alimentata;
- scelta del tipo di cavo in funzione delle condizioni ambientali;

- scelta del tipo di posa in funzione delle condizioni ambientali;
- dimensionamento dei cavi in base alla portata, considerando le reali condizioni di posa e ambientali rispetto alle condizioni ideali di riferimento;
- verifica della caduta di tensione ammissibile;
- scelta dei dispositivi di protezione in base alla corrente di impiego delle condutture da proteggere e al livello di cortocircuito nel punto di installazione;
- verifica della protezione contro i sovraccarichi;
- verifica della protezione contro i cortocircuiti a inizio e fondo linea;
- verifica della protezione delle persone contro i contatti indiretti.

4.3.1 Scelta delle tensioni di isolamento

In accordo a quanto stabilito dalla Norma CEI 64-8 saranno definiti i valori delle tensioni di isolamento U_0 (tensione nominale di isolamento tra un conduttore isolato e la terra) e U (tensione nominale di isolamento tra due conduttori isolati) in relazione ai valori nominali e massimi presenti sull'impianto. Per le condizioni di esercizio dell'impianto saranno impiegati cavi con le seguenti tensioni di isolamento:

- Rete di bassa tensione a 400 V – 0,6/1 kV
- Rete di bassa tensione a 800 V – 1 kV
- Rete in corrente continua in uscita dai pannelli FV – 1,5 kV

4.3.2 Dimensionamento in funzione della portata

La portata di un cavo dipende dal tipo di cavo, dal suo regime di funzionamento, dalle sue condizioni di installazione (temperatura ambiente, modalità di posa, numero di cavi e loro raggruppamento). La portata dei cavi viene calcolata in accordo a quanto descritto in precedenza, in relazione alle reali condizioni di posa.

La portata dei cavi sarà scelta in modo da soddisfare la condizione: $I_b \leq I_z$

dove I_b = corrente di impiego del cavo di bassa tensione
 I_z = portata in regime permanente del cavo

4.3.3 Verifica della massima caduta di tensione

Il dimensionamento delle condutture elettriche deve essere tale da mantenere, in condizioni normali di esercizio, la caduta di tensione tra l'origine dell'impianto utilizzatore e qualunque apparecchio utilizzatore entro i limiti ammessi e definiti.

La caduta di tensione in linea è calcolata con la seguente formula:

$$\Delta V\% = K \times L \times I \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi) / V$$

nella quale:

L	=	lunghezza della linea espressa in km
I	=	corrente di impiego o corrente di taratura espressa in A
R	=	resistenza (a 90°) della linea in Ω/km
X	=	reattanza della linea in Ω/km
$\cos \varphi$	=	fattore di potenza
k	=	2 per linee monofasi - 1,73 per linee trifasi

La formula generale usata per il calcolo della caduta di tensione percentuale per i sistemi in corrente continua è la seguente:

$$\Delta V\% = [2 \times L \times I \times R \times 100] / V$$

nella quale	L	=	lunghezza della linea espressa in km
	I	=	corrente di impiego I_B o corrente di taratura I_n espressa in A
	R	=	resistenza (a 90°) della linea in Ω/km

4.3.4 Verifica della protezione contro le sovracorrenti

Per le linee elettriche in bassa tensione sarà effettuata la verifica della protezione delle condutture contro le sovracorrenti in accordo alla Norma CEI 64-8/4 art. 433.2 e 434.3.

