

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato denominato “Pontedera” di potenza pari a 43,2 MWp nel comune di Pontedera (PI) e opere di connessione alla RTN ricadenti nel Comune di Ponsacco (PI)

Relazione di calcolo impianti elettrici



02/10/2024	00	Emissione per autorizzazione	D.Stangalino	G. D'Amico / L. Marabeti/ O. Retini	F. Boni Castagnetti
Data	Rev.	Descrizione Emissione	Preparato	Verificato	Approvato
Logo Committente e Denominazione Commerciale 			ID Documento Committente H060_FV_BER_00015		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale 			ID Documento Appaltatore -		

 iren green generation Iren Green Generation Tech s.r.l.	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 2 / 28
		Numero Revisione
		00

Sommarrio

1	Premessa.....	4
2	Normative di riferimento	5
3	Descrizione dell'impianto agrivoltaico	6
4	Dimensionamento dell'impianto agrivoltaico.....	7
4.1	Generatore fotovoltaico.....	7
4.2	Inverter	7
4.3	Cabina di trasformazione	8
4.3.1	Quadro QBT.....	8
4.3.2	Trasformatore MT/BT.....	9
4.3.3	Quadro MT.....	9
4.4	Cabina di raccolta.....	9
5	Dimensionamento dei cavi di bassa tensione.....	10
5.1	Criteri di dimensionamento.....	10
5.1.1	Generalità.....	10
5.1.2	Valori ammissibili della caduta di tensione	10
5.1.3	Tipi di installazione.....	11
5.1.4	Calcolo della portata	11
5.2	Coefficienti di correzione della portata.....	12
5.2.1	Coefficiente K1 di correzione della temperatura ambiente	12
5.2.2	Coefficiente K2 di correzione per resistività del terreno	12
5.2.3	Coefficiente K3 di correzione per profondità di posa.....	12
5.2.4	Coefficiente K4 di correzione per presenza di conduttori adiacenti.....	12
5.3	Dimensionamento e verifiche	13
5.3.1	Scelta delle tensioni di dimensionamento.....	13
5.3.2	Dimensionamento in funzione della portata	13
5.3.3	Verifica della massima caduta di tensione.....	13
5.3.4	Verifica della protezione contro le sovracorrenti.....	14
5.3.5	Protezione contro i sovraccarichi	14
5.3.6	Protezione contro i corto circuiti.....	15
5.3.7	Protezione contro i contatti indiretti.....	16
5.4	Tipologia di cavi utilizzati	16
6	Dimensionamento dei cavi di media tensione.....	18

	<p>ID Documento Committente</p> <p>H060_FV_BER_00015</p>	Pagina 3 / 28
		Numero Revisione
		00

6.1	Collegamento alla SSE Utente	18
6.2	Collegamento cabine di trasformazione e raccolta	18
6.3	Cavi MT interni alle cabine di trasformazione	20
6.4	Cavi MT interni alla SSE Utente	20
6.5	Valutazione della caduta di tensione	21
7	Elettrodotto in cavo AT.....	23
7.1	Dimensionamento	23
7.2	Caratteristiche	23
7.3	Tipici di posa.....	24
7.4	Lunghezza e pezzature	25
7.5	Attraversamenti	25
7.6	Aree impegnate	25
8	Corto circuito di fase.....	27
9	Guasti a terra	28

	<p>ID Documento Committente</p> <p>H060_FV_BER_00015</p>	Pagina 4 / 28
		Numero Revisione
		00

1 Premessa

Lo scopo della presente relazione tecnica è quello di descrivere i criteri di dimensionamento dei componenti costituenti l'impianto agrivoltaico denominato "Pontedera" che sarà realizzato nel comune di Pontedera, in provincia di Pisa.

