

REGIONE PUGLIA  
PROVINCIA DI FOGGIA

Comune:  
**Bovino -Deliceto - Castelluccio dei Sauri**  
Località "Monte Livagni"

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI  
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA E RELATIVE  
OPERE DI CONNESSIONE - 10 AEROGENERATORI -**

Sezione 10:  
**CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE E IMPIANTI**

Sottosezione:  
-

Titolo elaborato:  
**RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI**

N. Elaborato: **10.2**

Scala: -

Committente

**WINDERG S.r.l.**

Via Trento, 64  
20871 Vimercate (MB)  
P.IVA 04702520968

Amministratore Unico  
**Michele GIAMBELLI**

Progettazione



**sede legale e operativa**  
San Giorgio Del Sannio (BN) via de Gasperi 61  
**sede operativa**  
Lucera (FG) S.S.17 loc. Vaccarella snc c/o Villaggio Don Bosco  
P.IVA 01465940623  
**Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873**



Progettista  
**Dott. Ing. Nicola FORTE**



00	OTTOBRE 2018	RC	MO	NF	Emissione Progetto Definitivo
Rev.	Data	sigla	sigla	sigla	DESCRIZIONE
		Elaborazione	Approvazione	Emissione	
Nome File sorgente		GE.BOV01.PD.10.2.dwg	Nome file stampa	GE.BOV01.PD.10.2.pdf	Formato di stampa A4

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>3. CONDIZIONI AMBIENTALI DI PROGETTO .....</b>	<b>2</b>
<b>4. SISTEMA ELETTRICO .....</b>	<b>2</b>
4.1 DESCRIZIONE GENERALE.....	2
4.2 DATI DI IMPIANTO.....	3
<b>5. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI .....</b>	<b>5</b>
5.1 CARATTERISTICHE ELETTRICHE .....	5
5.2 TENSIONE DI ISOLAMENTO DEL CAVO .....	5
5.3 TEMPERATURE MASSIME DI ESERCIZIO E DI CORTOCIRCUITO.....	5
5.4 CARATTERISTICHE FUNZIONALI E COSTRUTTIVE.....	5
5.4.1 COLLEGAMENTI MT IMPIANTO EOLICO (INTERNO ED ESTERNO).....	5
5.5.1 COLLEGAMENTI IMPIANTO EOLICO (INTERNO ED ESTERNO) .....	6
5.5.2 COLLEGAMENTI MT INTERNI ALLA STAZIONE ELETTRICA.....	6
5.5 ACCESSORI .....	7
<b>6. VERIFICA RETE MT .....</b>	<b>7</b>
6.1 MODALITÀ E CRITERI DI CALCOLO ELETTRICO.....	7
6.2 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI .....	8
6.3 CALCOLO DI LOAD FLOW.....	9
6.4 VERIFICA DELLA PORTATA.....	9
6.5 VERIFICA DELLA CADUTA DI TENSIONE .....	10
<b>7. RISULTATI DI CALCOLO .....</b>	<b>11</b>
7.1 VERIFICA DELLE PERDITE .....	12

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 2 di 14
---	--	---	---

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano i calcoli di verifica dei cavi MT e Load Flow, nell'ambito della progettazione definitiva dell'impianto eolico proposto dalla società WINDERG s.r.l. da realizzarsi nei comuni di Bovino, Castelluccio dei Sauri e Deliceto (FG).

## 2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Le norme tecniche e i documenti di riferimento utilizzate per la stesura del progetto esecutivo sono:

- IEC 60502-2: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um=1.2 kV) up to 30 kV (Um=36 kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (Um=7.2 kV) up to 30 kV (Um=36 kV) (03/2005);
- CEI EN 60909 (11-25) – Calcolo di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata (12/2001);
- IEC 60287: Electric cables – Calculation of the current rating (12/2006);
- CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo (07/2006).

## 3. CONDIZIONI AMBIENTALI DI PROGETTO

- Altezza sul livello del mare < 1000 m;
- Temperatura ambiente -25 +40°C;
- Temperatura media 25°C;
- Umidità relativa 90%;
- Inquinamento leggero;
- Tipo di atmosfera non aggressiva.

## 4. SISTEMA ELETTRICO

### 4.1 Descrizione generale

L'impianto eolico è costituito da 10 aerogeneratori di cui n.7 da 3000 kW e n.3 da 3450 kW per una potenza nominale complessiva di 31.35 MW.