4.3.5 Protezione contro i sovraccarichi

La protezione contro le sovracorrenti sarà realizzata mediante interruttori automatici magnetotermici o relè termici, i quali saranno in grado di assicurare la protezione contro i sovraccarichi se avranno una

corrente nominale e una corrente convenzionale di funzionamento tali da soddisfare contemporaneamente le seguenti condizioni:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_r \leq 1,45 I_Z$$

dove I_B = Corrente di impiego del circuito
 I_N = Corrente nominale del dispositivo di protezione
 I_Z = Portata in regime permanente della conduttura
 I_r = Corrente di funzionamento del dispositivo di protezione

4.3.6 Protezione contro i corto circuiti

I dispositivi impiegati per la protezione contro i sovraccarichi, sono in grado di assicurare la protezione contro i cortocircuiti se soddisfano le seguenti condizioni:

- il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione:

$$I_{cc\ max} \leq I_{cs}$$

- tutte le correnti provocate da un corto circuito che si presenti in un punto qualsiasi del circuito devono essere interrotte in un tempo non superiore a quello che porta i conduttori alla temperatura limite ammissibile:

$$I^2t \leq K^2S^2$$

$$I_{cc\ fl} > I_m$$

dove I_{ccmax} = Corrente di corto circuito massima
 I_{ccfl} = Corrente di corto circuito a fondo linea
 I_{cs} = Potere di interruzione di servizio del dispositivo (CEI EN 60947-2)
 I_m = Valore di intervento della soglia magnetica
 I^2t = Energia specifica associata alla corrente presunta corrente di corto c.to
 K = Coefficiente in funzione dell'isolante della conduttura
 S = Sezione della conduttura

I dispositivi impiegati per la protezione contro il sovraccarico dovendo svolgere anche la funzione di sezionamento e protezione contro i cortocircuiti saranno installati all'origine delle linee, in accordo alla Norma CEI 64-8.

La Norma CEI 64-8 prescrive che l'intervento delle protezioni debba essere verificato anche per corto circuito a fondo linea.

La presenza di un dispositivo di protezione unico contro il sovraccarico e il cortocircuito è considerata sufficiente ad assicurare la protezione anche contro le correnti di corto circuito a fondo linea.

In caso di dispositivi separati la verifica deve essere assicurata.

4.3.7 Protezione contro i contatti indiretti

La protezione contro tali contatti sarà assicurata dalla rete di terra in accordo alle prescrizioni delle Norme CEI 64-8.

Nell'impianto in oggetto, dotato di propria cabina di trasformazione, la distribuzione in bassa tensione è realizzata con sistema TN-S pertanto le masse saranno collegate ad un unico impianto di messa a terra.

In accordo alla Norma CEI 64-8 art. 413.1.1.1 la protezione contro i contatti indiretti sarà realizzata mediante interruzione automatica dell'alimentazione.

Questa misura di protezione richiede il coordinamento tra il modo di collegamento a terra del sistema e le caratteristiche dei conduttori di protezione e dei dispositivi di protezione.

Le masse dovranno essere collegate ad un conduttore di protezione, in accordo all'art. 413.1.1.2 della Norma CEI 64-8/4, nelle condizioni specifiche di ciascun modo di collegamento a terra.

Trattandosi di un sistema TN-S le caratteristiche dei dispositivi di protezione e le impedenze dei circuiti devono essere tali che, in caso di guasto di impedenza trascurabile in qualsiasi parte dell'impianto tra un conduttore di fase ed un conduttore di protezione o una massa, l'interruzione automatica dell'alimentazione avvenga entro il tempo specificato, soddisfacendo la seguente condizione (art. 413.1.3.3):

$$Z_s \times I_a \leq U_0$$

- dove U_0 = è la tensione nominale in c.a., valore efficace tra fase e terra, in Volt
 Z_s = è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto ed il conduttore di protezione tra il punto di guasto e la sorgente;
 I_a = è la corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione entro il tempo definito dalla tabella 41A.

Tab. 41A **Tempi massimi di interruzione per i sistemi TN**

U_0 (V) (*)	Tempo di interruzione (s)
120	0,8
230	0,4
400	0,2
> 400	0,1

(*) Questi valori si basano sulla Norma CEI 8-6.

4.3.8 TIPOLOGIA DI CAVI UTILIZZATI

In corrente continua per il collegamento dei pannelli fotovoltaici saranno utilizzati cavi unipolari H1Z2Z2-K aventi sezione 4 mm², 6 mm² e 10 mm², in funzione delle distanze.