Si rimanda al documento H060_FV_BGR_00001_Relazione tecnica descrittiva e all'elaborato grafico H060_FV_BEU_00016_Schema elettrico unifilare, per una trattazione specifica dell'impianto in oggetto.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 5 / 28
		Numero Revisione
		00

2 Normative 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.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 6 / 28
		Numero Revisione
		00

3 Descrizione dell'impianto agrivoltaico

L'impianto Agrivoltaico occupa una superficie complessiva di circa 63 ha ed è costituito da 65.640 pannelli fotovoltaici, dei quali 12.288 da 650 W e 53.352 da 660 W, montati su strutture ad inseguimento di tipo monoassiale.

Nell'area di impianto saranno installati inverter distribuiti di stringa di potenza nominale pari a 330 kVA che consentiranno la trasformazione della corrente continua a quella alternata. Le linee elettriche in corrente alternata uscenti dagli inverter saranno convogliate in 14 cabine di trasformazione ("Conversion Unit" o CU) BT/MT contenenti quadri BT, trasformatori BT/MT, quadri MT e apparecchiature elettriche ausiliare, le quali consentiranno la trasmissione della potenza generata dai moduli fotovoltaici al cabinato MT di raccolta mediante l'utilizzo di cavi in corrente alternata alla tensione di 30 kV.

Dal cabinato MT di raccolta si deriverà la linea in media tensione interrata, lunga circa 5 km, per la connessione alla Sottostazione Elettrica Utente (SSE) AT/MT che sarà realizzata in un'area in prossimità della Cabina Primaria (CP) di Ponsacco di e-distribuzione. La SSE eleverà la tensione da 30 kV a 132 kV mediante un trasformatore AT/MT.

Il collegamento alla Rete Trasmissione Nazionale (RTN) avverrà tramite l'utilizzo di un cavo in alta tensione 132 kV di lunghezza pari a circa 130 m che conetterà la SSE al nuovo stallo di arrivo linea che sarà realizzato all'interno della CP Ponsacco di e-distribuzione.

 iren green generation Iren Green Generation Tech s.r.l.	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 7 / 28
		Numero Revisione
		00

4 Dimensionamento dell'impianto agrivoltaico

4.1 Generatore fotovoltaico

La potenza installata, pari a 43,2 MWp, è suddivisa nei 9 sottocampi, con le caratteristiche sotto riportate:

Campo	Cabina	Tracker 12	Tracker 24	Pannelli 650 W	Pannelli 660 W	Potenza kWp	N. Stringhe	Inverter	Trasformatore
1	CU1	28	276	6960		4524	290	16	2x2000 +1x1250 kVA
2	CU2	6	106	2616		1700,4	109	6	1x2000 kVA
3	CU3.1	36	325		8232	5433,12	343	12	2x2000 kVA
	CU3.2							6	1x2000 kVA
4	CU4.1	52	722		17952	11848,32	748	15	2x2000 +1x1250 kVA
	CU4.2							12	2x2000 kVA
	CU4.3							12	2x2000 kVA
5	CU5.1	52	473		11976	7904,16	499	15	2x2000 +1x1250 kVA
	CU5.2							11	2x2000 kVA
6	CU6	16	176		4416	2914,56	184	10	2x2000 kVA
7	CU7	6	55	1392		904,8	58	3	1x1250 kVA
8	CU8.1	50	424		10776	7112,16	449	12	2x2000 kVA
	CU8.2							12	2x2000 kVA
9	CU9	16	47	1320		858	55	3	1x1250 kVA
TOT		262	2604	12288	53352	43199,52		145	

Il cablaggio dei moduli sarà effettuato con cavi H1Z2Z2-K di sezione di 6 mm². Sia polo positivo che negativo sono isolati da terra.

4.2 Inverter

Gli inverter potranno ricevere dal campo un numero di stringhe variabile, da 18 a 20. I cavi di ingresso, in arrivo dalle stringhe, dovranno essere di sezione pari a 6 mm² (cavo tipo H1Z2Z2-K 1.5 kV). Essi presentano le seguenti caratteristiche:

Tensione DC massima:	1500 Vdc
Range operativo tensione ingresso CC:	500 V – 1500 V
Potenza nominale @ 25°C:	330 KVA
Potenza nominale @ 50°C:	275 KVA
Tensione nominale AC:	800 V

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 8 / 28
		Numero Revisione
		00

Protezioni lato DC: sezionatori manuali con intervento automatico

Protezioni lato AC: non presente, sarà installato apposito interruttore di manovra e sezionamento.