In dettaglio l'impianto presenta

- 10 aerogeneratori ad asse orizzontale;
- 10 cabine di trasformazione poste all'interno della torre;
- N.1 cabina di smistamento/raccolta
- Cavidotto interrato in media tensione (30 kV) per il collegamento tra gli aerogeneratori, tra

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 3 di 14
---	--	---	---

questi e la cabina di raccolta e tra la cabina e la stazione elettrica di trasformazione;

- Una linea in fibra ottica che collega tra di loro gli aerogeneratori e la stazione elettrica di trasformazione per il telecontrollo del parco eolico
- 1 stazione elettrica di trasformazione a 150/30 kV nel comune di Deliceto (FG);

L'energia elettrica viene prodotta da ogni singolo aerogeneratore in bassa tensione (650 V), trasmessa attraverso una linea in cavo al trasformatore MT/BT posto internamente alla base della torre dell'aerogeneratore, dove viene trasformata ed innalzata al valore di 30 kV. Diverse linee in cavo interrato collegano fra loro gli aerogeneratori e da questi ultimi mediante una linea in cavo interrato alla sezione in media tensione della stazione di trasformazione.

Gli aerogeneratori del parco eolico in oggetto, ciascuno di potenza attiva pari a 3.00/3.45 MW, sono collegati elettricamente tra loro a formare una rete radiale, le lunghezze di ciascuna linea, comprensive di scorta cabina e macchina, relative al collegamento interno ed esterno, sono riportate in tabella 1.

Le ragioni di questa suddivisione sono legate alla topologia della rete elettrica, alla potenza complessiva trasmessa su ciascuna linea in cavo, alle perdite connesse al trasporto dell'energia elettrica prodotta. (Consultare l'elaborato "GE.BOV01.PD.5.3).

Il collegamento alla RTN del parco eolico appena descritto sarà eseguito mediante la realizzazione di una stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV da collegare alla stazione elettrica 150/380 kV Terna di Deliceto (FG).

## 4.2 Dati di impianto

Lo schema della rete utilizzato per le valutazioni relative ai calcoli di Load Flow e corrente di cortocircuito è rappresentato nell'*Allegato 1*. In seguito si riportano i dati relativi ai vari componenti dell'impianto.

### RETE MT - AT

- |  |         |
|--|---------|
| • Sistema  | trifase |
| • Frequenza  | 50 Hz   |
| • Tensione nominale (lato MT)  | 30 kV   |
| • Tensione nominale (lato AT)  | 150 kV  |
| • Corrente massima di corto circuito trifase (lato AT-RTN) <sup>1</sup>  | 31.5 kA |
| • Corrente massima di corto circuito monofase (lato AT-RTN) <sup>1</sup> | 40 kA   |

### GENERATORI ASINCRONI

- |                     |         |
|---------------------|---------|
| • Tensione nominale | 0.65 kV |
|---------------------|---------|

<sup>1</sup> Valore raccomandato dall'Allegato A.8 al Codice di Rete per stazioni vicine a punti di interconnessione 150/380 kV.

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 4 di 14
---	--	---	---

- Potenza nominale 3000/3450 kW
- Corrente rotore bloccato 1.22 In

#### TRASFORMATORI MT/BT

- Potenza nominale 4000 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.65 kV
- Tensione di c.to c.to 9 %
- Perdite nel ferro 4 kW
- Collegamento Dyn 5
- Regolazione  $\pm 2 \times 2.5$  %

#### TRASFORMATORE MT/AT

- Potenza nominale 33 MVA
- Rapporto nominale  $150 \pm 10 \times 1.25\%$  / 31 kV
- Tensione di c.to c.to 15 %
- Perdite nel ferro 29.5 kW
- Collegamento YNd11
- Isolamento olio minerale
- Raffreddamento ONAN-ONAF

#### TRASFORMATORE SA

- Potenza nominale 50 kVA
- Rapporto nominale  $30 \pm 2 \times 2.5\%$  / 0.4 kV
- Tensione di c.to c.to 4 %
- Collegamento Dyn11
- Isolamento olio minerale
- Raffreddamento ONAN

#### COLLEGAMENTI MT

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche geometriche dei collegamenti dei cavi MT oggetto del calcolo.

