

REGIONE SARDEGNA

Provincia del Nord-Est Sardegna

COMUNE DI BUDDUSO'



2	EMISSIONE PER INTEGRAZIONI MIC	30/06/23	SIGNORELLO A.	FURNO C.	LOMBARDO A.
1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	13/10/21	ANTEX	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	17/09/21	BASSO G.	FURNO C.	NASTASI A.
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.

Committente:

Hergo Renewables S.p.A.



Via Privata Maria Teresa, 8 – 20123 Milano (MI)
P.IVA: 10416260965; R.E.A. n.2529663

Società di Progettazione:

Ingegneria & Innovazione



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

PROGETTO:

PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"

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. Antonino Signorello
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Catania
n° 6105 sez. A

Scala:

NA

Nome DIS/FILE:

C20025S05-PD-RT-09-02

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.





PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"
CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI





30/06/23

REV: 2

Pag.2

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. SCOPO.....	4
3. PROPONENTE.....	4
4. CONNESSIONE ALLA RTN – (CODICE PRATICA: 202001854)	4
5. OPERE ELETTRICHE PER LA CONNESSIONE ALLA RTN (CODICE PRATICA: 202001854).....	4
6. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI POSA	5
7. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN ALLUMINIO MT - ARG7H1RNR – 18/30 kV.....	8
8. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA/CORRENTE DI CORTOCIRCUITO.....	13
9. DIMENSIONAMENTO IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE DI C. TO-C.TO	15
10. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE	17
11. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO.....	18
12. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – ATTRAVERSAMENTI DI CANALI TIPICI	19
13. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – DISTANZE DI RISPETTO DA IMPIANTI E OPERE INTERFERENTI TIPICI..	19

	PARCO EOLICO DI "BUDDUSO" CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI	 Ingegneria & Innovazione <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">30/06/23</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">REV: 2</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">Pag.3</td> </tr> </table>	30/06/23	REV: 2	Pag.3
30/06/23	REV: 2	Pag.3			

1. PREMESSA

Con nota del 19/10/2021, acquisita al prot. MATTM-115575 in data 25/10/2021, la Società Infrastrutture S.p.a., ora Hergo Renewables Spa, ha presentato istanza per l'avvio del procedimento "Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi del l'art .23 del D.Lgs 152/2006 relativa al progetto di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato "Parco eolico Buddusò" costituito da 7 aereogeneratori con potenza unitaria di 6MW, per una potenza complessiva di 42MW, collegati alla stazione elettrica nel Comune di Buddusò ed opere accessorie nel comune di Buddusò". Per tale istanza è stata comunicata la procedibilità in data 19/07/23 – nota MITE 0090205 - con codice procedura ID: 7555.

In riscontro alla "Richiesta di chiarimenti e integrazioni alla documentazione di progetto" del Ministero della Cultura - nota MIC_SS-PNRR_17/08/2022_0002524-P del 18/08/2022, e a seguito della nota del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica – nota MASE registro ufficiale uscita 0077793 del 15/05/23, il progetto definitivo è stato integrato con i chiarimenti e la documentazione aggiuntiva richiesta tenendo conto anche di una nuova configurazione del layout, per i motivi meglio specificati a seguire.



La Società proponente ha ottimizzato la configurazione del Layout modificando l'ubicazione di alcuni aerogeneratori al fine di ridurre l'impatto paesaggistico, rispondere alle esigenze del territorio e trovare il consenso dei proprietari dei terreni interessati dall'iniziativa.

In particolare:

- lo spostamento della turbina B3 è stato motivato sia da esigenze agricolo-pastorali sia per l'ottimizzazione della producibilità;
- lo spostamento della turbina B4 è stato motivato dalla volontà di allontanarsi dall'abitato di Buddusò, riducendo in questo modo l'impatto paesaggistico e lo sviluppo di viabilità e cavidotto interno;
- i piccoli spostamenti delle turbine B6 e B7, inferiori a 200 m, e della relativa viabilità di accesso, sono dovuti alle richieste dei proprietari dei terreni, volte a salvaguardare l'attività agricolo-pastorale;

Queste lievi variazioni hanno permesso di raggiungere il pieno consenso dei proprietari dei terreni interessati dall'iniziativa, che ha portato a siglare contratti per la costituzione del diritto di superficie per tutti gli aerogeneratori a progetto.

Tutti gli elaborati di progetto sono stati aggiornati recependo queste modifiche.

	<p align="center">PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"</p> <p align="center">CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI</p>	 Ingegneria & Innovazione	
		30/06/23	REV: 2

2. SCOPO

Scopo della presente relazione tecnica è il dimensionamento dei cavi in media tensione da utilizzare nel Parco Eolico "Buddusò" sito nei territori del Comune di Buddusò, nella Provincia del Nord-Est Sardegna, Ex Provincia di Sassari.

La potenza in immissione richiesta per l'impianto in esame è pari a 42,0 MW.

Codice Pratica: 202001854.

La potenza nominale dell'impianto è pari a 42 MW.

