

Calcoli preliminari dimensionamento elettrico

Progetto definitivo



Impianto agrivoltaico "F-CORTE"

Comune di Sassari (SS)

Località "Strada Vicinale La Corte-Campanedda





N. REV.	DESCRIZIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	
0	Emissione	I.A.T.	Asja Nurra s.r.l.	G.F. – IAT s.r.l.	IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a 17/04/2023 Corso Vittorio Emanuele II, 6 10123 Torino - Italia asja.nurra@pec.it

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 2 di 21

INDICE

1	GENERALITÀ	3
2	CALCOLI ELETTRICI	5
2.1	Determinazione della potenza dell'impianto	5
2.2	Caratteristiche moduli fotovoltaici	5
2.3	Caratteristiche inverter	6
2.4	Potenza nominale del generatore fotovoltaico	6
2.5	Accoppiamento stringhe-inverter	7
2.6	Quadri BT	9
2.6.1	Quadri elettrici BT lato c.a.	9
2.6.2	Quadri di campo e di parallelo stringhe c.c.	10
2.6.3	Quadri a 36 kV	11
2.7	Cavi per la distribuzione elettrica in BT c.c.	11
2.8	Cavi per la distribuzione elettrica in BT c.a.	12
2.8.1	Cavi lato c.a. in bassa tensione all'interno degli edifici	12
2.9	Cavi per la distribuzione elettrica d'impianto	13
2.10	Dimensionamento dei circuiti	15
2.11	Protezione dei circuiti a 36 kV	18
2.12	Protezione dei circuiti BT	19
2.12.1	Protezione contro i sovraccarichi	19
2.12.2	Protezione contro i cortocircuiti	19
2.13	Contributo alle correnti di corto circuito al PCC	20
3	NORME E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO	21
3.1	Norme tecniche	21
3.2	Norme del gestore della rete di trasmissione	21

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 3 di 21

1 GENERALITÀ

La Società Asja Nurra s.r.l., con sede legale a Torino (TO) in Corso Vittorio Emanuele II n. 6, intende realizzare un impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile su terreni ubicati in agro del Comune di Sassari (Provincia di Sassari), in località "La Corte", e denominato "F-CORTE".

L'impianto in progetto avrà una potenza complessiva AC di 26 MW, data dalla somma delle potenze nominali dei singoli inverter (potenza nominale lato DC pari a 32,07 MW_p), e sarà costituito da n. 927 inseguitori monoassiali (n. 835 tracker 2x28 moduli FV e n. 92 tracker da 2x14 moduli FV).

L'intervento ha ottenuto il preventivo di connessione di cui al codice pratica TERNA n. 202201969 relativo ad una potenza in immissione di 26 MW.

In accordo con la citata Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), l'impianto sarà collegato in antenna sulla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 150/36 kV della RTN, denominata "Fumesanto 2", da inserire in entra – esce alle linee esistenti RTN a 150 kV "Fumesanto – Porto Torres" (n. 342 e n. 343) e alla futura linea a 150 kV "Fumesanto – Porto Torres" prevista nel Piano di Sviluppo di Terna.



L'elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento alla citata Stazione RTN costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

Dal punto di vista del dimensionamento dell'impianto, la presente relazione dei calcoli elettrici preliminari è redatta in conformità alla Norma CEI 0-2 con lo scopo di:

- determinare i parametri elettrici fondamentali di funzionamento dell'impianto, sia in condizioni normali che in condizioni di guasto;
- determinare i parametri elettrici di riferimento per l'acquisizione dei principali componenti di impianto, determinando i criteri generali di scelta delle soluzioni impiantistiche adottate;
- definire i criteri e le soluzioni impiantistiche ai fini della sicurezza delle persone nei confronti dei contatti diretti e indiretti.



I criteri progettuali seguiti sono principalmente quelli di pervenire ad una configurazione impiantistica tale da garantire il corretto funzionamento della centrale fotovoltaica nelle diverse condizioni operative. Le condizioni ambientali di riferimento nei calcoli effettuati nella presente relazione sono:

- temperatura interna da -10°C a + 50°C,
- temperatura esterna da -10°C a + 60°C,
- umidità interna variabile dal 20% al 85%.