Tabella 1 - Collegamenti MT, sezione e materiale dei conduttori

COLLEGAMENTI IMPIANTO EOLICO (INTERNO ED ESTERNO)		SEZIONE CONDUTTORE [mm <sup>2</sup> ]	MATERIALE CONDUTTORE	LUNGHEZZA [m]
GRUPPO 1	A1 - A2	95	Al	520
	A2 - A3	95	Al	1323
	A3 - CAB	185	Al	3900
GRUPPO 2	A4 - A5	95	Al	590
	A5 - A6	95	Al	923
	A6 - A7	185	Al	970

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 5 di 14
---	--	---	---

	A7 - CAB	<b>300</b>	Al	2296
GRUPPO 3	A8 - A9	<b>95</b>	Al	852
	A9 - A10	<b>95</b>	Al	729
	A10 - CAB	<b>300</b>	Al	30
	CAB - SE	<b>300</b>	Al	10615

Le caratteristiche tecniche dei cavi utilizzati per i calcoli sono ricavate dai data-sheet del costruttore PRYSMIAN, ad essi si rimanda per ulteriori approfondimenti.

## 5. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI

Scopo del presente paragrafo è quello di fornire le caratteristiche tecniche ed elettriche dei cavi che verranno utilizzati per il collegamento in media tensione.

### 5.1 Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche principali del sistema elettrico in media tensione sono:

- Sistema elettrico 3 fasi – c.a.
- Frequenza 50 Hz
- Tensione nominale 30 kV
- Tensione massima 36 kV
- Categoria sistema B

### 5.2 Tensione di isolamento del cavo

Dalla tab. 4.1.4 della norma CEI 11-17 in base a tensione nominale e massima del sistema la tensione di isolamento  $U_0$  corrispondente è 18 kV.

### 5.3 Temperature massime di esercizio e di cortocircuito

Dalla tab. 4.2.2.a della norma CEI 11-17 per cavi con isolamento estruso in polietilene reticolato ed in gomma ad alto modulo la massima temperatura di esercizio è di 90°C mentre quella di cortocircuito è di 250°C.

### 5.4 Caratteristiche funzionali e costruttive

#### 5.4.1 Collegamenti MT impianto eolico (interno ed esterno)

I cavi MT utilizzati per le linee elettriche interrate, per il collegamento di potenza tra gli aerogeneratori e tra questi ultimi e la stazione elettrica, saranno del tipo pre-cordato ad elica visibile o “trifoglio”, adatti a posa interrata, con conduttore in Al, isolamento XLPE, schermo in tubo Al, guaina in PE.

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 6 di 14
---	--	---	---

I cavi previsti sono destinati a sistemi elettrici di distribuzione con  $U_0/U=18/30$  kV e tensione massima  $U_m=36$  kV, sigla di designazione ARE4H5E(X).

La stessa tipologia di cavi è utilizzata per i collegamenti MT tra quadri e trafo SA e tra quadri e trasformatore AT/MT all'interno della stazione elettrica di trasformazione.

### 5.5.1 Collegamenti impianto eolico (interno ed esterno)

Il cavidotto MT che interessa il collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione elettrica seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, sarà costituito da cavi unipolari (ad elica visibile) direttamente interrati, ovvero modalità di posa tipo **M**, ad eccezione degli attraversamenti di opere stradali e o fluviali richieste dagli enti concessionari, per i quali sarà utilizzata una tipologia di posa che prevede i cavi unipolari in tubo interrato, modalità di posa **N**, mediante l'uso della tecnica con trivellazione orizzontale controllata. La posa verrà eseguita ad una profondità di 1.20 m in uno scavo di profondità 1.30-1.50 m (la seconda profondità è da considerarsi in terreno agricolo) e larghezza alla base variabile in base al numero di conduttori presenti. La sequenza di posa dei vari materiali, partendo dal fondo dello scavo, sarà la seguente.

- Strato di sabbia di 10 cm;
- Cavi posati a trifoglio di sezione 95, 185, 300 direttamente sullo strato di sabbia;
- Posa della lastra di protezione supplementare;
- Ulteriore strato di sabbia per complessivi 20 cm;
- Posa del tubo in PEHD del diametro esterno di 63 mm per inserimento di una linea in cavo di telecomunicazione (Fibra Ottica);
- Riempimento con il materiale di risulta dello scavo di 70÷90 cm;
- Nastro segnalatore (a non meno di 20 cm dai cavi);
- Riempimento finale con il materiale di risulta dello scavo e ripristino del manto stradale ove necessario, secondo le indicazioni riportate nelle concessioni degli enti proprietari.

Lungo tutto lo scavo dei collegamenti tra gli aerogeneratori sarà posata una corda in rame nudo di sezione  $50 \text{ mm}^2$  per la messa a terra dell'impianto.

