


Impianto agrivoltaico avanzato denominato “Portomaggiore Fossa” di potenza pari a 24,97 MWp e relative opere di connessione ricadenti nei Comuni di Portomaggiore e Argenta (FE)


Relazione di Calcolo Impianti Elettrici




11/2025	00	Emissione per Autorizzazione	 KELSE <small>Engineering</small> Ing. Edoardo Coda	Marabeti L. D'Amico G.	Boni Castagnetti F.
Data	Rev.	Descrizione Emissione	Preparato	Verificato	Approvato
Logo Committente e Denominazione Commerciale 			ID Documento Committente <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">COD_098_FV_00019_BER</p>		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale 			ID Documento Appaltatore		

Sommario

1	Premessa.....	4
1.1	Dati principali di progetto	4
2	Normative di riferimento	5
3	Calcoli elettrici.....	7
3.1	Dimensionamento cavi.....	7
3.2	Verifica della portata del cavo	8
3.3	Integrale di Joule.....	8
3.4	Dimensionamento dei conduttori di neutro.....	9
3.5	Dimensionamento dei conduttori di protezione.....	9
3.6	Cadute di tensione.....	10
3.7	Verifica delle protezioni contro le sovracorrenti	11
3.8	Verifica delle protezioni contro il cortocircuito.....	11
4	Impianto fotovoltaico.....	13
4.1	Descrizione generale impianto fotovoltaico	13
4.2	Generatore fotovoltaico.....	14
4.3	Inverter	14
4.4	Conversion Unit	15
4.4.1	Quadro BT.....	15
4.4.2	Trasformatore AT/BT	15
4.4.3	Quadro AT	16
4.4.4	Cabina di Raccolta AT 36 kV	17
4.4.5	Alimentazione servizi ausiliari.....	17
4.5	Cavi elettrici.....	17
4.5.1	Cavi DC solari.....	18
4.5.2	Cavi BT	18
4.5.3	Cavi AT.....	18
5	Verifiche preliminari di dimensionamento elettrico	21
5.1	Accoppiamento generatore fotovoltaico-inverter	21
5.2	Verifica cavi BT CC	22
5.3	Verifica cavi BT AC	26
5.4	Verifica cavi AT AC	29

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 3 / 32
		Numero Revisione
		00

5.5	Verifica protezioni BT	30
5.6	Verifica protezioni AT	30
6	Sistema di protezione dalle sovratensioni	32

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 4 / 32
		Numero Revisione
		00

1 Premessa

Lo scopo della presente relazione tecnica è quello di descrivere i criteri adottati per la stesura degli elaborati progettuali e per il dimensionamento dei componenti elettrici costituenti l'impianto fotovoltaico in oggetto.

Si rimanda al documento “Relazione tecnica” (CoD_098_FV_00003) e all’elaborato “Schema elettrico unifilare ac” (CoD_098_FV_ENV_00020) per una trattazione specifica dell’impianto in oggetto.

1.1 Dati principali di progetto


Di seguito si riportano i dati principali di progetto:

- ubicazione impianto e opere di connessione: Comune di Portomaggiore e Argenta (FE);
- potenza installata: 24.979,68 kW_p DC e 24.600 kW AC;
- tipologia impianto: impianto Agrivoltaico avanzato;
- tipologia di installazione: moduli installati su inseguitori monoassiali a singola vela infissi senza materiali cementizi;
- caratteristiche impianto FV: n. 37.848 moduli FV bifacciali da 660 Wp, 1.577 stringhe fotovoltaiche, 82 convertitori CC/CA (inverter) per la conversione dell’energia prodotta da corrente continua a corrente alternata alla tensione di 800 Vac;
- soluzione di connessione come da descrizione di dettaglio nella Relazione Tecnica (CoD_098_FV_00003_BGR).

L’intervento proposto si svilupperà come da figura seguente.



Figura 1-1 Layout di progetto del campo agrivoltaico


	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 5 / 32
		Numero Revisione
		00

2 Normative di riferimento

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

Norme di riferimento per la Bassa Tensione

- CEI 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 IIa Ed. (IEC 60909-0:2001-07): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60090-4 First ed. 2000-7: Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 4: Esempi per il calcolo delle correnti di cortocircuito.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- CEI 23-3/1 Ia Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- EC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2012: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante
- estrapolazione, per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS).
- CEI 23-51 IIa Ed. 2004: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.


	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 6 / 32
		Numero Revisione
		00

Norme di riferimento per la Media Tensione e Alta Tensione

- 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.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1): Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV.
- CEI 17-1 VIa Ed. 2005: Apparecchiatura ad alta tensione. Parte 100: Interruttori a corrente alternata ad alta tensione.
- 17-9/1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori per tensioni nominali superiori a 1kV e inferiori a 52 kV.
- Codice di Rete Terna

Eventuali normative non elencate, se mandatorie per la progettazione del sistema, possono essere referenziate. In caso di conflitto tra normative e leggi applicabili, il seguente ordine di priorità dovrà essere rispettato:

- Leggi e regolamenti italiani
- Leggi e regolamenti comunitari (EU)
- Documento in oggetto
- Specifiche di società (ove applicabili)
- Normative internazionali

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 7 / 32
		Numero Revisione
		00

3 Calcoli elettrici

3.1 Dimensionamento cavi

Il criterio seguito per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori alle correnti di sovraccarico.

In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), infatti, il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la conduttura in modo da verificare le condizioni:

- a) $I_b \leq I_n \leq I_z$
- b) $I_f \leq 1,45 I_z$

Per la condizione a) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominale della protezione a monte. Dalla corrente I_b , pertanto, viene determinata la corrente nominale della protezione (seguendo i valori normalizzati) e con questa si procede alla determinazione della sezione.

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

- condutture senza protezione derivate da una conduttura principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate;
- conduttura che alimenta diverse derivazioni singolarmente protette contro i sovraccarichi, quando la somma delle correnti nominali dei dispositivi di protezione delle derivazioni non supera la portata I_z della conduttura principale.

