

Sibilla Wind S.r.l.

**Parco Eolico "Sibilla" sito nei comuni di:
Canino e Montalto di Castro (VT) - Manciano (GR)**

**Relazione sul dimensionamento della rete in media
tensione e alta tensione**

Novembre 2022



Regione LAZIO comuni di:



Canino (VT)



Montalto di Castro (VT)



Regione TOSCANA comune di:



Manciano (GR)

Committente:

Sibilla Wind S.r.l.

Sibilla Wind S.r.l.
Via Sardegna, 40
00187 Roma
P.IVA/C.F. 16422481008

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico "Sibilla" sito nei Comuni di:
Canino e Montalto di Castro (VT) - Manciano (GR)**

Documento:

**RELAZIONE SUL DIMENSIONAMENTO
DELLA RETE IN MEDIA TENSIONE
E ALTA TENSIONE**

N° Documento:

IT-VESSIB-TEN-CAL-TR-02

Progettista:



sede legale e operativa
San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc Area Industriale
sede operativa
Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114
P.IVA 01465940623
Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Progettista
Dott. Ing. Nicola FORTE



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	NOVEMBRE 2022	Richiesta AU	FDM	FDM-PM	NF

Sommario

Relazione di dimensionamento della rete in media tensione e alta tensione	2
1. Premessa	2
2. Norminativa e documentazione di riferimento	3
3. Condizioni ambientali.....	4
4. Dati di impianto	4
5. Caratterisitche dei cavi	5
5.1. Caratteristiche elettriche cavi in media tensione.....	5
5.1.1. Tipologia di posa	6
5.1.2. Accessori	7
5.2. Caratteritiche elettriche cavi in alta tensione	7
5.2.1. Tipologia di posa	8
5.2.2. Accessori	9
6. Verifiche reti MT e AT.....	10
6.1. Modalità e criterio di calcolo elettrico	10
6.2. Interpretazione dei risultati	10
6.3. Calcolo di load flow	11
6.4. Verifica della portata	12
6.5. Verifica della caduta di tensione	14
6.6. Verifica delle perdite	15

Relazione di dimensionamento della rete in media tensione e alta tensione

1. Premessa

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 9 aerogeneratori della potenza di 7.2 MW ciascuno, per una potenza di 64,8 MW da installare nei comuni di Montalto di Castro (VT) e Canino (VT) in località "Parco San Nicola" e "Villa Abbado", con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune di Manciano (GR) in località "Cerquanella". Proponente dell'iniziativa è la società Sibilla Wind Srl.

L'area d'installazione si colloca a nord est del centro di Montalto di Castro da cui dista circa 5 km in linea d'area, e a sud/est del centro di Canino dal quale dista circa 8,5 km in linea d'aria. Nel dettaglio, gli aerogeneratori denominati T01-T03-T04-T05-T06-T07-T08-T09 ricadono sul territorio di Montalto di Castro interessando i fogli catastali n.33-34-55, mentre l'aerogeneratore denominato T02 ricade sul territorio di Canino interessando il foglio catastale n.85. Gli aerogeneratori sono collegati tra di loro mediante un cavidotto in media tensione interrato a 30 kV che sarà posato principalmente al di sotto di viabilità esistente di progetto e trasferirà l'energia prodotta dall'impianto alla sottostazione di trasformazione 30/132 kV prevista sul territorio del comune di Montalto di Castro sulla particella n.239 del foglio n.55.

Dalla sottostazione di trasformazione si sviluppa il cavidotto in alta tensione a 132 kV che percorre principalmente il tracciato della viabilità esistente fino a raggiungere la stazione elettrica in condivisione con altri produttori. Quest'ultima sarà collegata in antenna a 132 kV sulla sezione 132 kV della futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132 kV da inserire in entra – esce sulla linea RTN esistente 380 kV "Montalto – Suvereto".

Completano il quadro delle opere da realizzare una serie di adeguamenti temporanei alle strade esistenti necessari a consentire il passaggio dei mezzi eccezionali di trasporto delle strutture costituenti gli aerogeneratori e per consentire l'accesso alla SE di Utenza.

In fase di realizzazione dell'impianto sarà necessario predisporre un'area logistica di cantiere con le funzioni di stoccaggio materiali e strutture, ricovero mezzi, disposizione dei baraccamenti necessari alle maestranze (fornitore degli aerogeneratori, costruttore delle opere civili ed elettriche) e alle figure deputate al controllo della realizzazione (Committenza dei lavori, Direzione Lavori, Coordinatore della Sicurezza in fase di esecuzione, Collaudatore).