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 4 di 21

In attesa della pubblicazione delle specifiche tecniche da parte di Terna su cavi, celle e apparecchiature per le connessioni a 36 kV (attualmente oggetto di valutazione, indagini di mercato e verifiche di cantiere da parte di Terna), ogni indicazione qui riportata ai cavi a 36 kV deve intendersi riferita a cavi da 20,8/36 kV o cavi da 26/45 kV commercialmente disponibili e idonei allo scopo.

Nel seguito saranno definite le caratteristiche del generatore fotovoltaico e dei circuiti di distribuzione in c.a. (corrente alternata) e c.c. (corrente continua).

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 5 di 21

2 CALCOLI ELETTRICI

2.1 Determinazione della potenza dell'impianto

Ai fini del calcolo della potenza dell'impianto fotovoltaico in progetto si è proceduto, in primo luogo, alla definizione del layout d'impianto - ottimizzandolo in funzione dell'orientamento dei confini del terreno e delle limitazioni vincolistiche e infrastrutturali riscontrate – avuto riguardo della STMG elaborata da Terna.



2.2 Caratteristiche moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici che si prevede di utilizzare sono riferibili al modello commerciale "Vertex TSM-DEG21C.20" della Trina Solar, di tipologia bifacciale in silicio monocristallino, o similare, le cui caratteristiche riportate in Tabella 2.1 sono riferite alle condizioni standard di test (STC):

- irraggiamento: 1000 W/m²;
- temperatura cella: 25°C;
- air mass (AM): 1,5.

Tabella 2.1 - Dati tecnici modulo Vertex TSM-DEG21C.20

Potenza massima (P_{max}) [W _p]	650
Tolleranza sulla potenza [W]	0~+5
Tensione alla massima potenza (V_{mpp}) [V]	37,7
Corrente alla massima potenza (I_{mpp}) [A]	17,27
Tensione di circuito aperto (V_{oc}) [V]	45,5
Corrente di corto circuito (I_{sc}) [A]	18,35
Massima tensione di sistema (V_{dc}) [V]	1500
Coefficiente termico αP_{max} (NOCT 43°C) [%/°C]	- 0,34
Coefficiente termico αV_{oc} (NOCT 43°C) [%/°C]	- 0,25
Coefficiente termico αI_{sc} (NOCT 43°C) [%/°C]	+ 0,04
Efficienza modulo [%]	20,9
Dimensioni principali [mm]	2384 x 1303 x 33
Numero di celle per modulo	132 [2 x (11 x 6)]

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 6 di 21

2.3 Caratteristiche inverter

Le cabine di conversione e trasformazione (power station) selezionate per l'impianto, riferibili al modello commerciale MVPS 4200/4400 S2 della SMA, sono equipaggiate al loro interno di n. 1 inverter modello SUNNY CENTRAL 4200/4400 UP di potenza nominale pari a 4200/4400 kW, i cui dati tecnici ed elettrici sono riportati in Tabella 2.2.

Tabella 2.2 - Dati tecnici inverter SMA Sunny Central 4200/4400 UP

Marca e Modello Tipo ¹	SMA - SC 4200/4400 UP
Potenza nominale [kVA]	4200/4400
Potenza nominale $\cos \varphi=1$ [kW]	4200/4400
Corrente massima DC ($I_{DC,max}$) [A]	4750
Corrente nominale AC ($I_{AC,nom}$) [A]	3850
Intervallo Tensione MPPT (V_{mpp}) [V]	921-1325 / 962-1325
Tensione massima DC ($V_{DC,max}$) [V]	1500
N° ingressi lato DC	32
Connessione di rete AC	630/660 V, 50 Hz, 3F
Fattore di potenza ($\cos\varphi$)	>0.99 / ± 0.8 Ind/Cap
Dimensioni (A x L x P) [mm]	2318/2815/1588
Efficienza Europea [%]	98,7
Efficienza massima [%]	98,8

2.4 Potenza nominale del generatore fotovoltaico

Tenuto conto della superficie utile all'installazione degli inseguitori monoassiali e delle dimensioni standard dei *tracker* (aventi caratteristiche costruttive del modello Comal o similare), l'impianto presenta la configurazione funzionale indicata in Tabella 2.3.