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Elenchiamo alcune tabelle, indicate per il mercato italiano:


- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR)
- IEC 60364-5-52 (Mineral)
- CEI-UNEL 35024/1
- CEI-UNEL 35024/2
- CEI-UNEL 35026
- CEI 20-91 (HEPR)

In media tensione, la gestione del calcolo si divide a seconda delle tabelle scelte:

- CEI 11-17
- CEI UNEL 35027
- EC 60502-2

La sezione viene scelta in modo che la sua portata sia superiore alla I_z minima. Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (si veda la norma 64.8 par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate per il numero di paralleli dal coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione b) non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3 hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento I_f ; e corrente nominale I_n ; minore di 1.45 ed è costante per tutte le tarature inferiori a 125 A. Per le apparecchiature industriali, invece,

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 8 / 32
		Numero Revisione
		00

la norma CEI 17.5 stabilisce che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale, ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1.45.

Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.

Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

3.2 Verifica della portata del cavo

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 relazione alle reali condizioni di posa, pertanto, sono 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 sono:

- k_1 - coefficiente di correzione della temperatura ambiente (diversa dai valori di riferimento: 30°C posa in aria, 20° C posa interrata);
- k_2 - coefficiente di correzione per presenza di conduttori adiacenti (o linee multipolari adiacenti);
- k_3 - coefficiente di correzione per posa a profondità diversa da 0,8 m;
- k_4 - coefficiente di correzione per resistività del terreno diversa da 1,5 km/W;

L'effettiva portata di un cavo posato in aria sarà: $I_{zeff} = I_z \times k_1 \times k_4$

L'effettiva portata di un cavo posato interrati sarà: $I_{zeff} = I_z \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4$

La portata dei cavi sarà scelta in modo da soddisfare la condizione: $I_b \leq I_{zeff}$

Dove:

- I_b - corrente di impiego del cavo;
- I_{zeff} - portata effettiva in regime permanente del cavo.

3.3 Integrale di Joule


Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la:

$$I^2 \times t = K^2 \times S^2$$

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopraccitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

I valori di K riportati dalla norma sono per i conduttori di fase (par. 434.3):

- Cavo in rame e isolato in PVC $K = 115$
- Cavo in rame e isolato in gomma G $K = 135$
- Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7 $K = 143$

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 9 / 32
		Numero Revisione
		00

- Cavo in alluminio e isolato in PVC K = 74
- Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7 K = 92

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari (par. 543.1) tab. 54B:

- Cavo in rame e isolato in PVC K = 143
- Cavo in rame e isolato in gomma G K = 166
- Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7 K = 176
- Cavo in rame nudo K = 228

3.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro

La norma CEI 64-8, al par. 524.2 e al par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, possa avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mm²;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso;
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mm², se il conduttore è in rame, e a 25 mm² se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di 16 mm², se conduttore in rame, e 25 mm², se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase.


3.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione

Le norme CEI 64.8 par. 543.1 prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione mediante calcolo.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore di protezione seguendo vincoli analoghi a quelli introdotti per il conduttore di neutro:

- se la sezione del cavo di fase è minore di 16 mm², la sezione del conduttore di protezione sia pari alla sezione del conduttore di fase;
- se la sezione del conduttore di fase è compresa tra 16 mm² e 35 mm², la sezione del conduttore di protezione sia pari a 16 mm²;
- se la sezione del conduttore di fase è maggiore di 35 mm², la sezione del conduttore di protezione sia pari alla metà della sezione del conduttore di fase

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 10 / 32
		Numero Revisione
		00

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule, ovvero la sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{K}$$

dove:

- S_p è la sezione del conduttore di protezione (mm^2);
- I è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- t è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- K è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

3.6 Cadute 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:

$$\Delta V\% = K \times L \times I \times (R \cos\varphi + X \sin\varphi) \times 100/V$$

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 o linee in Corrente Continua - 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

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 11 / 32
		Numero Revisione
		00

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 AT	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%
Sezione AT	
Dal quadro AT all'uscita del trasformatore AT/BT fino al quadro AT della Cabina di raccolta	0,1% con corrente nominale
Generale	
Complessivo dalla stringa al quadro AT della SSU	6%

3.7 Verifica delle protezioni contro le sovracorrenti

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

La protezione contro le sovracorrenti è realizzata mediante interruttori automatici magnetotermici o relè termici, i quali sono in grado di assicurare la protezione contro i sovraccarichi avendo una corrente nominale e una corrente convenzionale di funzionamento tali da soddisfare contemporaneamente le seguenti condizioni:

- $I_b \leq I_n \leq I_z$
- $I_f \leq 1,45 I_z$
- $I_b \leq I_n \leq 0,9 I_z$ (per i fusibili)


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

3.8 Verifica delle protezioni contro il cortocircuito

Secondo la norma 64-8 par.434.3 "Caratteristiche dei dispositivi di protezione contro i cortocircuiti.", le caratteristiche delle apparecchiature di protezione contro i cortocircuiti devono soddisfare a due condizioni:

- il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione (a meno di protezioni adeguate a monte);
- la caratteristica di intervento deve essere tale da impedire che la temperatura del cavo non oltrepassi, in condizioni di guasto in un punto qualsiasi, la massima consentita.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 12 / 32
		Numero Revisione
		00

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni. La seconda invece può essere tradotta nella relazione:


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

ossia in caso di guasto l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

La norma CEI al par. 533.3 "Scelta dei dispositivi di protezioni contro i cortocircuiti" 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. Le condizioni sono pertanto:

- a) Le intersezioni sono due:
 - $I_{cc\ min} \geq I_{inters\ min}$ (quest'ultima riportata nella norma come Ia);
 - $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$ (quest'ultima riportata nella norma come Ib).
- b) L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
 - $I_{cc\ min} \geq I_{inters\ min}$
- c) L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
 - $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimo e massimo. Nel caso in cui le correnti di guasto escano dai limiti di esistenza della curva della protezione, il controllo non viene eseguito.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 13 / 32
		Numero Revisione
		00

4 Impianto fotovoltaico

4.1 Descrizione generale impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico è costituito da n. 37.848 moduli fotovoltaici aventi potenza nominale pari a 660 Wp, per una potenza complessiva installata pari a 24.979,68 kWp.

