

Impianto eolico “Monte Pranu”

Progetto definitivo

Oggetto:

VIL.051 – Relazione di calcolo preliminare impianti elettrici

Proponente:



Sardeolica Srl
Sesta Strada Ovest
09068 Uta; ZI Macchiareddu
Italy

Progettista:



Stantec S.p.A.
Centro Direzionale Milano 2, Palazzo Canova
Segrate (Milano)



Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	02/10/2023	Prima Emissione	D.Stangalino	D. Mansi	D.Stangalino
01	15/11/2023	Integrati commenti	D.Stangalino	D. Mansi	D.Stangalino
Fase progetto: Definitivo			Formato elaborato: A4		

Nome File: **VIL.051.01 - Relazione di calcolo preliminare impianti elettrici.docx**

Indice

1	PREMESSA	3
1.1	DESCRIZIONE DEL PROPONENTE.....	3
1.2	CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	4
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
4	IMPIANTO EOLICO.....	8
5	DIMENSIONAMENTO DEI CAVI A 36 kV.....	9
5.1	LINEE IN CAVO A 36 kV INTERNE AL PARCO EOLICO	9
6	DIMENSIONAMENTO DEL QUADRO DI ALTA TENSIONE DI RACCOLTA	11
7	VALUTAZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE	12
8	VALUTAZIONE DELLE PERDITE.....	13
8.1	PERDITE SULLE LINEE IN CAVO AT INTERNE AL PARCO EOLICO.....	13
9	LOAD FLOW	15
10	CORTO CIRCUITO DI FASE.....	16
11	GUASTI A TERRA.....	17

Indice delle figure

Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto eolico Monte Pranu	5
Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto eolico Monte Pranu	6

1 PREMESSA

La società Sardeolica S.r.l., d'ora in avanti il proponente, intende realizzare un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica nella provincia del Sud Sardegna, in agro del comune di Villaperuccio.

L'impianto in questione comprende 10 aerogeneratori, tutti situati nel comune di Villaperuccio. Ogni aerogeneratore è caratterizzato da un'altezza all'hub di 119 m ed un diametro fino a 162 m, arrivando a raggiungere un'altezza massima pari a 200 m. Gli aerogeneratori hanno potenza unitaria fino a 7,2 MW, per 72 MW di potenza totale. L'impianto verrà connesso alla RTN a 150 KV mediante cavidotto a 36 kV, il punto di connessione è ubicato lungo la linea RTN esistente S. Giovanni Suergiu - Villaperuccio.

I progetti del tipo in esame rispondono a finalità di interesse pubblico (riduzione dei gas ad effetto serra, risparmio di fonti fossili scarse ed importate) ed in quanto tali sono indifferibili ed urgenti, come stabilito dalla legge 1° giugno 2002, n. 120, concernente "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997" e dal D.Lgs. 29 dicembre 2003, n.387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" e s.m.i.

L'utilizzo di fonti rinnovabili comporta infatti beneficio a livello ambientale, in termini di tonnellate equivalenti di petrolio (TEP) risparmiate e mancate emissioni di gas serra, polveri e inquinanti. Per il progetto in esame si stima una producibilità del parco eolico superiore a 145 GWh/anno (Produzione Media Annuale P50), che consente di risparmiare almeno 27.000 TEP/anno (fonte ARERA: 0,187 TEP/MWh) e di evitare almeno 57.700 ton/anno di emissioni di CO₂(fonte ISPRA, 2022: 397,6 gCO₂/kWh).

1.1 DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

La Società che presenta il progetto è la Sardeolica S.r.l., con sede legale in VI strada Ovest, Z. I. Macchiareddu 09068 Uta (Cagliari) e sede amministrativa in Milano, c/o Saras S.p.A., Galleria Passarella 2, 20122 – Milano.

La Sardeolica S.r.l., costituita nel 2001, fa parte del Gruppo Saras ed ha come scopo la produzione di energia elettrica, lo studio e la ricerca sulle fonti di energia rinnovabili, la realizzazione e la gestione di impianti atti a sfruttare l'energia proveniente da fonti alternative.

