



Green Power

Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.C.24.IT.W.09458.10.004.01

PAGE

1 di/of 9

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI CALTAVUTURO 1 (PA) PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo elettrico

File: **GRE.EEC.C.24.IT.W.09458.10.004.01 – Relazione di calcolo elettrico**

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	14/04/2023	Revisione dopo commenti	Stangalino	Alfano	Stangalino
00	31/03/2023	First Issue	Stangalino	Alfano	Stangalino

GRE VALIDATION

	F.Accardi	L.Iacofano
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT

Caltavuturo 1

GRE CODE

GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION										
GRE	EEC	C	2	4	I	T	W	0	9	4	5	8	1	0	0	0	4	0	1

CLASSIFICATION

UTILIZATION SCOPE

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. IMPIANTO EOLICO	3
4. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI MEDIA TENSIONE.....	4
4.1. LINEE IN CAVO MT INTERNE AL PARCO EOLICO	4
4.2. LINEE IN CAVO MT DI COLLEGATO AL TRASFORMATORE ELEVATORE	5
5. DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE	6
6. DIMENSIONAMENTO DEL QUADRO DI MEDIA TENSIONE DI RACCOLTA	6
7. VALUTAZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE	7
8. VALUTAZIONE DELLE PERDITE.....	7
8.1. PERDITE SULLE LINEE IN CAVO MT INTERNE AL PARCO EOLICO	7
8.2. PERDITE SUL TRASFORMATORE ELEVATORE.....	8
9. LOAD FLOW.....	8
10. CORTO CIRCUITO DI FASE	9
11. GUASTI A TERRA	9

1. INTRODUZIONE

Lo scopo della presente relazione tecnica è quello di descrivere i criteri di dimensionamento ed esporre i risultati sullo studio di rete per le opere di connessione del nuovo impianto eolico di Caltavuturo 1 che sarà connesso alla rete in alta tensione di RTN, attraverso una dedicata sottostazione collegata in antenna connessione rigida in sbarra alla stazione terna di C.da Colla.

Si tratta della costruzione ex-novo di un impianto eolico che prevede l'installazione di n.6 nuove torri di generazione per una potenza complessiva di 36 MW.

Per la connessione in alta tensione sarà utilizzata la sottostazione esistente che sarà opportunamente ammodernata.

2. 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

3. IMPIANTO EOLICO

Il progetto di costruzione dell'impianto eolico consiste nell'installazione di n. 6 torri di generazione eolica di nuova costruzione ciascuna equipaggiata con generatore asincrono DFIG in bassa tensione 690 V da 6 MW, convertitore di frequenza per la regolazione della corrente di rotore, interruttore principale, servizi ausiliari, trasformatore elevatore a 33 kV e quadro di media tensione (36 kV isolamento) per la connessione esterna. Tutte le suddette apparecchiature sono installate sulla navicella in quota sulla torre di generazione.

Trasformatore elevatore singolo generatore eolico

Tensione primaria	33 kV $\pm 2 \times 2,5\%$ a vuoto
Potenza nominale	6 MVA
Gruppo vettoriale	YNd11
Tensione secondaria	0,690 kV
Tensione di corto circuito	8%
Sistema di raffreddamento	AN/AF (resina)
Perdite cc	34,2 kW (valore ipotizzato)

Generatore eolico

Tipologia	asincrono DFIG
Potenza	6 MW
Tensione	690 V
Fattore di potenza	0,9
Contributo alla c.c.	4 In

La massima potenzialità del parco eolico sarà di 36 MW.

Il parco eolico sarà suddiviso in n. 2 sottocampi composti da 3 aerogeneratori collegati in entra-esci con linee in cavo e connessi al quadro di media tensione installato all'interno del fabbricato della sottostazione di trasformazione. Pertanto saranno previste n. 4 elettrodotti che convoglieranno l'energia prodotta alla sottostazione di trasformazione:

- Elettrodotto 1: aerogeneratori CV1-06 / CV1-05 / CV1-04
- Elettrodotto 2: aerogeneratori CV1-01 / CV1-02 / CV1-03

4. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI MEDIA TENSIONE

4.1. LINEE IN CAVO MT INTERNE AL PARCO EOLICO

Saranno impiegati cavi unipolari con conduttore in alluminio, isolamento in polietilene di tipo XLPE, ridotto spessore di isolamento, schermo in nastro di alluminio e rivestimento esterno in poliolefine tipo DMZ1, aventi sigla ARE4H5E tensione di isolamento 18/30 kV.