I moduli fotovoltaici sono connessi formando stringhe da 24 moduli in serie e saranno installati a terra per file parallele su strutture di supporto ad inseguimento monoassiale.

L'impianto fotovoltaico sarà suddiviso in nove sottocampi facenti capo ad altrettante Conversion Unit ('CU') o cabine di trasformazione, aventi taglia di riferimento 3,3 MVA oppure 4,0 MVA. Ciascuna CU sarà equipaggiata con i quadri AT di n. 2 Partenze AT 36 KV, il trasformatore AT/BT; i quadri di arrivo linea dagli inverter distribuiti, i quadri elettrici dei servizi ausiliari BT con trasformatore 800/400V.

In ciascuna stringa i moduli sono collegati in serie, con i terminali positivi e negativi di ognuna di esse collegati ad un inverter distribuito per il parallelo lato corrente continua. Si prevede di installare 82 inverter di potenza nominale pari a 300 kVA, con un numero di stringhe connesse variabile da 17 a 20. Gli inverter di stringa saranno installati lungo la viabilità e in posizione più baricentrica possibile rispetto alle stringhe collegate, compatibilmente con le specificità delle singole sezioni del layout adottato.

I terminali positivo e negativo sono collegati direttamente all'ingresso in corrente continua dell'inverter stesso mediante cavi solari in rame di 6 mm². In uscita da ogni inverter si prevede un interruttore di manovra-sezionatore, atto a migliorare l'esercizio in sicurezza dell'impianto e a permettere una corretta manutenzione. Sul lato corrente alternata dell'inverter sarà collegato al trasformatore AT/BT al servizio del sottocampo mediante cavi in alluminio in ac. Ad ogni CU saranno collegati 9/10 inverter.


Le linee AT in uscita da ciascuna CU o cabina di trasformazione, saranno collegate tra loro in sequenza di tre in serie mediante un collegamento in entra-esce fino al Cabina di Raccolta AT secondo le sequenze:

- CU02 → CU05 → CU06 → CU03 → CU09 → cabina di raccolta
- CU06 → CU07 → CU08 → CU09 → cabina di raccolta

La Cabina di Raccolta AT, prevederà un Quadro di Alta Tensione a 36 kV con una partenza verso il trasformatore AT/AT, tre arrivi provenienti dal campo FV come descritto sopra e una partenza per il trasformatore dei servizi ausiliari della Cabina.

Il sistema di protezioni AT della Cabina di raccolta, incluse le funzioni di SPI e SPG, sono meglio definite nell'elaborato "Schema elettrico unifilare ac" (CoD_098_FV_00020).

Per maggiori dettagli si rimanda inoltre all'elaborato "Disciplinare tecnico descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici" (CoD_098_FV_00040).

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 14 / 32
		Numero Revisione
		00

4.2 Generatore fotovoltaico

La potenza installata, pari a 24.979,68 kWp, è suddivisa nei 9 sottocampi, con le caratteristiche sotto riportate:

Tale potenza viene suddivisa in 9 sottocampi, di cui si riporta di seguito una tabella riepilogativa.

	N° stringhe	N° inverter	N° moduli x stringa	N° moduli totali	Potenza DC totale [kWp]	Potenza AC totale [kVA]
Sottocampo 1	158	9	24	3792	2502,72	3150
Sottocampo 2	177	9	24	4248	2803,68	3150
Sottocampo 3	192	10	24	4608	3041,28	4000
Sottocampo 4	177	9	24	4248	2803,68	3150
Sottocampo 5	177	9	24	4248	2803,68	3150
Sottocampo 6	178	9	24	4272	2819,52	3150
Sottocampo 7	172	9	24	4128	2724,48	3150
Sottocampo 8	172	9	24	4128	2724,48	3150
Sottocampo 9	174	9	24	4176	2756,16	3150
TOTALE	1.577	82		37.848	24.979,68	29.200

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


4.3 Inverter

Gli inverter potranno ricevere dal campo un numero di stringhe variabile, da 17 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 KW
- Tensione nominale AC: 800 V
- 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 Conversion Unit, mediante cavi in alluminio ARG16R16 0.6/1 kV di sezione massima di 300 mm², come segue:

- 09 inverter alla CU 01;
- 09 inverter alla CU 02;
- 10 inverter alla CU 03;
- 09 inverter alla CU 04;
- 09 inverter alla CU 05;
- 09 inverter alla CU 06;
- 09 inverter alla CU 07;

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 15 / 32
		Numero Revisione
		00

- 09 inverter alla CU 08;
- 09 inverter alla CU 09.

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. Canali MPPT per i casi con 17/18/19/20 stringhe.

Canale MPPT	Ingressi disponibili	Ingressi usati caso 17 stringhe	Ingressi usati caso 18 stringhe	Ingressi usati caso 19 stringhe	Ingressi usati caso 20 stringhe
MPPT 1	4	2	3	3	3
MPPT 2	5	3	3	3	3
MPPT 3	5	3	3	3	4
MPPT 4	4	3	3	3	3
MPPT 5	5	3	3	3	3
MPPT 6	5	3	3	4	4

4.4 Conversion Unit

Le Conversion Unit, realizzata con soluzione containerizzata, si compone di trasformatore AT/BT, QAT, trasformatore BT/BT e QBT per i servizi ausiliari.

4.4.1 Quadro BT

Il quadro BT della CU si compone di due sezioni A e B, collegate elettricamente ai due diversi avvolgimenti secondari del trasformatore BT/AT. Ogni arrivo dagli inverter distribuiti prevede un interruttore magneto termico con le seguenti caratteristiche:


- Tensione nominale: 800 V;
- Corrente nominale: 315 A;
- Potere di interruzione: 50 kA.

