

PROPONENTE

Repower Renewable Spa

Via Lavaredo, 44/52
30174 Mestre (VE)



PROGETTAZIONE



Tenproject Srl - via De Gasperi 61
82018 S. Giorgio del Sannio (BN)
t +39 0824 337144 - f +39 0824 49315
tenproject.it - info@tenproject.it

Progettista :
Ing. Nicola Forte



Consulenti
per TENPROJECT

Ingegneria Progetti Srl - via della Libertà 97
90143 - Palermo (PA)
t +39 091 640 5229
priolo@ingegneriaprogetti.com
pupella@ingegneriaprogetti.com



N° COMMESSA

1455

PARCO EOLICO "COSTIERE "
PROVINCE DI PALERMO E AGRIGENTO
COMUNI DI CONTESSA ENTELLINA - S. MARGHERITA DI BELICE - SAMBUCA DI SICILIA

PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

ELABORATO


RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT

CODICE ELABORATO

10.2


NOME FILE
1455-PD_A_10.2_REL_r00

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	Aprile 2021	PRIMA EMISSIONE	MC	GP	NF

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_10.2 15/04/2021 26/04/2021 00 1 di 12
---	---	---	--


**PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA N. 7 GENERATORI NEL
COMUNE DI CONTESSA ENTELLINA (PA) IN LOCALITA' COSTIERE**

CALCOLI DI LOAD FLOW

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_10.2 15/04/2021 26/04/2021 00 2 di 12
---	---	---	--

Sommario

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	3
3.	SISTEMA ELETTRICO	4
4.	DATI IMPIANTO.....	6
4.1	Caratteristiche generali	6
4.2	Parametri ambientali di progetto di stazione.....	6
4.3	Correnti termiche, correnti di guasto e tempi di eliminazione	6
4.4	Trasformatori MT/BT.....	6
4.5	Trasformatore MT/AT.....	7
4.6	Cavi MT	7
5.	DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE RETI MT	7
5.1	Criteri di dimensionamento e verifica	7
5.2	Scelta del livello di isolamento dei cavi	8
5.3	Verifica della portata	8
5.4	Risultati dei calcoli	9
6.	CONCLUSIONI	11
7.	APPENDICE 1.....	12

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_10.2 15/04/2021 26/04/2021 00 3 di 12
---	---	---	--


1. INTRODUZIONE

La presente relazione descrive i criteri di dimensionamento dei componenti e riporta i calcoli elettrici preliminari di load flow dell'impianto di produzione da fonte eolica sito nel comune di Contessa Entellina (PA) in località "Costiere". L'impianto è composto da n. 7 aerogeneratori aventi una potenza unitaria di 6 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 42 MW.

L'energia prodotta dall'intero parco eolico verrà smistata, attraverso un collegamento in antenna in cavo interrato a 220 kV, nella Stazione Elettrica RTN di "Sambuca".

2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

- **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);
- **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.

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_10.2 15/04/2021 26/04/2021 00 4 di 12
---	---	---	--

- **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 1kV 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

3. SISTEMA ELETTRICO

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da sette aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno per una potenza totale di 42 MW.

Gli aerogeneratori, divisi in due sottocampi da 3 generatori (per un totale di 18 MW) e 4 generatori (per un totale di 24 MW), saranno collegati tra di loro mediante due cavidotti in media tensione interrati che poi collegheranno l'impianto di generazione alla stazione elettrica di trasformazione di utente 30/220 kV di progetto. I cavidotti MT, posati nei tratti paralleli nello stesso scavo a distanza di 250 mm, seguono, per la maggior parte del tracciato, strade vicinali e comunali fino alla sottostazione 30/220 kV. La stazione di trasformazione sarà poi collegata con una linea in cavo interrato AT alla stazione RTN a 220 kV.

Le linee in media tensione che collegano gli aerogeneratori al trasformatore di potenza MT/AT seguiranno le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17. Le linee saranno costituite da 1 terna di cavi unipolari (ad elica visibile) del tipo ARE4H5E(X) 18/30(36)kV, o equivalenti, posati ad una profondità di 1.20. I percorsi interrati dei cavi saranno 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. I nastri monitori dovranno riportare la dicitura "Attenzione Cavi Energia in Media Tensione".

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, e sarà costituita da una terna di cavi unipolari (ad elica visibile) ARE4H5E(X) 18/30(36)kV, o equivalenti, posati 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.

Le terminazioni e le giunzioni per i cavi di energia saranno 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 sarà 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 sono 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.

Lungo tutto lo scavo dei collegamenti tra gli aerogeneratori sarà posata una corda in rame nudo di sezione 50 mm² per la messa a terra dell'impianto.