È operativa dal 2005 con un Parco eolico composto da 57 aerogeneratori per una potenza totale installata di 128,4MW limitata a 126 MW, nei comuni di Ulassai e Perdasdefogu. La produzione a

regime è di circa 250 GWh/anno, corrispondenti al fabbisogno annuale di circa 85.000 famiglie e a 162.000 tonnellate di emissioni di CO2 evitate all'anno.

A giugno 2021 è stata completata l'acquisizione del parco eolico di Macchiareddu, battezzato "Amalteja", attraverso la formalizzazione dell'acquisto da parte di Sardeolica delle 2 società proprietarie, Energia Verde S.r.l. ed Energia Alternativa S.r.l. Il parco "Amalteja" ha una potenza complessiva di 45 MW ed è suddiviso nei due impianti di Energia Verde 21 MW (14 turbine) in esercizio dal 2008, e di Energia Alternativa da 24 MW (16 turbine) in esercizio dal 2012.

La produzione dei due parchi eolici è pari a circa 56 GWh/anno e consente di evitare emissioni di CO2 per circa 36.000 ton/anno, provvedendo al fabbisogno elettrico annuo di circa 40.000 persone.

Sardeolica gestisce direttamente l'esercizio e la manutenzione dei Parchi eolici e assicura i massimi livelli produttivi di energia elettrica, adottando le migliori soluzioni del settore in cui opera, garantendo la salvaguardia della Salute e della Sicurezza sul Lavoro, dell'Ambiente, nonché della Qualità dei propri processi produttivi.

La società ha certificato il proprio Sistema di Gestione secondo gli standard ISO 45001 (Salute e Sicurezza sul Lavoro), ISO 14001 (Ambiente) e ISO 9001 (Qualità) e ISO 50001 (Energia). Inoltre è accreditata EMAS.

1.2 CONTENUTI DELLA RELAZIONE

La presente relazione ha l'obiettivo descrivere i criteri di dimensionamento del nuovo impianto eolico denominato Monte Pranu. Nel capitolo 2 verrà fornito l'inquadramento territoriale dell'intervento, mentre il capitolo 3 contiene i riferimenti normativi presi a riferimento per la redazione dell'elaborato.

Successivamente, il capitolo 4 descriverà la struttura dell'impianto eolico, mentre i capitoli successivi andranno a trattare i vari aspetti relativi al calcolo preliminare degli impianti, vale a dire:

- Dimensionamento dei cavidotti a 36 kV
- Dimensionamento del quadro di alta tensione
- Valutazione delle cadute di tensione
- Valutazione delle perdite
- Load flow
- Corto circuito di fase
- Guasti a terra.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito in cui sarà ubicato il parco eolico di nuova costruzione è collocato nel comune di Villaperuccio, nella provincia del Sud Sardegna, in Sardegna.

L'impianto eolico denominato "Monte Pranu" è localizzato a circa 45 km dal capoluogo, a circa 4 km dal centro urbano del comune di Villaperuccio, ed a circa 4 km in direzione ovest e sud rispettivamente dai centri abitati dei comuni di Tratalias e Giba.