La partenza da ciascun quadro BT verso il rispettivo avvolgimento secondario del trasformatore AT/BT prevede un interruttore magneto-termico con le seguenti caratteristiche:

- Tensione nominale: 800 V;
- Corrente nominale: 3200 A;
- Potere di interruzione: 50 kA.

4.4.2 Trasformatore AT/BT

- Potenza nominale An: n. 1 da 4000 kVA – n. 8 da 3150 kVA
- Rapporto di trasformazione V1/V2: 36/0,8 kV
- Collegamento: Dy11y11
- Frequenza nominale: 50 Hz
- Tipo di raffreddamento: ONAN
- Quantità d'olio > 1 m³

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 16 / 32
		Numero Revisione
		00

Per ogni CU, l'uscita dai due quadri BT sarà collegata ad un trasformatore trifase AT/BT avente doppio avvolgimento al secondario e le seguenti caratteristiche:

- Livelli di tensione (36/0,80 kV);
- Potenza nominale n. 8 da 3.300 kVA, e N. 1 da 4.000 kVA;
- Gruppo vettoriale: Dy11y11;
- Raffreddamento: ONAN (raffreddato in olio con ventilazione naturale).

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

Il trasformatore AT/BT dovrà includere un tap changer a vuoto con prese di tensione $\pm 2x2,5\%$.

4.4.3 Quadro AT

Il QAT di ogni Conversion Unit è composto da 3 celle:

- Cella arrivo dal trasformatore AT/BT
- Partenza linea AT 1;
- Partenza linea AT 2.

La cella di arrivo dal trasformatore AT/BT presenterà le seguenti caratteristiche:

1. Interruttore automatico:

- Isolamento: GIS;
- Corrente nominale In: 630 A;
- Potere di interruzione Isc: 31,5 kA;
- Tensione nominale Un: 36 kV;
- Tensione massima Um: 40,5 kV;

2. Sezionatore:

- Corrente nominale In: 630 A;
- Tensione massima Um: 40,5 kV
- Tensione nominale: 36 kV;
- Tre posizioni (Open-Closed-Earth);


Le celle di partenza linea AT presenteranno le seguenti caratteristiche:

Sezionatore:

- Corrente nominale In: 630 A;
- Tensione massima Um: 40,5 kV
- Tensione nominale: 36 kV;
- Interblocco per messa a terra;

La sbarra AT del QMT presenterà le seguenti caratteristiche:

- Isolamento: GIS;
- Corrente nominale In: 1250 A;
- Tensione nominale Un: 36 kV;
- Corrente ammissibile di breve durata: 31,5kA 1sec

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 17 / 32
		Numero Revisione
		00

4.4.4 Cabina di Raccolta AT 36 kV

Il QAT del Cabina di Raccolta è composto da 6 celle:

- Cella partenza trasformatore AT/AT
- Arrivo linea AT FV 02;
- Arrivo linea AT FV 06;
- Riserva;
- Partenza TSA (Trasformatore Servizi Ausiliari - 160 kVA).

Le quattro celle sopra riportate presenteranno i seguenti componenti con le seguenti caratteristiche:

1. Interruttore automatico
 - Isolamento: AIS;
 - Corrente nominale In: 630 A;
 - Potere di interruzione I_{sc}: 20 kA;
 - Tensione nominale U_r: 36 kV;
 - Tensione massima U_m: 40.5 kV;
2. Sezionatore:
 - Corrente nominale In: 630 A;
 - Tensione massima U_m: 40.5 kV
 - Tensione nominale: 36 kV;
 - Tre posizioni (Open-Closed-Earth).

La sbarra del QAT e presenterà le seguenti caratteristiche:

- Isolamento: GIS;
- Corrente nominale In: 1250 A;
- Tensione nominale: 36 kV;
- Tensione massima U_m: 40.5 kV;
- Corrente ammissibile di breve durata: 40kA 3sec


4.4.5 Alimentazione servizi ausiliari

I carichi ausiliari BT si suddividono per tipologia di alimentazione e per tipologia di continuità dell'alimentazione. Le alimentazioni saranno (QSACA):

- 400 Vac 50 Hz per i carichi trifase in corrente alternata;
- 230 Vac 50 Hz per i carichi monofase in corrente alternata;
- 110 Vcc per i carichi in corrente continua.

4.5 Cavi elettrici

Per un maggiore dettaglio sui cavi previsti in questa fase di progettazione, si faccia riferimento all'elaborato "Lista cavi" (CoD_098_FV_00025). I cavi potranno variare, per tipologia, in fase di progettazione esecutiva.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 18 / 32
		Numero Revisione
		00

4.5.1 Cavi DC solari

I cavi DC solari saranno del tipo H1Z2Z2-K con le seguenti principali caratteristiche:

- Conduttore: rame. La sezione sarà pari a 6 mm².
- Isolamento: LSOH;
- Tensione nominale Un: 1500 Vcc;

4.5.2 Cavi BT

I Cavi di Bassa Tensione AC per la connessione dell'uscita inverter distribuito con il QBT delle CU saranno di tipologia ARG16R16.

La sezione dei cavi sarà pari a 300 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.

4.5.3 Cavi AT

I Cavi di Alta Tensione saranno di tipologia ARE4H5E, e saranno impiegati per il collegamento tra le Conversion Unit e il Cabina di Raccolta.

La sezione dei cavi sarà pari a 95 mm², 185 mm² e da 240 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: gomma HEPR G7;
- Tensione nominale: U₀ / U 20,8/36 kV.

Per il collegamento tra la Cabina SSU di elevazione 36/132 kV (lontana 8.700 m circa) e la Cabina di Raccolta; che distribuisce il 36 kV alle cabine di Trasformazione (Conversion Unit) sarà utilizzato un cavo in rame ARE4H5EE 20,8/36 kV di sezione pari a 630 mm², con le seguenti caratteristiche:

- Conduttore: alluminio;
- Isolamento: gomma HEPR G7;
- Tensione nominale: U₀ / U 20,8/36 kV.