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Sezione	1x300 mm ²	1x630 mm ²
Resistenza a 90°C:	0,129 Ω/km	0,060 Ω/km
Reattanza:	0,103 Ω/km	0,092 Ω/km
Capacità:	0,311 μF/km	0,423 μF/Km
Portata nominale Iz	480 A	606 A
Costante cavo	K = 92	K=92
Energia specifica passante	761,76x10 ⁶ A ² s	3004,136x10 ⁶ A ² s

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	1,2 m
Resistività del terreno	1 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=0,92
Coefficiente di correzione per la vicinanza di altri circuiti	K4= 0,75

Pertanto la portata effettiva dei cavi risulta essere:

cavo 1x300mm ²	$I_{zeff} = I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 305,23 \text{ A}$
cavo 1x630mm ²	$I_{zeff} = I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 385,36 \text{ A}$

Corrente di impiego massima Ib 117A tratto iniziale alimentato da 1 generatore
233A tratto intermedio alimentato da 2 generatori
350A tratto finale alimentato da 3 generatori
(valutazioni con $\cos\phi \geq 0,9$ a piena potenza: 6 MW)

Verifica della portata $I_b < I_{zeff}$

Sul tratto iniziale e sul tratto intermedio saranno utilizzati cavi da 300 mm², mentre su quello finale sarà sempre utilizzato il cavo da 630 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 0,5 s soglia di corto circuito ritardato (51)
 Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 39,032 \text{ kA}$ cavo 1x300 m²
 Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 81,97 \text{ kA}$ cavo 1x630 m²

4.2. LINEE IN CAVO MT DI COLLEGATO AL TRASFORMATORE ELEVATORE

Saranno impiegati cavi con conduttore in rame, isolamento HEPR di qualità G7, schermo in di rame e rivestimento esterno in PVC qualità Rz, aventi sigla RG16H1R tensione di isolamento 18/30 kV.

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Tipo di cavo: unipolare - 18/30 kV
 Isolamento: HEPR di qualità G7
 Sezione: 1x240 mm² / 3 conduttori in parallelo per fase
 Resistenza: 0,0985 Ω/km
 Reattanza: 0,110 Ω/km
 Capacità: 0,24 Ω/km

Portata nominale Iz 525 A
 Costante cavo K = 143
 Energia specifica passante 1178x10⁶ A2s

Condizioni di posa in cunicolo in passerella
 Temperatura del terreno 20 °C
 Profondità di posa pari 1,2 m,
 Resistività del terreno 1 m °K/W,

Coefficiente di correzione per la temperatura del terreno K1=1
 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= 0,85

Portata effettiva del cavo I_{zeff} $I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 428,4 \text{ A}$

Corrente di impiego I_b 787,32 A (corrente nominale trasformatore)

Verifica della portata $I_b < I_{zeff} \rightarrow 787,32 \text{ A} < 3 * 428,8 = 1285,20 \text{ A}$

Tempo di intervento protezioni 0,5 s soglia di corto circuito ritardato (51)
 Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 48,5 \text{ kA}$

5. DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE

Il trasformatore elevatore della sottostazione elettrica sarà dimensionato per poter evacuare la seguente potenza:

- Impianto eolico Caltavuturo 1 36 MW

Considerando un margine di riserva del 10%, sarà previsto un trasformatore di potenza 36/45 MVA con sistema di ventilazione ONAN/ONAF.

Il trasformatore sarà dotato di variatore sottocarico sul lato primario per la regolazione di tensione con $\pm 10 \times 1,5\%$ posizioni.

Pertanto le caratteristiche principali del trasformatore elevatore sono:

Tensione primaria	150 kV
Variatore primario	$\pm 10 \times 1,5\%$
Potenza nominale	36/45 MVA
Gruppo vettoriale	YNd11
Tensione secondaria	33 kV
Tensione di corto circuito	11%
Sistema di raffreddamento	ONAN-ONAF
Perdite cc	146,25 kW a potenza nominale (valore ipotizzato 0,325%)

6. DIMENSIONAMENTO DEL QUADRO DI MEDIA TENSIONE DI RACCOLTA

Il quadro di media tensione della sottostazione sarà dimensionato per consentire la connessione delle seguenti linee:

- Sottocampi dall'impianto eolico (2 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 36 kV
- Corrente nominale 1250 A
- Corrente simmetrica di c.c. 25 kA
- Corrente di picco 63 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%
CV1-01	CV1-02	800	1x300	117	0,078
CV1-02	CV1-03	1050	1x300	233	0,206
CV1-03	SST	6350	1x630	350	1,096
					0,720

Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante	Cdt%
CV1-04	CV1-05	1050	1x300	117	0,103
CV1-05	CV1-06	850	1x300	233	0,167
CV1-06	SST	4550	1x630	350	0,785
					1,381

Occorre evidenziare che le suddette cadute di tensione sono state calcolate considerando come potenza erogabile, la massima potenza dei generatori (6 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 MT INTERNE AL PARCO EOLICO

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

Lunghezze:

vedere capitolo 7

Resistenza dei cavi:

vedere paragrafo 4.1

Corrente di impiego delle condutture:

corrispondente alla massima potenza erogabile (6 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 %
CV1-01	CV1-02	800	1x300	4,212	
CV1-02	CV1-03	1050	1x300	22,113	
CV1-03	SST	6350	1x630	139,953	
				166,278	0,924

Elettrodotta 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
CV1-04	CV1-05	1050	1x300	5,528	
CV1-05	CV1-06	850	1x300	17,901	
CV1-06	SST	4550	1x630	100,281	
				123,711	0,687

8.2. PERDITE SUL TRASFORMATORE ELEVATORE

Per la valutazione delle perdite di trasporto sul trasformatore elevatore sono stati considerati i seguenti parametri:

Dati del trasformatore elevatore
vedere capitolo 5

Potenza transitante

Massima potenza erogabile dall'impianto dedotta delle perdite di trasmissione.

Perdite per effetto Joule:

TR1 *146,25 kW*

9. LOAD FLOW

I flussi di potenza dell'impianto eolico sono stati calcolati considerando la piena potenza dei generatori eolici (6 MW $\cos\phi=0,9$) decurtata delle perdite sul trasformatore elevatore di ogni torre (33 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 5918 kW.

Pertanto considerando tutti i generatori in servizio con erogazione massima si ha una potenza complessiva evacuabile sulla rete di 35,508 MW.

Complessivamente le perdite di trasmissione sono 0,290 MW (sulle linee e sui trasformatori elevatori delle torri).

La potenza netta evacuata dall'impianto eolico risulta essere pari a 35,218 MW.

Il variatore sottocarico del trasformatore elevatore è attestato nella posizione +3 per mantenere la tensione sul quadro di media tensione di raccolta a valori prossimi alla tensione nominale 33 kV (100%).

Il trasformatore elevatore della sottostazione in tale condizione è caricato al 80,35% (riferito a 45 MVA), e le sue perdite sono pari a 0,111 MW.

La massima potenza immessa in rete AT risulta pari a 35,107 MW.

Non si evidenziano criticità sugli elettrodotti di collegamento dei sottocampi.

10. CORTO CIRCUITO DI FASE

Per la valutazione del corto circuito di fase sono stati considerati i seguenti parametri di rete:

Rete alta tensione

Tensione nominale	150	kV
Tensione minima	-10	%
Tensione massima	+10	%
Massima corrente trifase	7.468	kA
Rapporto R/X	0,1	
Minima corrente trifase	2.428	kA
Massima corrente monofase	7.152	kA
Tempo di eliminazione del guasto	0,5	s

La corrente di corto circuito trifase sul quadro di raccolta a 33 kV (7,166 kA) è inferiore al valore di dimensionamento del quadro stesso (25 kA).

Le correnti di corto circuito sui cavi di media tensione sono inferiori alla massima corrente ammissibile da parte dei cavi stessi in funzione del tempo di intervento delle protezioni.

Il contributo dei generatori asincroni alla corrente di corto circuito lato 150 kV risulta essere pari a 775,2 A.

11. GUASTI A TERRA

La sezione di alta tensione sottostazione è esercita con il neutro connesso direttamente a terra come da prescrizioni del codice di rete di Terna.

La sezione di media tensione 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 media 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 6,6 A/km.

Complessivamente sull'impianto si ha uno sviluppo di cavi di media tensione pari a 14,65 km e pertanto la corrente di guasto a terra massima potrebbe essere pari a 96,7 A.

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