Gli inverter saranno collegati elettricamente alle Cabine di trasformazione (o conversion unit – CU), mediante cavi in alluminio ARG16R16 0.6/1 kV di sezione massima di 300 mm².

Gli inverter distribuiti hanno sei ingressi MPPT con un numero di ingressi totale pari a 28. Essi sono dotati di un sistema di monitoraggio composto da una sezione di misura e una di comunicazione che consenta di controllare lo stato di ciascun ingresso. Di seguito si riporta modalità di uso dei canali MPPT per i casi con 18 stringhe, 19 stringhe e 20 stringhe.

Canale MPPT	Ingressi disponibili	Ingressi usati caso 18 stringhe	Ingressi usati caso 19 stringhe	Ingressi usati caso 20 stringhe
MPPT 1	4	3	3	3
MPPT 2	5	3	3	3
MPPT 3	5	3	4	4
MPPT 4	4	3	3	3
MPPT 5	5	3	3	3
MPPT 6	5	3	3	4

4.3 Cabina di trasformazione

La singola cabina di trasformazione sarà composta dai trasformatori MT/BT, dal quadro di media tensione, dal trasformatore BT/BT dei servizi ausiliari e dal quadro di bassa tensione per i servizi ausiliari.

4.3.1 Quadro QBT

Il quadro BT sarà utilizzato per la realizzazione del parallelo degli inverter di stringa, esso sarà collegato al singolo trasformatore MT/BT attraverso cavi unipolari di bassa tensione.

Le caratteristiche principali del singolo quadro BT saranno le seguenti:

tensione isolamento:	1000 V
tensione nominale:	800 V
corrente nominale:	2000/1000 A
tenuta al corto circuito:	35 kA

Il quadro sarà composto da interruttore generale, trasformatori di misura, scaricatore di sovratensione e interruttore a protezione delle singole linee di collegamento degli inverter di stringa.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 9 / 28
		Numero Revisione
		00

4.3.2 Trasformatore MT/BT

All'interno di ogni cabina di trasformazione saranno previsti trasformatori ad isolamento in olio, aventi le seguenti caratteristiche:

Livelli di tensione (30/0,80 kV);
Potenza nominale 2.000 kVA/1250 kVA;
Gruppo vettoriale: Dy11;
Raffreddamento: ONAN (raffreddato in olio con ventilazione naturale);
Tensione di corto circuito: 6%

Il livello della tensione degli avvolgimenti secondari dipenderà dalla tensione di uscita degli inverter selezionati in fase di progettazione esecutiva.

Il trasformatore MT/BT dovrà includere un tap changer a vuoto con prese di tensione $\pm 2 \times 2,5\%$.

4.3.3 Quadro MT

Il quadro MT di ogni cabina di trasformazione sarà composto da 4 o 6 celle a seconda della configurazione della cabina di trasformazione:

Cella arrivo dal trasformatore MT/BT equipaggiata con interruttore;
Partenza linea MT 1 equipaggiata con sezionatore sottocarico;
Partenza linea MT 2 equipaggiata con sezionatore sottocarico.

Il quadro di media tensione avrà le seguenti caratteristiche:

Isolamento: aria o gas SF₆;
Corrente nominale In: 630 A;
Tensione isolamento: 36 kV;
Corrente ammissibile di breve durata: 16 kA 1sec.

4.4 Cabina di raccolta

La cabina di raccolta sarà composta dal quadro di media tensione, dal trasformatore MT/BT dei servizi ausiliari e dal quadro di bassa tensione per i servizi ausiliari.

Il quadro di media tensione avrà le seguenti caratteristiche:

Isolamento: aria o gas SF₆;
Corrente nominale In: 1600 A;
Tensione isolamento: 36 kV;
Corrente ammissibile di breve durata: 16 kA 1sec.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 11 / 28
		Numero Revisione
		00

5.1.3 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.

