

IMPIANTO FV E BESS EX AEROPORTO DI CASTELVETRANO

Impianto FV e BESS – Ex Aeroporto Castelvetrano

Castelvetrano (TP) – Progetto Definitivo

RELAZIONE CALCOLO PRELIMINARE IMPIANTI ELETTRICI

EV-FS	00	13/04/2022	Emissione	D.Stangalino	C. Camiciotti	D.Stangalino	M.A.Bracale	A. Luce
Stato di Validità	Numero Revisione	Data	Descrizione	Stantec Preparato	Stantec verificato	Stantec Approvato	Eni Plenitude Approvato	Eni Plenitude Approvato
Indice Revisione								
Logo Committente e Denominazione Commerciale 				Nome progetto Impianto Fotovoltaico FV e BESS - Ex Aeroporto Castelvetrano		ID Documento Committente 082600BECA00025 Commessa N. 		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale  Stantec S.p.A						ID Documento Appaltatore N. Commessa 45503406.06		
Nome d'Impianto e Oggetto IMPIANTO FV e BESS EX AEROPORTO DI CASTELVETRANO Castelvetrano (TP) – Progetto Definitivo						Scala -	Numero di Pagine 18	
Titolo Documento Relazione calcolo preliminare impianti elettrici								

SOMMARIO

1. SCOPO DEL DOCUMENTO	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	4
4. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI BASSA TENSIONE	5
4.1 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO	6
4.1.1 Generalità	6
4.1.2 Valori ammissibili della caduta di tensione.....	6
4.1.3 Tipi di installazione.....	6
4.1.4 Calcolo della portata	6
4.2 COEFFICIENTI DI CORREZIONE DELLA PORTATA	7
4.2.1 Coefficiente k1 di correzione della temperatura ambiente.....	7
4.2.2 Coefficiente k2 di correzione per resistività del terreno.....	7
4.2.3 Coefficiente k3 di correzione per profondità di posa	7
4.2.4 Coefficiente k4 di correzione per presenza di conduttori adiacenti.....	7
4.3 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE.....	8
4.3.1 Scelta delle tensioni di isolamento	8
4.3.2 Dimensionamento in funzione della portata.....	8
4.3.3 Verifica della massima caduta di tensione.....	9
4.3.4 Verifica della protezione contro le sovracorrenti.....	9
4.3.5 Protezione contro i sovraccarichi	9
4.3.6 Protezione contro i corto circuiti.....	10
4.3.7 Protezione contro i contatti indiretti.....	11
4.4 TIPOLOGIA DI CAVI UTILIZZATI.....	12
5. DIMENSIONAMENTO DELLE POWER STATION DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	12
6. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI ALTA TENSIONE	12
6.1 LINEA DI COLLEGAMENTO TRA LE PS DELL'IMPIANTO FV	12
6.2 LINEE IN CAVO AT DELL'IMPIANTO BESS	13
6.3 LINEE IN CAVO AT DI COLLEGATO ALLA STAZIONE TERNA	14
7. CORTO CIRCUITO DI FASE	14
8. GUASTI A TERRA	15

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 3	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

9. VALUTAZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE	15
10. ALLEGATI	16

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 4	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Lo scopo della presente relazione tecnica è quello di descrivere i criteri di dimensionamento dei componenti dell'insediamento composto **da un impianto fotovoltaico** ("FV") a terra, integrato da un sistema di accumulo energetico tramite batterie (Battery Energy Storage System – "BESS"), all'interno dell'area di circa 96 ettari identificato come ex Aeroporto Militare di Castelvetro sito nel Comune di Castelvetro.

Come riportato all'interno del Preventivo di Connessione (STMG) ricevuto dal TSO Terna (Codice Pratica: 202102267), l'impianto fotovoltaico verrà collegato alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) in antenna a 36 kV con la futura sezione 36 kV della stazione elettrica di trasformazione (SE) della RTN 220/150 kV di Partanna, previo ampliamento della stessa.

