



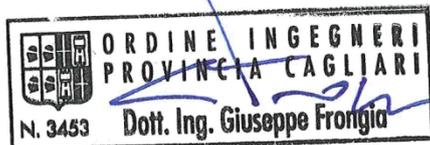
PROGETTO DI COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN
IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 75 MW
DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI UTA
DENOMINATO “MADAGOCCU”

CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO
ELETTRICO

Rev. 0.0

Data: Settembre 2023

REU-AVU-RP2



Committente:

REPSOL UTA S.r.l.
Via Michele Mercati 39
00197 – Roma (RM)
C. F. e P. IVA: 16699301004
PEC: repsoluta@per.it

Incaricato:

Queequeg Renewables, ltd
2nd Floor, the Works,
14 Turnham Green Terrace Mews,
W41QU London (UK)
Company number: 11780524
email: mail@quren.co.uk

Progettazione e SIA:

I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l.



www.iatprogetti.it

PROGETTAZIONE:

I.A.T. Consulenza e Progetti S.r.l.

Ing. Giuseppe Frongia (Direttore Tecnico)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

Ing. Giuseppe Frongia (Coordinatore e responsabile)

Ing. Marianna Barbarino

Ing. Enrica Batzella

Dott. Pian. Andrea Cappai

Ing. Paolo Desogus

Pian. Terr. Veronica Fais

Dott. Fabio Mancosu

Ing. Gianluca Melis

Dott. Fabrizio Murru

Ing. Andrea Onnis

Pian. Terr. Eleonora Re

Ing. Elisa Roych

Ing. Marco Utzeri

COLLABORAZIONI SPECIALISTICHE:

Verifiche strutturali: Ing. Gianfranco Corda

Aspetti geologici e geotecnici: Dott. Geol. Maria Francesca Lobina

Aspetti faunistici: Dott. Nat. Maurizio Medda

Acustica: Ing. Antonio Dedoni

Aspetti floristico-vegetazionali: Agr. Dott. Nat. Fabio Schirru

Aspetti agronomici: Agr. Dott. Nat. Federico Corona

Aspetti archeologici: Dott. Matteo Tatti e Dott.ssa Alice Nozza

SOMMARIO

1	Premessa generale.....	4
2	Calcoli elettrici	6
2.1	Determinazione della potenza dell’impianto	6
2.2	Caratteristiche moduli fotovoltaici.....	6
2.3	Caratteristiche inverter	7
2.4	Potenza nominale del generatore fotovoltaico.....	7
2.5	Accoppiamento stringhe-inverter	8
2.6	Quadri BT	9
2.6.1	Quadri elettrici BT lato corrente alternata.....	9
2.7	Quadri a 36 kV.....	9
2.8	Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente continua	10
2.9	Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente alternata.....	11
2.9.1	Cavi lato a.c in bassa tensione all’interno degli edifici	11
2.10	Cavi per la distribuzione elettrica d’impianto e connessione alla RTN.....	12
2.10.1	Modalità di posa cavidotti a 36 kV	14
2.11	Dimensionamento dei circuiti	17
2.12	Protezione dei circuiti a 36 kV.....	20
2.13	Protezione dei circuiti BT	20
2.13.1	Protezione contro i sovraccarichi.....	20
2.13.2	Protezione contro i cortocircuiti	21
2.14	Contributo alle correnti di corto circuito al PCC	21
3	Norme e prescrizioni di riferimento.....	22
3.1	Norme tecniche	22
3.2	Norme ARERA	22
3.3	Norme del gestore della rete di trasmissione	23

1 Premessa generale

La Società Repsol Uta S.r.l., avente sede in Via Michele Mercati 39 - 00197 - Roma (RM) e facente capo alla società Repsol Renovables SA, intende realizzare un impianto agrivoltaico con moduli fotovoltaici installati su inseguitori solari monoassiali ubicato in Comune di Uta (CA), denominato "Madagoccu".

La centrale solare in progetto avrà una potenza complessiva in immissione di 75,0 MW_{AC}, valore ottenuto dalla somma delle potenze nominali dei singoli inverter (potenza nominale lato DC pari a 81,803 MW_P), e comprenderà n. 1617 inseguitori di cui: n. 217 composti da 2x13 moduli FV, n. 222 da 2x26 moduli FV e n.1178 da 2x39 moduli FV.