¹ Non vincolante per le scelte esecutive


COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 7 di 21

Tabella 2.3 – Dati principali impianto

Modello moduli FV	Trina Solar - Vertex TSM-DEG21C.20
Potenza moduli [W _p]	650
Cabine inverter (Power Station)	n.2 SMA-MVPS 4200 S2 n.4 SMA-MVPS 4400 S2
Potenza inverter [MW]	4,2/4,4
Distanza E-W tra le file [m]	11
Distanza N-S tra le file [m]	0,35
n. tracker da 2 x 14 moduli	92
n. tracker da 2 x 28 moduli	835
n. totale tracker	927
n. totale moduli	49.336
n. stringhe da 28 moduli	1.762
Potenza DC [MW _p]	32,07
Potenza nominale AC [MW]	26,00
Potenza apparente AC [MVA]	26,00
Rapporto DC/AC	1,23

La potenza complessiva nominale dell'impianto, considerando n. 49.336 moduli da 650 W_p, sarà pertanto di 32,07 MW_p mentre la potenza in AC sarà pari a 26 MW, con un rapporto DC/AC di circa 1,23.

2.5 Accoppiamento stringhe-inverter

Per assicurare un funzionamento sicuro ed efficiente dell'inverter è necessario configurare il campo fotovoltaico adattandolo al modello di inverter prescelto, valutandone attentamente le condizioni estreme di funzionamento.

Il dimensionamento delle stringhe dell'inverter è stato effettuato considerando i requisiti previsti dalla

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 8 di 21

guida CEI 82-25 e, in particolare, sono state verificate con il simulatore d'impianto implementato nel software PVsyst le seguenti condizioni di funzionamento:

1. Tensione massima di stringa a vuoto alla minima temperatura:
 - Tensione di circuito aperto V_{oc} a -10 °C inferiore alla tensione massima dell'inverter.
2. Tensioni MPPT:
 - La tensione nel punto STC deve essere compresa nella finestra di tensione in cui ricade il punto di funzionamento alla massima potenza;
 - La tensione nel punto di massima potenza V_{pm} a -10 °C deve essere minore della tensione MPPT massima;
 - La tensione nel punto di massima potenza V_{pm} a $+50\text{ °C}$ deve essere maggiore della tensione MPPT minima.
3. Corrente massima di corto circuito:
 - Corrente massima di cortocircuito generata I_{sc} a $+50\text{ °C}$ deve essere inferiore alla corrente massima $I_{DC,SC\ max}$ dell'inverter.

Il parallelo delle uscite in c.c. avverrà mediante l'utilizzo di quadri di campo e manovra distribuiti opportunamente nei singoli sottocampi FV.

I risultati delle verifiche di accoppiamento, nelle condizioni più gravose, sono riassunti nella Tabella 2.4.


COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 9 di 21

Tabella 2.4 – Risultati verifica accoppiamento stringhe – MPPT

Verifica n.	Grandezza	Temperatura	Valore grandezza	Valore verifica	
				SC 4200 UP	SC 4400 UP
1	Tensione a Vuoto alla Minima Temperatura	-10°C	1386 V	<1500V (Moduli)	<1500V (Moduli)
				<1500V (Inverter)	<1500V (Inverter)
2	Tensione di MPPT a STC	25°C	1053 V	921 ÷ 1325 V	962 ÷ 1325 V
	Tensione di MPPT alla minima Temperatura	-10°C	1173 V	< 1325 V	< 1325 V
	Tensione di MPPT alla Massima Temperatura	50 °C	969 V	> 921 V	> 962 V
3	Massima Corrente di Corto Circuito	50 °C	5523 A	< 8400 A	< 8400 A

2.6 Quadri BT

2.6.1 Quadri elettrici BT lato c.a.

I quadri elettrici saranno realizzati con struttura in robusta lamiera di acciaio con un grado di protezione IP55. I quadri elettrici di BT c.a. dovranno avere le caratteristiche riportate in Tabella 2.5.

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 10 di 21

Tabella 2.5 - Dati tecnici Quadri Elettrici BT c.a.


Tensione nominale [V]	690
Tensione esercizio [V]	400
Numero delle fasi	3F + PE
Livello nominale di isolamento tensione di prova a frequenza industriale per 1 min verso terra e tra le fasi [kV]	2,5
Frequenza nominale [Hz]	50
Corrente nominale sbarre principali [A]	3200

2.6.2 Quadri di campo e di parallelo stringhe c.c.

I quadri elettrici di BT c.c. dovranno avere le caratteristiche riportate in Tabella 2.6.