Al termine dei lavori di costruzione dell'impianto, l'area di cantiere, le opere temporanee di adeguamento della viabilità e quelle funzionali alla realizzazione dell'impianto saranno rimosse ed i luoghi saranno ripristinati come ante operam.

La presente relazione descrive, nel dettaglio, il calcolo e dimensionamento della rete in media tensione e in alta tensione.

2. Norminativa e documentazione di riferimento

Le norme tecniche e i documenti di riferimento utilizzate per la stesura del suddetto documento:

- IEC 60502-2: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m=1.2$ kV) up to 30 kV ($U_m=36$ kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m=7.2$ kV) up to 30 kV ($U_m=36$ 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 (10/2011);
- Legge 01 marzo 1968 n.186: Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici;
- Norma CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici.
- Norma CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo;
- Norma IEC 60909: Calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti trifasi a corrente alternata;
- Norma CEI EN 50110-1: Esercizio degli impianti elettrici;
- Norma CEI EN 50363: Materiali isolanti, di guaina e di rivestimento per cavi di energia di bassa tensione;
- Norma CEI EN 50522: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1kV in c.a.;
- Norma CEI EN 50541-1: Trasformatori trifase di distribuzione di tipo a secco a 50 Hz, da 100 kVA a 3150 kVA e con una tensione massima per il componente non superiore a 36 kV;
- Norma CEI EN 60071: Coordinamento dell'isolamento;
- Norma CEI EN 60076-1: Trasformatori di potenza –Parte 1 Generalità;
- Norma CEI EN 60099-4/A2, CEI 37-2;V2: Scaricatori. Parte 4: Scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri per reti elettriche a corrente alternata;
- Norma CEI EN 61082-1: Preparazione di documenti utilizzati in elettrotecnica - Parte 1: Prescrizioni generali;
- Norma CEI EN 61936-1: Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni;
- Documento di armonizzazione CENELEC HD 637 S1: Power installations exceeding 1 kV a.c.;
- Norma IEC 60204-1: Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements;
- Norma IEC 60228: Conductors of insulated cables;
- Norma IEC 60502: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV);
- Terna Allegato A.3 Codice di rete - Requisiti e caratteristiche di riferimento di stazioni e linee elettriche della RTN;
- Terna Allegato A.17 Codice di rete - CENTRALI EOLICHE: Condizioni generali di connessione alle reti AT - Sistemi di protezione regolazione e controllo;
- 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.

3. Condizioni ambientali

- 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. Dati di impianto

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

RETE AT-MT

- | | |
|---------------------------------------------------------------|---------|
| • Sistema | trifase |
| • Frequenza | 50 Hz |
| • Tensione nominale (lato MT-Utente) | 30 kV |
| • Tensione nominale (lato AT-Utente) | 132 kV |
| • Tensione nominale (lato AT-RTN) | 132 kV |
| • Corrente massima di corto circuito trifase (lato AT-RTN) | 31.5 kA |
| • Corrente massima di corto circuito monofase (lato AT-RTN) 1 | 20 kA |

AEROGENERATORI

- | | |
|---------------------|---------|
| • Potenza nominale | 7200 kW |
| • Tensione nominale | 0.72 kV |

TRASFORMATORI WTG

- | | |
|------------------------------|------------|
| • Potenza nominale | 8400 kVA |
| • Rapporto di trasformazione | 30/0.72 kV |
| • Tensione di corto circuito | 9,9% |
| • Collegamento | Dyn 11 |
| • Regolazione | 2±2x2.5 % |

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

5. Caratteristiche 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 e alta tensione.

5.1. Caratteristiche elettriche cavi in media tensione

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

- sistema elettrico 3 fasi – c.a.
- frequenza 50 Hz
- tensione nominale 30 kV
- tensione massima 36 kV
- categoria sistema B

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.

Nel dettaglio le sezioni di posa del cavidotto sono riportate nel relativo elaborato di progetto (Consultare l'elaborato IT-VESSIB-TEN-ELE-DW-03 - Sezioni tipo cavidotto interrato)

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 la massima temperatura di esercizio è di 90°C mentre quella di cortocircuito è di 250°C.

