



Green Power

Engineering &amp; Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.11633.16.001.01

PAGE

1 di/of 10

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI CALTAVUTURO 2

## Progetto definitivo

### Relazione di calcolo preliminare degli impianti



File: GRE.EEC.R.73.IT.W.11633.16.001.01 - Relazione di calcolo preliminare degli impianti

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	22/02/2021	Integrati i commenti	D. Stangalino	N. Novati	D. Stangalino
00	20/11/2020	Prima emissione	D. Stangalino	N. Novati	D. Stangalino

#### GRE VALIDATION

Accardi (GRE)	Luzi (GRE)	Pansini (GRE)
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Caltavuturo 2	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	7	3	I	T	W	1	1	6	3	3	1	6	0	0	1	0

CLASSIFICATION	<b>PUBLIC</b>	UTILIZATION SCOPE	<b>BASIC DESIGN</b>
----------------	---------------	-------------------	---------------------

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 AI TRASFORMATORI ELEVATORI.....	5
5. DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE.....	6
6. DIMENSIONAMENTO DEL QUADRO DI MEDIA TENSIONE DI RACCOLTA .....	7
7. VALUTAZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE .....	7
8. VALUTAZIONE DELLE PERDITE.....	8
8.1. PERDITE SULLE LINEE IN CAVO MT INTERNE AL PARCO EOLICO .....	8
8.2. PERDITE SUL TRASFORMATORE ELEVATORE.....	9
9. LOAD FLOW.....	9
10. CORTO CIRCUITO DI FASE .....	10
11. GUASTI A TERRA .....	10
12. ALLEGATI .....	10

## 1. INTRODUZIONE

Lo scopo della presente relazione tecnica è quello di descrivere i criteri di dimensionamento per la rete di media tensione interna all'impianto eolico e del trasformatore elevatore mt/at.

Si tratta della integrale ricostruzione di un impianto eolico esistente nella stessa località con dismissione delle torri di generazione eolica esistenti e l'installazione di n.8 nuove torri di generazione per una potenza complessiva di 48 MW. In aggiunta saranno connesse alla stessa rete elettrica n. 3 nuove torri di generazione ubicate nel sito di Valledolmo per una potenza di 18 MW.

Per la connessione in alta tensione sarà utilizzata la sottostazione esistente, previo ammodernamento, connessa in sbarra alla esistente CP (cabina Primaria) denominata SM Corvo D400-1-3857385 di proprietà E-distribuzione.

La suddetta CP è connessa in T rigido alla linea AT a 150 kV Caltavuturo-Vallelunga.

## 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 potenziamento dell'impianto eolico consiste nell'installazione di n. 11 torri di generazione eolica di nuova costruzione ciascuna equipaggiata con generatore asincrono DIFG 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 DIFG  
 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 66 MW.

Il parco eolico sarà suddiviso in n. 4 sottocampi composti da 2 o 3 aerogeneratori collegati in entra-esce 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 CVT203-CVT202-CVT201  
 Elettrodotto 2: aerogeneratori CVT204-CVT205-CVT208  
 Elettrodotto 3: aerogeneratori CVT206-CVT207  
 Elettrodotto 4: aerogeneratori VA03-VA02-VA01

**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 <sup>2</sup>	1x630 mm <sup>2</sup>
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 <sup>6</sup> A <sup>2</sup> s	3359,36x10 <sup>6</sup> A <sup>2</sup> s

Le condizioni di posa utilizzate sono le seguenti:

Modalità di posa interrato a trifoglio  
 distanza da terne vicine 25 cm  
 Temperatura del terreno 20 °C  
 Profondità di posa pari 1,5 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=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= 0,75

Pertanto, la portata effettiva dei cavi risulta essere:

cavo 1x300mm <sup>2</sup>	$I_{zeff} = I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 345,6 \text{ A}$
cavo 1x630mm <sup>2</sup>	$I_{zeff} = I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 436,3 \text{ A}$

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  $I_b < I_{zeff}$

Su tutti i tratti saranno utilizzati cavi da 300 mm<sup>2</sup>, mentre sul tratto finale dell'elettrodotto 4 (proveniente dall'impianto di Valledolmo) sarà utilizzato il cavo da 630 mm<sup>2</sup> (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  $I = KS/\sqrt{t} = 46,65 \text{ kA}$  cavo 1x300 m<sup>2</sup>

Massima c.c. sopportabile  $I = KS/\sqrt{t} = 97,9 \text{ kA}$  cavo 1x630 m<sup>2</sup>

#### 4.2. LINEE IN CAVO MT DI COLLEGATO AI TRASFORMATORI ELEVATORI

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 RG7H1R 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 mm <sup>2</sup> / 4 conduttori in parallelo per fase
Resistenza:	0,0985 $\Omega$ /km
Reattanza:	0,11 $\Omega$ /km
Capacità:	0,24 $\Omega$ /km
Numero di cavi in parallelo	4 ogni fase

Portata nominale Iz	525 A
Costante cavo	K = 143
Energia specifica passante	1177,86x10 <sup>6</sup> 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=1
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 <sub>zeff</sub>	$I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 446,25 \text{ A}$
Corrente di impiego I <sub>b</sub>	1401,3 A (corrente secondaria trasformatore)
Verifica della portata	$I_b < I_{zeff} \rightarrow 1400 \text{ A} < 4 * 446,25 = 1785 \text{ A}$
Tempo di intervento protezioni 0,5 s soglia di corto circuito ritardato (51)	
Massima c.c. sopportabile	$I = K S / \sqrt{t} = 48,54 \text{ kA}$

## 5. DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE

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

Impianto eolico Caltavuturo 2: 66 MW

Il trasformatore sarà dimensionato per una potenza complessiva di 66 MW con fattore di potenza 0,9 a cui si aggiunge un margine di riserva del 10%, per una potenza complessiva di 80 MVA con sistema di ventilazione ONAN.