Tabella 2.6 - Dati tecnici Quadri Elettrici BT c.c.

Tensione nominale [V]	1500
Tensione esercizio [V]	800-1500
Numero delle fasi	+/-
Livello nominale di isolamento tensione di prova a frequenza industriale per 1 min verso terra e tra le fasi [kV]	2,5
Frequenza nominale [Hz]	0
Corrente nominale sbarre principali [A]	3200

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 11 di 21

2.6.3 Quadri a 36 kV

Nell'impianto sono dislocati quadri di smistamento e di connessione alle cabine di conversione e trasformazione.

In ciascuna cabina è previsto un quadro a 36 kV con la cella di protezione del trasformatore e i due sezionatori della linea entra-esce che collega tra loro le cabine d'impianto.

I dati tecnici principali dei quadri di distribuzione prescelti sono riportati in Tabella 2.7.

Tabella 2.7 - Dati tecnici quadri a 36 kV

Tensione nominale [kV]	36
Tensione di esercizio [kV]	40,5
Frequenza nominale [Hz]	50
N° fasi	3
Corrente nominale delle sbarre principali [A]	Fino a 2500
Corrente nominale massima delle derivazioni [A]	Fino a 2500
Corrente nominale ammissibile di breve durata [kA]	12,5/16
Corrente nominale di picco [kA]	25-31,5
Potere di interruzione degli interruttori alla tensione nominale [kA]	12,5/16
Durata nominale del corto circuito [s]	1

La tensione di riferimento per l'isolamento delle apparecchiature è di 36 kV.

2.7 Cavi per la distribuzione elettrica in BT c.c.

I cavi utilizzati sul lato c.c. dell'impianto di produzione devono essere in grado di sopportare severe condizioni ambientali per tutta la durata in vita dell'impianto. Le condutture devono avere un isolamento doppio per ridurre i guasti a terra e i corto circuiti.

Per il collegamento dei quadri di stringa agli inverter si utilizzeranno cavi del tipo ARG7OR 0,6/1 kV c.a 0,9/1,5kV c.c., conduttore in alluminio, corda rigida compatta isolamento classe 2, materiale gomma, qualità G7, guaina riempitiva materiale termoplastico, guaina esterna materiale: pvc, qualità

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 12 di 21

rz, colore: grigio.

Per collegamenti in c.c. tra i moduli verranno impiegati cavi unipolari adatti al collegamento dei vari elementi degli impianti fotovoltaici e solari, sigla H1Z2Z2-K, con tensione nominale di esercizio di 1.0 kV c.a - 1.5 kV c.c. e tensione massima U_m pari a 1.800 V c.c., colore guaina esterna Nero o Rosso, isolati con gomma Z2, sotto guaina Z2, con conduttori flessibili stagnati. Non propaganti la fiamma, senza alogeni, a basso sviluppo di fumi e gas tossici e corrosivi.

La sezione del cavo deve essere tale che la sua portata I_z non sia inferiore alla corrente d'impiego I_b e che la caduta di tensione ai suoi capi sia entro il 2-3% per limitare al minimo le perdite di energia per effetto Joule.

2.8 Cavi per la distribuzione elettrica in BT c.a.

2.8.1 Cavi lato c.a. in bassa tensione all'interno degli edifici



All'interno degli edifici quali cabine elettriche, sale quadri etc. si utilizzeranno cavi del tipo FG16M16-FG16OM16 0,6/1 kV per il trasporto di energia e di segnali, con isolamento in gomma di qualità G16, sotto guaina termoplastica LSOH, qualità M16 a ridotta emissione di gas corrosivi.

Le caratteristiche principali di suddetta tipologia di cavo sono:

- Non propagazione della fiamma;
- Non propagazione dell'incendio;
- Bassissima emissione alogeni, gas tossici e corrosivi;
- Zero alogeni;
- Buon comportamento alle basse temperature.

