

# REGIONE SARDEGNA

Provincia della Città Metropolitana di Cagliari (CA)

## COMUNE DI VILLASOR



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.
1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	24/09/21	BASSO G.	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	02/07/21	BASSO G.	FURNO C.	NASTASI A.

Committente:

**IBERDROLA RENEVABLES ITALIA S.p.A.**



Sede legale in Piazzale dell'Industria, 40, 00144, Roma  
Partita I.V.A. 06977481008 - PEC: iberdrolarenovablesitalia@pec.it

Società di Progettazione:



*Ingegneria & Innovazione*

Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409  
Web: [www.antexgroup.it](http://www.antexgroup.it) e-mail: [info@antexgroup.it](mailto:info@antexgroup.it)

Progetto:

**PARCO EOLICO DI "VILLASOR"**

Progettista/Resp. Tecnico:

**Dott. Ing. Cesare Furno**  
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Catania  
n° 6130 sez. A

Elaborato:

CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI

Progettista elettrico:

**Dott. Ing. Giuseppe Basso**  
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Siracusa  
n° 1860 sez. A

Scala:

NA

Nome DIS/FILE:

C20018S05-PD-RT-09-01

Allegato:

1/1

F.to:

A4

Livello:

**DEFINITIVO**

Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.  
È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.  
La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.



## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. SCOPO .....	3
3. PROPONENTE .....	4
4. CONNESSIONE ALLA RTN – (CODICE PRATICA: 202001042) .....	4
5. OPERE ELETTRICHE PER LA CONNESSIONE ALLA RTN (CODICE PRATICA: 202001042).....	4
6. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI POSA.....	5
7. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN ALLUMINIO MT - ARG7H1RNR – 18/30 kV.....	7
8. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA/CORRENTE DI CORTOCIRCUITO .....	11
9. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE DI CORTOCIRCUITO.....	14
10. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE.....	15
11. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO .....	17
12. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – ATTRAVERSAMENTI DI CANALI TIPICI .....	18
13. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – DISTANZE DI RISPETTO DA IMPIANTI E OPERE INTERFERENTI TIPICI.....	18

## 1. PREMESSA

Su incarico di IBERDROLA Renovables Italia S.p.A., la società Antex Group Srl ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto eolico nei comuni di Villasor e Decimoputzu, nella provincia della Città Metropolitana di Cagliari.

Il progetto prevede l'installazione di n. 10 nuovi aerogeneratori con potenza unitaria di 5,6 MW, per una potenza complessiva di impianto di 56 MW.

Gli aerogeneratori saranno collegati alla nuova Stazione di trasformazione Utente, posta nel comune di Villasor (CA), tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 30 kV.

La stazione di trasformazione utente riceverà l'energia proveniente dall'impianto eolico a 30 kV e la eleverà alla tensione di 150 kV.

Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete tramite collegamento in antenna a 150 kV, previa condivisione dello stallo in stazione con altri produttori, su un nuovo stallo a 150 kV da realizzare presso la Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 220/150 kV della RTN, denominata "Villasor", la cui autorizzazione è oggetto di altra iniziativa (benessere requisiti tecnici richiesto da altro produttore nominato capofila in sede di tavolo tecnico con Terna).

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl.

Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali e gestionali.

Sia Antex che Iberdrola pongono a fondamento delle attività e delle proprie iniziative, i principi della qualità, dell'ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

Difatti, in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti e fornitori, le Aziende citate posseggono un proprio Sistema di Gestione Integrato Qualità-Sicurezza-Ambiente.

## 2. SCOPO

Scopo della presente relazione tecnica è il dimensionamento dei cavi in media tensione da utilizzare nell'impianto eolico "Villasor" sito nei territori dei comuni di Villasor e Decimoputzu, nella Provincia della Città Metropolitana di Cagliari.

**La potenza in immissione richiesta per l'impianto in esame è pari a 56,0 MW.**

**Codice Pratica: 202001042.**

La potenza nominale dell'impianto è pari a 56 MW.

	<p style="text-align: center;"><b>PARCO EOLICO DI "VILLASOR"</b></p> <p style="text-align: center;">CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p>	 <p style="text-align: center;">Ingegneria &amp; Innovazione</p>		
		24/09/2021	REV: 1	Pag.4

*N.B.: Tutti i materiali, le apparecchiature, i manufatti ed i componenti utilizzati per la progettazione, sono indicativi e potranno essere soggetti a variazioni dovute all'evoluzione tecnologica degli stessi ed alle disponibilità di mercato, pur mantenendo le loro caratteristiche funzionali indicate nel progetto.*

### 3. PROPONENTE

Il proponente del progetto è **Iberdrola Renovables Italia S.p.A.**, con sede in Piazzale dell'Industria 40, 00144 Roma (RM).