Si rimanda al documento 082600BGRU00001 (Relazione tecnica descrittiva) e all'elaborato grafico 082600BEFU00026 (Schema elettrico unifilare) per una trattazione specifica dell'impianto in oggetto.

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 Castelvetro (TP), avente potenza installata pari a 78,63 MWp lato corrente continua, integrato da un sistema di accumulo tramite batterie (nel seguito) BESS da 20 MW.

L'impianto può essere suddiviso in tre 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 alta tensione;
- la sezione di accumulo comprendente le batterie, gli inverter e le apparecchiature di alta tensione;
- la connessione alla rete elettrica RTN, realizzata tramite la costruzione di un elettrodotto a 36 kV fino alla stazione Terna di Partanna, come da relativa STMG.

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 5	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

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

- Moduli fotovoltaici;
- Quadri di parallelo in campo;
- Inverter;
- Trasformatori elevatori BT/AT;
- Quadri AT di sezionamento e protezione;
- Complesso dei conduttori in CC e in CA (sia BT che AT) per i collegamenti di potenza;
- Cabine di campo (power station) contenenti l'inverter centralizzato, il trasformatore elevatore e il quadro AT).

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

- Container batterie e relativi DC box;
- Inverter;
- Trasformatori elevatori BT/AT;
- Quadri AT di sezionamento e protezione;
- Complesso dei conduttori in CC e in CA (sia BT che AT) per i collegamenti di potenza;

Completano l'impianto:

- Cabina di raccolta MTR (per la raccolta delle linee in alta tensione provenienti dalle cabine di campo dell'impianto fotovoltaico e delle linee AT provenienti dall'impianto BESS)
- Elettrodotto in alta tensione per la connessione alla stazione Terna.

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 parallelo
- Cavi di collegamento dai quadri di parallelo all'inverter centralizzato
- Cavi di collegamento dalle batterie ai DC box e da questi agli inverter

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

- Cavi di collegamento dal trasformatore dei servizi ausiliari al QSA della cabina MTR
- Cavi dei servizi ausiliari della cabina MTR
- Cavi di alimentazione dei container uffici

I cavi di collegamento dei pannelli fotovoltaici ai quadri di parallelo saranno posati in passerella.

I cavi di collegamento dai quadri di parallelo agli inverter saranno posati interrati.

I cavi di collegamento delle batterie ai DC box e da questi agli inverter saranno posati interrati.

I cavi dei servizi ausiliari della cabina MTR saranno posati in passerelle in aria libera o in tubazioni a parete.

I cavi di alimentazione degli uffici saranno posati interrati.

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 6	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

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.

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 7	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

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 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.

4.2.3 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.

4.2.4 Coefficiente k4 di correzione per presenza di conduttori adiacenti

Cavi unipolari posati in passerella

$k4 = 0,89$

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 8	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

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

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 9	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

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:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_f \leq 1,45 I_Z$$

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 10	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

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_f	=	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:

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

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 082600BECA00025	Pagina 11	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

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.

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 12	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

4.4 TIPOLOGIA DI CAVI UTILIZZATI

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

Per il collegamento dei quadri string box agli inverter delle power station saranno usati cavi in alluminio ad isolamento in gomma G16, livello di tensione 0,9/1,5 kV in cc, di sezione 150/185/240 mm² in funzione delle distanze.

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

5. DIMENSIONAMENTO DELLE POWER STATION DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'impianto fotovoltaico composto da 144284 pannelli da 545 W è stato suddiviso in 18 sottocampi.

Ad ogni sottocampo è stato associato un inverter centralizzato della potenza di 4400 kVA, installati all'interno della relativa power station (PS) completata dal trasformatore elevatore e dal quadro AT di sezionamento.

Il trasformatore, di pari potenza dell'inverter centralizzato, sarà ad isolamento in olio dielettrico di estere naturale, con raffreddamento ad aria (KNAN).