Nel dettaglio le sezioni di posa del cavidotto sono riportate nell'elaborato di progetto "GE.BOV01.PD.5.1"

### 5.5.2 Collegamenti MT interni alla stazione elettrica

Le linee in media tensione che interessano il collegamento tra il quadro MT ed il trasformatore di potenza MT/AT seguiranno le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, saranno costituite da 3 terne di cavi unipolari (ad elica visibile) posate ciascuna in tubo di polietilene ad alta densità, inglobati in calcestruzzo, ovvero modalità di posa tipo **O.1** (manufatti gettati in opera). La posa verrà eseguita ad una profondità di 0.50 m in uno scavo di profondità 0.60 m e larghezza alla base variabile

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 7 di 14
---	--	---	---

in base al numero di tubi presenti.

La linea in media tensione che interessa il collegamento tra il quadro MT ed il trasformatore dei servizi ausiliari di stazione seguirà la modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, costituita da una terna di cavi unipolari (ad elica visibile) posate su passerella porta-cavi o in cunicolo areato/chiuso, ovvero modalità di posa tipo **F oppure P.1/P.2** all'interno del locale utente della stazione elettrica di trasformazione.

## 5.5 Accessori

Le terminazioni e le giunzioni per i cavi di energia devono risultare idonee a sopportare le sollecitazioni elettriche, termiche e meccaniche previste durante l'esercizio dei cavi in condizioni ordinarie ed anomale (sovracorrenti e sovratensioni).

La tensione di designazione U degli accessori deve essere almeno uguale alla tensione nominale del sistema al quale sono destinati, ovvero 30 kV. I componenti e i manufatti adottati per la protezione meccanica supplementare devono essere progettati per sopportare, in relazione alla profondità di posa, le prevedibili sollecitazioni determinate dai carichi statici, dal traffico veicolare o da attrezzi manuali di scavo, secondo quanto previsto nella norma CEI 11-17: 2006-07.

I percorsi interrati dei cavi devono essere segnalati, in modo tale da rendere evidente la loro presenza in caso di ulteriori scavi, mediante l'utilizzo di nastri monitori posati nel terreno a non meno di 0.2 m al di sopra dei cavi, secondo quanto prescritto dalla norma CEI 11-17: 2006-07. I nastri monitori dovranno riportare la dicitura "Attenzione Cavi Energia in Media Tensione".

## 6. VERIFICA RETE MT

### 6.1 Modalità e criteri di calcolo elettrico

Nel seguito si illustrano i risultati di calcolo, atti a verificare che le scelte operate sulle sezioni dei cavi della rete del impianto eolico, in accordo alla normativa vigente.

Il calcolo delle correnti a regime, delle cadute di tensione, delle perdite e le correnti di corto circuito ai nodi è effettuato con il software Neplan®, mediante un calcolo di load flow (con metodo Newton Raphson) e un calcolo del corto circuito ai nodi, in accordo alla Norma IEC 60909/2001 (CEI 11-25).

Il processo di calcolo è iterativo, se uno dei vincoli imposti non è rispettato si maggiora la sezione dei cavi, e si risolve di nuovo il problema.

Questa operazione sarà realizzata tante volte fino a quando tutti i vincoli sono stati rispettati.

Per la scelta delle caratteristiche delle apparecchiature elettriche e per la scelta definitiva dei cavi, si risolve sulla rete precedentemente modellata (con i cavi che rispettano tutti i vincoli imposti), il problema del corto circuito con la norma IEC 60909/2001 equivalente alla norma CEI 11-25.

Ten Project

Sede legale ed operativa: Via A. De Gasperi 61 - 82018 San Giorgio del Sannio (BN) - Sede Operativa: S.S. 17 loc. Vaccarella - 71036 Lucera (FG)

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 8 di 14
---	--	---	---

Risolto il problema del corto circuito, si verifica se tutti i cavi precedentemente scelti, sono in grado di sostenere la corrente presunta di corto circuito per un secondo. Se si verifica che una data linea non è in grado di sostenere il corto circuito, si aumenta la sezione e si procede di nuovo alla verifica, il tutto fino a quando i risultati sono coerenti.

Dall'analisi dei valori ottenuti dalla risoluzione dei problemi del load flow e del corto circuito, si passa alla scelta dei quadri elettrici e dei componenti di protezione, manovra e misura (interruttori, sezionatori, TA, TV, relé ecc.)

I criteri di verifica sono i seguenti:

- Verifica della portata nei diversi tratti, alla reale condizione di posa;
- Verifica delle perdite complessive delle linee in MT (limite totale = 4%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee MT per i collegamenti tra gli aerogeneratori (limite = 1%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee MT per i collegamenti tra la cabina di raccolta e la stazione elettrica (limite = 3%);

Le condizioni di calcolo sono le seguenti:

- Potenza di ciascuna tratta corrispondente alla potenza nominale dei gruppi di generazione;
- Tensione nominale 30 kV;
- Resistenza dei cavi riportata alla massima temperatura operativa (90 °C);
- Fattore di potenza dei gruppi pari a 1;

## 6.2 Interpretazione dei risultati

Nelle tabelle che seguono sono riassunti i risultati di calcolo del load flow e del corto circuito.