La potenza con sistema di ventilazione ONAF sarà definita in fase di progetto esecutivo (\*).

Il trasformatore sarà dotato di variatore sottocarico sul lato primario per la regolazione di tensione con  $\pm 10 \times 1,25\%$  posizioni.

Pertanto, le caratteristiche principali del trasformatore elevatore sono:

Tensione primaria	150 kV
Variatore primario	$\pm 10 \times 1,25\%$
Potenza nominale	80/* MVA
Gruppo vettoriale	YNd11
Tensione secondaria	33 kV
Tensione di corto circuito	13%
Sistema di raffreddamento	ONAN-ONAF
Perdite cc	299,7 kW a potenza nominale (valore ipotizzato)

## 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 (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

Completterà il quadro di media tensione lo scomparto TV di sbarra per le misure di tensione.

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 1600 A
- Corrente simmetrica di c.c. 25 kA
- Corrente di picco 63 kA

La corrente nominale del quadro risulta superiore alla massima corrente secondaria del trasformatore con ventilazione forzata ONAF.

## 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 <sup>2</sup> ]	Corrente transitante	Cdt%
CVT02-01	CVT02-02	1168	1x300	117	0,115
CVT02-02	CVT02-03	771	1x300	233	0,152
CVT02-03	SST	1736	1x300	350	0,513
					<b>0,780</b>

### Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Corrente transitante	Cdt%
CVT02-08	CVT02-04	1895	1x300	117	0,189
CVT02-04	CVT02-05	797	1x300	233	0,157
CVT02-05	SST	491	1x300	350	0,145
					<b>0,489</b>

Elettrodotto 3

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Corrente transitante	Cdt%
CVT02-07	CVT02-06	749	1x300	117	0,074
CVT02-06	SST	445	1x300	233	0,088
					<b>0,161</b>

Elettrodotto 4

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Corrente transitante	Cdt%
VA-03	VA-02	1040	1x300	117	0,102
VA.02	VA-01	920	1x300	233	0,181
VA-01	SST	9050	1x630	350	1,562
					<b>1,846</b>

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 <sup>2</sup> ]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
CVT02-01	CVT02-02	1168	1x300	6,150	
CVT02-02	CVT02-03	771	1x300	16,237	
CVT02-03	SST	1736	1x300	82,262	
				<b>104,649</b>	<b>0,581</b>

Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
CVT02-08	CVT02-04	1895	1x300	9,977	
CVT02-04	CVT02-05	797	1x300	16,785	
CVT02-05	SST	491	1x300	23,266	
				<b>50,029</b>	<b>0,278</b>



### Elettrodotto 3

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
CVT02-07	CVT02-06	749	1x300	3,944	
CVT02-06	SST	445	1x300	9,372	
				<b>13,315</b>	<b>0,111</b>

### Elettrodotto 4

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
VA-03	VA-02	1040	1x300	5,476	
VA.02	VA-01	920	1x300	19,375	
VA-01	SST	9050	1x630	199,461	
				<b>224,312</b>	<b>1,246</b>

Complessivamente sugli elettrodotti si hanno 392,3 kW di perdite per effetto Joule. Occorre evidenziare che le suddette perdite 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.

## 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 248 kW

Complessivamente le perdite di trasmissione sono 640 kW.

## 9. LOAD FLOW

I flussi di potenza dell'impianto eolico sono riportati nell'allegato 1.

Essi 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, per un totale di 65,098 MW.

Pertanto, considerando tutti i generatori in servizio con erogazione massima si ha una potenza complessiva evacuata sulla rete di 64,512 MW.

Complessivamente le perdite di trasmissione sono 0,360 MW (sulle linee) e 0,229 MW (sul trasformatore elevatore).

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 87,9%.

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	28	kA (valore ipotizzato)
Rapporto R/X	0,1	
Minima corrente trifase	12	kA (valore ipotizzato)
Massima corrente monofase	40	kA
Tempo di eliminazione del guasto	0,5	s

I risultati dei calcoli di corto circuito sono riportati nell'allegato 2, ipotizzando come punto di guasto le sbarre di alta tensione e i quadri di raccolta dei sottocampi.

La corrente di corto circuito trifase sul quadro di raccolta a 33 kV (15,500 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 714 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 19,062 km e pertanto la corrente di guasto a terra massima potrebbe essere pari a 125,8 A.

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

## 12. ALLEGATI

ALLEGATO 1 – CALCOLI DI LOAD FLOW

ALLEGATO 2 – CALCOLI DI CORTO CIRCUITO