### 4. CONNESSIONE ALLA RTN – (CODICE PRATICA: 202001042)

La connessione prevede l'inserimento dell'impianto alla RTN mediante collegamento in antenna a 150 kV su un nuovo stallo a 150 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN 220/150 kV di Villasor. Inoltre, al fine di razionalizzare l'utilizzo delle strutture di rete, sarà necessario condividere lo stallo in stazione con altri impianti di produzione.

### 5. OPERE ELETTRICHE PER LA CONNESSIONE ALLA RTN (CODICE PRATICA: 202001042)

Al fine di connettere l'impianto eolico in esame alla RTN occorre realizzare dei seguenti impianti:

- Impianto di rete per la connessione alla RTN – Stallo arrivo linea AT: Realizzazione di stallo AT per arrivo cavidotto interrato a 150 kV da realizzare sulla sezione a 150 kV all'interno della SE di Trasformazione della RTN 220/150 kV denominata "Villasor",  
(OGGETTO DI ALTRA INIZIATIVA: Benestare requisiti tecnici richiesto da altro produttore nominato capofila in sede di tavolo tecnico con Terna).
- Impianto utente per la connessione alla RTN – Raccordo interrato: Realizzazione di un cavidotto interrato a 150 kV tra la nuova SE di Trasformazione 220/150 kV denominata "Villasor" e l'Area Comune (ai produttori),  
(OGGETTO DI ALTRA INIZIATIVA: Benestare requisiti tecnici richiesto da altro produttore nominato capofila in sede di tavolo tecnico con Terna).
- Impianto utente per la connessione alla RTN - Area Comune: Opere di condivisione dello stallo in stazione con altri produttori.  
(OGGETTO DI ALTRA INIZIATIVA: Benestare requisiti tecnici richiesto da altro produttore nominato capofila in sede di tavolo tecnico con Terna).
- Impianto utente per la connessione alla RTN: Nuova SSE Utente "Iberdrola" di trasformazione 30/150 kV e raccordo mediante collegamento in cavidotto interrato AT a semplice terna a 150 kV all'Area Comune (ai produttori).

## 6. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI POSA

La Norma CEI UNEL 35027 - "Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV - Portate di corrente in regime permanente - Posa in aria ed interrata", fornisce le portate in corrente dei cavi unificati MT in funzione delle condizioni di posa in terra ed in aria.

Per cavi interrati di queste categorie di tensioni viene fornita la portata in corrente di riferimento  $I_0$  nelle seguenti condizioni:

- Ta temperatura ambiente 20 °C;
- Profondità di posa 0,8 m;
- Rt resistività termica media radiale del terreno 1,5 k\*m/W;
- Connessione schermi metallici in cortocircuito e a terra ad entrambe le estremità (solid bonding).

Per condizioni diverse viene fornita poi la seguente formula correttiva:

$$I_z = I_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4$$

Dove:

- $I_z$  portata in corrente nelle condizioni in esame;
- $I_0$  portata in corrente nelle condizioni di riferimento;
- $K_1$  fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C;
- $K_2$  fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano;
- $K_3$  fattore di correzione per profondità di interramento diverse da 0,8 m;
- $K_4$  fattore di correzione per resistività termica del terreno diversa da 1,5 k\*m/W.

Le condizioni di posa dei cavi MT impiegati nel progetto in oggetto differiscono dalle condizioni di riferimento poiché:

- La profondità di interramento è pari a 1,0 m:  $K_3 = 0,98$

Tab. IV **Fattori di correzione per differenti valori di profondità di posa**

Profondità di posa (m)	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
Fattore di correzione	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94

- E' stata considerato un valore di resistività termica del terreno pari a 2 k\*m/W:  $K_4 = 0,9$

Tab. V **Fattori di correzione per differenti valori di resistività termica del terreno**

Cavi unipolari					
Resistività del terreno (K*m/W)	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Fattore di correzione	1,08	1,05	1,00	0,90	0,82