Nelle colonne viene indicato con la sigla **N** \_\_\_ l'elemento nodo in bassa tensione, con la sigla **A** \_\_\_ l'elemento nodo in media tensione, con la sigla **GA** \_\_\_ l'elemento generatore, con la sigla **TR** \_\_\_ l'elemento trasformatore e con la sigla **L** \_\_\_ l'elemento Linea.

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 9 di 14
---	--	---	---

### 6.3 Calcolo di load flow

In *Allegato 2* sono riportati, rappresentati graficamente, i risultati del calcolo di load flow e qui riportati in forma tabellare:

Tabella 2 - Risultati Load Flow

Element name	Type	P kW	Ib A	Loading %	P Loss kW	P Fe kW
G1	Asynchronous Machine	-3000	2572			
G2	Asynchronous Machine	-3000	2574			
G3	Asynchronous Machine	-3000	2582			
G4	Asynchronous Machine	-3000	2580			
G5	Asynchronous Machine	-3000	2582			
G6	Asynchronous Machine	-3000	2588			
G7	Asynchronous Machine	-3000	2593			
G8	Asynchronous Machine	-3450	2980			
G9	Asynchronous Machine	-3450	2984			
G10	Asynchronous Machine	-3450	2991			
L01-02	Line	2975	56	34	2	
L02-03	Line	5948	111	68	20	
L3-CAB	Line	8902	167	88	71	
L4-5	Line	2975	56	34	2	
L5-L6	Line	5948	112	68	14	
L6-7	Line	8908	168	71	18	
L7-CAB	Line	11865	224	90	47	
L08-09	Line	3417	65	39	4	
L09-10	Line	6830	129	78	15	
L10-CAB	Line	10233	194	71	0	
LCAB-SE	Line	30881	585	71	493	
RTN	Feeder	30234	117			
TR01	2W Transformer	-2975	56	72	25	3
TR02	2W Transformer	-2975	56	72	25	3
TR03	2W Transformer	-2975	56	73	25	3
TR04	2W Transformer	-2975	56	73	25	3
TR05	2W Transformer	-2975	56	73	25	3
TR06	2W Transformer	-2975	56	73	25	3
TR07	2W Transformer	-2975	56	73	25	3
TR08	2W Transformer	-3417	65	84	33	3
TR09	2W Transformer	-3417	65	84	33	3
TR10	2W Transformer	-3417	65	84	33	3
TR	2W Transformer	-30234	117	92	154	44

### 6.4 Verifica della portata

La portata dei cavi in regime permanente viene determinata in accordo alla norma IEC 60502-2, tenendo conto del declassamento dovuto alla temperatura, profondità e tipologia di posa.

In particolare è utilizzata la formula seguente:

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$$

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 10 di 14
---	--	---	--

dove:

$I_0$  = portata in condizioni nominali dei conduttori con isolante polimerico, E4 e G7, ed è ricavata dai datasheet del costruttore;

$k_1$  = coefficiente di correzione che tiene conto del numero di circuiti affiancati (più cavi o più tubi);

$k_2$  = coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento;

$k_3$  = coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento;

$k_4$  = coefficiente di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento:

Il valore di  $I_0$  ricavato dalle tabelle è riferito alle seguenti condizioni:

- temperatura del terreno 20°C;
- profondità di posa 1.20 m;
- resistività termica del terreno 2 K\*m/W;

In assenza di informazioni specifiche sulle caratteristiche termiche del terreno, variabili sulla base di diversi fattori (composizione, umidità, ecc...), è stato considerato una resistività termica pari a 2 K\*m/W. Tale valore risulta essere cautelativo e rappresenta una media tra i valori di resistività dei materiali costituenti il letto di posa (sabbia, materiale di risulta, ecc...).

Per la temperatura è mantenuto il valore di riferimento di 20 °C.