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 Hergo Renewables S.p.A., con sede in Via Privata Maria Teresa 8, 20123 Milano (MI).

4. CONNESSIONE ALLA RTN – (CODICE PRATICA: 202001854)

La connessione prevede l'inserimento dell'impianto alla RTN mediante collegamento in antenna a 150 kV sulla futura Stazione Elettrica (SE) GIS di Smistamento della RTN denominata "Buddusò" a 150kV (previo ampliamento della stessa) da inserire in entra-esce alla linea RTN 150 kV "Ozieri-Siniscola 2", la cui autorizzazione è oggetto di altra iniziativa (benessere requisiti tecnici richiesto da altro produttore nominato capofila in sede di tavolo tecnico con Terna). 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: 202001854)

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 futura SE GIS di Smistamento della RTN 150 kV denominata "Buddusò";
(OGGETTO DI ALTRA INIZIATIVA: Benessere 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 GIS di Smistamento a 150 kV denominata "Buddusò" e l'Area Comune (ai produttori),
(OGGETTO DI ALTRA INIZIATIVA: Benessere 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 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 I₀ nelle seguenti condizioni:

- T_a temperatura ambiente 20 °C;
- Profondità di posa 0,8 m;
- R_t 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;
- I₀ portata in corrente nelle condizioni di riferimento;
- K₁ fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C;
- K₂ fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano;
- K₃ fattore di correzione per profondità di interramento diverse da 0,8 m;
- K₄ 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 0,8 m: K₃ = 1,0

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

- È stato considerato un valore di resistività termica del terreno pari a 2 k*m/W: K₄ = 0,9

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

Resistività del terreno (K·m/W)	Cavi unipolari				
	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 ^(a) (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:

$$I_z = I_0 * 0,9 * 1,0 * 0,9 * 1,0 = I_0 * 0,81$$

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 ²]	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



PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"
CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI



30/06/23

REV: 2

Pag.7

*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.*

Comm.: C20-025-S05

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification





PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"
CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI



30/06/23

REV: 2

Pag.8

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

Sezione nominale [mm ²]	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	227,61	0,3250	0,13	0,35
150	257,58	0,2650	0,12	0,29
185	292,41	0,2110	0,12	0,24
240	338,58	0,1610	0,11	0,19
300	382,32	0,1300	0,11	0,17
400	439,83	0,1020	0,11	0,15
500	503,01	0,0801	0,1	0,13
630	571,86	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 mm² (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





PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"
CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI



30/06/23

REV: 2

Pag.10

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_o/U 12/20 kV
ARG7H1RNR(X) -18/30 kV: U_o/U 18/30 kV
- Tensione U max:
ARG7H1RNR(X) -12/20 kV: U_m 24 kV
ARG7H1RNR(X) -18/30 kV: U_m 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/mm² 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/mm² 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

U₀/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 ¹⁾	
n° x mm ²	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

¹⁾ I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:
 - Resistività termica del terreno: 1 K-m²/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
		a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano	
n° x mm ²	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



PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"
CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI



30/06/23

REV: 2

Pag.12

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 ^(*)
m ² x mm ²	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	406	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 ^(*)
m ² x mm ²	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

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.

Comm.: C20-025-S05

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification

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 P1, P2, ..., Pn.

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (Pcc) 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 X1, X2, ..., Xn 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:

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



PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"
CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI



30/06/23

REV: 2

Pag.14

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 50 MVA con $u_{cc} = 12,5\%$ è pari a:

$$P_{tr/69} = 100 * 50/12,5 = 400 \text{ MVA}$$

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:

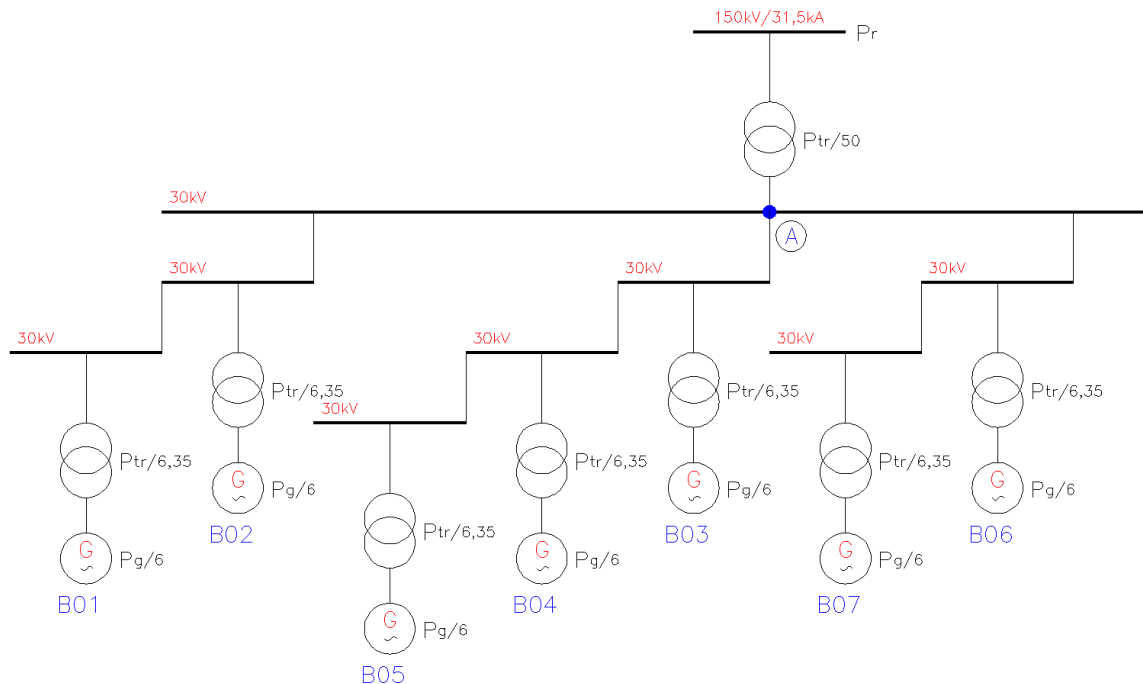
- P è la potenza nominale del generatore, 6 MVA
- X_d'' è la reattanza sub-transitoria diretta, (valore tipico pari 15%)