- È stato considerato il caso peggiore di raggruppamento dei circuiti presenti nello stesso strato (in questo progetto) 2 circuiti nello stesso strato distanziati tra loro 25 cm:  $K_2 = 0,9$

Tab. III **Fattori di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano**

Numero di cavi	Distanza fra i circuiti <sup>(a)</sup> (m)			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

- Resta invariata la temperatura del terreno pari a 20 °C:  $K_1 = 1$

Pertanto la formula diventa:

$$I_z = I_0 * 0,9 * 0,98 * 0,9 * 1,0 = I_0 * 0,7938$$

Si riporta di seguito la tabella delle portate in corrente dei cavi scelti alle condizioni di riferimento e alle condizioni operative impiegate nel progetto.

Valori di  $I_0$  alle condizioni di riferimento:

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
120	281	0,3250	0,13	0,35
150	318	0,2650	0,12	0,29
185	361	0,2110	0,12	0,24
240	418	0,161	0,11	0,19
300	472	0,13	0,11	0,17
400	543	0,102	0,11	0,15
500	621	0,0801	0,1	0,13
630	706	0,0635	0,099	0,12

Valori di  $I_z$  alle condizioni operative, (applicando i coefficienti correttivi):

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
120	223,06	0,3250	0,13	0,35
150	252,43	0,2650	0,12	0,29
185	286,56	0,2110	0,12	0,24
240	331,81	0,1610	0,11	0,19
300	374,67	0,1300	0,11	0,17
400	431,03	0,1020	0,11	0,15
500	492,95	0,0801	0,1	0,13
630	560,42	0,0635	0,099	0,12

#### 7. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN ALLUMINIO MT - ARG7H1RNR – 18/30 kV

La Norma CEI 20-13 "Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV" definisce le principali regole costruttive per i cavi isolati con gomme di qualità G5 e G7 a base di elastomeri etilenpropilenici e stabilisce le prescrizioni di prova a cui devono rispondere nel collaudo. Il paragrafo 4.1.02 "Portate di corrente" afferma che per le portate in regime permanente si deve fare riferimento alla Norma CEI 20-21 "Calcolo delle portate dei cavi elettrici in regime permanente (fattore di carico 100%)" e alle tabelle CEI-UNEL 35027 (nel nostro caso). La Norma CEI-UNEL 35027 è ricavata dalla serie di Norme CEI 20-21 (recepimento della Norma IEC 60287 - serie) ed incorpora la revisione dei valori delle portate in corrente citate nelle Norme CEI. Poiché la sezione massima dei conduttori citata in questa Norma è di 300 mm<sup>2</sup> (cavi in Cu e Al), per i valori di portata in corrente in regime permanente di cavi di dimensioni superiori rimanda alle specifiche tecniche rilasciate dai costruttori per i cavi costruiti in conformità alla CEI 20-13.



# ARG7H1RNR-12/20 kV ÷ 18/30 kV

# ARG7H1RNRX-12/20 kV ÷ 18/30 kV

Costruzione, requisiti elettrici,  
fisici e meccanici:

CEI 20-13

IEC 60502

EN 60228

Non propagazione della fiamma: EN 60332-1-2

Non propagazione dell'incendio: CEI 20-22 III





#### ARG7H1RNR / Descrizione

- Cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore interno: estruso
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G7 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guainetta: PVC
- Armatura: due nastri di alluminio, avvolti a coprigiunto
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz
- Colore: rosso

#### ARG7H1RNRX / Descrizione

- Cavi tripolari precordati, isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore interno: estruso
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G7 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guainetta: PVC
- Armatura: due nastri di alluminio, avvolti a coprigiunto
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz
- Colore: rosso

#### Marcatura

Pb free LA TRIVENETA CAVI ARG7H1RNR [tens. nominale] [form.] [anno] [ordine] [metrica]  
Pb free LA TRIVENETA CAVI ARG7H1RNRX [tens. nominale] [form.] [anno] [ordine] [metrica] FASE 1/2/3

#### Caratteristiche funzionali

- Tensione nominale di esercizio  
ARG7H1RNR(X) -12/20 kV: U<sub>o</sub>/U 12/20 kV  
ARG7H1RNR(X) -18/30 kV: U<sub>o</sub>/U 18/30 kV
- Tensione U max:  
ARG7H1RNR(X) -12/20 kV: U<sub>m</sub> 24 kV  
ARG7H1RNR(X) -18/30 kV: U<sub>m</sub> 36 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C