Per i circuiti affiancati, la distanza tra le terne considerata è 7 cm, le tabelle del costruttore prevedono i seguenti coefficienti di abbattimento della portata:

**Tabella 3 - Coefficienti di derating della portata per più circuiti affiancati**

<b><i>Distanza tra i cavi o terne</i></b>	<b><i>Numero di cavi o terne (in orizzontale)</i></b>			
	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	0.84	0.74	0.67	0.60

Per i dettagli sul percorso e le modalità di posa si rimanda all'elaborato di progetto "GE.BOV01.PD.5.1, GE.BOV01.PD.5.3 "

## 6.5 Verifica della caduta di tensione

Il calcolo della caduta di tensione è ricavato dal calcolo di load flow ed è atto a stabilire il valore totale per l'intero cavidotto a partire dai gruppi fino alla cabina di smistamento e da questa alla stazione elettrica di trasformazione. I valori delle tensioni ai nodi sono deducibili dal diagramma di *allegato 2*.

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 11 di 14
---	--	---	--

## 7. RISULTATI DI CALCOLO

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di calcolo relativi alla portata effettiva, alla caduta di tensione ed alla tenuta al cortocircuito di ciascuna tratta in media tensione costituente la rete dell'impianto eolico.

**Tabella 4 – Portata effettiva, caduta di tensione di ciascuna tratta**

node 1	node 2	Element name	mat	n	sec [mm <sup>2</sup> ]	Iz [A]	ΔUn [%]
A1	A2	L1-2	Al	1	95	164.6	0.1
A2	A3	L2-3	Al	1	95	164.6	0.4
A3	CAB	L3-CAB	Al	1	185	189.6	0.8
A4	A5	L4-5	Al	1	95	164.6	0.1
A5	A6	L5-6	Al	1	95	164.6	0.2
A6	A7	L6-7	Al	1	185	237.7	0.2
A7	CAB	L7-CAB	Al	1	300	247.2	0.4
A8	A9	L8-9	Al	1	95	164.6	0.1
A9	A10	L9-10	Al	1	95	164.6	0.2
A10	CAB	L10-CAB	Al	1	300	273	0.05
CAB	SE	LCAB-SE	Al	3	300	819.2	1.7

Come si evince dalla tabella il **valore della C.d.T. relativa alle linee MT di ogni collegamento tra gli aerogeneratori è inferiore al 1% previsto. Il valore della C.d.T. relative alle linee MT del collegamento tra la cabina di raccolta e la stazione elettrica è inferiore al 3% previsto.**

	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 12 di 14
---	--	---	--

## 7.1 Verifica delle perdite

Il calcolo delle perdite è ricavato dal calcolo di load flow ed è atto a stabilire la somma delle perdite dell'intera rete MT in cavo, dei trasformatori di macchina, del trasformatore elevatore e dei servizi ausiliari, nelle condizioni di progetto previste.

La tabella 5 riporta le perdite complessive per l'impianto eolico di Winderg s.r.l:

Tabella 5 - Perdite complessive

IMPIANTO EOLICO BOV01 - SOMMARIO				
WTG	N.	P TOT		kW
	10			31350
Un	Perdite Linee		Perdite trasformatori	
kV	kW	%	kW	%
30	688,31	<b>2,20%</b>	273,66	<b>0,87%</b>
150	0		154,31	<b>0,49%</b>
Perdite totali impianto				
kW	1116,28	%	<b>3,56%</b>	