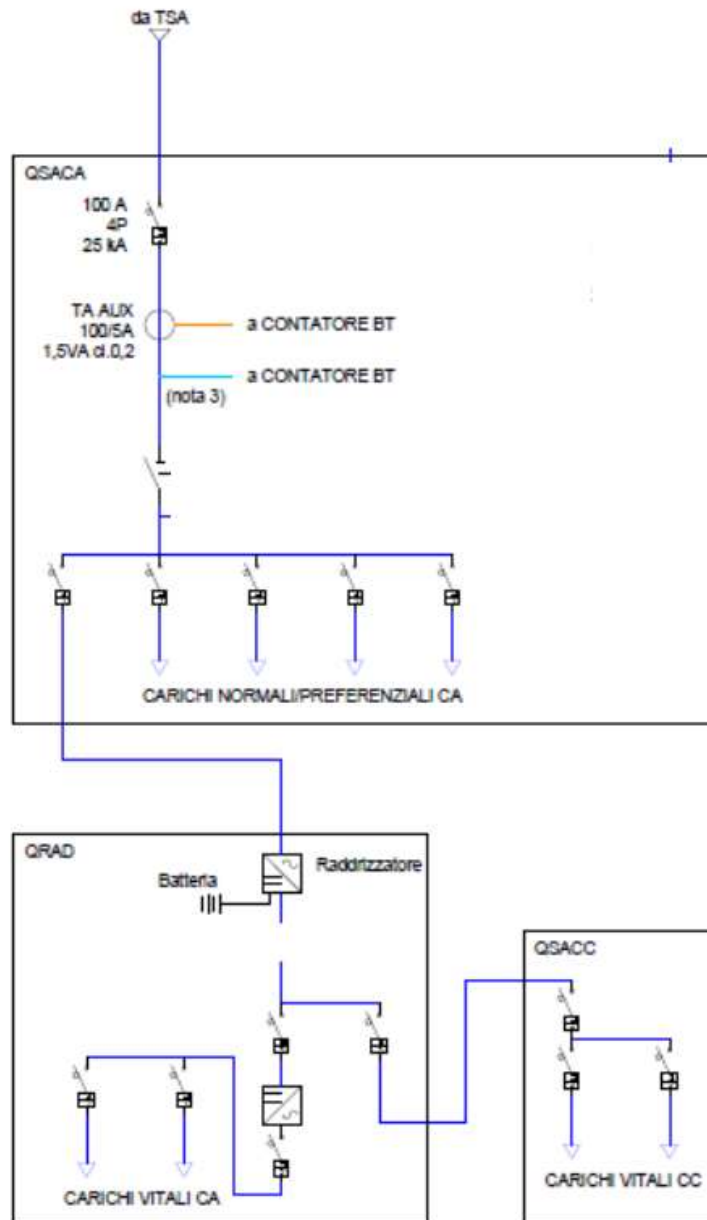



Figure 4-1 Schema tipo Alimentazione servizi ausiliari

A valle del TSA, con un trasformatore di potenza di 160 kVA e tensioni nominali 36/0,4 kV vi è il QSACA (Quadro Servizi Ausiliari Corrente Alternata), dove è presente una protezione BT e le misurazioni di corrente e tensione per il Contatore BT. La tensione viene misurata mediante inserzione diretta.

La protezione avrà le seguenti caratteristiche:

- Interruttore magnetotermico;
- 4 poli;
- Corrente nominale In: 300 A;
- Potere di interruzione: 25 kA.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 20 / 32
		Numero Revisione
		00

Il QSACA alimentata dunque i carichi in corrente alternata trifase/monofase normali e preferenziali, mediante una linea di alimentazione in arrivo da TSA. Il numero esatto di partenze, così come il dimensionamento delle protezioni, sarà svolto in fase di progettazione esecutiva. Il QSACA dovrà prevedere un numero di partenze pari al 10% del numero totale di partenze, sia per carichi trifase che carichi monofase.

Una partenza trifase del QSACA sarà dedicata all'alimentazione del QRAD (Quadro Raddrizzatore).


Il QRAD prevede un convertitore AC-DC con alimentazione lato DC a 110 Vcc e vano batteria.

Il raddrizzatore e il pacco batteria dovranno essere dimensionati in modo da soddisfare i carichi vitali, con potenza complessiva pari ad almeno 6 kVA.

Il QRAD ha una partenza 110Vcc per alimentare un inverter 110Vcc/230Vac per l'alimentazione dei carichi vitali AC. Un'altra partenza del QRAD serve invece ad alimentare il QSACC (Quadro Servizi Ausiliari Corrente Continua) che dovrà soddisfare il carico stimato per i carichi vitali CC.

Per un maggiore dettaglio sul dimensionamento preliminare di TSA, si farà riferimento all'elaborato "Disciplinare tecnico descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici" (CoD_098_FV_00040).

Tale dimensionamento risulta preliminare e verrà perfezionato in fase esecutiva di progetto con la definizione esatta dei carichi ausiliari.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 21 / 32
		Numero Revisione
		00

5 Verifiche preliminari di dimensionamento elettrico

Nel seguente capitolo sono riportate le verifiche preliminari inerenti a:

- Accoppiamento generatore fotovoltaico-inverter;
- Verifica dei cavi BT ed AT;
- Verifica preliminare delle protezioni BT AC ed AT AC

L'impianto sarà dotato di sistema di protezioni e relè come da elaborato "Schema elettrico unifilare ac" (CoD_098_FV_00020). In fase di progettazione esecutiva verrà condotto uno studio di selettività e coordinamento per verificare la taratura delle protezioni.

5.1 Accoppiamento generatore fotovoltaico-inverter

L'inverter adottato e la configurazione delle stringhe devono rispettare i vincoli imposti dalla norma CEI 82-25. In particolare, vanno confrontate grandezze elettriche delle stringhe connesse in parallelo all'inverter con le grandezze di targa dell'inverter stesso.