#### ARG7H1RNR / Condizioni di posa

- Temperatura minima di posa: 0°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 14 volte il diametro del cavo
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 50 N/mm<sup>2</sup> di sezione del conduttore

#### ARG7H1RNRX / Condizioni di posa

- Temperatura minima di posa: 0°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 10 volte il diametro del cavo
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 50 N/mm<sup>2</sup> di sezione del rame

#### Impiego e tipo di posa

Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale.  
Ammessa la posa interrata anche non protetta, in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

## ARG7H1RNR - 18/30 kV

U<sub>0</sub>/U: 18/30 kV

U max: 36 kV

### Caratteristiche tecniche

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Ø esterno max	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A			
					in aria		interato <sup>1)</sup>	
n° x mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	kg/km	a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano
1 x 50	8,2	8,0	36,1	1800	174	183	188	177
1 x 70	9,8	8,0	38,2	1705	218	229	207	218
1 x 95	11,45	8,0	39,7	1980	268	280	247	260
1 x 120	12,8	8,0	42,4	2245	309	325	281	296
1 x 150	14,2	8,0	43,7	2405	352	371	318	335
1 x 185	16,0	8,0	45,7	2625	408	427	361	380
1 x 240	18,4	8,0	48,3	2985	483	508	418	440
1 x 300	20,5	8,0	51,8	3345	547	578	472	497
1 x 400	23,8	8,0	55,2	4005	640	674	543	572
1 x 500	28,55	8,0	58,35	4440	740	779	621	654
1 x 630	30,1	8,0	62,8	5135	862	907	706	743

<sup>1)</sup> I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:

- Resistività termica del terreno: 1 K-m<sup>2</sup>/W
- Temperatura ambiente 20°C
- profondità di posa: 0,8 m

### Caratteristiche elettriche

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 50°C e 50Hz		Resistenza di fase		Capacità a 50Hz
		a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano	
n° x mm <sup>2</sup>	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	μF/km
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	0,18
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	0,208	0,265	0,265	0,12	0,18	0,20
1 x 185	0,164	0,211	0,211	0,12	0,12	0,22
1 x 240	0,125	0,161	0,161	0,11	0,17	0,24
1 x 300	0,100	0,130	0,130	0,11	0,17	0,27
1 x 400	0,0778	0,102	0,101	0,11	0,16	0,29
1 x 500	0,0625	0,0801	0,0794	0,10	0,16	0,32
1 x 630	0,0489	0,0625	0,0625	0,099	0,16	0,36

**ARG7H1RNRX - 18/30 kV**
**Uo/U: 18/30 kV**
**U max: 36 kV**
**Caratteristiche tecniche**

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Ø circoscritto indicativo	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A	
						in aria	interato <sup>1)</sup>
m <sup>2</sup> x mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	kg/km	A	A
3 x 1 x 50	8,2	8,0	2,1	77,7	4810	174	188
3 x 1 x 70	9,8	8,0	2,2	82,2	5400	218	207
3 x 1 x 95	11,45	8,0	2,2	85,4	5805	268	247
3 x 1 x 120	12,9	8,0	2,3	91,2	6755	309	281
3 x 1 x 150	14,2	8,0	2,4	94,0	7235	362	318
3 x 1 x 185	16,0	8,0	2,4	98,3	7910	408	361
3 x 1 x 240	18,4	8,0	2,5	103,9	8680	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

**Caratteristiche elettriche**

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz	Resistenza di fase	Capacità a 50Hz	Corrente tecnica di circuito <sup>1)</sup>
m <sup>2</sup> x mm <sup>2</sup>	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	μF/km	IA
3 x 1 x 50	0,641	0,822	0,15	0,15	8,5
3 x 1 x 70	0,443	0,588	0,14	0,16	9,1
3 x 1 x 95	0,320	0,411	0,13	0,18	12,3
3 x 1 x 120	0,253	0,325	0,13	0,19	15,6
3 x 1 x 150	0,206	0,285	0,12	0,22	19,5
3 x 1 x 185	0,164	0,211	0,12	0,22	24,1
3 x 1 x 240	0,125	0,161	0,11	0,24	31,2

(\*) Durata del corto circuito 0,5 secondi

**8. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA/CORRENTE DI CORTOCIRCUITO**

Per calcolare la potenza di cortocircuito in un punto dell'impianto, si può fare l'ipotesi che la resistenza sia trascurabile rispetto alla reattanza, perché solitamente il rapporto reattanza/resistenza di una rete di distribuzione (fino alle sbarre) è superiore a sette. In pratica, l'impedenza si può ritenere coincidente con la reattanza:

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} = \sqrt{((X/7)^2 + X^2)} = \sqrt{[(X^2/49) + X^2]} = 1,01 * X \sim X$$

Questo consente, in questa fase preliminare, di calcolare la potenza di cortocircuito di un sistema elettrico costituito da n elementi in serie (generatori, linee, trasformatori) le cui potenza di cortocircuito siano  $P_1, P_2, \dots, P_n$ .

