



Committente:

RWE

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.
via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma
P.IVA/C.F. 06400370968

Titolo del Progetto:

PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS"

- Comune di Florinas (SS) -

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

RWE-AVF-RP2

ID PROGETTO:

RWE - AVF

DISCIPLINA:

P

TIPOLOGIA:

FORMATO:

A4

Elaborato:

CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO

FOGLIO:

SCALA:

-

Nome file:

RWE-AVF-RP2_Calcoli preliminari dimensionamento elettrico

A cura di:



www.iatprogetti.it



A cura di:

I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.
Dott. Ing. Giuseppe Frongia

Gruppo di lavoro:

Ing. Giuseppe Frongia
(coordinatore e responsabile)
Ing. Marianna Barbarino
Ing. Enrica Batzella
Dott. Pian. Terr. Andrea Cappai
Dott. Michele Dessi
Ing. Paolo Desogus
Dott. Pian. Terr. Veronica Fais
Ing. Gianluca Melis
Dott. Ing. Fabrizio Murru
Ing. Andrea Onnis
Dott.ssa Pian. Terr. Eleonora Re
Ing. Elisa Roych
Ing. Marco Utzeri

Dott. Agr. Federico Corona
Ing. Antonio Dedoni
Dott. Geol. Maria Francesca Lobina
Agr. Dott. Nat. Francesco Mascia
Dott. Nat. Maurizio Medda
Dott. Luca Sanna



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	LUGLIO 2023	PRIMA EMISSIONE	IAT	GF	RWE

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)	 OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 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	Cabine di trasformazione e inverter	6
2.4	Potenza nominale del generatore fotovoltaico	8
2.5	Accoppiamento stringhe-inverter	8
2.6	Quadri BT	10
2.6.1	Quadri elettrici BT lato c.a.	10
2.7	Quadri MT a 30 kV	11
2.8	Cavi per la distribuzione elettrica in BT c.c.....	11
2.9	Cavi per la distribuzione elettrica in BT c.a.....	12
2.9.1	Cavi lato a.c in bassa tensione all'interno degli edifici	12
2.10	Cavi per la distribuzione elettrica d'impianto in MT	13
2.11	Dimensionamento dei circuiti BT e MT.....	15
2.12	Protezione dei circuiti MT	18
2.13	Protezione dei circuiti BT	19
2.13.1	Protezione contro i sovraccarichi.....	19
2.13.2	Protezione contro i cortocircuiti	20
2.14	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 RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)	 OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 3 di 21

1 GENERALITÀ

La RWE Renewables Italia S.r.l., detenuta dal Gruppo RWE, avente sede in Via Andrea Doria, 41/G – Roma (RM), intende realizzare un impianto agrivoltaico in Comune di Florinas (Provincia di Sassari).

La centrale solare in progetto avrà una potenza nominale AC di 21 MW, data dalla somma delle potenze nominali dei singoli inverter, e sarà costituita da n. 1002 strutture fisse (n. 226 strutture da 2x13 moduli FV e n. 776 strutture da 2x26 moduli FV) per una potenza lato DC pari a 26,812 MW_P; l'impianto sarà altresì integrato con un sistema di accumulo elettrochimico da 19,75 MW/37,939 MWh.

L'intervento ha ottenuto il preventivo di connessione di cui al codice pratica TERNA n. 202000645 relativo ad una potenza in immissione 60 MW e 20 MW in prelievo; quando la produzione energetica dell'impianto fotovoltaico sarà integrata dal contributo del sistema di accumulo il sistema sarà comunque limitato alla massima potenza erogabile coincidente con il limite imposto dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

In accordo con la citata Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), l'impianto sarà collegato in antenna sulla sezione a 150 kV nella SE RTN di Florinas utilizzando lo stallo di connessione attualmente assegnato all'esistente impianto eolico di Florinas di titolarità di RWE. L'impianto in progetto verrà connesso previo ampliamento della esistente SSE Utente 30/150 kV - condivisa con altro produttore – realizzando una nuova sezione di trasformazione dedicata 30/150 kV. L'elettrodotto MT a 30 kV per il collegamento alla citata SSE Utente costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 150 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

Il campo solare sarà suddiviso in n. 2 cluster di potenza, ciascuno dei quali invierà l'energia prodotta alle cabine di trasformazione equipaggiate con n. 1 trasformatore elevatore da 1/1,25 MW. All'interno di suddette cabine si eleverà la tensione dal livello BT di 800 V, fornita in uscita dagli inverter, alla tensione MT di 30 kV per il successivo vettoriamento dell'energia alla sopracitata SSE utente.