In corrente alterna per il collegamento degli inverter ai quadri QGBT delle cabine di impianto o ai quadri di parallelo saranno utilizzati cavi NAYCWY con posa interrata, aventi le seguenti sezioni:

- 3x70+35PE mm²

La massima corrente in uscita dagli inverter lato AC risulta essere di 126,45 A, mentre la portata del suddetto cavo nelle condizioni di posa indicate risulta essere di 156 A.

La caduta di tensione e le perdite in linea per effetto Joule risultano essere inferiori ai limiti ammissibili.

Per il collegamento dei quadri di parallelo con 3 inverter ai quadri QGBT delle cabine di impianto saranno utilizzati NAYCWY con posa interrata, aventi le seguenti sezioni:

- 3x(1x400) mm² + 1x240PE mme²

La massima corrente transitante sui quadri di parallelo risulta essere di 379,55 A, mentre la portata del cavo utilizzato nelle condizioni di posa risulta essere di 432 A.

La caduta di tensione e le perdite in linea per effetto Joule risultano essere inferiori ai limiti ammissibili.

Per il collegamento dei quadri di parallelo con 4 inverter ai quadri QGBT delle cabine di impianto saranno utilizzati NAYCWY con posa interrata, aventi le seguenti sezioni:

- 2x3x(1x240) mm² + 1x240PE mme²

La massima corrente transitante sui quadri di parallelo risulta essere di 505,8 A, mentre la portata del cavo utilizzato nelle condizioni di posa risulta essere di 510 A.

La caduta di tensione e le perdite in linea per effetto Joule risultano essere inferiori ai limiti ammissibili.

5. Dimensionamento dei trasformatori bt/mt

I trasformatori di ogni singola cabina sono stati dimensionati tenendo in considerazione il numero di pannelli e il numero di inverter installati nell'area di impianto relativa alla cabina di trasformazione. Nella figura seguente è riportato il sunto del dimensionamento dei trasformatori elevatori delle cabine di impianto.