L'intervento ha ottenuto il preventivo di connessione - Codice pratica TERNA n. 202200094 - relativo ad una potenza in immissione di 75 MW, secondo cui l'impianto sarà collegato in antenna sulla sezione a 36 kV di una nuova Stazione Elettrica di Trasformazione 380/150/36 kV della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) da inserire in entra - esce alla linea RTN a 220 kV "Rumianca - Villasor", previo riclassamento della stessa al livello di 380 kV.

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.

Il campo solare sarà suddiviso elettricamente in n. 5 blocchi di potenza (sottocampi), la cui energia prodotta in corrente continua verrà convogliata agli inverter, distribuiti all'interno dell'impianto, al fine di essere convertita in alternata e resa disponibile alle cabine di trasformazione per l'elevazione della tensione al livello di 36 kV prima del successivo vettoriamento dell'energia al succitato punto di connessione alla RTN.

Il campo solare sarà suddiviso elettricamente in n. 5 blocchi di potenza (sottocampi), la cui energia prodotta in corrente continua verrà convogliata agli inverter, distribuiti all'interno del campo solare, al fine di essere convertita in alternata ed essere resa disponibile alle cabine di trasformazione equipaggiate di trasformatori elevatori da 1,0 MW e 3,0 MW. All'interno di suddette cabine, la tensione verrà elevata dal livello di 800 V al livello di 36 kV prima del successivo vettoriamento dell'energia, attraverso cavidotti interrati, alla cabina di raccolta prevista all'interno dei confini dell'impianto. Risulta, inoltre, parte integrante del progetto la realizzazione di una cabina elettrica di utenza, avente la funzione di sezionamento e protezione delle linee a 36 kV provenienti dall'impianto, nei pressi dell'area in cui si ipotizza sorgerà la futura Stazione di Terna in località "Stracosciu Mannu"(Comune di Assemini).

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 + 50°C;
- umidità interna variabile dal 20% al 85%.

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, indagine 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 corrente alternata e corrente continua.

2 Calcoli elettrici

2.1 Determinazione della potenza dell’impianto

Ai fini dei calcoli della potenza dell’impianto 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 (di seguito moduli di progetto) presentano caratteristiche tecniche costruttive riferibili ai modelli commerciali della Trina Solar serie Vertex ma, rispetto ai modelli attualmente in commercio, con potenza ipotizzata maggiorata al valore di 750 Wp necessaria ai fini del raggiungimento della potenza obiettivo (oppure di un valore di potenza tale da garantire un corretto ed efficiente funzionamento della centrale).

Sulla base delle caratteristiche elettriche della serie di moduli menzionati e ipotizzando, a parità dei materiali costruttivi, una crescita lineare dei parametri con l’aumentare della potenza di picco sono state effettuate le seguenti ipotesi parametriche riportate in Tabella 2.1 riferite alle seguenti 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 di progetto

Potenza massima (P_{max}) [W _p]	750
Tolleranza sulla potenza [W]	0~+5
Tensione alla massima potenza (V_{mpp}) [V]	41,4
Corrente alla massima potenza (I_{mpp}) [A]	18,2
Tensione di circuito aperto (V_{oc}) [V]	49,3
Corrente di corto circuito (I_{sc}) [A]	19,42
Massima tensione di sistema (V_{DC}) [V]	1500
Coefficiente termico αP_{max} [%/°C]	-0,34
Coefficiente termico αV_{oc} [%/°C]	-0,26
Coefficiente termico αI_{sc} [%/°C]	+0,05
Efficienza modulo [%]	21,6
Dimensioni principali [mm]	2384 x 1303 x 33
Numero di celle per modulo	132 [2 x (66)]

2.3 Caratteristiche inverter

Gli inverter selezionati per l'impianto avranno le caratteristiche individuate dal costruttore Sungrow, modello SG250HX (o similare), aventi potenza nominale pari a 250 kVA, i quali saranno collegati alle cabine di trasformazione equipaggiate con un trasformatore elevatore 0,8/36 kV da 1000/3000 kVA e complete di interruttori per le linee in ingresso e uscita, oltre che per la protezione del trasformatore stesso.

I dati tecnici degli inverter utilizzati in progetto sono riportati nella seguente Tabella 2.2.