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase ( $P_{cc}$ ) vale:

$$P_{cc} = \sqrt{3} * U_n * I_{cc}$$

Dove:

- $U_n$  è la tensione nominale (concatenata);
- $I_{cc}$  è la corrente di cortocircuito trifase.

D'altra parte, nell'ipotesi  $X \sim Z$  si ha:

$$I_{cc} = E/X$$

Dove  $E = U_n/\sqrt{3}$  è la tensione di fase:

$$I_{cc} = U_n/\sqrt{3} * X$$

Si ottiene dunque:

$$P_{cc} = \sqrt{3} * U_n * U_n/\sqrt{3} * X = U_n^2/X$$

La potenza di cortocircuito di un sistema a tensione U composto da n elementi in serie aventi reattanze  $X_1, X_2, \dots, X_n$  è:

$$P_{cc} = U_n^2/(X_1 + X_2 + \dots + X_n)$$

Poiché, la reattanza  $X_i$  del generico elemento del sistema elettrico con potenza di cortocircuito  $P_i$  vale:

$$X_i = U_n^2/P_i$$

Dunque:

$$P_{cc} = U_n^2/(U_n^2/P_1 + U_n^2/P_2 + \dots + U_n^2/P_n) = 1/[(1/P_1) + (1/P_2) + \dots + (1/P_n)]$$

*Potenza di cortocircuito della rete AT:*

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase ( $P_r$ ) della rete AT è la potenza espressa in MVA, che si ottiene dalla corrente di cortocircuito simmetrica trifase ( $I_{cc}$ ) alla tensione nominale della rete ( $U_n$ ):

$$P_r = c * \sqrt{3} * U_n * I_{cc}$$

Dove:

- c coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (valore = 1,1).
- $U_n = 150$  kV
- $I_{cc} = 31,5$  kA

Pertanto:

$$P_r = 1,1 * \sqrt{3} * 150 * 31,5 = 9002,34 \text{ MVA}$$

*Potenza di cortocircuito di un trasformatore:*

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase ( $P_{tr}$ ) di un trasformatore è:

$$P_{tr} = 100 * P/u_{cc}$$

Dove:

- P è la potenza nominale del trasformatore
- $u_{cc}$  è la tensione di cortocircuito percentuale

La potenza di cortocircuito del trasformatore 150/30 kV da 63 MVA con  $u_{cc} = 12,5\%$  è pari a:

$$P_{tr/63} = 100 * 63/12,5 = 504 \text{ MVA}$$

La potenza di cortocircuito del trasformatore 30/0,75 kV da 6,35 MVA con  $u_{cc} = 8\%$  presente negli aerogeneratori vale:

$$P_{tr/6,35} = 100 * 6,35/8 = 79,375 \text{ MVA}$$

*Potenza di cortocircuito di un generatore:*

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase ( $P_G$ ) di un generatore è:

$$P_G = 100 * P/X_d''$$

Dove:

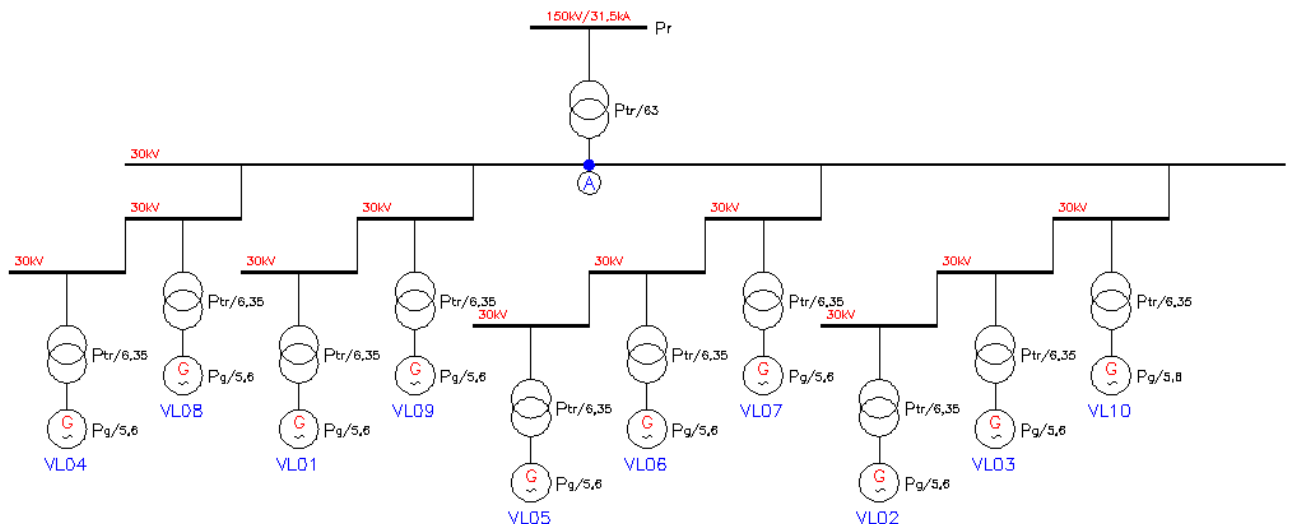
- P è la potenza nominale del generatore, 5,6 MVA
- $X_d''$  è la reattanza sub-transitoria diretta, (valore tipico pari 15%)

Quindi:

$$P_G = 100 * 5,6/15 = 37,33 \text{ MVA}$$

*Potenza di cortocircuito massima alle sbarre 30kV (punto A)*

Schematizzando la rete di distribuzione dell'impianto in oggetto come mostrato nella figura seguente:



La potenza di cortocircuito massima alle sbarre 30kV (punto A) è data da:

$$P_{cc/A} = \{1/[(1/P_r)+(1/P_{tr/63})]\} + \{1/[(1/P_{tr/6,35})+(1/P_G)]\} * 10 = \\ = \{1/[(1/9002,34)+(1/504)]\} + \{1/[(1/79,375)+(1/37,33)]\} * 10 = 731,17 \text{ MVA}$$

La corrente di cortocircuito massima alle sbarre 30kV (punto A) vale:

$$I_{cc/A} = P_{cc/A} / (\sqrt{3} * U_n) = 731,17 / (\sqrt{3} * 30) = 14,07 \text{ kA}$$

Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento dei cavi (e delle apparecchiature MT). Si fa presente che valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature MT sono: 16, 20, 25 kA.

## 9. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE DI CORTOCIRCUITO

La Norma CEI 11-17 al paragrafo 2.2.02 definisce le modalità di calcolo per la scelta del conduttore in relazioni a condizioni di sovracorrente. La scelta è fatta in modo tale che la temperatura del conduttore per effetto della sovracorrente non sia dannosa, come entità e durata, per l'isolamento o per gli altri materiali con cui il conduttore è in contatto o in prossimità.

Considerata la sovracorrente praticamente costante e il fenomeno termico sia di breve durata (cortocircuito) in modo da potersi considerare di puro accumulo (regime adiabatico), la sezione del conduttore può determinarsi mediante la seguente relazione:

$$K^2 S^2 \geq (I^2 t)$$

Dove:

- S è la sezione del conduttore in mm<sup>2</sup>;
- I è la corrente di cortocircuito, pari a 14,07 kA (valore precedentemente calcolato);
- t è la durata della corrente di cortocircuito, pari a 0,5 s (coincide con il tempo di eliminazione del guasto stabilito dal progettista)
- K costante termica del cavo scelto, (K = 92).

I valori del coefficiente K sono riportati nella seguente tabella per conduttori di rame e di alluminio in funzione delle temperature iniziali e finali di cortocircuito.