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

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 4 di 21

operative. Le condizioni ambientali di riferimento nei calcoli effettuati nella presente relazione sono:

- temperatura interna da -10°C a + 40°C;
- temperatura esterna da -10°C a + 50°C;
- umidità interna variabile dal 20% al 85%.

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 RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)	 OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 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 dei calcoli della potenza dell'impianto 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 "JKM580N-72HL4-BDV" della Jinko Solar, di tipologia bifacciale e con celle in silicio monocristallino, o similare, le cui caratteristiche riportate in Tabella 2.1 sono riferite alle condizioni standard di test (STC):

- Irraggiamento di 1000 W/m²;
- Temperatura cella di 25°C;
- Air mass (AM) pari a 1,5.

Tabella 2.1 - Dati tecnici moduli Jinko Solar - JKM580N-72HL4-BDV

Modello moduli FV	Jinko Solar JKM580N-72HL4-BDV
Potenza massima (P_{max}) [W _p]	580
Tolleranza sulla potenza [%]	0~+3
Tensione alla massima potenza (V_{mpp}) [V]	42,59
Corrente alla massima potenza (I_{mpp}) [A]	13,62
Tensione di circuito aperto (V_{oc}) [V]	51,47
Corrente di corto circuito (I_{sc}) [A]	14,37
Massima tensione di sistema (V_{DC}) [V]	1500
Coefficiente termico αP_{max} [%/°C]	-0,29
Coefficiente termico αV_{oc} [%/°C]	-0,25
Coefficiente termico αI_{sc} [%/°C]	+0,045
Efficienza modulo [%]	22,45
Dimensioni principali [mm]	2278 x 1134 x 30
Numero di celle per modulo	144 (2 x 72)

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 6 di 21	

2.3 Cabine di trasformazione e inverter

La realizzazione dell'impianto fotovoltaico prevede l'impiego di n. 7 cabine di trasformazione BT/MT di potenza AC 1250 kVA e di n. 14 cabine di trasformazione BT/MT di potenza AC 1000 kVA.

Le principali caratteristiche tecniche del trasformatore sono riportate in Tabella 2.2.

Tabella 2.2 - Dati tecnici trasformatore

Potenza nominale [kVA]	1250 / 1000
Tensione nominale [kV]	30
Regolazione della Tensione lato AT	$\pm 2,5\%$
Raffreddamento	ONAN
Isolamento	resina epossidica
Gruppo vettoriale	Dy11
Tensione corto circuito [Vcc%]	6

I dati tecnici principali del quadro MT previsto nella cabina sono riportati in Tabella 2.3.

Tabella 2.3 - Dati tecnici quadro MT cabina di trasformazione

Tensione nominale [kV]	30
Tensione di esercizio [kV]	30
Frequenza nominale [Hz]	50
N° fasi	3
Corrente nominale delle sbarre principali [A]	Fino a 1250
Corrente nominale max delle derivazioni [A]	Fino a 1250
Corrente nominale ammissibile di breve durata [kA]	12.5
Corrente nominale di picco [kA]	25-31,5
Potere di interruzione [kA]	12,5/16
Durata nominale del corto circuito [s]	1

Gli inverter (Figura 2.1), saranno del tipo sinusoidale IGBT autoregolati a commutazione forzata con modulazione a larghezza di impulsi (PWM - *Pulse Width Modulation*), in grado di operare in modo completamente automatico con MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) indipendenti.

Gli inverter selezionati per l'impianto avranno le caratteristiche individuate dal costruttore Huawei, modello SUN2000-330KTL-H1 o similare con potenza nominale di 300 kW e saranno ubicati all'interno del campo FV, in adiacenza alle strutture fisse. I dati tecnici principali dell'inverter sono riportati in Tabella 2.4.