5.1.4 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 $1,5 \text{ Km/W}$
- K3 coefficiente di correzione per posa a profondità diversa da $0,8 \text{ m}$
- 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: $I_{\text{zeff}} = IZ \times K1 \times K4$

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

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 12 / 28
		Numero Revisione
		00

5.2 Coefficienti di correzione della portata

5.2.1 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.

5.2.2 Coefficiente K2 di correzione per resistività 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.

5.2.3 Coefficiente K3 di correzione per profondità 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.

5.2.4 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

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 13 / 28
		Numero Revisione
		00

5.3 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.

5.3.1 Scelta delle tensioni di dimensionamento

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 in corrente continua in uscita dai pannelli FV – 1,5 kV.

5.3.2 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

5.3.3 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:

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

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 14 / 28
		Numero Revisione
		00

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
cosφ	=	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 IB o corrente di taratura In espressa in A
	R	=	resistenza (a 90°) della linea in Ω/km

La massima caduta di tensione ammissibile riferita alla tensione nominale di funzionamento della conduttura sarà la seguente, per le diverse sezioni dell'impianto in progetto:

Sezione in DC	
Dalla Stringa all'inverter (CC)	1,75 % con corrente nominale
Sezione BT	
Dall'inverter (lato AC) al quadro MT	2,5 % con corrente nominale del trasformatore (lato BT)
Dall'EDG al quadro Generale di BT	1% con corrente nominale
Dal quadro Generale di BT ad altri sottoquadri	2% con corrente nominale
Circuiti luce e prese	2% con corrente nominale
Circuiti luce secondari	3% in media con massimo del 5%
Generale	
Complessivo dalla stringa al quadro MT della SSU	6%

5.3.4 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.

5.3.5 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:

$$I_B \leq I_N \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 15 / 28
		Numero Revisione
		00

dove IB = Corrente di impiego del circuito
 IN = Corrente nominale del dispositivo di protezione
 IZ = Portata in regime permanente della conduttura
 If = Corrente di funzionamento del dispositivo di protezione

5.3.6 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:

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

La norma CEI 64-8 prevede pertanto un confronto tra le correnti di guasto minima (a fondo linea) e massima (inizio linea) con i punti di intersezione tra le curve.

La condizione da rispettare è la seguente:

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

dove $I_{cc\ max}$ = Corrente di corto circuito massima
 $I_{cc\ fl}$ = 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.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 16 / 28
		Numero Revisione
		00

5.3.7 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):

$$ZS \times I_a \leq U_0$$

dove U_0 = è la tensione nominale in c.a., valore efficace tra fase e terra, in Volt
 ZS = 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.

5.4 Tipologia di cavi utilizzati

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

La caduta di tensione sulle stringhe in corrente continua sarà inferiore a 1%.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 17 / 28
		Numero Revisione
		00

Per il collegamento degli inverter ai quadri di parallelo nelle cabine di trasformazione saranno impiegati cavi unipolari ARG16R16 0,6/1 kV in alluminio aventi sezione 1x300 mm².
Eventuali modifiche della sezione, a valle di una più dettagliata verifica elettrica, saranno fatte in fase esecutiva.

Le principali caratteristiche, comuni per i diversi tratti di cavo, sono le seguenti:

Conduttore: alluminio;

Isolamento: EPR G16;

Tensione nominale: U0 / U 0,6/1 kV.

La caduta di tensione su queste linee sarà inferiore al 4%, in cabina di trasformazione CU-1 si ha il caso di inverter con distanza maggiore (545 m) che determina una cdt% di 3,6%.

Per l'alimentazione dei servizi ausiliari saranno utilizzati cavi in rame del tipo RG16OR16 0,6/1 kV.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 18 / 28
		Numero Revisione
		00

6 Dimensionamento dei cavi di media tensione

6.1 Collegamento alla SSE Utente

Per il collegamento tra la cabina di raccolta e la sottostazione utente saranno impiegati cavi di Media Tensione della tipologia ARG7H1RNR.