La Figura 1 mostra lo schema unifilare dell'impianto eolico dagli aerogeneratori fino alla stazione di trasformazione 30/220 kV. Si rimanda alle tavole grafiche di progetto per il layout dell'impianto e per il tracciato e i particolari dei cavidotti MT.

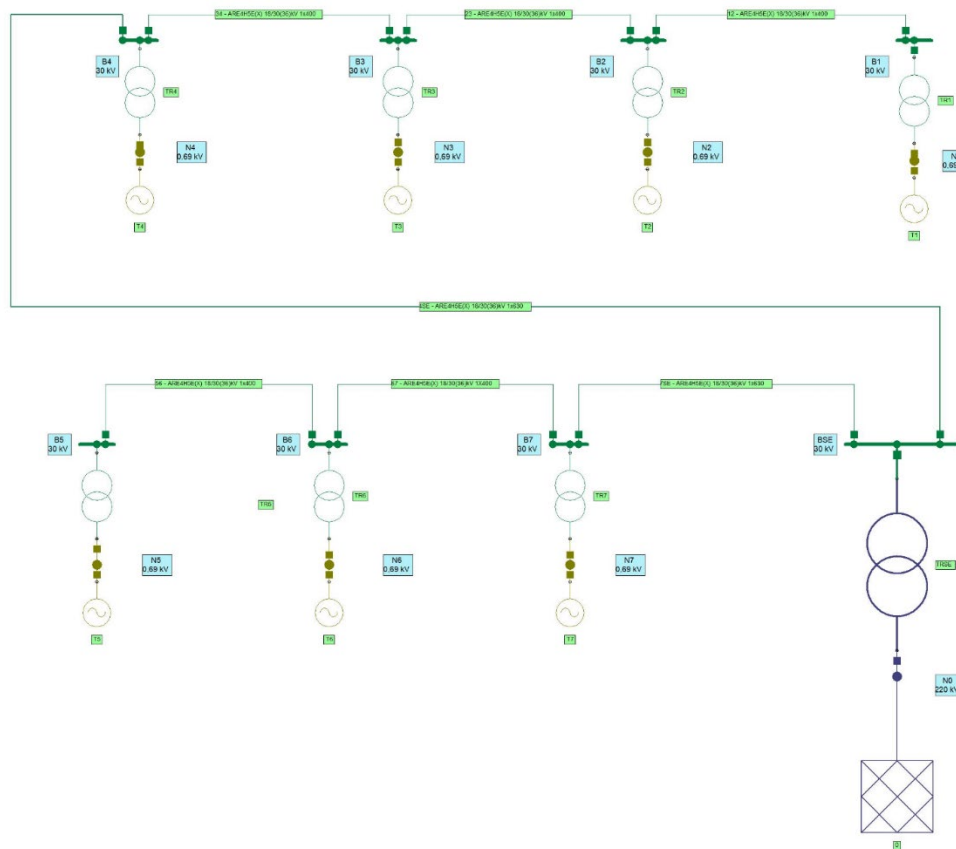



Figura 1. Schema unifilare dell'impianto.

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_10.2 15/04/2021 26/04/2021 00 6 di 12
---	---	---	--

4. DATI IMPIANTO

4.1 Caratteristiche generali

- Sistema elettrico: 3 fasi – c.a.
- Tensione nominale della fornitura: 220 kV
- Tensione nominale del sistema MT: 30 kV
- Frequenza nominale di rete: 50Hz
- Categoria sistema elettrico della rete del distributore: III
- Stato del neutro della rete del Distributore: neutro interrato
- Categoria sistema elettrico MT: II (B)

4.2 Parametri ambientali di progetto di stazione


- Altitudine \leq 1000 m s.l.m.
- Temperatura ambiente 10: °C, + 30 °C
- Temperatura media: 18,3°C
- Umidità relativa: 70 %
- Inquinamento: leggero
- Tipo di atmosfera: non aggressiva

4.3 Correnti termiche, correnti di guasto e tempi di eliminazione

- Corrente di corto circuito trifase massima di esercizio a 220 kV: 50 kA
- Corrente di guasto monofase a terra a 220 kV: 50 kA
- Tempo di eliminazione del guasto a terra a 220 kV: 0.5 s
- Correnti termiche nominali di sbarra a 220 kV: 3150 A

4.4 Trasformatori MT/BT

- Potenza nominale 7000 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.72 kV
- Tensione di c.to c.to 9.9 %
- Perdite nel rame 65 kW
- Perdite nel ferro 20 kW