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)	 OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 7 di 21



Figura 2.1 – INVERTER Huawei SUN2000-330KTL-H1

Tabella 2.4 - Dati tecnici SUN2000-330KTL-H1

Marca e Modello Tipo	SUN2000-330KTL-H1
Potenza nominale [kVA]	300
Potenza nominale $\cos \varphi=1$ [kW]	330
Corrente massima DC ($I_{DC,max}$) [A]	390
Corrente nominale AC ($I_{AC,nom}$) [A]	238,2
Intervallo Tensione MPPT (V_{mpp}) [V]	913-1500
Tensione massima DC ($V_{DC,max}$) [V]	1500
N° ingressi lato DC	28
Connessione di rete AC	800 V, 50 Hz, 3F
Fattore di potenza ($\cos\phi$)	>0,99 / $\pm 0,8$ IND/CAP
Dimensioni (A x L x P) [mm]	1048x732x395
Efficienza Europea [%]	98,8
Efficienza massima [%]	99

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 8 di 21	

2.4 Potenza nominale del generatore fotovoltaico

Tenuto conto della superficie utile all'installazione e delle dimensioni standard delle strutture fisse (aventi caratteristiche costruttive del modello Gonvari o similare), l'impianto presenta la configurazione funzionale indicata in Tabella 2.5.

Tabella 2.5 – Dati principali impianto

Modello moduli FV	Jinko Solar JKM580N-72HL4-BDV
Potenza moduli [W_p]	580
Modello inverter	Huawei SUN2000-330KTL-H1
Potenza inverter [kW]	300
Numero inverter	70
Distanza E-W tra le file [m]	0,5
Distanza N-S tra le file [m]	3,9
Numero strutture da 2 x 13 moduli	226
Numero strutture da 2 x 26 moduli	776
Numero totale strutture fisse	1002
Numero totale moduli	46.228
Numero stringhe da 26 moduli	1778
Potenza DC [kW_p]	26.812
Potenza nominale AC [kW]	21.000
Potenza apparente AC [kVA]	21.000
Rapporto DC/AC	1,28

La potenza complessiva nominale dell'impianto, considerando n. 46.228 moduli da 580 W_p , sarà pertanto di 26.812 kWp mentre la potenza in AC sarà pari a 21.000 kW, con un rapporto AC/DC di circa 1,28.

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 RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 9 di 21	

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

1. Tensione massima stringa a vuoto, alla minima temperatura:
 - Tensione di circuito aperto Voc 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, Vpm a 40 °C deve essere maggiore della Tensione MPPT minima.
 - Tensione nel punto di massima potenza, Vpm a -10 °C deve essere minore della Tensione MPPT massima.

Il parallelo delle uscite in c.c. avverrà direttamente presso le singole unità di conversione (inverter) distribuite all'interno del campo.

I risultati delle verifiche di accoppiamento, nelle condizioni più gravose, sono riassunti nella Tabella 2.6.

Tabella 2.6 - Risultati verifica accoppiamento stringhe – MPPT

Verifica n.	Grandezza	Temperatura	Valore grandezza	Valore verifica
1	Tensione a Vuoto alla Minima Temperatura	-10°C	1471 V	<1500V (Moduli)
				<1500V (Inverter)
2	Tensione di MPPT a STC	25°C	1123 V	913 -1500 V
	Tensione di MPPT alla minima Temperatura	-10°C	1261 V	<1500 V
	Tensione di MPPT alla Massima Temperatura	40 °C	980 V	>913 V

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 10 di 21	

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 2.7.

Tabella 2.7 - Dati tecnici Quadri Elettrici BT c.a.

Tensione nominale [V]	800
Tensione esercizio [V]	800
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

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 11 di 21

2.7 Quadri MT a 30 kV

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

In ciascuna cabina è previsto un quadro MT a 30 kV con la cella di protezione del trasformatore e i due sezionatori della linea entra-esci che interconnette le cabine d'impianto.

I dati tecnici principali dei quadri di distribuzione prescelti sono riportati in Tabella 2.8.