Le principali caratteristiche, comuni per i diversi tratti di cavo, sono le seguenti:

Conduttore: alluminio;

Isolamento: gomma HEPR G7;

Tensione nominale: U0 / U 18/30 kV.

La linea sarà dimensionata per evacuare la massima potenza erogabile dall'impianto pari a 43200 kW a cosfi 0,9.

Le condizioni di posa sono le seguenti (si considera la situazione più gravosa):

Condizioni di posa interrato (tre terne adiacenti nello stesso scavo)

Profondità di posa 1,0 m

Temperatura ambiente 25 °C

Resistività del terreno 1,5 m °K/W

Alle suddette condizioni di posa corrispondono i seguenti fattori di correzione della portata:

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= 0,73

Portata effettiva del cavo I_{zeff} I_z*K1*K2*K3*K4

Corrente di impiego I_b 923,8 A

Sezioni impiegate 3x3x(1x400) mm²

Portata nominale: 543 A – Portata effettiva: 3x365,31 = 1095,94 A

Verifica della portata I_b<I_{zeff}

Tempo di intervento protezioni 0,35 s valore cautelativo

Massima c.c. sopportabile I = KS/√t = 62,203 kA

La massima corrente di corto circuito sopportabile dal cavo è superiore alla corrente di corto circuito dell'impianto (16 kA).

6.2 Collegamento cabine di trasformazione e raccolta

Per il collegamento tra la cabina di raccolta e le cabine di trasformazione saranno impiegati cavi di Media Tensione della tipologia ARG7H1RNR.

Le principali caratteristiche, comuni per i diversi tratti di cavo, sono le seguenti:

Conduttore: alluminio;

Isolamento: gomma HEPR G7;

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 20 / 28
		Numero Revisione
		00

6.3 Cavi MT interni alle cabine di trasformazione

Per il collegamento dei trasformatori MT/BT delle singole cabine di trasformazione, saranno impiegati cavi di Media Tensione della tipologia ARG7H1R.

Le principali caratteristiche, comuni per i diversi tratti di cavo, sono le seguenti:

Conduttore: alluminio;

Isolamento: gomma HEPR G7;

Tensione nominale: U_0 / U 18/30 kV.

Le potenze dei trasformatori previsti hanno potenza nominale 1250 kVA, 2000 kVA .

Le condizioni di posa sono le seguenti (si considera la situazione più gravosa):

Condizioni di posa in aria nel cavo cabina

Profondità di posa 1,0 m

Temperatura ambiente 35 °C

Alle suddette condizioni di posa corrispondono i seguenti fattori di correzione della portata:

Coefficiente di correzione per la temperatura $K_1=0,96$

Coefficiente di correzione per la vicinanza di altri circuiti $K_2= 0,83$

Portata effettiva del cavo I_{zeff} $I_z * K_1 * K_2$

Corrente di impiego I_b 38,49 A per trasformatore 2000 kVA

24,06 A per trasformatore 1250 kVA

Sezioni impiegate $3 \times (1 \times 120) \text{ mm}^2$

Portata nominale: 281 A – Portata effettiva: 223,9 A

Verifica della portata $I_b < I_{zeff}$

Tempo di intervento protezioni 0,5 s valore cautelativo

Massima c.c. sopportabile $I = K S / \sqrt{t} = 37,322 \text{ kA}$

La massima corrente di corto circuito sopportabile dal cavo è superiore alla corrente di corto circuito dell'impianto (16 kA).

6.4 Cavi MT interni alla SSE Utente

Per il collegamento del trasformatore elevatore della sottostazione al quadro di media tensione, saranno impiegati cavi di Media Tensione della tipologia RG16H1R12 18/30 kV.

Le principali caratteristiche, comuni per i diversi tratti di cavo, sono le seguenti:

Conduttore: rame;

Isolamento: gomma HEPR G16;

Tensione nominale: U_0 / U 18/30 kV.