Quindi:

$$P_G = 100 * 6/15 = 40 \text{ MVA}$$

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

Di seguito viene schematizzata la rete di distribuzione dell'impianto in oggetto:



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

$$P_{cc/A} = \{1/[(1/P_r)+(1/P_{tr/50})]\} + \{1/[(1/P_{tr/6,35})+(1/P_G)]\} * 7 =$$

$$= \{1/[(1/9002,34)+(1/400)]\} + \{1/[(1/79,375)+(1/40)]\} * 7 = 569,161 \text{ MVA}$$

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

$$I_{cc/A} = P_{cc/A} / (\sqrt{3} * U_n) = 569,161 / (\sqrt{3} * 30) = 10,95 \text{ kA}$$

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: 12,5, 16, 20, 25 kA.

9. DIMENSIONAMENTO IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE DI C. TO-C.TO

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 mm²;
- I è la corrente di cortocircuito, pari a 10,95 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 θ_0 (°C)	1	2	3	4	5	6
		Temperatura finale θ_{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:

$$S = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [10,95 * \sqrt{(0,5)}] / 92 = 84,2 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta è pari a 120 mm².



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:

- ΔV 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 Ω/km ;
- X è la reattanza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in Ω/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:

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

La perdita di potenza percentuale è calcolata tramite la relazione:

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

Dove:

- NWTG è il numero di aerogeneratori considerato nella linea
- PWTG è la potenza nominale del singolo aerogeneratore

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



PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"
CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI



30/06/23

REV: 2

Pag.18

Condizioni di esercizio	cosφ=	0,980	
	senφ=	0,199	
	Vn=	30000	[V]
	Pn=	6000,00	[KW]
	In=	117,83	[A]

Linea MT 1 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	B01>>B02	117,83	1380	120	97,0	0,323	18,7	0,000	ST - Trifoglio
2	B02>>SSEU	235,65	5960	240	437,1	1,457	159,9	0,001	ST - Trifoglio
	TOTALE		7340		534,06	1,78	178,54	0,002	

Linea MT 2 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	B05>>B04	117,83	2286	120	160,7	0,536	30,9	0,001	ST - Trifoglio
2	B04>>B03	235,65	2125	240	155,8	0,519	57,0	0,000	ST - Trifoglio
3	B03>>SSEU	353,48	5844	400	436,0	1,453	223,4	0,001	ST - Trifoglio
	TOTALE		10255		752,47	2,51	311,38	0,00	

Linea MT 3 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	B07>>B06	117,83	3949	185	185,9	0,620	34,7	0,001	ST - Trifoglio
2	B06>>SSEU	235,65	8325	240	610,5	2,035	223,3	0,002	ST - Trifoglio
	TOTALE		12274		796,40	2,65	258,00	0,002	

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:

- Tr temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- Ta temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- Te temperatura massima di esercizio, 90 °C;
- In è la corrente nominale di linea in A;
- Iz 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:



PARCO EOLICO DI "BUDDUSO"
CALCOLI PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI



30/06/23

REV: 2

Pag.19

Linea MT 1 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)

N° WTG	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	B01>>B02	117,8	120	38,8	ST - Trifoglio
2	B02>>SSEU	235,7	240	53,9	ST - Trifoglio

Linea MT 2 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)

N° WTG	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	B05>>B04	117,8	120	38,8	ST - Trifoglio
2	B04>>B03	235,7	240	53,9	ST - Trifoglio
3	B03>>SSEU	353,5	400	65,2	ST - Trifoglio

Linea MT 3 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)

N° WTG	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	B07>>B06	117,8	185	31,4	ST - Trifoglio
2	B06>>SSEU	235,7	240	53,9	ST - Trifoglio

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

Qualora il tracciato delle linee MT dovesse 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.