		POT DC [kWp]	POT AC [kVA]	Trafo [kVA]			n° trafo	POT DC [kWp]	POT INV [kVA]	POT TRAFOS [kVA]	CARICO	Numero inverter
				2000	2500	3150						
1	N1.1	3.634,90	3.675,00				2	3.634,90	3.675,00	4.000,00	91,88%	21,00
2	N1.2	5.187,60	5.250,00		1		1	5.187,60	5.250,00	5.650,00	92,92%	30,00
3	N2	3.438,75	3.500,00	1			2	6.582,75	6.650,00	7.000,00	95,00%	38,00
	N3	3.144,00	3.150,00				3					
4	E1.1	3.812,10	3.850,00	1			2	7.781,40	7.875,00	8.300,00	94,53%	45,00
	E1.2	3.969,30	4.025,00				3					
5	E1.3	5.364,45	5.425,00		1		1	5.364,45	5.425,00	5.650,00	96,02%	31,00
6	E2.1	10.434,15	10.325,00	1			2	5.217,08	5.162,50	5.150,00	100,24%	29,50
7							1	5.217,08	5.162,50	5.650,00	95,37%	29,50
8	E2.2	1.906,05	1.925,00	2			2	3.812,10	3.875,00	4.000,00	95,88%	21,00
	E5.1	1.709,55	1.750,00				3					
9	E3.1	7.683,15	7.700,00				3	9.432,00	9.450,00	9.450,00	100,00%	54,00
	E3.2	1.748,85	1.750,00				2					
10	E4	1.414,80	1.400,00	1	1		2	4.421,25	4.375,00	4.500,00	97,22%	25,00
	E5.2.1	3.006,45	2.975,00				2					
11	E5.2.2	5.187,60	5.250,00		1		2	5.187,60	5.250,00	5.650,00	92,92%	30,00
12	E6	2.947,50	2.975,00		1		2	5.246,55	5.250,00	5.650,00	92,92%	30,00
	E8.1	2.299,05	2.275,00				2					
13	E9.2	6.327,30	6.300,00			2	2	6.327,30	6.300,00	6.300,00	100,00%	36,00
14	E7.1	7.309,80	7.350,00	1	1		3	7.309,80	7.350,00	7.650,00	96,08%	42,00
15	E7.2	5.836,05	5.775,00		2		2	5.836,05	5.775,00	6.300,00	91,67%	33,00
16	E7.3.1	4.951,80	4.900,00		2		2	4.951,80	4.900,00	5.000,00	98,00%	28,00
17	E7.3.2	6.012,90	5.950,00		2		2	6.012,90	5.950,00	6.300,00	94,44%	34,00
18	E8	2.534,85	2.625,00	1	1		2	4.303,35	4.375,00	4.500,00	97,22%	25,00
	E10	1.768,50	1.750,00				2					
19	S1.1	5.246,55	5.250,00		1		2	5.246,55	5.250,00	5.650,00	92,92%	30,00
20	S1.2	4.892,85	4.900,00		2		2	4.892,85	4.900,00	5.000,00	98,00%	28,00
21	S2.1	6.288,00	6.300,00			2	2	6.288,00	6.300,00	6.300,00	100,00%	36,00
22	S2.2	6.170,10	6.125,00		2		2	6.170,10	6.125,00	6.300,00	97,22%	35,00
23	W1.1	7.349,10	7.350,00	1	1		3	7.349,10	7.350,00	7.650,00	96,08%	42,00
24	W1.2	5.757,45	5.775,00		2		2	5.757,45	5.775,00	6.300,00	91,67%	33,00
25	W2	2.947,50	2.975,00	1	1		3	6.857,85	7.000,00	7.650,00	91,50%	40,00
	W3	3.910,35	4.025,00				3					
	TOT	144.211,35	144.550,00	12,00	17,00	27,00	56,00	144.211,35	144.550,00	151.550,00	95,38%	826

6. Dimensionamento dei cavi di media tensione

6.1 LINEA DI COLLEGAMENTO TRASFORMATORI ELEVATORI

Saranno impiegati cavi con conduttore in alluminio, isolamento in HEPR, con tensione di isolamento 18/30 kV, per il collegamento dei trasformatori elevatori al quadro di media tensione della cabina di campo.

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Tipo di cavo: unipolare – 18/30 kV
 Isolamento: EPR
 Sezione: 3x(1x120) mm²
 Conduttore: alluminio
 Sigla: ARG7H1R 18/30 kV
 Lunghezza: 10 m

Condizioni di posa in passerella in aria libera
 Temperatura ambiente 35 °C

Portata nominale I_z 309 A
 Costante cavo K = 92
 Energia specifica passante 121,882x10⁶ A2s

Coefficiente di correzione per la temperatura K1=0,96
 Coefficiente di correzione per la vicinanza di altri circuiti K4= 0,81

Portata effettiva del cavo I_{zeff} I_z*K1*K4 = 240,3 A

Corrente di impiego I_b 60,7 A (corrente nominale trasformatore da 3150 kVA)
 48,2 A (corrente nominale trasformatore da 3150 kVA)
 38,5 A (corrente nominale trasformatore da 3150 kVA)

Verifica della portata I_b < I_{zeff} → 60,7 A < 240,3 A

Tempo di intervento protezioni 0,25 s soglia di corto circuito ritardato (51)
 Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 22,080 \text{ kA}$

La massima corrente di corto circuito sopportabile dal cavo è superiore alla corrente di corto circuito dell'impianto (20 kA).

6.2 LINEA DI COLLEGAMENTO TRASFORMATORE SERVIZI AUSILIARI

Saranno impiegati cavi con conduttore in alluminio, isolamento in HEPR, con tensione di isolamento 18/30 kV, per il collegamento dei trasformatori dei servizi ausiliari (50 kVA), valido solo per le cabine di raccolta.