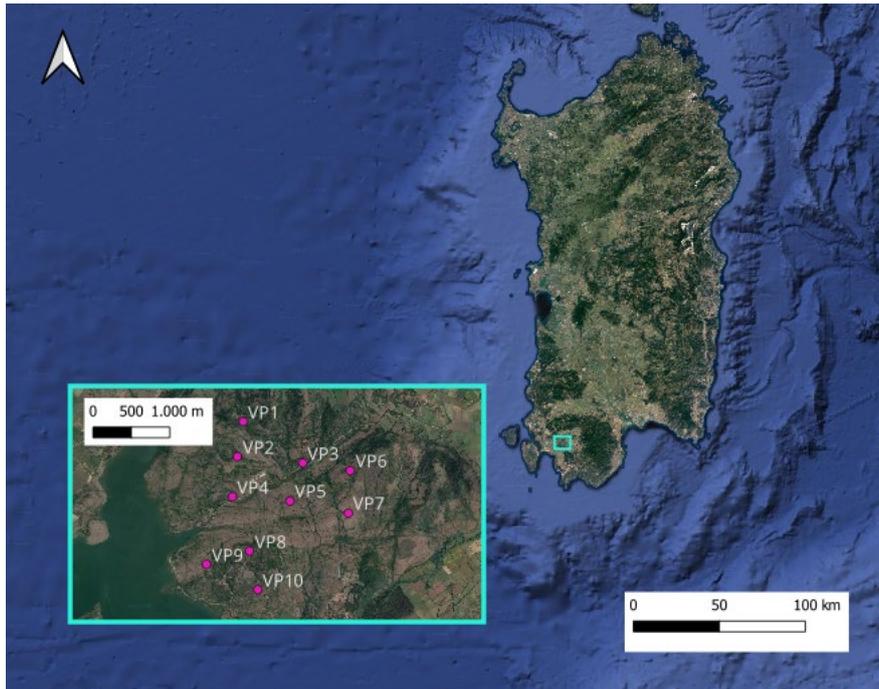


Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto eolico Monte Pranu

L'impianto eolico denominato "Monte Pranu" è situato in una zona prevalentemente collinare non boschiva caratterizzata da un'altitudine media pari a circa 100 m s.l.m., con sporadiche formazioni di arbusti e la presenza di terreni incolti.

Il parco eolico ricade all'interno dei seguenti fogli catastali:

- Fogli 3,4,6,7 nel comune di Villaperuccio

In Figura 2-2 è riportato l'inquadramento territoriale dell'area nel suo stato di fatto e nel suo stato di progetto, con la posizione degli aerogeneratori su ortofoto.

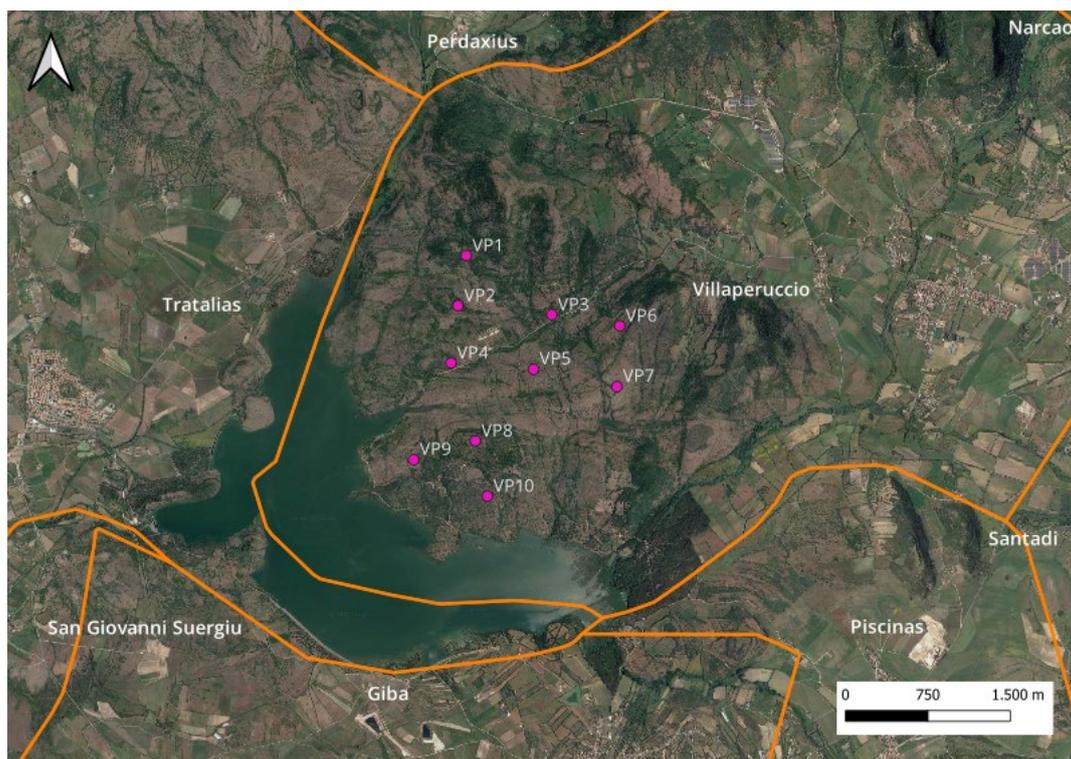


Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto eolico Monte Pranu

Si riporta in formato tabellare un dettaglio sulla localizzazione delle turbine eoliche di nuova costruzione, in coordinate Gauss-Boaga (EPSG 3003):