Tabella 2.8 - Dati tecnici quadri MT a 30 kV

Tensione nominale [kV]	30
Tensione di esercizio [kV]	30
Frequenza nominale [Hz]	50
N° fasi	3
Corrente nominale delle sbarre principali [A]	Fino a 1250
Corrente nominale massima delle derivazioni [A]	Fino a 1250
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 30 kV.

2.8 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 delle stringhe agli inverter si utilizzeranno cavi del tipo ARG7OR 0,6/1 kV c.a 0,9/1,5KV c.c., conduttore in alluminio in corda rigida compatta di classe 2, isolamento in gomma di qualità G7, guaina riempitiva di materiale termoplastico, guaina esterna in pvc di qualità rz e colore grigio.

Per collegamenti in c.c. tra i moduli verranno impiegati cavi unipolari del tipo H1Z2Z2-K, adatti al

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 12 di 21

collegamento dei vari elementi degli impianti fotovoltaici e solari, aventi tensione nominale di esercizio pari a 1.0 kV c.a - 1.5 kV c.c., tensione massima U_m pari a 1.800 V c.c., dotati di guaina esterna di colore nero o rosso, isolati con gomma Z2, sotto guaina Z2, conduttori flessibili stagnati. Sono inoltre cavi non propaganti fiamma, privi di alogeni e del tipo 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.

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

I cavi utilizzati sul lato c.a. dell'impianto di produzione devono essere adatti per l'alimentazione di energia per installazione su murature e strutture metalliche, su passarelle, tubazioni, canalette e sistemi similari, sarà possibile la posa fissa all'interno, all'esterno e interrata (ammessa diretta e indiretta) del tipo FG16OR16 aventi tensione nominale U_0/U di 600/1.000 V c.a. e tensione massima U_m pari 1.200 V c.a.

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.

2.9.1 Cavi lato a.c 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 adatti per il trasporto di energia e di segnali, aventi isolamento in gomma di qualità G16, sotto guaina in termoplastica LS0H di qualità M16 a ridotta emissione di gas corrosivi.

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)
- Temperatura massima di corto circuito: 250 °C

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 13 di 21

- 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.

Le caratteristiche tecniche 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.

2.10 Cavi per la distribuzione elettrica d'impianto in MT

La linea di distribuzione elettrica d'impianto MT a 30 kV realizza le connessioni tra le cabine di trasformazione e tra queste e la SSE utente. 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 – 18/30 kV elicordati, le cui caratteristiche tecniche ed elettriche sono riportate rispettivamente nella Tabella 2.9 e nella Tabella 2.10.

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 14 di 21	

Tabella 2.9 – Caratteristiche tecniche cavi tipo ARG7H1RX – 18/30 kV

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Ø indicativo anima	Ø circoscritto 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

Tabella 2.10 – Caratteristiche elettriche cavi tipo ARG7H1RX – 18/30 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

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 15 di 21

2.11 Dimensionamento dei circuiti BT e MT

I cavi elettrici in corrente continua e in corrente alternata, ossia dalla connessione di stringa agli inverter, passando per i quadri di campo fino alla stazione AT, sono stati dimensionati in modo tale che risultino soddisfatte le 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 2.11, dove si riportano le sezioni per fase e le portate dei cavi impiegati nelle tratte principali della distribuzione interna d'impianto.