Tabella 2.2 - Dati tecnici Sungrow - SG250HX

Marca e Modello Inverter	Sungrow - SG250HX
Potenza nominale [kW]	250
Corrente massima DC ($I_{DC,max}$) [A]	360
Corrente nominale AC ($I_{AC,nom}$) [A]	180,5
Intervallo Tensione MPPT (V_{mpp}) [V]	860-1300
Tensione massima DC ($V_{DC,max}$) [V]	1500
N° ingressi lato DC	24
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]	660/1051/363
Efficienza Europea [%]	98,8
Efficienza massima [%]	99,0

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.

Tabella 2.3 – Dati principali impianto

Potenza moduli di progetto [W_p]	750
Modello inverter	Sungrow - SG250HX
Potenza inverter [kW]	250
Numero inverter	300
Distanza E-W tra le file [m]	9
Distanza N-S tra le file [m]	0,5
Numero trackers da 2 x 13 moduli	217
Numero trackers da 2 x 26 moduli	222
Numero trackers da 2 x 39 moduli	1178
Numero totale tracker	1617
Numero totale moduli	109.070
Numero stringhe da 26 moduli	4195
Potenza DC [kW_p]	81.803
Potenza nominale AC [kW]	75.000
Potenza apparente AC [kVA]	75.000
Rapporto DC/AC	1,09

La potenza complessiva nominale dell'impianto, su un totale di n. 109.070 moduli da 750 W_p , sarà pertanto di 81.803 kW_p e con una potenza immessa in rete pari a 75.000 kW_{AC} secondo un rapporto DC/AC di circa 1,09.

2.5 Accoppiamento stringhe-inverter

Al fine di garantire 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 connesse agli inverter è stato effettuato considerando i requisiti previsti dalla guida CEI 82-25 ed in particolare, sono state verificate con il simulatore d'impianto implementato in PVSYSY le seguenti condizioni di funzionamento:

1. Tensione massima stringa a vuoto alla minima temperatura:
 - La tensione a circuito aperto V_{oc} , stimata alla minima temperatura di funzionamento (-10 °C) prevista, deve essere inferiore alla tensione massima dell'inverter.
2. Tensioni MPPT:
 - La tensione nel punto STC deve essere compresa nel range di tensione in cui ricade il punto di funzionamento alla massima potenza;

- La tensione nel punto di massima potenza V_{pm} a 50 °C deve essere maggiore della Tensione MPPT minima.
- La tensione nel punto di massima potenza V_{pm} a -10 °C deve essere minore della Tensione MPPT massima.

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

Tabella 2.4 - Risultati verifica accoppiamento stringhe – MPPT

Verifica n.	Grandezza	Temperatura	Valore grandezza	Valore verifica
1	Tensione a Vuoto alla Minima Temperatura	-10 °C	1379 V	<1500V (Moduli)
				<1500V (Inverter)
2	Tensione di MPPT a STC	25 °C	1078 V	860-1300 V
	Tensione di MPPT alla Minima Temperatura	-10 °C	1186 V	<1500 V
	Tensione di MPPT alla Massima Temperatura	50 °C	1001 V	>860 V

2.6 Quadri BT

2.6.1 Quadri elettrici BT lato corrente alternata

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

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

2.7 Quadri a 36 kV

Nell’impianto saranno dislocati quadri di smistamento e di connessione alle cabine di 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 interconnette tra loro le cabine d’impianto.

I dati tecnici principali dei quadri di distribuzione prescelti sono riportati in Tabella 2.6.

Tabella 2.6 - Dati tecnici quadri a 36 kV

Tensione nominale [kV]	36
Tensione di esercizio [kV]	40,5
Frequenza nominale [Hz]	50
Numero 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.

2.8 Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente continua

I cavi utilizzati sul lato corrente continua (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 aventi: tensioni di esercizio 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 e guaina esterna in PVS di qualità Rz e di colore grigio.

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

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 FG16R16 - 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 FG18M16-FG18OM16 - 0,6/1 kV, adatti per il trasporto di energia e di segnali, realizzati con isolamento in gomma di qualità G18, sotto guaina in termoplastica LSOH di qualità M16 a ridotta emissione di gas corrosivi.

Le caratteristiche funzionali dei cavi FG18M16-FG18OM16 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
- 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 e connessione alla RTN

La distribuzione elettrica d’impianto a 36 kV realizza le connessioni tra le cabine di trasformazione e le connette alla cabina di raccolta. Il cavidotto a 36 kV di collegamento tra la cabina di raccolta e la futura stazione RTN, passando per la cabina elettrica utente prevista in progetto nei pressi della citata stazione, realizza la connessione dell’impianto alla RTN e costituisce l’impianto di utenza per la connessione.