Tabella 1: Localizzazione geografica degli aerogeneratori di nuova costruzione

ID	Comune	Est	Nord	Quota (slm)
VP1	Villaperuccio	1467281,72	4329642,03	128
VP2	Villaperuccio	1467206,57	4329183,01	103
VP3	Villaperuccio	1468058,81	4329100,03	78
VP4	Villaperuccio	1467142,90	4328657,79	54
VP5	Villaperuccio	1467892,66	4328599,64	79
VP6	Villaperuccio	1468676,6	4328997,54	145
VP7	Villaperuccio	1468651,37	4328441,09	139
VP8	Villaperuccio	1467363,36	4327944,06	115
VP9	Villaperuccio	1466803,48	4327769,96	70
VP10	Villaperuccio	1467473,24	4327437,77	76

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella stesura della presente relazione tecnica, sono state seguite le prescrizioni indicate e applicabili al caso specifico dalle seguenti norme:

- ✓ Guida CEI 0-2 II Ed. 2002, "Guida per la definizione della documentazione di progetto per gli Impianti Elettrici".
- ✓ Norma CEI EN 61936-1, "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- ✓ Parte 1: Prescrizioni comuni".
- ✓ Norma CEI EN 50522, "Messa a terra degli impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a".
- ✓ Norma CEI 11-17, "Linee in cavo".
- ✓ Norma IEC 62271-200, "A.C. metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV".
- ✓ Norma CEI 64-8, "Impianti elettrici utilizzatori".
- ✓ Norma CEI EN 60076, "Trasformatori di potenza".
- ✓ Norma CEI 0-16, "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica".
- ✓ Codice di rete Terna

4 IMPIANTO EOLICO

Il progetto di costruzione dell'impianto eolico consiste nell'installazione di n. 10 torri di generazione eolica di nuova costruzione ciascuna equipaggiata con generatore asincrono DFIG in bassa tensione 690 V da 7,2 MW, convertitore di frequenza per la regolazione della corrente di rotore, interruttore principale, servizi ausiliari, trasformatore elevatore a 36 kV e quadro di alta tensione (42 kV isolamento) per la connessione esterna. Tutte le suddette apparecchiature sono installate all'interno della navicella della torre eolica.

Trasformatore elevatore singolo generatore eolico

Tensione primaria	36 kV $\pm 2 \times 2,5\%$ a vuoto
Potenza nominale	8,6 MVA
Gruppo vettoriale	YNd11
Tensione secondaria	0,690 kV
Tensione di corto circuito	8%
Sistema di raffreddamento	AN/AF (resina)
Perdite cc	47,88 kW (valore ipotizzato)

Generatore eolico

Tipologia	asincrono DFIG
Potenza	7,2 MW
Tensione	690 V
Fattore di potenza	0,9
Contributo alla c.c.	4 In

La massima potenzialità del parco eolico sarà di 72 MW.

Il parco eolico sarà suddiviso in n. 4 sottocampi composti da 2 o 3 aerogeneratori collegati in entrata-esci con linee in cavo e connessi al quadro di alta tensione installato all'interno del fabbricato della cabina di raccolta.

Pertanto saranno previsti n. 4 elettrodotti che convoglieranno l'energia prodotta alla cabina di raccolta:

- Elettrodotto 1: aerogeneratori VP1-VP2-VP4
- Elettrodotto 2: aerogeneratori VP8-VP10-VP9
- Elettrodotto 3: aerogeneratori VP5-VP3
- Elettrodotto 4: aerogeneratori VP6-VP7

5 DIMENSIONAMENTO DEI CAVI A 36 kV

5.1 LINEE IN CAVO A 36 kV INTERNE AL PARCO EOLICO

Saranno impiegati cavi unipolari con conduttore in rame, isolamento in XLPE, con tensione di isolamento 20,8/36 kV.

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Sezione	1x300 mm ²	1x400 mm ²
Resistenza a 90°C:	0,0784 ohm/km	0,0622 ohm/km
Reattanza:	0,105 ohm/km	0,102 ohm/km
Capacità:	0,281 µF/km	0,306 µF/km
Portata nominale Iz	535 A	607
Costante cavo	K=143	K=143
Energia specifica passante	1840 10 ⁶ A ² s	3271 10 ⁶ A ² s

In ogni caso, si sottolinea che, al momento della redazione della documentazione progettuale, non risultano ancora disponibili le specifiche tecniche del gestore di rete per il livello di tensione a 36 kV.