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETRICO	PAGINA 16 di 21	

Tabella 2.11 – Sezioni per fase e portate dei cavi delle tratte principali

Tratta	POTENZA	I _b (A)	S (mmq)	I _z (A)
IMPIANTO FV - Cluster 1				
SSE Utente - Cab trasf 1	1,40E+07	270	3x1x185	361
SSE Utente - Cab trasf 13	1,40E+07	270	3x1x185	361
Cab trasf 1 - Cab trasf 2	1,30E+07	250	3x1x185	361
Cab trasf 2 - Cab trasf 3	1,20E+07	231	3x1x95	247
Cab trasf 3 - Cab trasf 4	1,10E+07	212	3x1x95	247
Cab trasf 4 - Cab trasf 5	1,00E+07	193	3x1x95	247
Cab trasf 5 - Cab trasf 6	9,00E+06	173	3x1x95	247
Cab trasf 6 - Cab trasf 7	8,00E+06	154	3X1X50	168
Cab trasf 7 - Cab trasf 8	7,00E+06	135	3X1X50	168
Cab trasf 8 - Cab trasf 9	6,00E+06	116	3X1X50	168
Cab trasf 9 - Cab trasf 10	5,00E+06	96	3X1X50	168
Cab trasf 10 - Cab trasf 11	3,75E+06	72	3X1X50	168
Cab trasf 11 - Cab trasf 12	2,50E+06	48	3X1X50	168
Cab trasf 12 - Cab trasf 13	1,25E+06	24	3X1X50	168
IMPIANTO FV - Cluster 2				
SSE Utente - Cab trasf 14	9,75E+06	188	3x1x95	247
Cab trasf 14 - Cab trasf 15	8,75E+06	169	3X1X95	247
Cab trasf 15 - Cab trasf 16	6,75E+06	130	3X1X50	168
Cab trasf 16 - Cab trasf 17	5,75E+06	111	3X1X50	168
Cab trasf 17 - Cab trasf 18	4,75E+06	92	3X1X50	168
Cab trasf 18 - Cab trasf 19	3,75E+06	72	3X1X50	168
Cab trasf 19 - Cab trasf 20	2,50E+06	48	3X1X50	168
Cab trasf 20 - Cab trasf 21	1,25E+06	24	3X1X50	168
IMPIANTO FV - BESS				
SSE Utente - BESS 1	1,98E+07	381	3x1x240	418
BESS 1 - BESS 2	1,58E+07	304	3x1x185	361
BESS 2 - BESS 3	1,19E+07	228	3X1X95	247
BESS 3 - BESS 4	7,90E+06	152	3X1X50	168
BESS 4 - BESS 5	3,95E+06	76	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:

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

L'espressione riportata di seguito esprime la caduta di tensione nei vari tratti:

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 17 di 21

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

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 2.12.

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)	 OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 18 di 21

Tabella 2.12 – Cadute di tensione delle tratte principali a 30 kV

Tratta	POTENZA	Ib (A)	S (mmq)	Iz(A)	R (Ohm/km)	V (kV)	L (km)	DV (V)	DV%
IMPIANTO FV - Cluster 1									
SSE Utente - Cab trasf 1	1,40E+07	270	3x1x185	361	0,16	30	3,050	134,93	0,45
SSE Utente - Cab trasf 13	1,40E+07	270	3x1x185	361	0,16	30	4,800	212,35	0,71
Cab trasf 1 - Cab trasf 2	1,30E+07	250	3x1x185	361	0,16	30	0,250	10,02	0,03
Cab trasf 2 - Cab trasf 3	1,20E+07	231	3x1x95	247	0,32	30	0,200	14,80	0,05
Cab trasf 3 - Cab trasf 4	1,10E+07	212	3x1x95	247	0,32	30	0,500	33,91	0,11
Cab trasf 4 - Cab trasf 5	1,00E+07	193	3x1x95	247	0,32	30	0,200	12,33	0,04
Cab trasf 5 - Cab trasf 6	9,00E+06	173	3x1x95	247	0,32	30	0,400	22,20	0,07
Cab trasf 6 - Cab trasf 7	8,00E+06	154	3X1X50	168	0,64	30	0,200	19,76	0,07
Cab trasf 7 - Cab trasf 8	7,00E+06	135	3X1X50	168	0,64	30	0,250	21,61	0,07
Cab trasf 8 - Cab trasf 9	6,00E+06	116	3X1X50	168	0,64	30	0,250	18,53	0,06
Cab trasf 9 - Cab trasf 10	5,00E+06	96	3X1X50	168	0,64	30	0,300	18,53	0,06
Cab trasf 10 - Cab trasf 11	3,75E+06	72	3X1X50	168	0,64	30	0,400	18,53	0,06
Cab trasf 11 - Cab trasf 12	2,50E+06	48	3X1X50	168	0,64	30	0,300	9,26	0,03
Cab trasf 12 - Cab trasf 13	1,25E+06	24	3X1X50	168	0,64	30	0,250	3,86	0,01
IMPIANTO FV - Cluster 2									
SSE Utente - Cab trasf 14	9,75E+06	188	3x1x95	247	0,32	30	2,750	165,32	0,55
Cab trasf 14 - Cab trasf 15	8,75E+06	169	3X1X95	247	0,32	30	0,350	18,88	0,06
Cab trasf 15 - Cab trasf 16	6,75E+06	130	3X1X50	168	0,64	30	0,750	62,53	0,21
Cab trasf 16 - Cab trasf 17	5,75E+06	111	3X1X50	168	0,64	30	0,200	14,20	0,05
Cab trasf 17 - Cab trasf 18	4,75E+06	92	3X1X50	168	0,64	30	0,150	8,80	0,03
Cab trasf 18 - Cab trasf 19	3,75E+06	72	3X1X50	168	0,64	30	0,550	25,47	0,08
Cab trasf 19 - Cab trasf 20	2,50E+06	48	3X1X50	168	0,64	30	0,200	6,18	0,02
Cab trasf 20 - Cab trasf 21	1,25E+06	24	3X1X50	168	0,64	30	0,400	6,18	0,02
IMPIANTO FV - BESS									
SSE Utente - BESS 1	1,98E+07	381	3x1x240	418	0,13	30	0,100	4,76	0,02
BESS 1 - BESS 2	1,58E+07	304	3x1x185	361	0,16	30	0,050	2,44	0,01
BESS 2 - BESS 3	1,19E+07	228	3X1X95	247	0,32	30	0,100	7,31	0,02
BESS 3 - BESS 4	7,90E+06	152	3X1X50	168	0,64	30	0,050	4,88	0,02
BESS 4 - BESS 5	3,95E+06	76	3X1X50	168	0,64	30	0,050	2,44	0,01