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Tipo di cavo: unipolare – 18/30 kV
 Isolamento: EPR
 Sezione: $3 \times (1 \times 120) \text{ mm}^2$
 Conduttore: alluminio
 Sigla: ARG7H1R 18/30 kV
 Lunghezza: 10 m

Condizioni di posa in passerella in aria libera
 Temperatura ambiente $35 \text{ }^\circ\text{C}$

Portata nominale I_z 309 A
 Costante cavo $K = 92$
 Energia specifica passante $121,882 \times 10^6 \text{ A}^2\text{s}$

Coefficiente di correzione per la temperatura $K_1 = 0,96$
 Coefficiente di correzione per la vicinanza di altri circuiti $K_4 = 0,81$

Portata effettiva del cavo $I_{zeff} \quad I_z * K_1 * K_4 = 240,3 \text{ A}$

Corrente di impiego $I_b \quad 0,875 \text{ A}$ (corrente nominale trasf. 50 kVA)

Verifica della portata $I_b < I_{zeff} \rightarrow 0,875 \text{ A} < 240,3 \text{ A}$

Tempo di intervento protezioni 0,25 s soglia di corto circuito ritardato (51)
 Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 22,080 \text{ kA}$

La massima corrente di corto circuito sopportabile dal cavo è superiore alla corrente di corto circuito dell'impianto (20 kA).

6.3 LINEA DI COLLEGAMENTO TRA LE CABINE

Saranno impiegati cavi con conduttore in alluminio, isolamento in HEPR, con tensione di isolamento 18/30 kV, per il collegamento delle cabine di impianto alle cabine di raccolta.

Saranno previste delle dorsali in entra-esce sulle cabine di impianto che collegano tra loro al massimo 3 cabine.

Le caratteristiche dei cavi impiegati sono le seguenti:

Tipo di cavo: unipolare – 18/30 kV
 Isolamento: EPR
 Sezione: $(1 \times 150) \text{ mm}^2 / (1 \times 185) \text{ mm}^2 / (1 \times 240) \text{ mm}^2$
 Conduttore: alluminio
 Sigla: ARG7H1R 18/30 kV
 Lunghezza:

Condizioni di posa interrato
 Temperatura ambiente $25 \text{ }^\circ\text{C}$
 Resistività del terreno $1,0 \text{ m }^\circ\text{K/W}$,

Portata nominale I_z 318 A / 361 A / 418 A
 Costante cavo $K = 92$

Energia specifica passante 190,44x10⁶ A2s (cavo di sezione 150 mm²)

Coefficiente di correzione per la temperatura K1=0,96
 Coefficiente di correzione per la profondità di posa K2=0,96
 Coefficiente di correzione per resistività del terreno K3=1
 Coefficiente di correzione per la vicinanza di altri circuiti K4= 0,81

Portata effettiva del cavo I_{zeff} I_z*K1*K2*K3*K4 = 237,4 A / 269,5 A / 312 A

Corrente di impiego I_b variabile in funzione della tipologia di cabine collegate:
 tratto iniziale di collegamento tra due cabine: 160 A massimo
 tratto intermedio di collegamento tra due cabine: 212 A massimo
 tratto finale di collegamento alla cabina di raccolta: 326 A massimo

Pertanto saranno impiegate le seguenti sezioni:
 tratto iniziale di collegamento tra due cabine: 3x(1x150) mm²
 tratto intermedio di collegamento tra due cabine: 3x(1x185) mm²
 tratto finale di collegamento alla cabina di raccolta: 3x(1x240) mm²

Verifica della portata I_b<I_{zeff}
 tratto iniziale di collegamento tra due cabine: 160 A < 237,4 A
 tratto intermedio di collegamento tra due cabine: 212 A < 269,5 A
 tratto finale di collegamento alla cabina di raccolta: 326 A < 2*326 A – nota 1

Verifica valida per le linee di collegamento della cabina 2 e della cabina 21, ove saranno impiegate 2 terne in parallelo da 1x240 mm².