Le caratteristiche funzionali dei cavi FG16M16-FG16OM16 sono:

- Tensione nominale U_0/U :
 - 600/1.000 V c.a.
 - 1.500 V c.c.
- Tensione massima U_m :
 - 1.200 V c.a.
 - 1.800 V c.c.
- Tensione di prova industriale: 4.000 V
- Massima temperatura di esercizio: +90 °C
- Temperatura minima di esercizio: -15 °C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 13 di 21

- Temperatura massima di corto circuito: 250 °C
- Sforzo massimo di trazione: 50 N/mm² di sezione del rame
- Raggio minimo di curvatura: 4 volte il diametro del cavo
- Temperatura minima di posa: 0 °C.

2.9 Cavi per la distribuzione elettrica d'impianto

La linea di distribuzione elettrica d'impianto a 36 kV realizza le connessioni tra le cabine di conversione e trasformazione e le connette alla cabina di raccolta. I cavi sono stati dimensionati considerando la modalità e profondità di posa e la lunghezza della linea.

I cavi utilizzati sono del tipo tripolari ARG7H1RX - 36 kV elicordati, le cui caratteristiche tecniche ed elettriche sono riportate rispettivamente nella Tabella 2.8 e nella Tabella 2.9.

Tabella 2.8 – Caratteristiche tecniche cavi tipo ARG7H1RX - 36 kV

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Ø indicativo anima	Ø ciroscritto indicativo	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A	
							in aria	interrato ^{*)}
n° x mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	kg/km	A	A
3 x 1 x 35	7,0	8,0	1,9	33,5	72,0	3150	144	142
3 x 1 x 50	8,1	8,0	2,0	34,1	73,3	3480	174	168
3 x 1 x 70	9,7	8,0	2,0	36,2	77,8	3880	218	207
3 x 1 x 95	11,4	8,0	2,1	38,2	82,1	4355	266	247
3 x 1 x 120	12,9	8,0	2,2	40,0	86,0	5020	309	281
3 x 1 x 150	14,3	8,0	2,2	41,0	88,2	5385	352	318
3 x 1 x 185	16,0	8,0	2,3	43,1	92,7	6040	406	361
3 x 1 x 240	18,3	8,0	2,4	45,0	96,8	6910	483	418

(*) I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:
 - Resistività termica del terreno: 1 K-m/W
 - Temperatura ambiente 20°C
 - profondità di posa: 0,8 m

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 14 di 21

Tabella 2.9 – Caratteristiche elettriche cavi tipo ARG7H1RX - 36 kV

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz	Reattanza di fase	Capacità a 50Hz
n° x mm ²	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	μF/km
3 x 1 x 35	0,868	1,113	0,14	0,17
3 x 1 x 50	0,641	0,822	0,13	0,18
3 x 1 x 70	0,443	0,568	0,13	0,21
3 x 1 x 95	0,320	0,411	0,12	0,23
3 x 1 x 120	0,253	0,325	0,12	0,25
3 x 1 x 150	0,206	0,265	0,11	0,27
3 x 1 x 185	0,164	0,211	0,11	0,29
3 x 1 x 240	0,125	0,161	0,11	0,32

I cavi utilizzati per la connessione della cabina di raccolta, situata ai confini dell'area di progetto, con la Cabina Elettrica Utente prevista in progetto ed i cavi di collegamento tra quest'ultima con la futura Stazione Elettrica RTN 150/36 kV "Fiumesanto 2" saranno entrambi della tipologia ARG7H1R - 36 kV. Le caratteristiche tecniche ed elettriche sono indicate nella Tabella 2.10 e nella Tabella 2.11.

Tabella 2.10 - Caratteristiche tecniche cavi tipo ARG7H1R - 36 kV

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Ø esterno max	Peso indicativo cavo	Portate di corrente A			
					in aria		interrato*	
n° x mm ²	mm	mm	mm	kg/km	a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano
1 x 35	7,0	8,0	33,5	1045	144	152	142	149
1 x 50	8,1	8,0	34,1	1155	174	183	168	177
1 x 70	9,7	8,0	36,2	1545	218	229	207	218
1 x 95	11,4	8,0	38,2	1290	266	280	247	260
1 x 120	12,9	8,0	40,0	1670	309	325	281	296
1 x 150	14,3	8,0	41,0	1790	352	371	318	335
1 x 185	16,0	8,0	43,1	2005	406	427	361	380
1 x 240	18,3	8,0	45,0	2300	483	508	418	440
1 x 300	21,0	8,0	47,0	2570	547	576	472	497
1 x 400	23,6	8,0	51,1	3145	640	674	543	572
1 x 500	26,5	8,0	53,0	3555	740	779	621	654
1 x 630	30,1	8,0	60,2	4195	862	907	706	743