Le condizioni di posa sono le seguenti (si considera la situazione più gravosa):

Condizioni di posa interrato (due terne adiacenti nello stesso scavo)

Profondità di posa 1,0 m

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 21 / 28
		Numero Revisione
		00

Temperatura ambiente 25 °C
 Resistività del terreno 1,5 m °K/W

Alle suddette condizioni di posa corrispondono i seguenti fattori di correzione della portata:

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= 0,83

Portata effettiva del cavo I_{zeff} I_z*K1*K2*K3*K4

Corrente di impiego I_b 1000,8 A
 Sezione impiegata 3x3x(1x300) mm²
 Portata nominale: 593 A – Portata effettiva: 3x398,95 = 1196,85 A

Verifica della portata I_b<I_{zeff}

Tempo di intervento protezioni 0,5 s valore cautelativo
 Massima c.c. sopportabile I = KS/√t = 85,8 kA

La massima corrente di corto circuito sopportabile dal cavo è superiore alla corrente di corto circuito dell'impianto (16 kA).

6.5 Valutazione della caduta di tensione

La caduta di tensione sulle linee di media tensione deve rispettare i limiti ammissibili indicati nella seguente tabella:

Sezione MT	
Dal quadro MT all'uscita del trasformatore MT/BT	0,1% con corrente nominale
Sulle dorsali di collegamento della cabine di trasformazione alla cabina di raccolta	1% con corrente nominale
Generale	
Complessivo dagli inverter di stringa al quadro MT della SSE	6%

Le sezioni adottate consentono di mantenere la caduta di tensione entro i limiti ammissibili per le linee di media tensione dai trasformatori ai quadri MT di cabina.

Le sezioni adottate per le dorsali verso la cabina di raccolta consentono di avere cadute di tensioni con valori tali che sommate alla caduta di tensione della linea verso la sottostazione viene rispettato il valore limite del 6%

La caduta di tensione a fondo linea sulle dorsali di media tensione dell'impianto risulta essere la seguente:

- Dorsale 1: 0,0152%;

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 22 / 28
		Numero Revisione
		00

- Dorsale 2: 0,0688%;
- Dorsale 3: 0,1725%;
- Dorsale 4: 0,2427%;
- Dorsale 5: 0,3361%.

La caduta di tensione sulla linea di collegamento dalla cabina di raccolta alla sottostazione utente, è funzione della lunghezza dell'elettrodotto (5 km) e della corrente di impiego massima della linea stessa (923,8 A, corrispondenti a 43,2 MW con fattore di potenza 0,9).

Considerando i suddetti valori si ha una cdt % pari 1, 241%.

Considerando l'inverter con la distanza maggiore dalla cabina a fondo linea delle dorsali di impianto si hanno le seguenti cadute di tensione sulle linee in bassa tensione:

- Dorsale 1 – CU-2: distanza maggiore inverter 295 m – cdt% = 1,95%
- Dorsale 2 – CU-3.2: distanza maggiore inverter 130 m – cdt% = 0,86%
- Dorsale 3 – CU-4.3: distanza maggiore inverter 250 m – cdt% = 1,65%
- Dorsale 4 – CU-6: distanza maggiore inverter 195 m – cdt% = 1,29%
- Dorsale 5 – CU-9: distanza maggiore inverter 250 m – cdt% = 1,65%

Complessivamente considerando la situazione peggiore in impianto, ovvero l'inverter con distanza maggiore dalla cabina 9 che è a fondo linea della dorsale con la maggior caduta di tensione, si ottiene una caduta di tensione complessiva fino alla sottostazione mt/at (SSE) pari a $1,65\% + 0,3361\% + 1,241\% = 3,2271\%$, ben inferiore al limite del 6%.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 23 / 28
		Numero Revisione
		00

7 Elettrodotta in cavo AT

7.1 Dimensionamento

Il cavo di alta tensione sarà dimensionato per trasportare la massima potenza generata dall'impianto agrivoltaico.

Pertanto il valore minimo di portata del cavo sarà superiore a 198,29 A, corrispondente alla massima potenza erogabile dall'impianto.

Sarà impiegato un cavo unipolare avente una sezione di 630 mm².

7.2 Caratteristiche

L'elettrodotta sarà costituita da tre cavi unipolari in alluminio idonei per tensione 76/132 kV.