Tab. 2.2.02 Valori del coefficiente *K* in funzione delle temperature iniziali e finali di cortocircuito per conduttori di rame e di alluminio

	Temperatura iniziale $\theta_0$ (°C)	1	2	3	4	5	6
		Temperatura finale $\theta_{cc}$ (°C)					
		140	160	180	200	220	250
Conduttori di rame	130	37	64	81	95	106	120
	120	53	74	89	102	113	126
	110	65	83	97	109	119	132
	100	76	92	105	116	125	138
	90	86	100	112	122	131	143
	85	90	104	115	125	134	146
	80	94	108	119	129	137	149
	75	99	111	122	132	140	151
	70	103	115	125	135	143	154
	65	107	119	129	138	146	157
	60	111	122	132	141	149	160
	50	118	129	139	147	155	165
	40	126	136	145	153	161	170
30	133	143	152	159	166	176	
20	141	150	158	165	172	181	
Conduttori di alluminio	130	24	41	52	61	68	78
	120	34	48	58	66	73	81
	110	42	54	63	70	77	85
	100	49	59	67	75	81	89
	90	55	64	72	79	85	92
	85	58	67	74	81	86	94
	80	61	69	77	83	88	96
	75	64	72	79	85	90	98
	70	66	74	81	87	92	99
	65	69	76	83	89	94	101
	60	72	79	85	91	96	103
	50	77	83	90	95	100	105
	40	81	88	94	99	104	110
30	86	92	98	103	107	114	
20	91	97	102	107	111	117	

Così come indicato nella Norma CEI 11-17, la temperatura iniziale del conduttore si assume uguale a quella massima ammissibile in regime permanente (massima temperatura di servizio) e la temperatura finale di cortocircuito si assume uguale a quella massima di cortocircuito per i diversi isolanti.

Nel nostro caso verranno impiegati cavi in Alluminio ARG7H1RNR – 18/30 kV con isolante in gomma HEPR di qualità G7 aventi massima temperatura di servizio pari a 90 °C e massima temperatura di cortocircuito pari a 250 °C. Pertanto con tali valori di temperatura si ricava il valore della costante termica *K* che è pari a 92. Risolvendo la relazione precedente per *S*:

$$S = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [14,07 * \sqrt{(0,5)}] / 92 = 108,1 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta è pari a 120 mm<sup>2</sup>.

## 10. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE

Il fenomeno di abbassamento di tensione tra due punti, uno a monte e l'altro a valle, in una rete elettrica di distribuzione, viene denominato caduta di tensione. In tutti gli impianti elettrici occorre valutare che la



differenza tra la tensione del punto d'origine dell'alimentazione e la tensione all'utilizzatore d'energia sia adeguatamente contenuta, nei limiti normativi e nei limiti di funzionamento delle apparecchiature utilizzatrici.

Un'eccessiva differenza tra i due valori nuoce al funzionamento ed al rendimento degli impianti, inoltre elevate differenze di tensione tra monte e valle è sinonimo di perdite sulla linea elettrica, con conseguente cattivo dimensionamento e non ottimizzazione dell'impianto di trasmissione dell'energia.

La caduta di tensione sarà contenuta mediante un corretto calcolo dimensionale delle linee. Il valore della caduta di tensione può essere determinato mediante la formula:

$$\Delta V = I * L * \sqrt{3} (R * \cos\phi + X * \sin\phi)$$

Dove:

- $\Delta V$  è la caduta di tensione in V;
- I è la corrente nominale della linea in A;
- R è la resistenza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in  $\Omega$ /km;
- X è la reattanza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in  $\Omega$ /km;
- L è la lunghezza della linea in km.

La caduta di tensione percentuale sarà quindi:

$$\Delta V\% = 100 * \Delta V / V$$

Dove:

- V è la tensione ad inizio linea in V.

La perdita di potenza è calcolata tramite la relazione:

$$P_{loss} = 3 * R * L * I_n^2$$

La perdita di potenza percentuale è calcolata tramite la relazione:

$$P_{loss}\% = 100 * P_{loss} / N_{WTG} * P_{WTG}$$

Dove:

- $N_{WTG}$  è il numero di aerogeneratori considerato nella linea
- $P_{WTG}$  è la potenza nominale del singolo aerogeneratore

Si riportano di seguito i dimensionamenti per le quattro linee dell'impianto

Condizioni di esercizio	cos $\phi$ = 0,980	
	sen $\phi$ = 0,199	
	Vn= 30000	[V]
	Pn= 5600,00	[KW]
	In= 109,97	[A]

Linea MT 1 - in cavo cordato ad elica visibile (Impianto Utente)									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	VL04>>VL08	109,97	3900	150	210,7	0,702	37,5	0,001	ST - Trifoglio
2	VL08>>SSEU	219,94	15600	300	887,2	2,957	294,3	0,003	ST - Trifoglio
<b>TOTALE</b>			<b>19500</b>		<b>1098</b>	<b>3,66</b>	<b>332</b>	<b>0,003</b>	

