

Progetto per la costruzione e l'esercizio di un Impianto eolico denominato "Energia Molise"

Progetto definitivo

Oggetto:

MOL.63 – Relazione di calcolo preliminare impianti elettrici

Proponente:

 **Fred. Olsen Renewables**

Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l
Viale Castro Pretorio, 122 (Roma)

Progettista:

 **Stantec**

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

Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	01/03/2024	Prima Emissione	D. Stangalino	G. Della Ca	D. Stangalino
01	04/04/2024	Integrati commenti	D. Stangalino	G. Della Ca	D. Stangalino

Fase progetto: Definitivo	Formato elaborato: A4
----------------------------------	------------------------------

Nome File: **MOL1.63.01 - Relazione di calcolo preliminare impianti elettrici.docx**



Indice

1	CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3	IMPIANTO EOLICO.....	4
4	IMPIANTO BESS.....	5
5	DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI MEDIA TENSIONE.....	6
5.1	LINEE IN CAVO MT INTERNE AL PARCO EOLICO.....	6
5.2	LINEE IN CAVO MT INTERNE ALL'IMPIANTO BESS.....	7
6	DIMENSIONAMENTO DEL QUADRO DI MEDIA TENSIONE DI RACCOLTA.....	9
7	DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE.....	10
7.1	LINEA IN CAVO MT COLLEGATA AL SECONDARIO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE.....	10
8	VALUTAZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE.....	12
9	VALUTAZIONE DELLE PERDITE.....	14
9.1	PERDITE SULLE LINEE IN CAVO AT INTERNE AL PARCO EOLICO.....	14
10	LOAD FLOW.....	16
11	CORTO CIRCUITO DI FASE.....	17
12	GUASTI A TERRA.....	18

1 CONTENUTI DELLA RELAZIONE

La presente relazione ha l'obbiettivo di descrivere i criteri di dimensionamento elettrico del nuovo impianto eolico denominato "Energia Molise", che sarà connesso alla sezione a 150 kV della stazione elettrica Terna di Rotello, attraverso una stazione condivisa con altri proponenti.

Per informazioni dettagliate riguardo al proponente dell'iniziativa e il progetto proposto, si rimanda all'elaborato MOL1.00 – *Presentazione del proponente e dell'iniziativa*.

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. 12 torri di generazione eolica di nuova costruzione ciascuna equipaggiata con generatore sincrono permanente in bassa tensione 690 V da 6,2 MW, convertitore di frequenza per la regolazione della corrente di rotore, interruttore principale, servizi ausiliari, trasformatore elevatore a 30 kV e quadro di media tensione (36 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	30 kV $\pm 2 \times 2,5\%$ a vuoto
Potenza nominale	6,2 MVA
Gruppo vettoriale	YNd11
Tensione secondaria	0,690 kV
Tensione di corto circuito	8%
Sistema di raffreddamento	AN/AF (resina)
Perdite joule	0,57% (valore ipotizzato)

Generatore eolico

Tipologia	PMSG (permanent magnet sincrono)
Potenza	6,2 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 3 aerogeneratori collegati in entrata-esci con linee in cavo e connessi al quadro di media tensione installato all'interno del fabbricato della sottostazione di trasformazione.

Pertanto saranno previsti n. 3 elettrodotti che convoglieranno l'energia prodotta alla sottostazione di trasformazione:

- Elettrodotto 1: aerogeneratori T05-T03-T02
- Elettrodotto 2: aerogeneratori T01-T04-T06
- Elettrodotto 3: aerogeneratori T07-T08-T09
- Elettrodotto 4: aerogeneratori T10-T11-T12

4 IMPIANTO BESS

Il progetto di costruzione dell'impianto eolico prevede la realizzazione anche di un impianto BESS da 12 MW autonomia 4 ore che sarà connesso al quadro di media tensione installato all'interno del fabbricato della sottostazione di trasformazione.

L'impianto BESS sarà composto da 16 container batteria aventi potenza 1876 kW, 3,72 MWh, connessi a n. 4 container PCS contenenti un quadro di media tensione a 30 kV, un trasformatore elevatore da 4000 kVA e un inverter da 4000 kVA.

Sarà inoltre previsto un container ausiliari contenente un trasformatore mt/bt da 1250 kVA.

Pertanto sarà previsto un quadro di media tensione a 30kV (36kV isolamento) per la raccolta delle linee provenienti dalle PCS. Il quadro MT suddetto sarà collegato al quadro MT della sottostazione attraverso una linea MT dedicata.