Caratteristiche funzionali e costruttive

I cavi MT utilizzati per le linee elettriche interrate, per il collegamento di potenza tra gli aerogeneratori e la stazione elettrica di trasformazione 30/132 kV, sono adatti a posa interrata, con conduttore in Al, isolamento XLPE, schermo in tubo Al, guaina in PE.

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.

Sono di seguito riportate in "Tabella 1" le sezioni, le portate (nell'ipotesi di resistività termica del terreno pari a 2,0 °C*m/W) (Catalogo Prysmian-18/30 kV-(36 kV)) e le lunghezze dei cavi utilizzati per il collegamento dell'impianto.

Tabella 1 – Cavi di collegamento MT

COLLEGAMENTI IMPIANTO EOLICO	SIGLIA	SEZIONE CONDUTTORE [mm ²]	PORTATA NOMINALE (RT=2 °C*m/W)	LUNGHEZZA [m]	
GRUPPO 1	T03 – T01	ARE4H5E	95	196 A	845
	T01 – T02	ARE4H5E	300	369 A	1490
	T02-SE	ARE4H5E	630	545 A	3570
GRUPPO 2	T04-T05	ARE4H5E	95	196 A	610
	T05-T07	ARE4H5E	300	369 A	910
	T07-SE	ARE4H5E	630	545 A	2080
GRUPPO 3	T06-T08	ARE4H5E	95	196 A	2700
	T09-T08	ARE4H5E	95	196 A	1195
	T08-SE	ARE4H5E	630	545 A	620

5.1.1. Tipologia di posa


Il cavidotto MT che interessa il collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione elettrica di trasformazione 30/132 kV seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, sarà costituito da cavi unipolari 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 **tipo 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 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 direttamente sullo strato di sabbia;
- Posa della protezione meccanica supplementare;
- Ulteriore strato di sabbia per complessivi 30 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 mmq per la messa a terra dell'impianto.

Nel dettaglio le sezioni di posa del cavidotto sono riportate nell'elaborato di progetto IT-VESSIB-TEN-ELE-DW-03 - Sezioni tipo cavidotto interrato.

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 in base al numero di tubi presenti.

Sibilla Wind S.r.l.		N° Doc. IT-VESSIB-TEN-CAL-TR-02	Rev 0	Pagina 7 di 15
---------------------	----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------	-------	-------------------

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 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.

5.1.2. 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".

5.2. Caratteristiche elettriche cavi in alta tensione

Il collegamento tra la stazione di trasformazione 30/132 kV e la stazione elettrica in condivisione con altri produttori, sarà realizzato mediante una linea interrata composta da una terna di cavi a 132 kV in alluminio con isolamento in XLPE di sezione pari a 400 mm², per una lunghezza pari a circa 21 km.

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

- | | |
|---------------------|---------------|
| • sistema elettrico | 3 fasi – c.a. |
| • frequenza | 50 Hz |
| • tensione nominale | 132 kV |
| • tensione massima | 145 kV |
| • categoria sistema | A |

Tensione di isolamento del cavo

Dalla tab. 4.1.6 della norma CEI 11-17 in base a tensione nominale e massima del sistema la tensione di isolamento U₀ corrispondente è 76 kV.

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 la massima temperatura di esercizio è di 90°C mentre quella di cortocircuito è di 250°C.

Caratteristiche funzionali e costruttive

I cavi in progetto, con isolamento in XLPE e conduttore in alluminio di sezione pari a 400 mm², sono formati secondo il seguente schema costruttivo (tabella tecnica TRATOS HV - 76/132 kV-(145 kV)):

- Conduttore a corda rigida rotonda, compatta e tamponata di alluminio;
- Schermo semiconduttore;
- Isolante costituito da uno strato di polietilene reticolato estruso insieme ai due strati semiconduttivi;
- Schermo semiconduttore;
- Dispositivo di tamponamento longitudinale dell'acqua;
- Schermo metallico, in piombo o alluminio, o a fili di rame ricotto o a fili di alluminio non stagnati opportunamente tamponati, o in una loro combinazione e deve contribuire ad assicurare la protezione meccanica del cavo, assicurare la tenuta ermetica radiale, consentire il passaggio delle correnti corto circuito;
- Rivestimento HDPE in grafite o strato semiconduttore estruso