I cavi per la distribuzione di impianto saranno del tipo tripolare ad elica visibile (ARG7H1RX - 36 kV), di cui si riportano in Tabella 2.7 e nella Tabella 2.8 rispettivamente le caratteristiche tecniche ed elettriche .

Mentre la tipologia di cavo utilizzata per la realizzazione del cavidotto di collegamento dell’impianto con la RTN saranno di tipo unipolare non elicordato (ARG7H1R - 36 kV), le cui caratteristiche tecniche ed elettriche sono riportate rispettivamente nella Tabella 2.9 e Tabella 2.10.

Tabella 2.7 – Caratteristiche tecniche cavi tipo ARG7H1RX - 36 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 2.8 – 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

Tabella 2.9 - 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

Tabella 2.10 - 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

2.10.1 Modalità di posa cavidotti a 36 kV

La profondità media di interramento (letto di posa) sarà di 1,1/1,2 m da p.c. (piano di calpestio), valore che potrebbe subire variazioni in relazione al tipo di terreno interessato e/o alla tipologia di strada interessata.

Normalmente la larghezza dello scavo della trincea è limitata entro 1,3 m, salvo diverse necessità riscontrabili in caso di terreni sabbiosi o con bassa consistenza. Il letto di posa può essere costituito da un letto di sabbia vagliata o da un piano in cemento magro.

Le condutture interrate saranno rese riconoscibili mediante un nastro di segnalazione della presenza di cavi elettrici. Inoltre, all’interno dello stesso scavo potrà essere posato un cavo di fibra ottica e/o telefonico per la trasmissione dati.

Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento “mortar” e saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da una lastra di protezione in cemento armato dello spessore di 6 cm. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto e le aree interessate saranno risistemate nella condizione preesistente.

Altre soluzioni particolari, quali l’alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici.

Per eventuali incroci e parallelismi con altri servizi (cavi di telecomunicazione, tubazioni etc.), saranno rispettate le distanze previste dalle norme, tenendo conto delle prescrizioni che saranno dettate dagli Enti proprietari delle opere interessate e in accordo a quanto previsto dalla Norma CEI 11-17.

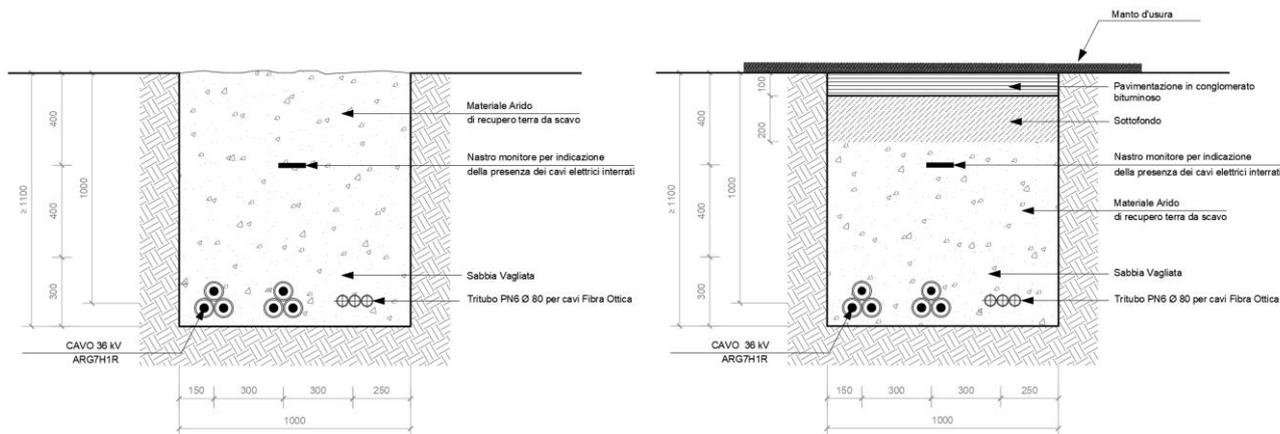


Figura 2.1 – Tipico modalità di posa cavidotto a 36 kV di collegamento impianto - RTN

2.10.1.1 Incroci tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione

Negli incroci con i cavi di telecomunicazione (TLC) il cavo elettrico, di regola, deve essere situato inferiormente al cavo TLC. La distanza fra i due cavi non deve essere inferiore a 0,30 m ed inoltre il cavo posto

superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore ad 1 m, mediante un dispositivo di protezione. Qualora per giustificate esigenze tecniche non possa essere rispettato il distanziamento minimo di cui sopra, anche sul cavo sottostante deve essere applicata una protezione analoga a quella prescritta superiormente per il cavo.