Le linee di collegamento dei tratti terminali delle altre dorsali saranno realizzare con una sola terna di cavi 1x240 mm².

Tempo di intervento protezioni 0,25 s soglia di corto circuito ritardato (51)
 Massima c.c. sopportabile I = KS/√t = 27,600 kA per la sezione 150 mm²

La massima corrente di corto circuito sopportabile dal cavo è superiore alla corrente di corto circuito dell'impianto (20 kA).

6.4 LINEE IN CAVO MT DI COLLEGAMENTO ALLA SOTTOSTAZIONE

Saranno impiegati cavi con conduttore in alluminio, isolamento in HEPR, con tensione di isolamento 18/30 kV, per il collegamento delle cabine di raccolta alla sottostazione.

Ogni cabina di raccolta sarà connessa con due linee alla sottostazione, ciascuna delle quali costituita da due terne in parallelo di cavi di sezione 630 mm².

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Tipo di cavo: unipolare – 18/30 kV
 Isolamento: EPR
 Sezione: 2x3x(1x630) mm²
 Conduttore: alluminio
 Sigla: ARG7H1R 18/30 kV
 Lunghezza:

Condizioni di posa interrato
 Temperatura ambiente 25 °C
 Resistività del terreno 1,0 m °K/W,

Portata nominale I_z 706 A
 Costante cavo K = 92
 Energia specifica passante 3359,36x10⁶ A2s

Coefficiente di correzione per la temperatura K1=0,96
 Coefficiente di correzione per la profondità di posa K2=0,96
 Coefficiente di correzione per resistività del terreno K3=1
 Coefficiente di correzione per la vicinanza di altri circuiti K4= 0,81

Portata effettiva	del cavo I_{zeff}	$I_z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 527 \text{ A}$
Corrente di impiego I_b	dipende dalla potenza delle cabine collegate alla singola sbarra del quadro mt della cabina di raccolta. Valore massimo: 595 A	
Verifica della portata	$I_b < I_{zeff} \rightarrow 595 \text{ A} < 2 \cdot 527 \text{ A} = 1054 \text{ A}$	
Tempo di intervento protezioni	0,25 s soglia di corto circuito ritardato (51)	
Massima c.c. sopportabile	$I = KS/\sqrt{t} = 115,900 \text{ kA}$	

La massima corrente di corto circuito sopportabile dal cavo è superiore alla corrente di corto circuito dell'impianto (20 kA).

6.5 LINEE IN CAVO MT DI COLLEGATO AI TRASFORMATORI ELEVATORI

Saranno impiegati cavi con conduttore in rame, isolamento HEPR di qualità G7, schermo in di rame e rivestimento esterno in PVC qualità Rz, aventi sigla RG7H1R tensione di isolamento 18/30 kV.

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Tipo di cavo:	unipolare – 18/30 kV
Isolamento:	HEPR di qualità G7
Sezione:	1x240 mm ² / 5 conduttori in parallelo per fase
Resistenza:	0,0985 Ω/km
Reattanza:	0,11 Ω/km
Capacità:	0,24 Ω/km

Portata nominale I_z	525 A
Costante cavo	$K = 143$
Energia specifica passante	$1177,86 \times 10^6 \text{ A}^2\text{s}$

Condizioni di posa	in cunicolo in passerella
Temperatura del terreno	25 °C
Profondità di posa pari	1,2 m,
Resistività del terreno	1 m °K/W,

Coefficiente di correzione per la temperatura del terreno	$K_1=0,96$
Coefficiente di correzione per la profondità di posa	$K_2=0,96$
Coefficiente di correzione per resistività del terreno	$K_3=1$
Coefficiente di correzione per la vicinanza di altri circuiti	$K_4=0,85$

Portata effettiva del cavo I_{zeff}	$I_z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 411,26 \text{ A}$
Corrente di impiego I_b	1541,43 A (corrente nominale trasfor. da 80 MVA)
Verifica della portata	$I_b < I_{zeff} \rightarrow 700,65 \text{ A} < 5 \cdot 411,26 = 2056,3 \text{ A}$

Tempo di intervento protezioni	0,5 s soglia di corto circuito ritardato (51)
Massima c.c. sopportabile	$I = KS/\sqrt{t} = 48,54 \text{ kA}$

La massima corrente di corto circuito sopportabile dal cavo è superiore alla corrente di corto circuito dell'impianto (20 kA).