5 DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI MEDIA TENSIONE

5.1 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	1,5 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 $I_{zeff} = I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 331,78 \text{ A}$

cavo 1x630mm² $I_{zeff} = I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 418,86 \text{ A}$

Corrente di impiego massima Ib 132,6 A tratto iniziale alimentato da 1 generatore
 265,2 A tratto intermedio alimentato da 2 generatori
 397,8 A tratto finale alimentato da 3 generatori
 (valutazioni con $\cos\phi \geq 0,9$ a piena potenza: 6,2 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 0,35 s soglia di corto circuito ritardato (51)

Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 46,65$ kA cavo 1x300 m²

Massima c.c. sopportabile $I = KS/\sqrt{t} = 97,9$ kA cavo 1x630 m²

5.2 LINEE IN CAVO MT INTERNE ALL'IMPIANTO BESS

Saranno impiegati cavi unipolari con conduttore in rame, isolamento in HEPR di tipo G16, ridotto spessore di isolamento, schermo in nastro di alluminio e rivestimento esterno in PVC tipo R1Z, aventi sigla RG16H1R12 tensione di isolamento 18/30 kV.

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Sezione	1x150 mm ²	1x300 mm ²
Resistenza a 90°C:	0,159 Ω/km	0,0797 Ω/km
Reattanza:	0,12 Ω/km	0,11 Ω/km
Capacità:	0,20 μF/km	0,27 μF/km
Portata nominale Iz	400 A	593 A
Costante cavo	K = 143	K = 143
Energia specifica passante	460,10x10 ⁶ A ² s	1840,4x10 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	1,5 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 1x150mm² $I_{zeff} = I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 276,5 \text{ A}$

cavo 1x300mm² $I_{zeff} = I_z * K1 * K2 * K3 * K4 = 409,9 \text{ A}$

Corrente di impiego massima I _b	76,98 A linea alimentazione TC trasformatore della PCS 24,06 A linea alimentazione TAC (trasformatore ausiliari) 299,38 A linea di collegamento alla sottostazione
--	--

Verifica della portata $I_b < I_{zeff}$

Per le linee di alimentazione tra PCS e TAC saranno usati cavi da 150 mm², sulla linea di collegamento alla sottostazione saranno usati cavi da 300 mm².

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 $I = KS/\sqrt{t} = 36,26 \text{ kA}$ cavo 1x150 m²

$I = KS/\sqrt{t} = 72,51 \text{ kA}$ cavo 1x300 m²

6 DIMENSIONAMENTO DEL QUADRO DI MEDIA TENSIONE DI RACCOLTA

Il quadro di media tensione che sarà installato all'interno del fabbricato della sottostazione sarà dimensionato per consentire la connessione delle seguenti linee:

- Sottocampi dall'impianto eolico (4 linee)
- Linee provenienti da impianto BESS (1 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 | 2000 A |
| - Corrente simmetrica di c.c. | 25 kA |
| - Corrente di picco | 75 kA |

7 DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE

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

- Impianto eolico + BESS 72 MW

Considerando un margine di riserva del 10%, sarà previsto un trasformatore di potenza 90 MVA con sistema di ventilazione ONAN.

Pertanto le caratteristiche principali del trasformatore elevatore sono:

Tensione primaria	150 kV
Potenza nominale	90 MVA
Gruppo vettoriale	Ynd11
Tensione secondaria	30 kV
Tensione di corto circuito	13%
Sistema di raffreddamento	ONAN/ONAF
Perdite cc	292,5kW a potenza nominale (valore ipotizzato 0,325%)

7.1 LINEA IN CAVO MT COLLEGATA AL SECONDARIO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE

Saranno impiegati cavi con conduttore in rame, isolamento HEPR di qualità G16, schermo in di rame e rivestimento esterno in PVC qualità R12, aventi sigla RG16H1R12 tensione di isolamento 18/30 kV.

Le caratteristiche del cavo sono le seguenti:

Tipo di cavo:	unipolare – 18/30 kV
Isolamento:	HEPR di qualità G16
Sezione:	1x630 mm ² / 3 conduttori in parallelo per fase
Resistenza:	0,0425 Ω/km
Reattanza:	0,099 Ω/km
Capacità:	0,36 Ω/km

Portata nominale I _z	525 A
Costante cavo	K = 143
Energia specifica passante	8116,2x10 ⁶ 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 $I_{zeff} = I_z \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 = 701,76 \text{ A}$

Corrente di impiego I_b 1732,1 A (corrente nominale trasformatore)

Verifica della portata $I_b < I_{zeff} \rightarrow 1732,1 \text{ A} < 3 \cdot 701,76 = 2105,28 \text{ A}$

Tempo di intervento protezioni 0,5 s soglia di corto circuito ritardato (51)

Massima c.c. sopportabile $I = K S / \sqrt{t} = 127,41 \text{ kA}$

8 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 [A]	Cdt%
T05	T03	1220	1x300	45,05	0,150%
T03	T02	2220	1x300	163,96	0,546%
T02	QMT-SS	29450	1x630	1906,91	6,356%
					7,0531%

Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante [A]	Cdt%
T01	T04	2720	1x300	100,44	0,334%
T04	T06	2680	1x300	98,96	0,329%
T06	QMT-SS	23600	1x630	1018,75	3,395%
					4,0605%