La tensione di uscita lato alta tensione dei trasformatori sarà 36 kV.

6. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI ALTA TENSIONE

6.1 LINEA DI COLLEGAMENTO TRA LE PS DELL'IMPIANTO FV

Per il collegamento delle cabine di impianto (power station) alla cabina di raccolta (MTR), saranno impiegati cavi con conduttore in rame, isolamento in XLPE, con tensione di isolamento 20,8/36 kV,

Saranno previste n.3 linee dorsali in entra-esce sulle cabine di impianto, così suddivise:

- dorsale 1 – cabine: TS13-TS16-TS14-TS17-TS18
- dorsale 2 – cabine: TS8-TS9-TS11-TS12-TS10-TS15
- dorsale 3 – cabine: TS1-TS5-TS2-TS6-TS3-TS4-TS7

Far riferimento allo **Schema Elettrico Unifilare** (codice elaborato **082600BEFU00026**).

Le caratteristiche dei cavi impiegati sono le seguenti:

Tipo di cavo: unipolare – 20,8/36 kV
Isolamento: XLPE
Conduttore: rame
Sigla: RE4H5E

Condizioni di posa: interrato
Profondità di posa: 1,2 m
Temperatura ambiente: 25 °C
Resistività del terreno: 1,5 m °K/W,

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= 0,82 / 1 (nel caso di posa di una sola terna nello scavo)

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 13	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

Portata effettiva del cavo $I_{zeff} = I_z \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4$

Corrente di impiego I_b variabile in funzione del numero di cabine collegate

Pertanto saranno impiegate le seguenti sezioni

- tratto intermedio di collegamento tra due cabine: $3 \times (1 \times 300) \text{ mm}^2$
- tratto finale di collegamento alla cabina di raccolta: $3 \times (1 \times 500) \text{ mm}^2$ o $3 \times (1 \times 630) \text{ mm}^2$ in funzione della corrente di impiego

Verifica della portata $I_b < I_{zeff}$

Tempo di intervento protezioni 0,5 s valore cautelativo

Massima c.c. sopportabile $I = K S / \sqrt{t} = 60,600 \text{ kA}$ per la sezione 300 mm^2

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

Vedere **allegato 1** per maggiori dettagli sul calcolo di dimensionamento dei cavi di alta tensione.

6.2 LINEE IN CAVO AT DELL'IMPIANTO BESS

Per il collegamento dell'impianto BESS alla cabina di raccolta (MTR), saranno impiegati cavi con conduttore in rame, isolamento in XLPE, con tensione di isolamento 20,8/36 kV,

Saranno previste n.4 linee per la connessione di ogni singola power station dell'impianto BESS.

Far riferimento allo schema elettrico unifilare documento 082600BEFU00026.

Le caratteristiche dei cavi impiegati sono le seguenti:

Tipo di cavo: unipolare – 20,8/36 kV

Isolamento: XLPE

Conduttore: rame

Sigla: RE4H5E

Condizioni di posa interrato

Profondità di posa 1,2 m

Temperatura ambiente 25 °C

Resistività del terreno 1,5 m °K/W,

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 $K4= 0,82 / 1$ (nel caso di posa di una sola terna nello scavo)

Portata effettiva del cavo $I_{zeff} = I_z \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4$

Corrente di impiego I_b variabile in funzione del numero di cabine collegate

Pertanto saranno impiegate le seguenti sezioni: $3 \times (1 \times 120) \text{ mm}^2$

Verifica della portata $I_b < I_{zeff}$

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 14	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

Tempo di intervento protezioni 0,5 s valore cautelativo
 Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 24,268 \text{ kA}$ per la sezione 120 mm²

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

Vedere allegato 1 per maggiori dettagli sul calcolo di dimensionamento dei cavi di alta tensione.