Le condizioni di posa utilizzate sono le seguenti:

Modalità di posa	interrato a trifoglio
distanza da terne vicine	25 cm
Temperatura del terreno	25 °C
Profondità di posa pari a	1,2 m
Resistività del terreno	1,5 m °K/W

In relazione alle suddette condizioni di posa, sono stati assunti i seguenti coefficienti di derating della portata:

Coefficiente di correzione per la temperatura del terreno	K1=0,96
Coefficiente di correzione per la profondità di posa	K2=0,96
Coefficiente di correzione per resistività del terreno	K3=1
Coefficiente di correzione per la vicinanza di altri circuiti	K4= 0,75

Pertanto la portata effettiva dei cavi risulta essere:

cavo 1x300mm² $I_{zeff} = I_z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 369,79 \text{ A}$

cavo 1x400mm² $I_{zeff} = I_z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 419,56 \text{ A}$

Corrente di impiego massima I_b 128,3A tratto iniziale alimentato da 1 generatore
256,6A tratto intermedio alimentato da 2 generatori
384,9A tratto finale alimentato da 3 generatori
(valutazioni con $\cos\phi \geq 0,9$ a piena potenza: 7,2 MW)

Verifica della portata $I_b < I_{zeff}$

Sul tratto iniziale saranno utilizzati cavi da 300 mm², mentre sul tratto intermedio e su quello finale sarà sempre utilizzato il cavo da 400 mm² (al fine di contenere la caduta di tensione complessiva).

La corrente di impiego è sempre inferiore alla portata dei cavi utilizzati.

Tempo di intervento protezioni 0,35 s soglia di corto circuito ritardato (51)

Massima c.c. sopportabile $I = K_S / \sqrt{t} = 60,67 \text{ kA}$ cavo 1x300 m²

Massima c.c. sopportabile $I = K_S / \sqrt{t} = 80,89 \text{ kA}$ cavo 1x400 m²

6 DIMENSIONAMENTO DEL QUADRO DI ALTA TENSIONE DI RACCOLTA

Il quadro di alta tensione della cabina di raccolta sarà dimensionato per consentire la connessione delle seguenti linee:

- Sottocampi dall'impianto eolico (4 linee)
- Linea di connessione a futuro shunt reactor da 5 MVA
- Linea di connessione a futuro bank capacitor da 5 MVAR
- Linea di alimentazione del trasformatore dei servizi ausiliari
- Linea di collegamento al trasformatore elevatore

Tenendo conto di:

- massima potenza da evacuare,
- contributo alla presunta corrente di corto circuito da parte della rete in AT, attraverso il trasformatore, e dei generatori eolici,

il quadro sarà dimensionato per i seguenti valori di riferimento:

- Tensione di isolamento 42 kV
- Corrente nominale 1250 A
- Corrente simmetrica di c.c. 20 kA
- Corrente di picco 50 kA

7 VALUTAZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE

Per la valutazione della caduta di tensione sui singoli elettrodotti sono stati considerati i parametri riportati nella seguente tabella:

Elettrodotto 1

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante	Cdt%
VP-1	VP-2	1060	1x300	128,3	0,076
VP-2	VP-4	1625	1x300	256,6	0,233
VP-4	Cabina di raccolta	920	1x400	384,9	0,173
					0,482

Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante	Cdt%
VP-8	VP-10	1110	1x300	128,3	0,0789
VP-10	VP-9	2490	1x300	256,6	0,3572
VP-9	Cabina di raccolta	2870	1x400	384,9	0,5401
					0,976

Elettrodotto 3

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante	Cdt%
VP-6	VP-7	800	1x300	128,3	0,035
VP-7	Cabina di raccolta	1585	1x400	256,6	0,425
					0,460

Elettrodotto 4

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante	Cdt%
VP-5	VP-3	1185	1x300	128,3	0,077
VP-3	Cabina di raccolta	570	1x400	256,6	0,032
					0,109

Occorre evidenziare che le suddette cadute di tensione sono state calcolate considerando come potenza erogabile, la massima potenza dei generatori (7,2 MW), trascurando l'assorbimento degli ausiliari e le perdite sul trasformatore elevatore di ciascuna torre. Le reali cadute di tensione saranno inferiori ai valori indicati.