Tabella 2 – Cavi di collegamento AT


COLLEGAMENTI IMPIANTO EOLICO	SIGLIA	SEZIONE CONDUTTORE [mm ²]	PORTATA NOMINALE (RT=1,2 Km/W)	LUNGHEZZA [m]
SEU-SE	ELECTRIC CABLE 76/132 kV	400	515 A	21000

5.2.1. Tipologia di posa

Il cavidotto AT 132 kV che interessa il collegamento tra la stazione elettrica di trasformazione 30/132 kV e la stazione elettrica in condivisione con altri produttori, seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, sarà costituito da cavi unipolari 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 **tipo 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 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 direttamente sullo strato di sabbia;
- Posa della protezione meccanica supplementare;
- Ulteriore strato di sabbia per complessivi 30 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.

Nel dettaglio le sezioni di posa del cavidotto sono riportate nell'elaborato di progetto IT-VESSIB-TEN-ELE-DW-03 - Sezioni tipo cavidotto interrato.

Sibilla Wind S.r.l.		N° Doc. IT-VESSIB-TEN-CAL-TR-02	Rev 0	Pagina 9 di 15
---------------------	----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------	-------	-------------------

5.2.2. 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 132 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 Alta Tensione".

Le giunzioni servono per collegare tra loro due pezzature contigue di cavo. Una giunzione AT è generalmente costituita da:

- una connessione metallica dei conduttori (connettore);
- un elemento di controllo del campo elettrico;
- uno o più elementi di ricostruzione dell'isolamento;
- schermatura metallica con relativo ripristino della continuità degli schermi dei cavi;
- rivestimenti esterni (per la protezione meccanica ed il tamponamento nei confronti dell'umidità).

L'involucro esterno delle giunzioni deve essere realizzato con materiale resistente agli agenti presenti nel terreno; l'impiego di nastri, vernici, smalti o materie similari non è considerato sufficiente ad assicurare la protezione necessaria. L'involucro esterno deve risultare ermetico alle infiltrazioni che potrebbero verificarsi durante l'esercizio (acqua, umidità, ecc.). Inoltre, le giunzioni devono essere realizzate in modo da impedire la migrazione longitudinale dell'acqua lungo gli schermi dei cavi.

Le principali tecnologie costruttive prevedono l'utilizzo di:

- elementi preformati di materiale retraibile a caldo (termorestringente);
- elementi preformati di materiale retraibile a freddo (autorestringente);
- resina epossidica iniettata per la ricostruzione dell'isolamento.

6. Verifiche reti MT e AT

6.1. Modalità e criterio 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 corti circuito ai nodi è effettuato con il software Neplan[®], mediante un calcolo di load flow (con metodo Newton Raphson), 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 maggiore 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.

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 delle perdite complessive delle linee in AT (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 il collegamento tra il gruppo di aerogeneratori e la stazione elettrica di trasformazione 30/132 kV (limite = 4%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee AT per il collegamento tra la stazione elettrica di trasformazione 30/132 kV e la stazione elettrica in condivisione con altri produttori (limite = 4%);

Le condizioni di calcolo sono le seguenti:

- Potenza di ciascuna tratta corrispondente alla potenza nominale dei gruppi di generazione;
- Tensione nominale MT 30 kV;
- Tensione nominale AT 132 kV;
- Resistenza dei cavi riportata alla massima temperatura operativa (90 °C);
- Fattore di potenza dei gruppi pari a 1;
- Resistività termica del terreno pari a 2°C*m/W.

6.2. Interpretazione dei risultati

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

Nelle colonne viene indicato con la sigla **N** ___ l'elemento nodo in bassa tensione, con la sigla **B** ___ l'elemento nodo in media tensione, con la sigla **M** ___ l'elemento nodo in alta tensione, con la sigla **A** ___ l'elemento generatore, con la sigla **TR** ___ l'elemento trasformatore e con la sigla **L** ___ l'elemento Linea.