Non è necessario osservare le prescrizioni sopraindicate quando almeno uno dei due cavi è posto dentro appositi manufatti che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza necessità di effettuare scavi.

2.10.1.2 Parallelismo tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione

Nei parallelismi con cavi TLC i cavi elettrici devono, di regola, essere posati alla maggiore distanza possibile fra loro e quando vengono posati lungo la stessa strada si devono posare possibilmente ai lati opposti di questa. Dove per giustificate esigenze tecniche non fosse possibile attuare quanto sopra è ammesso posare i cavi in vicinanza purché sia mantenuta tra i due cavi una distanza minima, in proiezione sul piano orizzontale, non inferiore a 0,30 m.

Qualora detta distanza non possa essere rispettata è necessario applicare sui cavi uno dei seguenti dispositivi di protezione:

- Cassetta metallica zincata a caldo;
- Tubazione in acciaio zincato a caldo;
- Tubazione in PVC o fibrocemento, rivestite esternamente con uno spessore di calcestruzzo non inferiore a 10 cm.

I predetti dispositivi possono essere omessi sul cavo posato alla maggiore profondità quando la differenza di quota tra i due cavi è uguale o superiore a 0,15 m.

Le prescrizioni di cui sopra non si applicano quando almeno uno dei due cavi è posato, per tutta la parte interessata in appositi manufatti (tubazione, cunicoli, ecc.) che proteggono il cavo stesso rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la possibilità di effettuare scavi.

2.10.1.3 Parallelismo ed incroci tra cavi elettrici e tubazioni o strutture metalliche interrato

La distanza in proiezione orizzontale tra cavi elettrici e tubazioni metalliche interrate parallelamente ad esse non deve essere inferiore a 0,30 m.

Si può tuttavia derogare dalla prescrizione suddetta previo accordo tra gli esercenti quando la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate:

1. è superiore a 0,50 m;
2. la differenza è compresa tra 0,30 m e 0,50 m, ma si interpongono fra le due strutture elementi separatori non metallici nei tratti in cui la tubazione non è contenuta in un manufatto di protezione non metallico.

Non devono mai essere disposti nello stesso manufatto di protezione cavi di energia e tubi convoglianti fluidi infiammabili; per le tubazioni per altro tipo di posa è invece consentito, previo accordo tra gli Enti interessati, purché il cavo elettrico e la tubazione non siano posti a diretto contatto fra loro.

Le superfici esterne di cavi d'energia e tubazioni metalliche interrato non deve essere effettuato sulla proiezione verticale di giunti non saldati delle tubazioni stesse.

Non si devono effettuare giunti sui cavi a distanza inferiore ad 1 m dal punto di incrocio.

Nessuna prescrizione è data nel caso in cui la distanza minima, misurata fra le superfici esterne di cavi elettrici e di tubazioni metalliche o fra quelle di eventuali loro manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m. Tale distanza può essere ridotta fino ad un minimo di 0,30 m, quando una delle strutture di incrocio è contenuta in manufatto di protezione non metallico, prolungato per almeno 0,30 m per parte rispetto all'ingombro in pianta dell'altra struttura oppure quando fra le strutture che si incrociano si venga interposto un elemento separatore non metallico (ad esempio lastre di calcestruzzo o di materiale isolante rigido); questo elemento deve poter coprire, oltre alla superficie di sovrapposizione in pianta delle strutture che si incrociano, quella di una striscia di circa 0,30 m di larghezza ad essa periferica.

Le distanze suddette possono ulteriormente essere ridotte, previo accordo fra gli Enti proprietari o Concessionari, se entrambe le strutture sono contenute in un manufatto di protezione non metallico.

Prescrizioni analoghe devono essere osservate nel caso in cui non risulti possibile tenere l'incrocio a distanza uguale o superiore a 1 m dal giunto di un cavo oppure nei tratti che precedono o seguono immediatamente incroci eseguiti sotto angoli inferiori a 60° e per i quali non risulti possibile osservare prescrizioni sul distanziamento.