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_10.2 15/04/2021 26/04/2021 00 7 di 12
---	---	---	--

- Collegamento Dyn 11
- Regolazione $\pm 2 \times 2.5 \%$

4.5 Trasformatore MT/AT

- Potenza nominale 60/70 MVA
- Rapporto di trasformazione nominale $220 \pm 10 \times 1.25\% / 31 \text{ kV}$
- Tensione di c.to c.to 12 %
- Perdite nel rame 250 kW
- Perdite nel ferro 30 kW
- Collegamento YNd11
- Isolamento olio minerale

4.6 Cavi MT

- Sigla ARE4H5E(X) 18/30(36) kV
- Tensione di isolamento U_o/U 18/30 kV
- Conduttore Alluminio
- Isolamento XLPE


5. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE RETI MT

5.1 Criteri di dimensionamento e verifica

Nel seguito si illustrano i criteri di calcolo adottati per il dimensionamento dei cavi elettrici in MT e si riportano i risultati dei calcoli effettuati.

Attraverso il calcolo di load flow del sistema MT sono determinate le cadute di tensione totali e dei singoli tratti, le perdite in linea e le correnti di impiego. Il calcolo di load flow è stato effettuato in modo iterativo fino alla determinazione delle sezioni di linea che soddisfano i seguenti requisiti:

- Verifica della portata nei diversi tratti della rete MT nelle condizioni di posa di progetto;
- Verifica delle perdite complessive delle linee in MT (limite totale = 4%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee MT per i collegamenti tra gli aerogeneratori (caduta di tensione limite imposta nel singolo tratto tra gli aerogeneratori pari a 1%);

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_10.2 15/04/2021 26/04/2021 00 8 di 12
---	---	---	--

- Verifica della caduta di tensione massima nelle linee MT (caduta di tensione limite imposta pari al 3%);

e assumendo:

- Potenza di ciascuna tratta corrispondente alla somma delle potenze nominali dei gruppi di generazione collegati;
- Fattore di potenza dei gruppi pari a 1;
- Tensione nominale alle sbarre del trasformatore di stazione pari a 30 kV;
- Resistenza elettrica dei cavi riportata alla massima temperatura operativa (90 °C).

5.2 Scelta del livello di isolamento dei cavi

Dalla tab. 4.1.4 della norma CEI 11-17 in base alla tensione nominale e massima del sistema MT si sceglie la tensione di isolamento U_0 corrispondente è 18 kV.

5.3 Verifica della portata

In ogni tratto di linea MT la corrente di impiego, determinata a partire dalla potenza nominale degli aerogeneratori, deve essere inferiore o al limite uguale alla portata dei cavi.


La portata dei cavi in regime permanente I_z viene determinata in accordo alla norma CEI 11-17 e alla tabella CEI UNEL 35027, tenendo conto del declassamento dovuto alla temperatura, profondità e tipologia di posa.

In particolare, è utilizzata la formula seguente:

$$I_z = I_0 \cdot k_d \cdot k_g \cdot k_t \cdot k_p \cdot k_r$$

dove:

- I_0 = portata fornita dal costruttore con resistività termica del terreno 1,0 °C m/W e profondità di posa 1,2 m;
- k_d = 1.06 coefficiente di spaziatura per n. 2 terne affiancate e distanziate 250 mm;
- k_g = 0.84 coefficiente di correzione che tiene conto dell'influenza termica tra 2 circuiti affiancati;
- k_t = 1 coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento (20°C);
- k_p = 1 coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento (1,2 m);
- k_r = 0.82 coefficiente di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento. In assenza di informazioni specifiche sulle caratteristiche termiche del terreno, è stata considerata cautelativamente una resistività termica pari a 2 °C m/W.

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice	PD_A_10.2
		Data creazione	15/04/2021
		Data ultima modifica	26/04/2021
		Revisione	00
		Pagina	9 di 12

5.4 Risultati dei calcoli

Nella tabella 1 sono riportate le sezioni calcolate per ogni tratta del sistema MT.

TRATTO	LINEA DI APPARTENENZA	GENERATORI COLLEGATI	LUNGHEZZA [km]	CAVO
L7SE	1	3	12,50	ARE4H5E(X) 18/30(36)kV 1x630 mm ²
L67	1	2	1,01	ARE4H5E(X) 18/30(36)kV 1x400 mm ²
L56	1	1	1,49	ARE4H5E(X) 18/30(36)kV 1x400 mm ²
L4SE3	2	4	15,93	ARE4H5E(X) 18/30(36)kV 1x630 mm ²
L34	2	3	1,15	ARE4H5E(X) 18/30(36)kV 1x400 mm ²
L23	2	2	0,81	ARE4H5E(X) 18/30(36)kV 1x400 mm ²
L12	2	1	0,84	ARE4H5E(X) 18/30(36)kV 1x400 mm ²

Tabella 1. Sezioni delle tratte delle linee MT risultati dal calcolo di load flow.