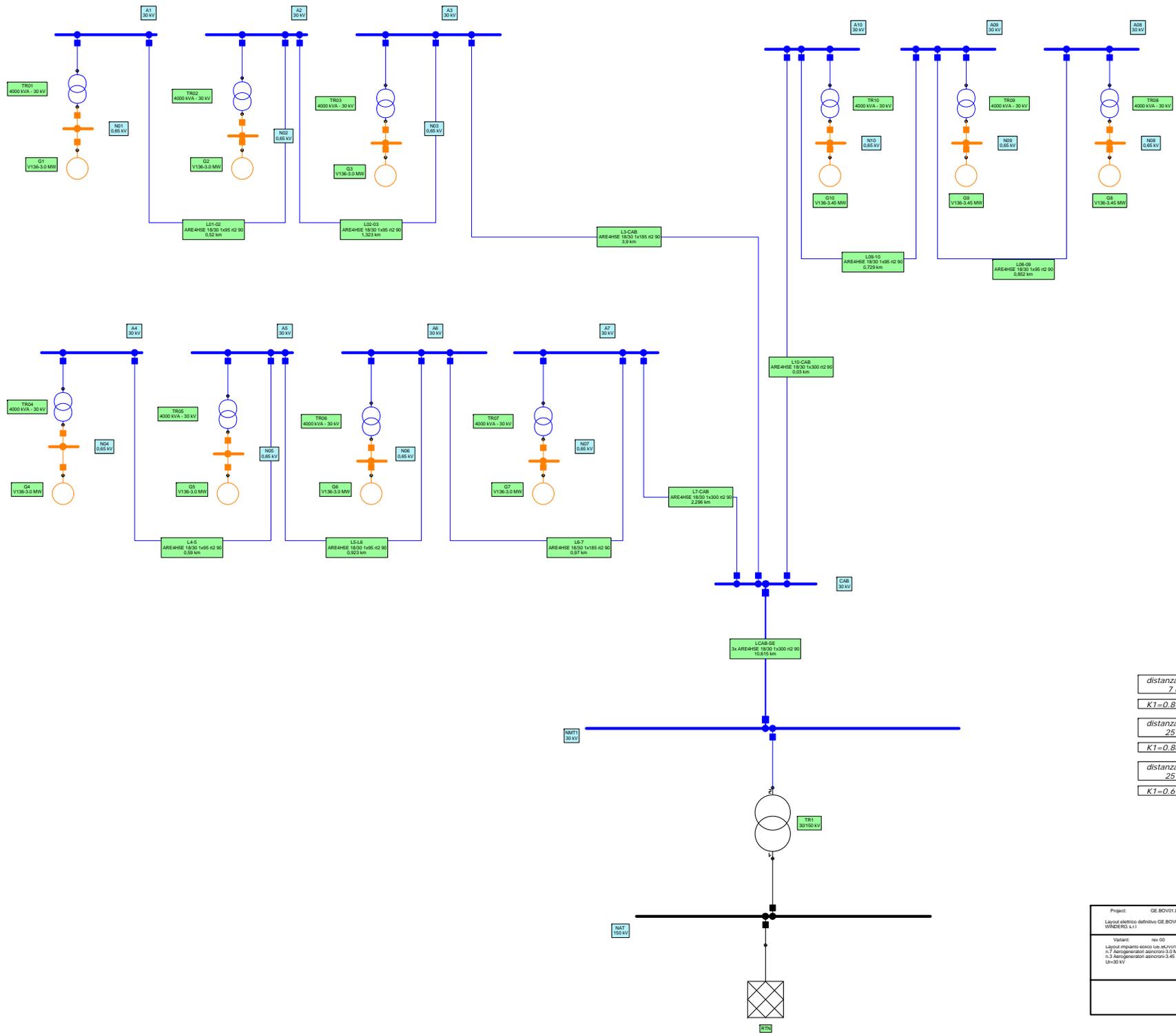
Come si evince dalla tabella, il valore delle perdite totali delle linee MT è pari a 2.20%, inferiore al 4% previsto.

Complessivamente considerando le perdite dei trasformatori di ciascun aerogeneratore e del trasformatore di stazione il valore di perdite complessive raggiunge il 3.56%.

I risultati dei calcoli di cui sopra dimostrano la correttezza delle scelte operate sulle sezioni dei cavi per tutti i tratti.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 13 di 14
---	--	---	--