Per le interferenze con eventuali altre infrastrutture e/o con gli elementi idrici si rimanda agli elaborati progettuali di dettaglio (REU-AVU-TP16_Risoluzioni interferenze cavidotto).

2.11 Dimensionamento dei circuiti

I cavi elettrici in c.c e in c.a., ossia quelli che realizzano la connessione delle stringhe FV agli inverter, passando per i quadri a 36 kV fino alla stazione RTN, sono stati dimensionati in modo tale che risultino soddisfatte le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} I_b &\leq I_z \\ \Delta V_{\%} &\leq 2\% \end{aligned}$$

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 di cavidotto 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 e di connessione alla RTN.

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:

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

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.

Infine, nella

Tabella 2.13 vengono riportate le cadute di tensione per le tratte di cavo in BT assumendo una lunghezza massima per la tratta stringa-inverter di 200 m, realizzata con cavi di tipo H1Z2Z2-K di formazione $2 \times 10 \text{ mm}^2$, e la tratta inverter-cabina di trasformazione di 300 m costituita da cavi della tipologia ARG7OR con formazione $2 \times 120 \text{ mm}^2$.

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

Tratta	Potenza [W]	I_b [A]	S [mm ²]	I_z [A]
CONNESSIONE CAMPO FV - RTN				
SE RTN - Cabina Utente	4,05E+07	650	3x1x630	706
SE RTN - Cabina Utente	3,45E+07	554	3x1x630	706
Cabina Utente - Cabina di raccolta	4,05E+07	650	3x1x630	706
Cabina Utente - Cabina di raccolta	3,45E+07	554	3x1x630	706
SOTTOCAMPO 1				
Cabina di raccolta - TC06	1,65E+07	265	3x1x150	318
TC06 - TC05	1,38E+07	221	3x1x95	247
TC05 - TC04	1,10E+07	177	3x1x95	247
TC04 - TC03	8,25E+06	132	3x1x50	168
TC03 - TC02	5,50E+06	88	3x1x50	168
TC02 - TC01	2,75E+06	44	3x1x50	168
SOTTOCAMPO 2				
Cabina di raccolta - TC15	1,43E+07	229	3x1x150	318
TC15 - TC14	1,35E+07	217	3x1x95	247
TC14 - TC13	1,25E+07	201	3x1x95	247
TC13 - TC10	1,18E+07	189	3x1x95	247
TC10 - TC09	8,75E+06	140	3x1x50	168
TC09 - TC08	5,75E+06	92	3x1x50	168
TC08 - TC07	2,75E+06	44	3x1x50	168
SOTTOCAMPO 3				
Cabina di raccolta - TC20	1,80E+07	289	3x1x150	318
TC20 - TC21	1,50E+07	241	3x1x95	247
TC21 - TC22	1,20E+07	193	3x1x95	247
TC22 - TC23	9,00E+06	145	3x1x50	168
TC23 - TC12	6,00E+06	96	3x1x50	168
TC12 - TC11	3,00E+06	48	3x1x50	168
SOTTOCAMPO 4				
Cabina di raccolta - TC24	1,43E+07	229	3x1x95	247
TC24 - TC25	1,15E+07	185	3x1x95	247
TC25 - TC26	8,75E+06	140	3x1x50	168
TC26 - TC27	6,00E+06	96	3x1x50	168
TC27 - TC28	3,00E+06	48	3x1x50	168
SOTTOCAMPO 5				
Cabina di raccolta - TC19	1,20E+07	193	3x1x95	247
TC19 - TC18	9,00E+06	145	3x1x50	168
TC18 - TC17	6,00E+06	96	3x1x50	168
TC17 - TC16	3,00E+06	48	3x1x50	168