Linea MT 2 - in cavo cordato ad elica visibile (Impianto Utente)									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	VL01>>VL09	109,97	4800	150	259,3	0,864	46,1	0,001	ST - Trifoglio
2	VL09>>SSEU	219,94	13100	300	745,0	2,483	247,1	0,002	ST - Trifoglio
<b>TOTALE</b>			<b>17900</b>		<b>1004</b>	<b>3,35</b>	<b>293</b>	<b>0,003</b>	

Linea MT 3 - in cavo cordato ad elica visibile (Impianto Utente)									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	VL05>>VL06	109,97	1900	150	102,6	0,342	18,3	0,000	ST - Trifoglio
2	VL06>>VL07	219,94	1000	240	68,4	0,228	23,4	0,000	ST - Trifoglio
3	VL07>>SSEU	329,91	8900	400	619,7	2,066	296,4	0,002	ST - Trifoglio
<b>TOTALE</b>			<b>11800</b>		<b>791</b>	<b>2,64</b>	<b>338</b>	<b>0,002</b>	

Linea MT 4 - in cavo cordato ad elica visibile (Impianto Utente)									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	VL02>>VL03	109,97	1400	150	75,6	0,252	13,5	0,000	ST - Trifoglio
2	VL03>>VL10	219,94	700	240	47,9	0,160	16,4	0,000	ST - Trifoglio
3	VL10>>SSEU	329,91	7000	400	487,4	1,625	233,1	0,001	ST - Trifoglio
<b>TOTALE</b>			<b>9100</b>		<b>611</b>	<b>2,04</b>	<b>263</b>	<b>0,002</b>	

## 11. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente relazione:

$$T_r = T_a + [(T_e - T_a) * (I_n / (N * I_z))^2]$$

Dove:

- $T_r$  temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- $T_a$  temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- $T_e$  temperatura massima di esercizio, 90 °C;
- $I_n$  è la corrente nominale di linea in A;
- $I_z$  è la portata nominale di linea (corretta dai coefficienti) in A;
- $N$  è il numero di conduttori per fase (1).

Si riportano di seguito i valori delle temperature di regime per le quattro linee dell'impianto:

Linea MT 1 - in cavo cordato ad elica visibile (Impianto Utente)					
N° WTG	TRATTA	ln [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	VL04>>VL08	110,0	150	33,3	ST - Trifoglio
2	VL08>>SSEU	219,9	300	44,1	ST - Trifoglio
Linea MT 2 - in cavo cordato ad elica visibile (Impianto Utente)					
N° WTG	TRATTA	ln [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	VL01>>VL09	110,0	150	33,3	ST - Trifoglio
2	VL09>>SSEU	219,9	300	44,1	ST - Trifoglio
Linea MT 3 - in cavo cordato ad elica visibile (Impianto Utente)					
N° WTG	TRATTA	ln [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	VL05>>VL06	110,0	150	33,3	ST - Trifoglio
2	VL06>>VL07	219,9	240	50,8	ST - Trifoglio
3	VL07>>SSEU	329,9	400	61,0	ST - Trifoglio
Linea MT 4 - in cavo cordato ad elica visibile (Impianto Utente)					
N° WTG	TRATTA	ln [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	VL02>>VL03	110,0	150	33,3	ST - Trifoglio
2	VL03>>VL10	219,9	240	50,8	ST - Trifoglio
3	VL10>>SSEU	329,9	400	61,0	ST - Trifoglio

## 12. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – ATTRAVERSAMENTI DI CANALI TIPICI

Qualora il tracciato delle linee MT dovessero presentare degli attraversamenti di canale, saranno eseguiti con una delle soluzioni tecniche descritte nelle tavole allegate nella documentazione progettuale e conformi a quanto indicato nella Norma CEI 1-17.

## 13. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – DISTANZE DI RISPETTO DA IMPIANTI E OPERE INTERFERENTI TIPICI

Le interferenze che si dovessero presentare lungo il tracciato delle linee MT saranno trattate con una delle soluzioni tecniche descritte nelle tavole allegate nella documentazione progettuale e conformi a quanto indicato nella Norma CEI 1-17.

Il Progettista:

**Ing. Giuseppe Basso**