(*) I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:
 - Resistività termica del terreno: 1 K·m/W
 - Temperatura ambiente 20°C
 - profondità di posa: 0,8 m

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 15 di 21

Tabella 2.11 - Caratteristiche elettriche cavi tipo ARG7H1R - 36 kV

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz		Reattanza di fase		Capacità a 50Hz
		Ω/km		Ω/Km		
n° x mm ²	Ω/Km	a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano	μF/km
1 x 35	0,868	1,113	1,113	0,16	0,21	0,15
1 x 50	0,641	0,822	0,822	0,15	0,20	0,15
1 x 70	0,443	0,568	0,568	0,14	0,20	0,16
1 x 95	0,320	0,411	0,411	0,13	0,19	0,18
1 x 120	0,253	0,325	0,325	0,13	0,18	0,19
1 x 150	0,206	0,265	0,265	0,12	0,18	0,20
1 x 185	0,164	0,211	0,211	0,12	0,18	0,22
1 x 240	0,125	0,161	0,161	0,11	0,17	0,24
1 x 300	0,100	0,130	0,129	0,11	0,17	0,27
1 x 400	0,0778	0,102	0,101	0,11	0,16	0,29
1 x 500	0,0605	0,0801	0,0794	0,10	0,16	0,32
1 x 630	0,0469	0,0635	0,0625	0,099	0,16	0,36

2.10 Dimensionamento dei circuiti

I cavi elettrici in corrente continua e in corrente alternata, ossia dalla connessione di stringa agli inverter presenti all'interno delle cabine di conversione e trasformazione, passando per i quadri di campo della cabina di raccolta di impianto e della Cabina Elettrica Utente fino alla Stazione Elettrica RTN, sono stati dimensionati in modo tale che risultino soddisfatte la relazioni:

$$I_b \leq I_z$$

$$\Delta V_{\%} \leq 2\%,$$

dove:

- I_b è la corrente di impiego del cavo;
- I_z è la portata del cavo, calcolata tenendo conto del tipo di cavo e delle condizioni di posa;
- $\Delta V_{\%}$ è la caduta di tensione percentuale nel tratto di circuito considerato.

I valori di dimensionamento delle tratte principali di impianto sono riassunti in Tabella 2.12, dove si riportano le sezioni per fase e le portate dei cavi impiegati nelle tratte principali della distribuzione interna d'impianto.



COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 16 di 21

Tabella 2.12 – Sezioni per fase e portate dei cavi delle tratte principali

Tratta	Potenza [W]	I _b [A]	S [mm ²]	I _z [A]
CAMPO FV				
SE RTN - Cabina Elettrica Utente	2,60E+07	417	3x1x630	706
Cabina Elettrica Utente - Cabina di raccolta	2,60E+07	417	3x1x630	706
SOTTOCAMPO 1				
Cabina di raccolta - T03	1,28E+07	205	3x1x95	247
T03 - T02	8,60E+06	138	3x1x50	168
T02 - T01	4,40E+06	71	3x1x50	168
SOTTOCAMPO 2				
Cabina di raccolta - T06	1,30E+07	208	3x1x95	247
T06 - T05	8,60E+06	138	3x1x50	168
T05 - T04	4,40E+06	71	3x1x50	168

Per il dimensionamento dei cavi dei circuiti in corrente continua si è valutata la corrente d'impiego I_b pari alla corrente di corto circuito I_{sc} erogata dal modulo, con una maggiorazione del 25% per tener conto di valori di irraggiamento superiori rispetto alle condizioni standard:

$$I_b = 1,25 \cdot I_{sc}$$

La relazione riportata di seguito esprime la caduta di tensione nei vari tratti:

$$\Delta V_{\%} = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100 = \frac{K \cdot R \cdot I_b}{V} \cdot 100$$

dove:

- K=1 per linee trifase a.c., K=2 per linee in c.c.;
- R è la resistenza elettrica del cavo considerato espressa in ohm (Ω);
- V è la tensione nel tratto di circuito considerato.