Tabella 2.12 – Cadute di tensione delle tratte principali a 36 kV

Tratta	Potenza [W]	S [mm ²]	R [Ω/km]	V [kV]	L [km]	ΔV [V]	ΔV [%]
CONNESSIONE CAMPO FV - RTN							
SE RTN - Cabina Utente	4,05E+07	3x1x630	0,05	36	0,80	24,40	0,07
SE RTN - Cabina Utente	3,45E+07	3x1x630	0,05	36	0,80	20,78	0,06
Cabina Utente - Cabina di raccolta	4,05E+07	3x1x630	0,05	36	8,70	265,34	0,74
Cabina Utente - Cabina di raccolta	3,45E+07	3x1x630	0,05	36	8,70	226,03	0,63
SOTTOCAMPO 1							
Cabina di raccolta - TC06	1,65E+07	3x1x150	0,21	36	4,50	250,36	0,70
TC06 - TC05	1,38E+07	3x1x95	0,32	36	0,10	7,06	0,02
TC05 - TC04	1,10E+07	3x1x95	0,32	36	0,20	11,30	0,03
TC04 - TC03	8,25E+06	3x1x50	0,64	36	0,70	59,34	0,16
TC03 - TC02	5,50E+06	3x1x50	0,64	36	0,30	16,96	0,05
TC02 - TC01	2,75E+06	3x1x50	0,64	36	0,30	8,48	0,02
SOTTOCAMPO 2							
Cabina di raccolta - TC15	1,43E+07	3x1x150	0,21	36	1,50	72,07	0,20
TC15 - TC14	1,35E+07	3x1x95	0,32	36	0,60	41,62	0,12
TC14 - TC13	1,25E+07	3x1x95	0,32	36	0,20	12,85	0,04
TC13 - TC10	1,18E+07	3x1x95	0,32	36	1,80	108,67	0,30
TC10 - TC09	8,75E+06	3x1x50	0,64	36	0,30	26,97	0,07
TC09 - TC08	5,75E+06	3x1x50	0,64	36	0,50	29,54	0,08
TC08 - TC07	2,75E+06	3x1x50	0,64	36	0,80	22,61	0,06
SOTTOCAMPO 3							
Cabina di raccolta - TC20	1,80E+07	3x1x150	0,21	36	0,50	30,35	0,08
TC20 - TC21	1,50E+07	3x1x95	0,32	36	0,30	23,12	0,06
TC21 - TC22	1,20E+07	3x1x95	0,32	36	0,40	24,66	0,07
TC22 - TC23	9,00E+06	3x1x50	0,64	36	0,20	18,50	0,05
TC23 - TC12	6,00E+06	3x1x50	0,64	36	1,80	110,98	0,31
TC12 - TC11	3,00E+06	3x1x50	0,64	36	0,50	15,41	0,04
SOTTOCAMPO 4							
Cabina di raccolta - TC24	1,43E+07	3x1x95	0,32	36	0,10	7,32	0,02
TC24 - TC25	1,15E+07	3x1x95	0,32	36	0,30	17,73	0,05
TC25 - TC26	8,75E+06	3x1x50	0,64	36	1,10	98,91	0,27
TC26 - TC27	6,00E+06	3x1x50	0,64	36	0,80	49,33	0,14
TC27 - TC28	3,00E+06	3x1x50	0,64	36	0,50	15,41	0,04
SOTTOCAMPO 5							
Cabina di raccolta - TC19	1,20E+07	3x1x95	0,32	36	0,70	43,16	0,12
TC19 - TC18	9,00E+06	3x1x50	0,64	36	0,50	46,24	0,13
TC18 - TC17	6,00E+06	3x1x50	0,64	36	0,30	18,50	0,05
TC17 - TC16	3,00E+06	3x1x50	0,64	36	0,40	12,33	0,03

Tabella 2.13 – Calcolo cadute di tensione delle tratte tipo BT

Tratta BT	I _b [A]	S [mm ²]	I _z [A]	R [Ω/km]	V [kV]	L [km]	ΔV [V]	ΔV [%]
CAMPO FV								
Stringa - Inverter	22,2	2 x 10	95	3,08	1,20	0,20	13,68	1,14
Inverter - Cabina	180,6	2 x 120	310	0,20	0,80	0,30	10,84	1,35

2.12 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.

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 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).

2.13.2 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. 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 2,41 kA.

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 ARERA

- Delibera AEEG 88/07. Disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione;
- Delibera ARG/elt 33/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas "Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici di energia elettrica";
- Delibera ARG/elt 99/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 99/08), recante in Allegato A il "Testo integrato connessioni attive" (TICA);
- Delibera ARG/elt 179/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas. Modifiche e integrazioni alle deliberazioni dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas ARG/elt n. 99/08 e n. 281/05 in materia di

condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica;

- Delibera ARG/elt 128/22 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas. Modifiche e integrazioni alla deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione (TICA).

3.3 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. Aggiornamento per schemi di connessione a 36 kV e revisione generale.