7. Dimensionamento del trasformatore elevatore

Il trasformatore elevatore della sottostazione elettrica sarà dimensionato per poter evacuare l'intera potenza dell'impianto fotovoltaico 144,21 MWp, tenendo conto della potenza totale installata nelle cabine di impianto e della relativa percentuale di carico (95,38%).

Complessivamente si ha una potenza apparente di 144,548 MVA, pertanto saranno previsti n.2 trasformatori da 80 MVA in ventilazione ONAN/ONAF.

Il singolo trasformatore sarà dotato di variatore sottocarico sul lato primario per la regolazione di tensione con $\pm 10 \times 1,25\%$ posizioni.

Pertanto le caratteristiche principali del trasformatore elevatore sono:

Tensione primaria	150 kV
Variatore primario	$\pm 10 \times 1,25\%$
Potenza nominale	80/(*) MVA
Gruppo vettoriale	YNd11
Tensione secondaria	33 kV
Tensione di corto circuito	13%
Sistema di raffreddamento	ONAN-ONAF
Perdite cc	valore ipotizzato 0,325%An

(*) La potenza con ventilazione forzata sarà definita in fase di ingegneria esecutiva e sarà pari al 120% della potenza di impianto per soddisfare le prescrizioni del codice di rete Terna.

8. Dimensionamento dell'elettrodotto in cavo at

Il cavo di alta tensione sarà dimensionato per trasportare la massima potenza generata dall'impianto fotovoltaico. Pertanto il valore minimo di portata del cavo sarà superiore alla corrente che sarà immessa sulla rete AT a 150 kV dall'impianto stesso (616,6 A).

Sarà impiegato un cavo unipolare avente una sezione di 1600 mm².

Le caratteristiche dei cavi di alta tensione utilizzati per il collegamento il collegamento dell'impianto fotovoltaico alla sottostazione di condivisione sono di seguito riportate:

Tipo di cavo:	170 kV
Formazione:	3x(1x1600) mm ²
Tipo di isolamento:	XLPE (polietilene reticolato)
Materiale:	alluminio
Schermo:	alluminio
Sezione schermo:	95 mm ²
Guaina esterna:	polietilene
Portata:	1130 A (nota 1)
Diametro esterno:	100 mm

Nota 1: valore riferito a 20 °C, profondità 1,3 m, resistività del terreno 1,0 Km/W

Nelle reali condizioni di posa:

- profondità di 1,5 m
- terna singola
- temperatura del terreno di 20 °C
- resistività del terreno 1 Km/W

si ha un coefficiente di riduzione della portata di $K=0,98$.

Pertanto il valore effettivo della portata risulta essere 1107,4 A, superiore alla massima corrente di impiego del cavo (606,6 A).

La caduta di tensione e le perdite per effetto joule risultano trascurabili essendo la tratta di lunghezza ridotta.

9. Corto circuito di fase

Per la valutazione del corto circuito di fase sono stati considerati i seguenti parametri di rete:

Rete alta tensione

Tensione nominale	150	kV
Tensione minima	-10%	
Tensione massima	+10%	
Massima corrente trifase	31,5	kA (valore ipotizzato)
Rapporto R/X	0,1	
Minima corrente trifase	15	kA (valore ipotizzato)
Massima corrente monofase	31,5	kA (valore ipotizzato)
Tempo di eliminazione del guasto	0,5 s	

Le apparecchiature di alta tensione saranno dimensionate in relazione a tale valore sia per quanto riguarda la tenuta al corto circuito che per le sollecitazioni elettrodinamiche (valore della corrente di picco).