I parametri del campo fotovoltaico sono:

- $V_n(T_{max})$ – Tensione di uscita del campo alla massima temperatura esterna;
- $V_n(T_{min})$ – Tensione di uscita del campo alla minima temperatura esterna;
- $V_{oc}(T_{min})$ – Tensione della stringa a circuito aperto alla minima temperatura esterna;
- $I_{mpp}(T_{max}, G_{max})$ – corrente in uscita dal sottocampo alla massima temperatura esterna e al massimo irraggiamento.

I parametri dell'inverter sono:

- $V_{dc,max}$ – Tensione massima ammissibile dall'inverter lato corrente continua;
- $V_{mpp,min}$ – Minimo valore dell'intervallo MPPT dell'inverter;
- $V_{mpp,max}$ – Massimo valore dell'intervallo MPPT dell'inverter;
- $I_{dc,max}$ – Massimo valore di corrente in ingresso.


Le verifiche fatte per ogni inverter sono le seguenti:

- $V_n(T_{max}) > V_{mpp,min}$
- $V_n(T_{min}) < V_{mpp,max}$
- $V_{oc}(T_{min}) < V_{dc,max}$
- $I_{mpp}(T_{max}, G_{max}) < I_{dc,max}$

I parametri ambientali sono i seguenti:

- $T_{max} = 70^\circ \text{C}$;
- $T_{min} = -10^\circ \text{C}$;
- $G_{max} = 1100 \text{ W/m}^2$.

Per l'impianto fotovoltaico sono previsti 82 inverter, a n. 4 di questi sono connesse 17 stringhe, a n. 5 sono connesse 18 stringhe in parallelo, a n. 43 di questi sono connesse 19 stringhe, mentre ai restanti n. 32 ne sono connesse 20 stringhe. A seguire è stato verificato l'accoppiamento generatore fotovoltaico-inverter per entrambe le casistiche, studiando sia il caso con 4 stringhe per singolo ingresso MPPT, che il caso con 3 stringhe per singolo MPPT o il caso di 2 stringhe per singolo MPPT.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 22 / 32
		Numero Revisione
		00

Dal momento che gli 82 inverter rientreranno in una di queste casistiche, per sintesi di lettura si riportano unicamente le verifiche dei quattro casi generici.

Soluzione	Dati inverter				Dati stringa						
	Vmpp min [V]	Vmpp max [V]	Vdc max [V]	Idc max [A]	Vn (Tmax) [V]	Vn (Tmin) [V]	Voc (Tmin) [V]	In (Tmax, Gmax) [A]	Pdc/Pac @ 25°C	Pdc/Pac @ 50°C	
17 stringhe 2 stringhe / MPPT	500	1500	1500	65	971	1141	1376	32,30	0,78	0,94	
17/ stringhe 3 stringhe / MPPT	500	1500	1500	65	971	1141	1376	48,59	0,78	0,94	
18 stringhe 3 stringhe / MPPT	500	1500	1500	65	971	1141	1376	48,59	0,85	1,02	
19 stringhe 3 stringhe- MPPT	500	1500	1500	65	971	1141	1376	48,79	0,88	1,06	
20 stringhe 3 stringhe- MPPT	500	1500	1500	65	971	1141	1376	48,79	0,93	1,12	
19 stringhe 4 stringhe- MPPT	500	1500	1500	65	971	1141	1376	64,79	0,88	1,06	
20 stringhe 4 stringhe- MPPT	500	1500	1500	65	971	1141	1376	64,79	0,93	1,12	


Dai valori riportati in tabella, le disequazioni di accoppiamento sopra elencate risultano verificate. È stato inoltre verificato il criterio di progettazione inerente al rapporto Pdc/Pac, da mantenere per ogni inverter al di sotto di 0,95 alla temperatura di 25°C. Viene inoltre esplicitato il rapporto Pdc/Pac a 50°C risultando ampiamente sotto il valore di 1,2.

5.2 Verifica cavi BT CC

Per i cavi CC si è verificata la portata del cavo e la caduta di tensione lungo il tratto di interesse. I limiti di caduta di tensione verificati sono:

- Cavi solari (stringa-inverter): 1,75%.

Per i cavi solari i parametri correttivi di posa sono stati definiti in base alla sezione di ciascun circuito. In particolare, alcuni parametri risultano essere i medesimi per tutti i circuiti verificati, che sono riportati nella tabella sottostante.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 23 / 32
		Numero Revisione
		00


Coefficiente correttivo	Valore parametro	Valore coefficiente
K1 – correzione della temperatura ambiente	Temperatura ambiente (posa interrata) = 20°C	1
K2 – correzione per conduttori adiacenti	N° di circuiti nello stesso corrugato pari a 12 È stato considerato il caso peggiore. In particolare, da progetto la casistica peggiore prevederebbe 10 circuiti CC solari per corrugato. Si è dunque scelto il valore 12 tra quelli disponibili in tabelle tecniche.	0,45
K3 – correzione per profondità di posa	Posa a 0,8 metri di profondità	1
K4 – correzione per resistività termica terreno	Valore medio pari a 0,33 K m/W Si veda “Misure di conducibilità - resistività termica - tomografia elettrica”. Nel calcolo è stato usato il valore 0,5 essendo il più basso disponibile nelle tabelle tecniche, a maggior cautela della verifica stessa.	1,28

Vista la fase di progettazione del caso studio, per i cavi solari è stata verificata la stringa più critica per ciascuna inverter.

Nella seguente tabella si riporta la verifica fatta. Per sintesi di lettura, la verifica è stata fatta per il circuito CC solare più critico per ciascun inverter.