6.3 LINEE IN CAVO AT DI COLLEGATO ALLA STAZIONE TERNA

Per il collegamento della cabina di raccolta (MTR) alla stazione Terna, saranno impiegati cavi con conduttore in rame, isolamento in XLPE, con tensione di isolamento 20,8/36 kV, Saranno previste n.3 terne in parallelo di sezione 1x630 mm².

Le caratteristiche dei cavi impiegati sono le seguenti:

Tipo di cavo: unipolare – 20,8/36 kV
 Isolamento: XLPE
 Conduttore: rame
 Sigla: RE4H5E

Condizioni di posa interrato
 Profondità di posa 1,2 m
 Temperatura ambiente 25 °C
 Resistività del terreno 1,5 m °K/W,

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= 0,82

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

Corrente di impiego I_b variabile in funzione del numero di cabine collegate

Pertanto saranno impiegate le seguenti sezioni: 3x3x(1x630) mm²

Verifica della portata I_b < I_{zeff}

Tempo di intervento protezioni 0,5 s valore cautelativo
 Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 127,406 \text{ kA}$ per la sezione 630 mm²

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

Vedere allegato 1 per maggiori dettagli sul calcolo di dimensionamento dei cavi di alta tensione.

7. 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.

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

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 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.

8. 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 alta 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 alta 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 6,0 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.

9. VALUTAZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE

La caduta di tensione sulle linee di collegamento delle cabine di campo alla cabina di raccolta è 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, ovvero 5% dal punto di connessione alla rete Terna, fino alla singola cabina di impianto.

La caduta di tensione sulla linea di collegamento dalla cabina di raccolta alla stazione Terna, è funzione della lunghezza dell'elettrodotto (11,6 km) e della corrente di impiego della linea stessa.

Considerando la massima producibilità dell'impianto fotovoltaico e della produzione del BESS, si ha una cdt% pari al 2,366%, nettamente inferiore al limite ammissibile.

Si faccia riferimento all'**allegato 1** per la valutazione delle cadute di tensione e per la valutazione delle perdite di ogni tratta.

	ID Documento Committente 082600BECA00025	Pagina 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
			00