I valori della corrente di corto circuito trifase in media tensione saranno determinati dalle caratteristiche del trasformatore elevatore della sottostazione, che determina sulla rete mt una corrente di corto circuito di 11,86 kA.

Le apparecchiature di media tensione saranno dimensionate in relazione a tale valore sia per quanto riguarda la tenuta al corto circuito che per le sollecitazioni elettrodinamiche (valore della corrente di picco).

I valori della corrente di corto circuito trifase in bassa tensione saranno determinati dalle caratteristiche dei trasformatori elevatore della singola cabina di impianto.

Le apparecchiature a valle del trasformatore elevatore di ogni cabina di impianto saranno dimensionate per una corrente di corto circuito trifase di 35 kA che risulta superiore alla presunta corrente di guasto in funzione delle caratteristiche dei trasformatori installati.

10. Guasti a terra

La sezione di alta tensione sottostazione è esercita con il neutro connesso direttamente a terra come da prescrizioni del codice di rete di Terna.

La sezione di media tensione dell'impianto eolico è esercita con il neutro isolato.

Il contributo alla corrente di guasto monofase è determinato dalle capacità verso terra dei cavi di media tensione.

Utilizzando la formula approssimata delle norme CEI, la corrente di guasto monofase a terra è calcolabile con la seguente formula $I_g = 0,2 * L * V$ [A]

dove:

L = lunghezza delle linee della rete elettrica in km

V = tensione di esercizio in kV

Pertanto la corrente di guasto a terra risulta essere pari a 6,0 A/km.

Tale corrente sarà opportunamente rilevata con protezioni direzionali di guasto a terra (67N).

L'impianto di terra sarà tale da garantire il rispetto dei valori limite delle tensioni di passo e contatto definiti dalla Norma CEI EN 50522 in relazione al tempo di intervento delle protezioni comunicato da Terna.

In bassa tensione sarà eseguita la protezione contro i contatti indiretti tramite interruzione automatica

dell'alimentazione, in accordo alle prescrizioni della Norma CEI 64-8.

11. Valutazione della caduta di tensione

La caduta di tensione sulle linee in media tensione di alimentazione dei trasformatori elevatori delle singole cabine di impianto è inferiore ai limiti ammissibili (2%) in virtù della ridotta lunghezza delle linee. In maniera analoga la caduta di tensione sulle linee di alimentazione dei trasformatori dei servizi ausiliari delle cabine di raccolta risulta trascurabile.

La caduta di tensione sulle linee di collegamento delle cabine di campo alle cabine di raccolta è in funzione della corrente transitante e della distanza tra le cabine, ovvero della lunghezza della linea in cavo.

Le sezioni adottate consentono di mantenere la caduta di tensione entro i limiti ammissibili.

La caduta di tensione sulle linee di collegamento dalle cabine di raccolta alla sottostazione è in funzione della lunghezza degli elettrodotti (9,5 km) e della corrente di impiego delle linee stesse.

Nel caso di massima corrente transitante su una linea, pari a 595 A, si avrà una caduta di tensione di 1,66% e quindi inferiore ai limiti ammissibili.

12. Valutazione delle perdite

La valutazione delle perdite per effetto Joule sulle linee di trasmissione dell'impianto fotovoltaico fino alla sottostazione d'utente è in funzione della lunghezza delle linee, della loro sezione e della corrente transitante.

Sulle linee di collegamento alla sottostazione, trattandosi di linee di notevole lunghezza, si avranno le maggiori perdite che possono essere quantificate in 1357 kW.

Le perdite sui trasformatori elevatori in sottostazione sono quantificabili in 262 kW per macchina.

Alle suddette perdite vanno aggiunte quelle sulle linee in media e bassa tensione interne all'impianto e quelle sui trasformatori elevatori delle cabine di impianto.