**ALLEGATO 1**  
**RETE ELETTRICA**



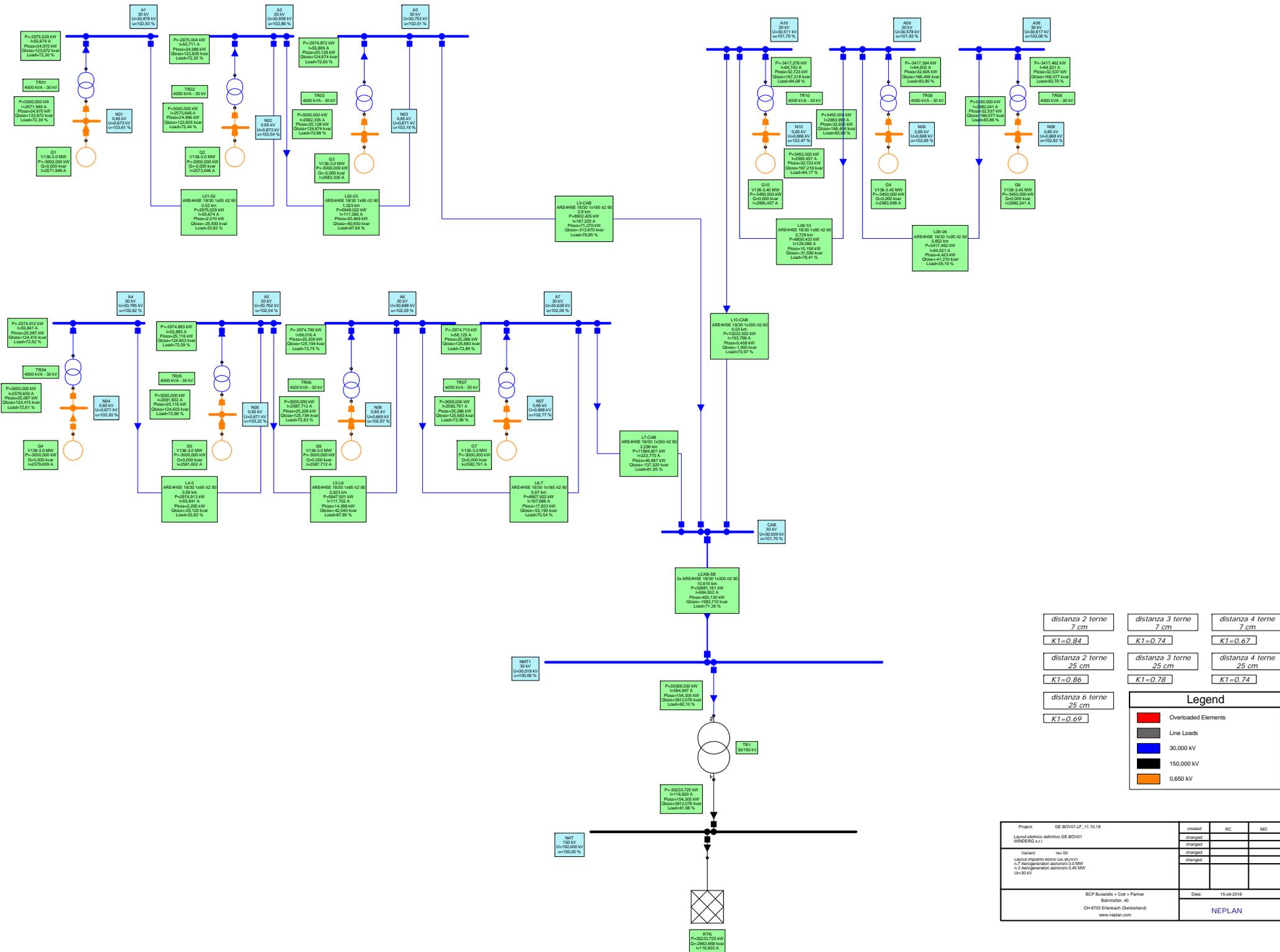
distanza 2 terne 7 cm	distanza 3 terne 7 cm	distanza 4 terne 7 cm
$K1=0.84$	$K1=0.74$	$K1=0.67$
distanza 2 terne 25 cm	distanza 3 terne 25 cm	distanza 4 terne 25 cm
$K1=0.86$	$K1=0.78$	$K1=0.74$
distanza 6 terne 25 cm		
$K1=0.69$		

Legend	
	Line Loads
	30,000 kV
	150,000 kV
	0,650 kV

Project: GE.BOV01.LF_11.10.18	created	RC	MD
Layout elettrico definitivo GE.BOV01 WINDSERC L1	changed		
Version: Rev 00	changed		
Layout impianto assoco Usr. SLV011 n.1 7 Aerogeneratori asincroni 3.3 MW n.3 Aerogeneratori asincroni 3.45 MW Un=30 kV	changed		
BCP Busarello + Cdt + Partner Bühlerstr. 40 CH-8703 Erlenbach (Switzerland) www.noplan.com	Date: 15-09-2018	NEPLAN	

 <b>TENPROJECT</b>	<b>RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI</b>	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	GE.BOV01.PD.10.2 11/07/2017 11/07/2017 00 14 di 14
---	--	---	--

**ALLEGATO 2**  
**CALCOLO LOAD FLOW**



distanza 2 terne 7 cm	distanza 3 terne 7 cm	distanza 4 terne 7 cm
$K1=0.84$	$K1=0.74$	$K1=0.67$
distanza 2 terne 25 cm	distanza 3 terne 25 cm	distanza 4 terne 25 cm
$K1=0.86$	$K1=0.78$	$K1=0.74$
distanza 6 terne 25 cm		
$K1=0.69$		

**Legend**

- Overloaded Elements
- Line Loads
- 30,000 kW
- 150,000 kW
- 0,850 kW

Project: GE.BOV1 L.F. 11.10.18	created	RC	MD
Layout elettrico definitivo GE.BOV1 WINDERC L1	changed		
Version: rev 00	changed		
Layout impianto asoco via st.vv/11 n.3 Aerogeneratori asincroni 3.3 MW n.3 Aerogeneratori asincroni 3.45 MW U=30 kV	changed		
BCP Busarello + Cdt + Partner	Date:	15-09-2018	
CH-8703 Erlenbach (Switzerland)	www.neplan.com		