Cavi solari					
INV	L cavo stringa [km]	Formazione cavo stringa	Iz [A]	Ib [A]	cdt stringa [%]
INV1.01	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV1.02	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV1.03	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV1.04	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV1.05	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV1.06	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV1.07	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV1.08	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV1.09	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,18%
INV2.01	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV2.02	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV2.03	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV2.04	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV2.05	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV2.06	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV2.07	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV2.08	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV2.09	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,10%
INV3.01	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.02	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.03	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.04	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.05	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.06	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.07	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.08	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.09	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV3.10	0,13	2 x (1x6)	29,95	18	1,46%
INV4.01	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%
INV4.02	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%
INV4.03	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%
INV4.04	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%
INV4.05	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%
INV4.06	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%
INV4.07	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%
INV4.08	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%
INV4.09	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,19%

Cavi solari					
INV	L cavo stringa [km]	Formazione cavo stringa	Iz [A]	Ib [A]	cdt stringa [%]
INV5.01	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV5.02	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV5.03	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV5.04	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV5.05	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV5.06	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV5.07	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV5.08	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV5.09	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.01	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.02	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.03	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.04	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.05	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.06	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.07	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.08	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV6.09	0,10	2 x (1x6)	29,95	18	1,17%
INV7.01	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV7.02	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV7.03	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV7.04	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV7.05	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV7.06	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV7.07	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV7.08	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV7.09	0,09	2 x (1x6)	29,95	18	1,08%
INV8.01	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV8.02	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV8.03	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV8.04	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV8.05	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV8.06	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV8.07	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV8.08	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV8.09	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV9.01	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 26 / 32
		Numero Revisione
		00

Cavi solari					
INV	L cavo stringa [km]	Formazione cavo stringa	Iz [A]	Ib [A]	cdt stringa [%]
INV9.02	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV9.03	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV9.04	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV9.05	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV9.06	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV9.07	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV9.08	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%
INV9.09	0,12	2 x (1x6)	29,95	18	1,35%

5.3 Verifica cavi BT AC


Per i cavi BT AC (tratto dagli inverter distribuiti alle CU) i parametri correttivi di posa sono stati definiti in base alla sezione più critica prevista a progetto. In particolare, i parametri utilizzati per la verifica dei cavi sono riportati nella tabella sottostante.

Coefficiente correttivo	Valore parametro	Valore coefficiente
K1 – correzione della temperatura ambiente	Temperatura ambiente (posa interrata) = 30°C	0,93
K2 – correzione per conduttori adiacenti	N° di circuiti nello stesso corrugato pari a 8 Al fine cautelativo della verifica è stato usato il caso peggiore previsto a progetto.	0,52
K3 – correzione per profondità di posa	Posa a 1 metro di profondità	0,98
K4 – correzione per resistività termica terreno	Valore medio pari a 0,42 K m/W Si veda “Misure di conducibilità - resistività termica - tomografia elettrica”. Nel calcolo è stato usato il valore 0,5 essendo il più basso disponibile nelle tabelle tecniche, a maggior cautela della verifica stessa.	1,62

Nella tabella seguente si riportano i risultati della verifica di portata e del calcolo della caduta di tensione, con cui si è verificato il rispetto del valore massimo pari a 2,5%.

Cavi BT AC Inverter-CU						
Da	A	Formazione cavo	L cavo [km]	Iz [A]	Ib [A]	cdt [%]
CU01	INV1.01	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU01	INV1.02	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU01	INV1.03	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU01	INV1.04	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU01	INV1.05	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU01	INV1.06	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU01	INV1.07	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU01	INV1.08	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU01	INV1.09	3 x (1x300)	0,07	347	238	0,5%
CU02	INV2.01	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU02	INV2.02	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU02	INV2.03	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU02	INV2.04	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU02	INV2.05	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU02	INV2.06	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU02	INV2.07	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU02	INV2.08	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU02	INV2.09	3 x (1x300)	0,24	347	238	1,6%
CU03	INV3.01	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.02	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.03	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.04	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.05	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.06	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.07	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.08	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.09	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU03	INV3.10	3 x (1x300)	0,28	347	238	1,9%
CU04	INV4.01	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU04	INV4.02	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU04	INV4.03	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU04	INV4.04	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU04	INV4.05	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU04	INV4.06	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU04	INV4.07	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU04	INV4.08	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU04	INV4.09	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU05	INV5.01	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU05	INV5.02	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%

Cavi BT AC Inverter-CU						
Da	A	Formazione cavo	L cavo [km]	Iz [A]	Ib [A]	cdt [%]
CU05	INV5.03	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU05	INV5.04	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU05	INV5.05	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU05	INV5.06	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU05	INV5.07	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU05	INV5.08	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU05	INV5.09	3 x (1x300)	0,30	347	238	2,0%
CU06	INV6.01	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU06	INV6.02	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU06	INV6.03	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU06	INV6.04	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU06	INV6.05	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU06	INV6.06	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU06	INV6.07	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU06	INV6.08	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU06	INV6.09	3 x (1x300)	0,22	347	238	1,5%
CU07	INV7.01	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU07	INV7.02	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU07	INV7.03	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU07	INV7.04	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU07	INV7.05	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU07	INV7.06	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU07	INV7.07	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU07	INV7.08	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU07	INV7.09	3 x (1x300)	0,29	347	238	2,0%
CU08	INV8.01	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU08	INV8.02	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU08	INV8.03	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU08	INV8.04	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU08	INV8.05	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU08	INV8.06	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU08	INV8.07	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU08	INV8.08	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU08	INV8.09	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU09	INV9.01	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU09	INV9.02	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU09	INV9.03	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU09	INV9.04	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 29 / 32
		Numero Revisione
		00


Cavi BT AC Inverter-CU						
Da	A	Formazione cavo	L cavo [km]	Iz [A]	Ib [A]	cdt [%]
CU09	INV9.05	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU09	INV9.06	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU09	INV9.07	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU09	INV9.08	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%
CU09	INV9.09	3 x (1x300)	0,27	347	238	1,6%

5.4 Verifica cavi AT AC

Per i cavi AT AC si è verificata la portata del cavo e la caduta di tensione lungo il tratto di interesse. I parametri correttivi di posa sono stati definiti in base alla sezione di ciascun circuito. In particolare, alcuni parametri risultano essere i medesimi per tutti i circuiti verificati, che sono riportati nella tabella sottostante.