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 3 - Risultati Load Flow

IMPIANTO EOLICO - LOAD FLOW						
Element	Type	P	Ib	Loading	P Loss	P Fe
name		kW	A	%	kW	kW
T01	Macchina sincrona	-7200	5699,9			
T02	Macchina sincrona	-7200	5716,8			
T03	Macchina sincrona	-7200	5684,7			
T04	Macchina sincrona	-7200	5708,7			
T05	Macchina sincrona	-7200	5719,8			
T06	Macchina sincrona	-7200	5667,6			
T07	Macchina sincrona	-7200	5730,2			
T08	Macchina sincrona	-7200	5716			
T09	Macchina sincrona	-7200	5694,4			
TR01	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
TR02	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
TR03	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
TR04	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
TR05	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
TR06	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
TR07	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
TR08	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
TR09	Trasformatore 2 avv.	8400	5705,2	85,71	31,845	8,415
L03-1	Linea	7168,23	136,3	80,85	19,574	
L01-2	Linea	14316,81	272,8	85,98	45,228	
L02-SSE	Linea	21439,65	409,7	96,38	132,697	
L04-5	Linea	7168,11	136,8	81,19	14,252	
L05-7	Linea	14321,9	273,9	86,32	27,847	
L07-SSE	Linea	21462,05	411,2	96,73	77,904	
L06-8	Linea	7168,32	135,9	80,6	62,106	
L09-8	Linea	7168,18	136,5	80,98	27,771	
L08-SSE	Linea	21414,7	409,1	96,24	23	
LSEU-SE	Linea	63788,37	248,4	64,31	177	
RTN	Alimentazione rete	63610,87	249,7			

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:

dove:

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

- 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 per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento;
- k_2 = coefficiente di correzione che tiene conto del numero di circuiti affiancati (più cavi o più tubi);
- k_3 = coefficiente di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento;
- k_4 = coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento.

Il valore di I_0 per i cavi in media tensione 30 kV ricavato dal datasheet dei fornitori (**Rif. Guida tecnica Prysmian**) è riferito alle seguenti condizioni (IEC 60502-2):

- temperatura del terreno 20°C;
- profondità di posa 0,8 m;
- resistività termica del terreno riportata sia ad 1°C*m/W che a 2°C*m/W;
- temperatura di funzionamento pari a 90 °C.


Per la temperatura del terreno si è mantenuto il valore di riferimento di 20 °C ($k_1 = 1$). Per i circuiti affiancati la distanza considerata tra le terne considerata è stata valutata pari a 25 cm.

Sono stati, pertanto, considerati i seguenti coefficienti di correzione k_2 (**Rif. Guida tecnica Prysmian**):

Tabella 4 - Coefficienti di derating della portata per più circuiti affiancati cavi MT

Coefficiente di Riduzione k_2	Numero di cavi o terne (in orizzontale)		
	2	2	3
Cavi MT	0,86	0,78	0,74

In assenza di informazioni specifiche sulle caratteristiche termiche del terreno, variabili sulla base di diversi fattori (composizione, umidità, ecc...), è stata considerata una resistività termica pari a 2 °C*m/W per tutti i collegamenti. 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...). ($k_3 = 1$, portata considerata da datasheet già relativa ad un valore di resistività termica pari a 2 °C*m/W). È stata infine considerata una profondità di posa media pari a 1,2 m ($k_4 = 0,98$).

Sibilla Wind S.r.l.		N° Doc. IT-VESSIB-TEN-CAL-TR-02	Rev 0	Pagina 13 di 15
---------------------	----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Per i cavi in alta tensione 132 kV, il valore di I_0 ricavato dal datasheet dei fornitori (**Rif. Guida tecnica Tratos**) è riferito alle seguenti condizioni (IEC 60502-2):

- temperatura del terreno 20°C;
- profondità di posa 1 m;
- resistività termica del terreno riportata 1.2 Km/W;
- temperatura di funzionamento pari a 90 °C.

Per la temperatura del terreno si è mantenuto il valore di riferimento di 20 °C ($k_1 = 1$). Per il collegamento in AT, non ci sono circuiti affiancati.

In assenza di informazioni specifiche sulle caratteristiche termiche del terreno, variabili sulla base di diversi fattori (composizione, umidità, ecc...), è stata considerata una resistività termica pari a 2 °C*m/W per il collegamento in AT. 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...). ($k_3 = 0,79$, portata considerata da datasheet relativa ad un valore di resistività termica pari a 2° Km/W). È stata infine considerata una profondità di posa media pari a 1,2 m ($k_4 = 0,95$). (**Rif. Guida tecnica Tratos**)

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 MT a partire dai gruppi di aerogeneratori fino alla stazione elettrica di trasformazione e per il cavidotto AT di collegamento tra la stazione elettrica di trasformazione e la stazione elettrica in condivisione con altri produttori. .

I valori delle tensioni ai nodi sono deducibili dal diagramma di Allegato 2.