Elettrodotto 3

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante [A]	Cdt%
T07	T08	5750	1x300	212,33	0,707%
T08	T09	3150	1x300	116,32	0,387%
T09	QMT-SS	26690	1x630	1152,13	3,840%
					4,9359%

Elettrodotto 4

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante [A]	Cdt%
T10	T11	4550	1x300	16,80	0,056%
T11	T12	1480	1x300	54,65	0,182%
T12	QMT-SS	17650	1x630	761,90	2,539%
					2,7779%

Linee impianto BESS

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Corrente transitante [A]	Cdt%
MV ST-1	QMT-BESS	40	1x150	1,16	0,003%
MV-ST-2	QMT-BESS	40	1x150	1,16	0,003%
MV-ST-3	QMT-BESS	55	1x150	1,59	0,005%
MV-ST-4	QMT-BESS	75	1x150	2,17	0,007%
TAC-1	QMT-BESS	25	1x150	0,23	0,0008%
QMT-BESS	QMT-SS	75	1x300	0,42	0,001%

Occorre evidenziare che le suddette cadute di tensione sono state calcolate considerando come potenza erogabile, la massima potenza dei generatori (6,2 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.

9 VALUTAZIONE DELLE PERDITE

9.1 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:

vedere paragrafo 6.1 e 6.2

Corrente di impiego delle condutture:

corrispondente alla massima potenza erogabile (6,2 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 %
T05	T03	1220	1x300	8,299	
T03	T02	2220	1x300	60,407	
T02	QMT-SS	29450	1x630	838,611	
				907,316	4,87%

Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
T01	T04	2720	1x300	18,503	
T04	T06	2680	1x300	18,231	
T06	QMT-SS	23600	1x630	298,679	
				335,412	1,80%

Elettrodotto 3

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
T07	T08	5750	1x300	39,115	
T08	T09	3150	1x300	21,428	
T09	QMT-SS	26690	1x630	337,786	
				398,328	2,14%

Elettrodotto 4

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
T10	T11	4550	1x300	3,095	
T11	T12	1480	1x300	10,068	
T12	QMT-SS	17650	1x630	223,376	
				236,539	1,27%

Linee impianto BESS

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
MV ST-1	QMT-BESS	40	1x150	0,140	0,003%
MV-ST-2	QMT-BESS	40	1x150	0,140	0,003%
MV-ST-3	QMT-BESS	55	1x150	0,192	0,004%
MV-ST-4	QMT-BESS	75	1x150	0,262	0,006%
TAC-1	QMT-BESS	25	1x150	0,009	0,0006%
QMT-BESS	QMT-SS	75	1x300	0,013	0,001%

10 LOAD FLOW

I flussi di potenza dell'impianto eolico sono stati calcolati considerando la piena potenza dei generatori eolici (6,2 MW $\cos\phi=0,9$) decurtata delle perdite sul trasformatore elevatore di ogni torre (30 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 6123,66 kW.

Pertanto considerando tutti i generatori in servizio con erogazione massima si ha una potenza complessiva evacuabile sulla rete di 73483,92 kW

Complessivamente le perdite di trasmissione sono 1877,6 KW (perdite per effetto Joule sulle linee).

La potenza da evacuare lato 30 kV sarà sempre limitata dal sistema di controllo a 72 MW, integrando con l'erogazione dell'impianto BESS la minor produzione dell'impianto eolico.

Le perdite per effetto Joule sul trasformatore elevatore sono 279,64 kW

La potenza netta evacuata risulta essere pari a 71720,36 kW.

L'elevata caduta di tensione sul sottocampo 1 sarà compensata con la regolazione del variatore sottocarico del trasformatore della sottostazione.

11 CORTO CIRCUITO DI FASE

Le correnti di corto circuito saranno in funzione dei parametri della rete a 150 kV a cui sarà collegato l'impianto. Tali parametri al momento non sono noti, per cui l'impianto è stato dimensionamento in funzione della massima corrente di corto circuito trifase del trasformatore (13323,85 A). Pertanto si ritiene che il valore di dimensionamento del quadro della sottostazione (25 kA) sia idoneo per il servizio richiesto.

Il contributo dei generatori asincroni alla corrente di corto circuito lato 30 kV risulta essere pari a $12 \times 501,15 = 6013,86$ A, ipotizzando un contributo del singolo generatore pari a 4,2 volte la corrente nominale.

Il contributo lato 150 kV risulta essere pari a 1202,8 A.

12 GUASTI A TERRA

La sezione di media tensione a 30 kV 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 6,0 A/km.

Complessivamente sull'impianto si ha uno sviluppo di cavi di alta tensione pari a 117,065 km e pertanto la corrente di guasto a terra massima potrebbe essere pari a 702,39 A.

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