Le sezioni scelte assicurano che la tensione nella rete MT non superi in nessun nodo il 103% della tensione nominale. La tabella 2 riporta le tensioni in valore assoluto e relativo ai singoli nodi.

Nodo Nome	U [kV]	u% [%]
B1	30.737	102,46
B2	30.722	102,41
B3	30.693	102,31
B4	30.631	102,10
B5	30.412	101,37
B6	30.385	101,28
B7	30.348	101,16
BSE	29.919	99,73


Tabella 2. Tensioni ai nodi del sistema MT.

Si è indicato con:

- U: tensione al nodo;
- u%: tensione al nodo in percentuale della tensione nominale.

Nella tabella 3 sono riportati i risultati relativi alle diverse tratte della linea MT.

Tratta Nome	Lunghezza [km]	Sezione [mm ²]	Numero terne	P [MW]	I _b [A]	I% [%]	ΔP [MW]	k	I _z [A]	ΔU [V]	Δu% [%]
L4SE	15.93	630	1	23.681	447	93.05	0.6005	0.70	501,51	712	2.37%
L34	1.15	400	1	17.747	337	76.22	0.0392	0.83	439,9	62	0.21%
L23	0.81	400	1	11.852	223	50.80	0.0122	0.83	439,9	29	0.10%
L12	0.84	400	1	5.931	112	25.39	0.0032	0.83	439,9	15	0.05%

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT							Codice	PD_A_10.2
								Data creazione	15/04/2021
								Data ultima modifica	26/04/2021
								Revisione	00
								Pagina	10 di 12

L7SE	12.5	630	1	17.779	339	70.51	0.2705	0.70	501,51	429	1.43%
L67	1.01	400	1	11.845	226	60.88	0.0156	0.70	386,9	37	0.14%
L56	1.49	400	1	5.928	113	30.42	0.0056	0.70	386,9	27	0.09%

Tabella 3. Risultati del calcolo di load flow nel sistema MT.

Si è indicato con:


- P: Potenza nella tratta di linea;
- I_b : corrente di impiego della tratta di linea;
- I%: rapporto tra corrente di impiego e portata – percentuale di carico nella tratta di linea;
- ΔP : perdite di potenza attiva nella tratta di linea;
- k: coefficiente di riduzione della portata;
- I_z : portata del cavo nelle condizioni di esercizio;
- ΔU : caduta di tensione nella tratta di linea;
- $\Delta u\%$: caduta di tensione in percentuale della tensione nominale;

Il calcolo delle perdite è ricavato dal calcolo di load flow e tiene conto della somma delle perdite dell'intera rete MT in cavo, dei trasformatori di macchina e del trasformatore elevatore nelle condizioni di progetto previste. La tabella 4 riporta il risultato del calcolo.

Potenza nominale parco eolico	42 MW
Perdite nel traformatore MT/AT	0.414 MW
Perdite nei trasformatori di macchina	0.533 MW
Perdite nelle linee	1.00 MW
Perdite totali	1.557 MW
Perdite percentuali	3.70 % < 4%

Tabella 4. Risultati del calcolo delle perdite.

La figura in Appendice 1 sintetizza i risultati dei calcoli.

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE MT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	PD_A_10.2 15/04/2021 26/04/2021 00 11 di 12
---	---	---	---

6. CONCLUSIONI

Eseguite le analisi preliminari e le successive validazioni mediante calcolo di load flow si può affermare che i parametri di progetto sono rispettati.

Nei periodi di piena produzione del sistema eolico le perdite dell'intero impianto risultano essere pari a 1.557 MW ovvero il 3.7% dell'intera potenza immessa di 42 MW.

Per quanto concerne i vincoli sulla caduta di tensione, essa risulta sempre contenuta entro il 3% imposto.

Non si riscontrano inoltre sovraccarichi dei cavi in MT.

Infine, le sezioni scelte per i cavi MT sono in grado di tollerare correnti di cortocircuito fino a 37.8 kA per 1 secondo nel peggiore dei casi e quindi ampiamente superiori a quelle previste nell'impianto, anche tenuto conto di un contributo dei generatori pari a 1.5 volte la corrente nominale, come indicato dalla norma IEC 60909.

APPENDICE 1