Al fine di verificare la tenuta dei cavi al corto circuito, per le diverse sezioni saranno effettuati i seguenti calcoli. In particolare, secondo quanto previsto dalla normativa, sono stati calcolati i tempi di intervento massimi delle protezioni in caso di guasto trifase massimo, al fine di verificare il vincolo sull'energia passante per le sezioni scelte. La relazione è la seguente:

con:

- K: costante del cavo che dipende dal materiale di cui è costituito il conduttore, dall'isolamento e dalle temperature massime ammesse durante il servizio ordinario e in corto circuito [$A^{*s^{1/2}}/mm^2$];
- S: sezione del conduttore [mm^2];
- t: durata del guasto [s];
- I: corrente di corto circuito trifase [A].

In accordo alla Norma CEI 11-17 (Tab. 4.2.2), il valore di K considerato è pari a $92 A^{*s^{1/2}}/mm^2$ calcolato con temperatura iniziale e finale pari a $90^\circ C$ e $250^\circ C$ rispettivamente (cavo in Al con isolamento in polietilene reticolato XLPE). Il criterio di tenuta è stabilito sulla base del tempo ricavato dal tempo massimo di estinzione del guasto (t), il cui limite è stabilito pari a 1 s.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di calcolo relativi alla portata effettiva, quelli relativi alla caduta di tensione di ciascuna tratta e la tenuta al cortocircuito considerando il massimo transito di potenza attiva.

Tabella 5 – Portata effettiva, caduta di tensione di ciascuna tratta.

node 1	node 2	Element name	mat	n	Tensione [kV]	Sez [mm ²]	Iz [A]	ΔUn [%]	tmax [s]
B03	B01	L03-1	Al	1	30	95	168,6i	0,2	>5
B01	B02	L01-2	Al	1	30	300	317,3	0,2	>5
B02	NMT2	L02-SEU	Al	1	30	630	425,1	0,6	>5
B04	B05	L04-5	Al	1	30	95	168,6	0,2	>5
B05	B07	L05-7	Al	1	30	300	317,3	0,2	>5
B07	NMT2	L07-SEU	Al	1	30	630	425,1	0,3	>5
B06	B08	L06-8	Al	1	30	95	168,6	0,9	>5
B08	B09	L08-9	Al	1	30	95	168,6	0,4	>5
B08	NMT1	L08-SEU	Al	1	30	630	425,1	0,1	>5
NTM	RTN	LSEU-SE	Al	1	132	400	386,3	0,3	>5

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 aerogeneratori e la stazione elettrica di trasformazione 30/132 kV e linee AT di collegamento tra la stazione elettrica di trasformazione 30/132 kV e la stazione elettrica in condivisione con altri produttori sono rispettivamente inferiori al 4% previsto nei criteri di verifica descritti nel paragrafo 6.1.

6.6. 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 in MT e AT, dei trasformatori di macchina, nelle condizioni di progetto previste.

La tabella 6 riporta le perdite complessive per impianto eolico:

Tabella 6 - Perdite complessive

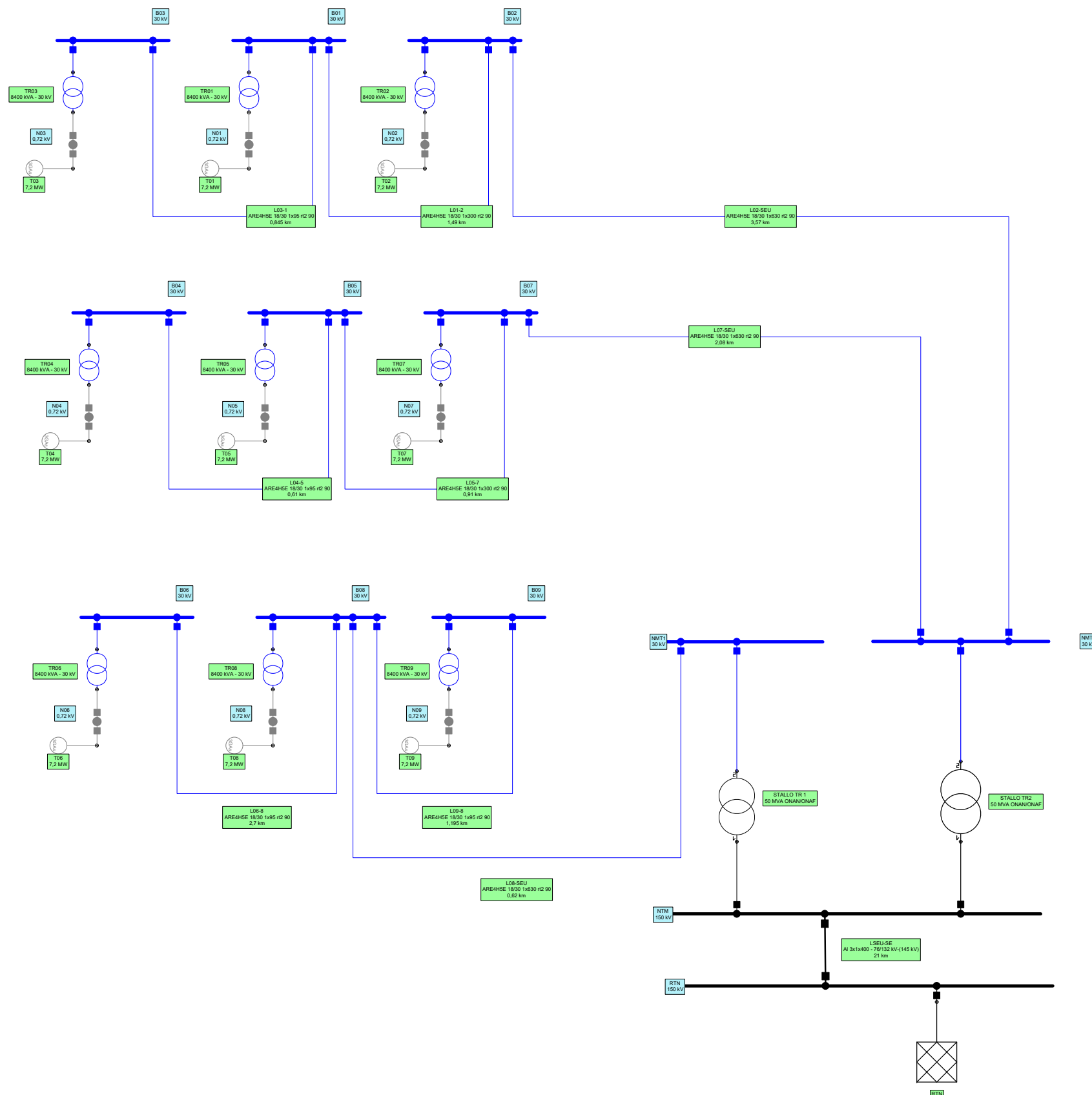
IMPIANTO EOLICO MONTALTO DI CASTRO - SOMMARIO				
	N.		kW	
WTG	9	P TOT	64800	
Un	Perdite Linee		Perdite trasformatori	
kV	kW	%	kW	%
30	430,38	0,66%	286,82	0,44%
150	117,5	0,18%	294,42	0,45%
Perdite totali impianto				
kW	1129,12	%	1,74%	

Come si evince dalla tabella, il valore delle perdite totali delle linee MT è pari a **0,66%**, mentre per le linee AT è pari a **0,18%** rispettivamente inferiori al **4%** previsto.

Complessivamente considerando le perdite dei trasformatori di ciascun aerogeneratore, dei trasformatori MT/AT il valore di perdite complessive raggiunge il **1,74%**.

I risultati dei calcoli di cui sopra dimostrano la correttezza delle scelte operate sulle sezioni dei cavi per l'impianto in progetto.