Ciascun cavo a 132 kV sarà costituito da un conduttore in alluminio compatto, tamponato, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in polietilenereticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, nastri in materiale igroespandente, schermo in alluminio longitudinalmente saldata, rivestimento in politene con grafitatura esterna.

CARATTERISTICHE DI COSTRUZIONE

Materiale del conduttore: Alluminio
Isolamento: XLPE
Tipo di conduttore: Corda rotonda compatta
Schermo metallico: Alluminio termosaldato

CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

Sezione: 1x630 mm²
Diametro del conduttore: 30,3 mm
Diametro esterno nominale: 85 mm
Sezione schermo: 95 mm²
Peso approssimativo: 7 kg/m

CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Tensione di isolamento: 145kV
Messa a terra degli schermi: posa a trifoglio con correnti di circolazione
Portata: 690 A (nota 1)
Massima resistenza: 0,0469 Ohm/km a 20°C in cc
Induttanza: 0,36 mH/km
Capacità nominale: 0,19µF / km

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

Nelle reali condizioni di posa:

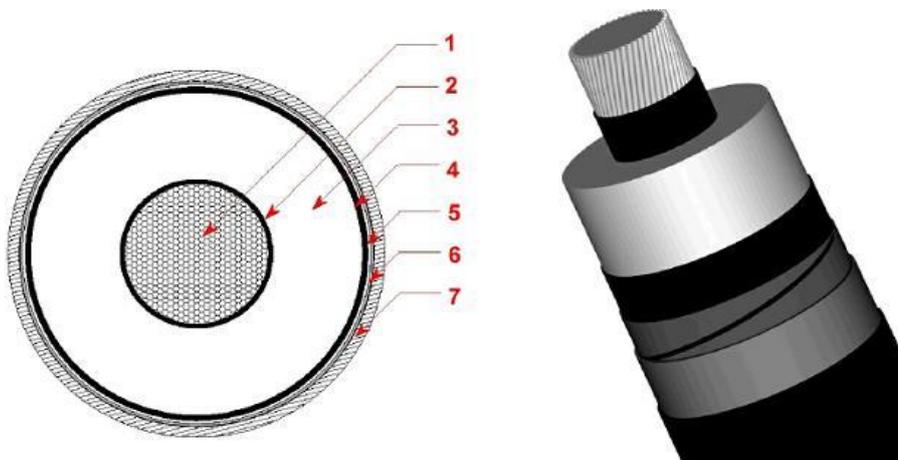
- ✓ profondità di 1,5 m
- ✓ terna singola

- ✓ 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 676 A, superiore alla massima corrente di impiego del cavo (198,29 A).

Fig. 7.2a Sezione tipica del cavo XLPE



Diagrammatic Only - Not to Scale

Item	Description	Nominal Thickness [mm]	Details
1	Conductor		Aluminium Compacted
2	Conductor Screen		Semi-conductive polymer
3	Insulation	13.8	XLPE
4	Insulation Screen		Semi-conductive polymer
5	Water Barrier		Hygroscopic Tapes
6	Metallic Sheath	1.1	Al Tape Longitudinally Welded
7	Outer Serving	4.5	PE with Graphite Coating

7.3 Tipici di posa

Il cavo sarà interrato alla profondità di circa 1,50 m, con disposizione delle fasi a trifoglio.

Nello stesso scavo della trincea, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, si prevede la posa di un cavo a fibre ottiche per trasmissione dati e una corda di terra (rame nudo).

La terna di cavi dovrà essere alloggiata in un letto di sabbia e dovrà essere protetta mediante lastra in CAV e segnalata superiormente da un nastro segnaletico.

La restante parte della trincea dovrà essere ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto. Altre soluzioni particolari, quali l'alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici, qualora si rendessero necessari.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 25 / 28
		Numero Revisione
		00

7.4 Lunghezza e pezzature

La lunghezza del tracciato (circa 130 m) sarà coperta con la posa di 1 pezzatura di cavo unipolare per fase.