10. ALLEGATI

1 - Tabella di dimensionamento dei cavi AT

CIRCUIT DATA													
LINE			DORSALE 3	LINEA BESS 1	LINEA BESS 2	LINEA BESS 3	LINEA BESS 4						
FROM			TS07	TS04	TS03	TS06	TS02	TS02	TS05	BESS	BESS	BESS	BESS
TO			TS04	TS03	TS06	TS02	TS05	TS01	TS05	MTR	MTR	MTR	MTR
RATED VOLTAGE	Vn	V	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
RATED POWER	Pn	kW	26.400	22.000	17.600	13.200	8.800	4.400	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500
	An	kVA											
LENGHT	L	m	46	220	32	120	118	52	35	35	95	95	95
RATED CURRENT	Ib	A	470,45	392,04	313,63	235,22	156,82	78,41	115,83	115,83	115,83	115,83	115,83
Ist/Ib													
STARTTING CURRENT	Iavv	A											
EFFICIENCY			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
POWER FACTOR (COSFI)			0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SENFI			0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436
CABLE			RE4H5E - 20,8/36 kV										
CABLE TYPE			single core										
PHASE SECTION	S	mmq	500	300	300	300	300	300	300	120	120	120	120
PARALLEL CABLE FOR PHASE		n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LINE SECTION			3x(1x500)	3x(1x300)	3x(1x300)	3x(1x300)	3x(1x300)	3x(1x300)	3x(1x300)	3x(1x120)	3x(1x120)	3x(1x120)	3x(1x120)
CONDUCTOR			CU										
INSULATION TYPE			EPR										
CABLE CODE			20,8/36 kV										
REFERENCE STANDARD			IEC 60502										
RESISTIVITY	ρ	ohmm/m	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
CABLE COSTANT	K		143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143
RESISTANCE (90°C)	R	Ohm/km	0,0497	0,0784	0,0784	0,0784	0,0784	0,0784	0,1960	0,1960	0,1960	0,1960	0,1960
REACTANCE	X	Ohm/km	0,099	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126
CURRENT CAPACITY	I'z	A	686	535	535	535	535	535	326	326	326	326	326
THROUGHT LET ENERGY	K²S²	A²s	5.112.250.000	1.840.410.000	1.840.410.000	1.840.410.000	1.840.410.000	1.840.410.000	294.465.600	294.465.600	294.465.600	294.465.600	294.465.600
SHIELD RESISTANCE AT 20°C in dc	Rs	Ohm/km	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
LAYING CONDITION													
LAYING MODE													
LAYING CONDITION			burried										
ADJACENT CIRCUIT			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AMBIENT TEMPERATURE	T	°C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DEPTH	h	m	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SOIL RESISTIVITY	ρt	°Cm/W	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
CURRENT CAPACITY CALCULATION													
TEMPERATURE DERATING	k1		0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
LAYING DEPTH DERATING	k2		0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
SOIL RESISTIVITY DERATING	k3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ADJACENT CIRCUIT DERATING	k4		0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
EFFECTIVE CURRENT CAPACITY	Iz	A	518,42	404,31	404,31	404,31	404,31	404,31	246,36	246,36	246,36	246,36	246,36
DROP VOLTAGE CALCULATION													
VOLTAGE DROP	DV	V	3,29	17,36	2,02	5,68	3,72	0,82	1,62	1,62	4,40	4,40	4,40
	DV%	%	0,0091	0,0482	0,0056	0,0158	0,0103	0,0023	0,0045	0,0045	0,0122	0,0122	0,0122
STARTING VOLTAGE DROP	DV	V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	DV%	%	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CABLE LOSSES CALCULATION													
CABLE LOSSES FOR JOULE EFFECT	Pj	kW	1,518	7,953	0,740	1,562	0,682	0,075	0,276	0,276	0,749	0,749	0,749
CURRENT CAPACITY VERIFICATION													
RATED CURRENT	Ib	A	470,45	392,04	313,63	235,22	156,82	78,41	115,83	115,83	115,83	115,83	115,83
EFFECTIVE CURRENT CAPACITY	Iz	A	518,42	404,31	404,31	404,31	404,31	404,31	246,36	246,36	246,36	246,36	246,36
Ib<Iz			Verified										
DROP VOLTAGE VERIFICATION													
DROP VOLTAGE		%	0,009	0,048	0,006	0,016	0,010	0,002	0,005	0,005	0,012	0,012	0,012
STARTING DROP VOLTAGE		%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAX VOLTAGE DROP ADMISSIBLE	DV%	%	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
MAX STRATING VOL. DROP ADMISS.	DVavv%	%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
DV%<DV%admissible			Verified										
DV%<DV%admissible			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
SHORT CIRCUIT VERIFICATION													
PLANT SHORT CIRCUIT CURRENT	Icc	A	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
TRIPPING TIME	t	s	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
TROUGHT LET ENERGY	I²t	A²s	800.000.000	800.000.000	800.000.000	800.000.000	800.000.000	800.000.000	800.000.000	800.000.000	800.000.000	800.000.000	800.000.000
TEORICAL CABLE SECTION	St	mm2	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198
MAX ADMISSIBLE SHORT CIRC. CURR.	Icc max	A	101.116	60.670	60.670	60.670	60.670	60.670	24.268	24.268	24.268	24.268	24.268
Chosen section> Teorical section			Verified	Verified	Verified	Verified	Verified	Verified	Not verified	Not verified	Not verified	Not verified	Not verified
I2t<K2S2 VERIFICATION			Verified	Verified	Verified	Verified	Verified	Verified	Not verified	Not verified	Not verified	Not verified	Not verified
plant Icc<max admissible Icc			Verified	Verified	Verified	Verified	Verified	Verified	Not verified	Not verified	Not verified	Not verified	Not verified