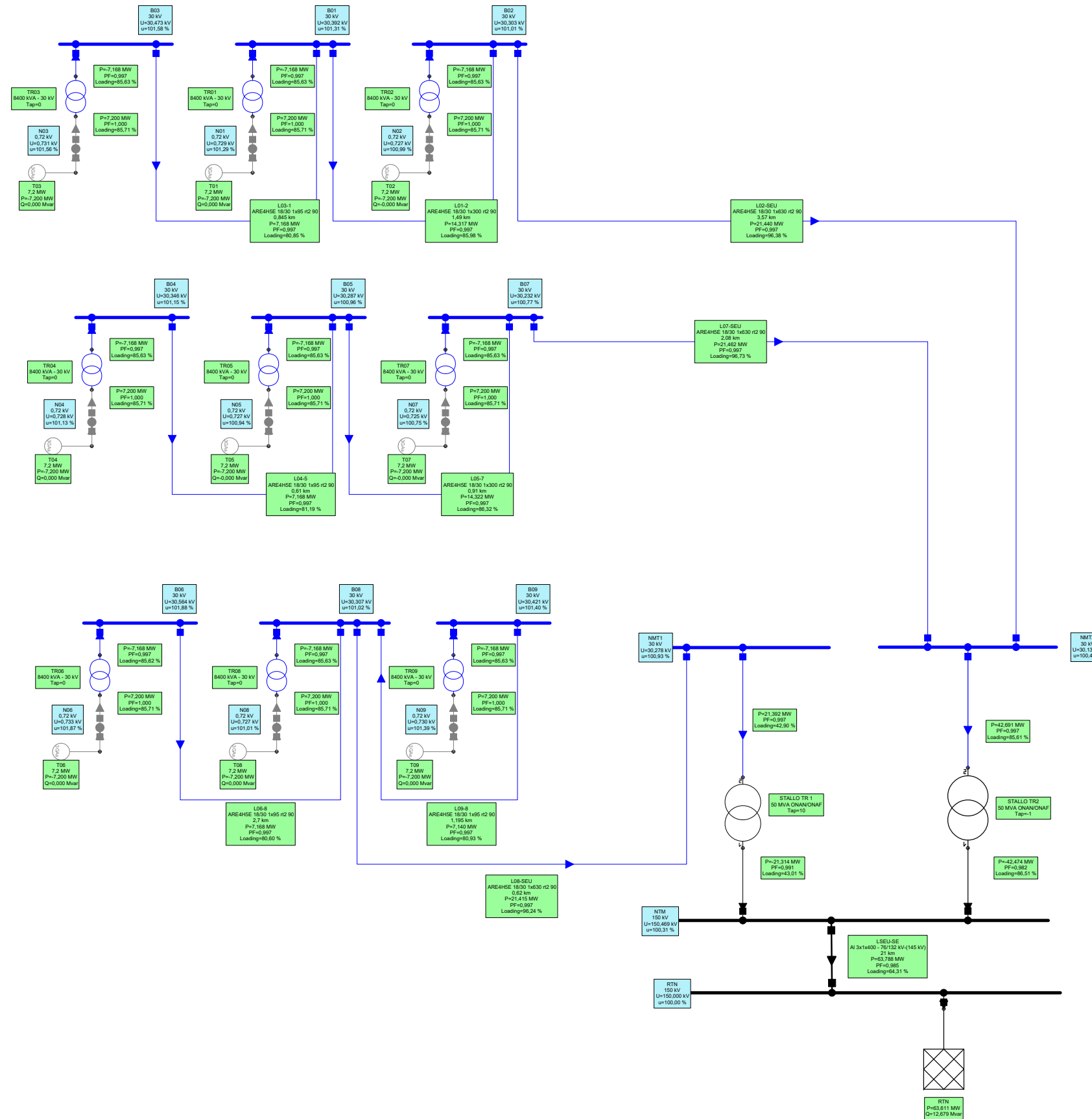
Si fa presente che il calcolo delle perdite sopra esposto non tiene conto delle perdite intrinseche dell'impianto eolico.



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		

Didascalia	
	Carichi in linea
	0,720 kV
	30,000 kV
	150,000 kV

Project: GE MDC03	created	FDM	MO
Layout elettrico	changed		
	changed		
Variant: rev 00	changed		
	changed		
7 Aerogeneratori 7.2 MW			
BCP Busarello + Colt + Partner Bahnhofstr. 40 CH-8703 Erlenbach (Switzerland) www.neplan.com		Date: 05-dic-2022	
		NEPLAN	



distanza 2 terne
 25 cm
 $KI=0.86$

distanza 3 terne
 25 cm
 $KI=0.78$

distanza 4 terne
 25 cm
 $KI=0.74$

distanza 6 terne
 25 cm
 $KI=0.69$

Didascalia

- Elementi sovraccarichi
- Carichi in linea
- 0,720 kV
- 30,000 kV
- 150,000 kV

Project: GE MDC03	created: FCM	MO
Layout elettrico	changed:	
Variant: rev 00	changed:	
7 Aerogeneratori 7.2 MW	changed:	
BCP Busanello + Coti + Partner Bahnhofstr. 40 CH-8703 Erlenbach (Switzerland) www.neplan.com		Date: 05-dic-2022
NEPLAN		