I valori delle cadute di tensione calcolati sono riportati in Tabella 2.13.

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 17 di 21

Tabella 2.13 – Cadute di tensione delle tratte principali a 36 kV

Tratta	Potenza [W]	I_b [A]	S [mm ²]	I_z [A]	R [Ω/km]	V [kV]	L [km]	ΔV [V]	ΔV [%]
CAMPO FV									
SE RTN - Cabina Elettrica Utente	2,60E+07	417	3x1x630	706	0,05	36	0,30	6,25	0,02
Cabina Elettrica Utente - Cabina di raccolta	2,60E+07	417	3x1x630	706	0,05	36	7,00	145,94	0,41
SOTTOCAMPO 1									
Cabina di raccolta - T03	1,28E+07	205	3x1x95	247	0,44	36	0,30	27,55	0,08
T03 - T02	8,60E+06	138	3x1x50	168	0,64	36	0,30	26,51	0,07
T02 - T01	4,40E+06	71	3x1x50	168	0,64	36	0,05	2,26	0,01
SOTTOCAMPO 2									
Cabina di raccolta - T06	1,30E+07	208	3x1x95	247	0,32	36	0,50	33,40	0,09
T06 - T05	8,60E+06	138	3x1x50	168	0,64	36	0,40	35,35	0,10
T05 - T04	4,40E+06	71	3x1x50	168	0,64	36	0,60	27,13	0,08

Infine, nella Tabella 2.14 vengono indicate le cadute di tensione per le tratte tipo in BT, assumendo una lunghezza massima per tratta da stringa a quadro di campo di 200 metri, con cavo tipo H1Z2Z2-K Formazione 2x10 mm² e da quadro di campo a inverter di 300 metri con cavo tipo ARG7OR Formazione 2x150 mm².

Tabella 2.14 – Calcolo cadute di tensione delle tratte BT

Tratta BT	I_b [A]	S [mmq]	I_z [A]	R [Ω/km]	V [kV]	L [km]	ΔV [V]	ΔV [%]
CAMPO FV								
Stringa - QDC	15,17	2x10	95	3,08	1,20	0,20	9,34	0,78
QDC - MVPS 4200/4400	242,67	2 x 150	313	0,20	1,20	0,30	14,56	1,21

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 18 di 21

2.11 Protezione dei circuiti a 36 kV

Le unità di protezione elettrica dei circuiti a 36 kV saranno basate su tecnologia a microprocessore e adatte a garantire elevata affidabilità e disponibilità di funzionamento.

Le unità di protezione saranno di tipo espandibile e potranno essere dotate, anche in un secondo tempo, di ulteriori accessori che permetteranno di realizzare:



- automatismi di richiusura per linee a 36 kV;
- gestione dei segnali dai trasformatori;
- acquisizione dei valori di temperatura da sonde termiche;
- emissione di una misura analogica associabile ad una delle grandezze misurate dall'unità stessa (correnti, temperature, ecc.).

La regolazione delle soglie avverrà direttamente in valori primari nelle relative grandezze espresse in corrente o tempo rendendo più semplice l'utilizzo e la consultazione all'operatore.

Saranno implementate le seguenti protezioni:

- massima tensione concatenata (59 - senza ritardo intenzionale);
- massima tensione omopolare (59N - ritardata);
- minima tensione concatenata (27- ritardo tipico: 300 ms);
- massima frequenza (81> senza ritardo intenzionale);
- minima frequenza (81< senza ritardo intenzionale);
- protezione contro la perdita di rete con PLC di richiusura DDI con rete presente;
- protezione direzionale di terra 67N;
- massima corrente 50/51;
- massima corrente di terra 50N/51N;
- sequenza negativa / squilibrio 46;
- mancata apertura interruttore 50BF.

I valori di taratura delle diverse protezioni saranno definiti in fase di progettazione esecutiva.