8 VALUTAZIONE DELLE PERDITE

8.1 PERDITE SULLE LINEE IN CAVO AT INTERNE AL PARCO EOLICO

Per la valutazione delle perdite di trasporto (perdite per effetto Joule) sui singoli elettrodotti sono stati considerati i seguenti parametri:

Resistenza dei cavi:

Si veda il paragrafo 4.1

Corrente di impiego delle condutture:

corrispondente alla massima potenza erogabile (7,2 MW) con fattore di potenza 0,9, quindi trascurando la potenza assorbita dagli ausiliari di ogni singolo generatore e le perdite sul trasformatore elevatore di ogni singola torre eolica.

Elettrodotto 1

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
VP-1	VP-2	1060	1x300	4,104	
VP-2	VP-4	1625	1x300	25,167	
VP-4	Cabina di raccolta	920	1x400	25,434	
				54,705	0,253%

Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
VP-8	VP-10	1110	1x300	4,259	
VP-10	VP-9	2490	1x300	38,563	
VP-9	Cabina di raccolta	2870	1x400	79,344	
				122,167	0,566%

Elettrodotto 3

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
VP-6	VP-7	800	1x300	1,157	
VP-7	Cabina di raccolta	1585	1x400	89,096	
				90,252	0,627

Elettrodotto 4

DA	A	Lunghezza	Sezione	Perdite in	Perdite
----	---	-----------	---------	------------	---------

		[m]	[mm2]	linea [kW]	%
VP-5	VP-3	1185	1x300	3,739	
VP-3	Cabina di raccolta	570	1x400	1,427	
				5,166	0,036

9 LOAD FLOW

I flussi di potenza dell'impianto eolico sono stati calcolati considerando la piena potenza dei generatori eolici (7,2 MW $\cos\phi=0,9$) decurtata delle perdite sul trasformatore elevatore di ogni torre (36 kV/690V $vcc\%=8\%$ perdite nel rame 0,57%) e del consumo degli ausiliari (41 kW).

La massima potenza netta immessa in rete da ogni generatore risulta essere pari a 7111 kW.

Pertanto considerando tutti i generatori in servizio con erogazione massima si ha una potenza complessiva evacuabile sulla rete di 71110 kW.

Complessivamente le perdite di trasmissione sono 272,291 KW (perdite per effetto Joule sulle linee).

La potenza netta evacuata risulta essere pari a 70838,9 kW.

Non si evidenziano criticità sugli elettrodotti di collegamento dei sottocampi.

10 CORTO CIRCUITO DI FASE

Le correnti di corto circuito saranno in funzione dei parametri della rete a 36 kV a cui sarà collegato l'impianto. Tali parametri al momento non sono noti, in ogni caso si ritiene che il valore di dimensionamento del quadro della cabina di raccolta (20 kA) sia idoneo per il servizio richiesto.

Il contributo dei generatori asincroni alla corrente di corto circuito lato 36 kV risulta essere pari a 6062 A, ipotizzando un contributo del singolo generatore pari a 4,2 volte la corrente nominale.

11 GUASTI A TERRA

La sezione di alta tensione a 36 kV dell'impianto eolico è esercita con il neutro isolato.

Il contributo alla corrente di guasto monofase è determinato dalle capacità verso terra dei cavi di alta tensione.

Utilizzando la formula approssimata delle norme CEI, la corrente di guasto monofase a terra è calcolabile con la seguente formula $I_g = 0,2 * L * V$ [A] dove:

L = lunghezza delle linee della rete elettrica in km

V = tensione di esercizio in kV

Pertanto la corrente di guasto a terra risulta essere pari a 7,2 A/km.

Complessivamente sull'impianto si ha uno sviluppo di cavi di alta tensione pari a 14,205 km e pertanto la corrente di guasto a terra massima potrebbe essere pari a 102,3 A.

Tale corrente sarà opportunamente rilevata con protezioni direzionali di guasto a terra (67N).