Infine, nella Tabella 2.13 vengono indicate le cadute di tensione per le tratte tipo in BT, assumendo una lunghezza massima per tratta da striga a inverter di 200 m, con cavo tipo H1Z2Z2-K di formazione 2x10 mm² e da inverter a cabina di trasformazione di 300 m con cavo tipo ARG7OR di formazione 2x150 mm².

Tabella 2.13 – Calcolo cadute di tensione delle tratte tipo BT

Tratta BT	Ib (A)	S (mmq)	Iz(A)	R (Ohm/km)	V (kV)	L (km)	DV (V)	DV%
Stringa - Inverter	17,96	2x10	95	3,08	1,2	0,20	11,06	0,92
Inverter - CAB_TRASF	216,51	3x120	310	0,16	0,80	0,30	10,46	1,31

2.12 Protezione dei circuiti MT

Le unità di protezione elettrica dei circuiti MT a 30 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 MT a 30 kV;
- gestione dei segnali dai trasformatori;

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 19 di 21

- 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.

2.13 Protezione dei circuiti BT

2.13.1 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 condotta
- I_f = Corrente di funzionamento del dispositivo di protezione

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 www.iatprogetti.it		TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 20 di 21

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).

2.13.2 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 pari a:
 - 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.
- S = Sezione della conduttura.

2.14 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. AT 150 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. AT 150 kV può essere pertanto calcolato considerando il contributo alla corrente di cortocircuito dei singoli inverter di ciascun cluster, considerato pari alla somma del doppio della corrente nominale degli inverter. Il valore di corrente di corto circuito, riportata al valore di tensione del punto di connessione a 150 kV, risulta pari a 161,65 A.

COMMITTENTE RWE Renewables Italia S.r.l. Via Andrea Doria, 41/G - Roma (RM)		OGGETTO PARCO AGRIVOLTAICO "FLORINAS" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO RWE-AVF-RP2
 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. Marzo 2023.
- Guida Tecnica Terna. Allegato A79. IMPIANTI CON SISTEMI DI ACCUMULO ELETTRICO CONDIZIONI GENERALI DI CONNESSIONE ALLE RETI AAT E AT. Sistemi di protezione regolazione e controllo. Rev. 00 Marzo 2023.