7.5 Attraversamenti

Le interferenze (parallelismi o incroci) con i cavi interrati di energia e segnalazione o comando che si verificheranno lungo il tracciato dell'elettrodotto saranno gestite nel rispetto delle prescrizioni della Norma CEI 11-17 (capitolo 4 – sezione 2) e delle leggi vigenti sia per quanto riguarda i cavi elettrici dello stesso livello di tensione, sia per quelli con livelli di isolamento inferiore (cavi di bassa e media tensione).

Analogamente gli incroci o i parallelismi con i cavi di telecomunicazione interrati saranno gestiti nel rispetto delle prescrizioni della Norma CEI 11-17 (capitolo 4 – sezione 1) e delle leggi vigenti.

Per quanto riguarda i possibili fenomeni di danneggiamento per induzione magnetica, in fase di progetto esecutivo si dovrà procedere alle verifiche di cui alla Norma CEI 103-6.

La coesistenza tra l'elettrodotto e le tubazioni metalliche interrate sarà realizzata nel pieno rispetto delle prescrizioni della Norma CEI 11-17 (capitolo 4 – sezione 3) e del DM 17/04/08 e delle norme UNI qualora siano applicabili (nel caso di gasdotti).

L'attraversamento delle strade e delle ferrovie avverrà in accordo alle indicazioni della Norma CEI 11-17 capitolo 4 – sezione 4.

7.6 Aree impegnate

In merito all'interessamento di aree da parte dell'elettrodotto, si possono individuare, con riferimento al Testo Unico sugli espropri, le Aree Impegnate, cioè le aree necessarie per la sicurezza dell'esercizio e manutenzione dell'elettrodotto. Tali aree sono individuate con una fascia di terreno di 2 m per lato lungo il tracciato del cavidotto AT.

Il vincolo preordinato all'asservimento coattivo sarà invece apposto sulle "aree potenzialmente impegnate" (previste dalla L. 239/04), che equivalgono alle "zone di rispetto" di cui all'articolo 52 quater, comma 6, del Decreto Legislativo 27 dicembre 2004, n. 330, all'interno delle quali poter inserire eventuali modeste varianti al tracciato dell'elettrodotto senza che le stesse comportino la necessità di nuove autorizzazioni.

L'ampiezza delle zone di rispetto (ovvero aree potenzialmente impegnate) sarà in funzione del progetto e del livello di tensione dell'elettrodotto, in particolare per l'elettrodotto in cavo interrato a 132 kV in progetto l'estensione delle aree sarà di 6 m circa per lato.

Pertanto, ai fini dell'apposizione del vincolo preordinato all'asservimento coattivo, le "aree potenzialmente impegnate" coincidono con le "zone di rispetto"; di conseguenza i terreni ricadenti all'interno di dette zone risulteranno soggetti al suddetto vincolo.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 26 / 28
		Numero Revisione
		00

In fase di progetto esecutivo dell'opera si procederà alla delimitazione delle aree effettivamente impegnate dalla stessa con conseguente riduzione delle porzioni di territorio soggette a vincolo preordinato all'asservimento coattivo.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 27 / 28
		Numero Revisione
		00

8 Corto circuito di fase

I valori della corrente di corto circuito trifase in alta tensione saranno determinati dalle caratteristiche della rete di alta tensione di alimentazione, ovvero dalla rete AT della stazione Terna a cui sarà connesso l'impianto.

Si ipotizza che tale valore sia pari a 20 kA.

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).

Le apparecchiature di media tensione saranno dimensionate in funzione delle caratteristiche del trasformatore elevatore della sottostazione utente.

Il valore di riferimento sarà 16 kA, superiore alla corrente di corto circuito lato secondario del trasformatore elevatore.

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 50 kA che risulta superiore alla presunta corrente di guasto in funzione delle caratteristiche dei trasformatori installati.

	ID Documento Committente H060_FV_BER_00015	Pagina 28 / 28
		Numero Revisione
		00

9 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 fotovoltaico 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:

$$I_g = 0,2 * L * V \text{ [A]}$$

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 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.