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 19 di 21

2.12 Protezione dei circuiti BT

2.12.1 Protezione contro i sovraccarichi

La protezione dei sovraccarichi è effettuata secondo la norma CEI 64-8/4 rispettando le condizioni seguenti:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z$$

Dove:

- I_b = Corrente di impiego del circuito
- I_n = Corrente nominale del dispositivo di protezione
- I_z = Portata in regime permanente della conduttura
- I_f = Corrente di funzionamento del dispositivo di protezione

La protezione contro i sovraccarichi può essere omessa sui cavi delle stringhe FV e dei moduli FV poiché la portata dei cavi è superiore a 1,25 volte I_{SC} (712.433.1 della Norma CEI 64-8/7), dove I_{SC} è la corrente di cortocircuito del generatore fotovoltaico a STC.

La protezione contro i sovraccarichi può essere omessa sul cavo principale FV poiché la portata è superiore a 1,25 volte il valore I_{SC} del generatore FV (712.433.2 della Norma CEI 64-8/7).

2.12.2 Protezione contro i cortocircuiti


La protezione dei cortocircuiti sarà effettuata secondo la norma CEI 64-8/4 rispettando le condizioni seguenti:

$$I_{cc,max} \leq P.d.I.$$

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

Dove:

- $I_{cc,max}$ = Corrente di cortocircuito massima
- P.d.I. =Potere di interruzione apparecchiatura di protezione
- I^2t = Integrale di Joule della corrente di cortocircuito presunta (valore letto sulle curve delle apparecchiature di protezione)
- K = Coefficiente della conduttura utilizzata
 - 115 per cavi isolati in PVC;
 - 135 per cavi isolati in gomma naturale e butilica;
 - 143 per cavi isolati in gomma etilenpropilenica e polietilene reticolato;

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 20 di 21

- S = Sezione della condotta.

2.13 Contributo alle correnti di corto circuito al PCC

Il calcolo del contributo dell'impianto alla corrente di corto circuito al punto di consegna (*Point of Common Coupling - PCC*) è fatto considerando la situazione più gravosa valutando il contributo al corto circuito nei morsetti del generatore fotovoltaico.

Il contributo alla corrente di corto circuito degli inverter lato c.a. a 36 kV è in genere di valore molto inferiore rispetto al contributo della rete. Infatti, gli inverter sono dotati di dispositivi di protezione interna che limitano ad un valore dell'ordine di circa due volte la propria corrente nominale e sono in grado di portare in stand-by gli inverter in pochi decimi di secondo.

Il contributo al corto circuito sul lato c.a. a 36 kV può essere pertanto calcolato considerando il contributo alla corrente di cortocircuito dei singoli inverter, considerato pari alla somma del doppio della corrente nominale degli inverter. Tale valore di corrente di corto circuito, riportata al valore di tensione del punto di connessione, risulta pari a 834 A.

COMMITTENTE 	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "F-CORTE" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IT/FTV/F-CORTE/PDF/E/RT/002-a
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 21 di 21

3 NORME E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO

Di seguito è riportato un elenco, certamente non esaustivo, dei principali riferimenti di legge e delle norme tecniche applicabili per la progettazione e la realizzazione dell'intervento in esame. L'elenco normativo è riportato soltanto a titolo di promemoria informativo, per cui eventuali leggi o norme applicabili, anche se non citate, andranno comunque applicate.

Infine, qualora le sopra elencate norme tecniche siano modificate o aggiornate, si dovranno applicare le norme più recenti.

3.1 Norme tecniche

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT;
- CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica. Linee in cavo;
- CEI EN 61936-1 (CEI 99-2): Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. - Parte 1: Prescrizioni comuni;
- CEI EN 50522-2: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- CEI EN 61000: Compatibilità elettromagnetica (EMC);
- CEI EN 62305: Protezioni contro i fulmini;
- CEI 81-29: Linee Guida per l'applicazione delle Norme CEI EN 62305;
- CEI EN IEC 62858 (CEI 81-31): "Densità di fulminazione. Reti di localizzazione fulmini (LLS) – Principi generali";
- CEI 20-89: Guida all'uso e all'installazione dei cavi elettrici e degli accessori di MT;
- CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.

3.2 Norme del gestore della rete di trasmissione

- Codice di rete Terna - Codice di trasmissione, dispacciamento, sviluppo e sicurezza della rete;
- Guida Tecnica Terna. Allegato A68 CENTRALI FOTOVOLTAICHE. Condizioni generali di connessione alle reti AT. Sistemi di protezione regolazione e controllo. Maggio 2022. Aggiornamento per schemi di connessione a 36 kV e revisione generale.