Coefficiente correttivo	Valore parametro	Valore coefficiente
K1 – correzione della temperatura ambiente	Temperatura ambiente (posa interrata) = 30°C	0,93
K2 – correzione per conduttori adiacenti	N° di circuiti nello stesso corrugato pari a 2 Al fine cautelativo della verifica è stato usato il caso di entra-esci dei cavi AT nelle Conversion Unit.	0,9
K3 – correzione per profondità di posa	Posa a 1 metri di profondità (worst case)	0,98
K4 – correzione per resistività termica terreno	Valore medio pari a 0,42 K m/W Si veda “Misure di conducibilità - resistività termica - tomografia elettrica”. Nel calcolo è stato usato il valore 0,5 essendo il più basso disponibile nelle tabelle tecniche, a maggior cautela della verifica stessa.	1,35

Nella seguente tabella si riporta la verifica fatta.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 30 / 32
		Numero Revisione
		00

Cavi AT						
Da	A	L cavo [km]	Formazione cavo	Ib [A]	cdt [%]	Iz [A]
Cabina di raccolta	CU02	0,255	3 x (1x240)	265	0,04	410
CU02	CU05	0,095	3 x (1x240)	215	0,03	410
CU05	CU04	0,185	3 x (1x185)	165	0,02	370
CU04	CU03	0,185	3 x (1x185)	115	0,01	370
CU03	CU01	0,650	3 x (1x95)	50	0,01	240
Cabina di raccolta	CU06	0,700	3 x (1x240)	200	0,03	410
CU06	CU07	0,185	3 x (1x185)	150	0,02	370
CU07	CU08	0,210	3 x (1x185)	100	0,01	370
CU08	CU09	0,250	3 x (1x95)	50	0,01	240

5.5 Verifica protezioni BT

Le protezioni dei quadri BT delle CU sono state verificate sia per il sovraccarico che per il cortocircuito. In particolare, per le CU è stato verificato l'interruttore magneto-termico della cella di arrivo dall'inverter.

La protezione delle condutture dal sovraccarico sarà garantita dalla verifica dell'equazione:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Per quanto riguarda la verifica a cortocircuito, essa risulta soddisfatta, come riportato nella tabella riportata di seguito; la corrente di cortocircuito indicata è quella calcolata considerando il potere di interruzione delle protezioni pari a 50 kA, il tempo di intervento delle protezioni è stato assunto per tutte le linee pari a 0,12 secondi, mentre il valore di K è stato posto pari 92 (per cavi in alluminio isolati in gomma etilpropilenica).


Per sintesi di lettura, essendo il controllo da effettuare uguale per tutti gli interruttori, si riporta la verifica singola nella tabella seguente:

K	I _{cc} [kA]	t intervento [ms]	I ² t	K ² S ²	Verifica I ² t <= K ² S ²	I _n [A]	I _z [A]	I _b [A]	Verifica I _b < I _n < I _z
92	50	120	300	761,76	OK	315	347	238	OK

5.6 Verifica protezioni AT


Le protezioni dei quadri AT delle CU e del Cabina di Consegna sono state verificate sia per il sovraccarico che per il cortocircuito. In particolare, per le CU è stato verificato l'interruttore della cella di arrivo dal trasformatore AT/BT.

La protezione delle condutture dal sovraccarico sarà garantita dalla taratura del relativo relè di protezione, impostando un valore inferiore alla portata del cavo protetto.

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 31 / 32
		Numero Revisione
		00

Per quanto riguarda la verifica a cortocircuito, essa risulta soddisfatta, come riportato nella tabella riportata di seguito; la corrente di cortocircuito indicata è quella calcolata considerando il potere di interruzione delle protezioni pari a 20 kA, il tempo di intervento delle protezioni è stato assunto in modo da garantire, seppur in via preliminare, una selettività cronometrica per le protezioni AT, mentre il valore di K è stato posto pari 92 (per cavi in alluminio isolati in gomma etilpropilenica). La selettività delle protezioni dell'impianto andrà verificata in fase di progettazione esecutiva.

Da	A]	K	I _{cc} [kA]	t intervento [ms]	I ² _t	K ² S ²	Verifica I ² _t ≤ K ² S ²
CU02	Cabina di raccolta	92	20	300	120	290	OK
CU05	Cabina di raccolta	92	20	300	120	290	OK
CU07	Cabina di raccolta	92	20	300	120	290	OK
Cabina di raccolta	Trafo AT/AT	190	20	450	250	560	OK

	ID Documento Committente CoD_098_FV_00019_BER	Pagina 32 / 32
		Numero Revisione
		00

6 Sistema di protezione dalle sovratensioni

Al fine di proteggere l'impianto e le apparecchiature elettriche ed elettroniche ad esso collegate contro le sovratensioni di origine atmosferica (fulminazione indiretta), pur essendo l'impianto autoprotetto, come calcolato nel documento "Relazione scariche atmosferiche" (CoD_098_FV_00073), e le sovratensioni transitorie di manovra, è prevista l'installazione di appositi scaricatori di sovratensione ('SPD'). Il criterio di scelta degli SPD è basato su una protezione a più livelli che comprende una protezione primaria, una protezione di secondo livello tale da limitare la tensione residua a 2,5 kV / 1,5 kV ed una protezione fine (diretta) per gli apparati che tollerano tensioni massime inferiori a 1,5 kV.

In dettaglio si avrà:

- protezione linee AT mediante celle dotate di scaricatore sulle linee entranti;
- protezione dei circuiti di potenza BT (ingresso linea dei quadri generali) mediante limitatori ad alta energia di scarica
- protezione dei circuiti di potenza quadri di secondo livello mediante limitatori che avranno il compito di limitare le sovratensioni a 2,5 kV / 1,5 kV
- SPD per la specifica protezione di apparati linee dati, apparati sensibili, linee dati, linee di segnale.