



REGIONE CAMPANIA

Provincia di Avellino

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEL
COMUNE DI GUARDIA LOMBARDI

Comune di Guardia Lombardi

Località "Piani Mattine"

Proponente: **High Wind s.r.l.** Corso Italia, 27- 39100 Bolzano; pec: highwind@emsmail.it

Tavola n. **E09a**

RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI

Progetto Definitivo

Elaborazione: dicembre 2019

Il Tecnico
Ing. Nicola TERLIZZI



Spazio per visti ed autorizzazioni/osservazioni:

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	2
3. CONDIZIONI AMBIENTALI DI PROGETTO.....	2
4. SISTEMA ELETTRICO	2
4.1. DESCRIZIONE GENERALE.....	2
4.2. DATI DI IMPIANTO	3
5. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI.....	5
5.1. CARATTERISTICHE ELETTRICHE.....	5
5.2. TENSIONE DI ISOLAMENTO DEL CAVO	5
5.3. TEMPERATURE MASSIME DI ESERCIZIO E DI CORTOCIRCUITO	5
5.4. CARATTERISTICHE FUNZIONALI E COSTRUTTIVE.....	5
5.4.1 Collegamenti MT impianto eolico (interno ed esterno)	5
5.4.2 Collegamenti impianto eolico (interno ed esterno)	5
5.4.3 Collegamenti MT interni alla stazione elettrica.....	6
5.5. ACCESSORI	7
6. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO.....	7
6.1. PORTATA DEI CAVI.....	7
6.2. CADUTA DI TENSIONE.....	8
6.3. SCHEMA D'IMPIANTO.....	10

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica specialistica è riferita al progetto di un “Parco Eolico” per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo eolica e la conseguente immissione dell’energia elettrica prodotta nella Rete di Trasmissione Nazionale.

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 8 aerogeneratori per una potenza complessiva di 17,4 MW, da installare nel comune di Guardia Lombardi (AV) in località “Piani Mattine”, con opere di connessione ricadenti anche nel comune di Bisaccia (AV), commissionato dalla società “High Wind s.r.l.”

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento dei cavi MT, nell’ambito della progettazione definitiva dell’impianto eolico proposto.

Tutti i calcoli e la relativa scelta di materiali, sezioni, dimensioni e tarature andranno verificati in sede di progettazione esecutiva, con particolare riferimento alle specifiche forniture da parte delle imprese esecutrici e potranno pertanto subire variazioni anche sostanziali per mantenere i necessari livelli di sicurezza.

2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Le norme tecniche e i documenti di riferimento utilizzate per la stesura dell’elaborato sono:

- 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);
- CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo (07/2006).

3. CONDIZIONI AMBIENTALI DI PROGETTO

- | | |
|--------------------------------|----------------|
| – Altezza sul livello del mare | < 1000 m; |
| – Temperatura ambiente | -25 +40°C; |
| – Temperatura media | 25°C; |
| – Umidità relativa | 90%; |
| – Inquinamento | leggero; |
| – Tipo di atmosfera | non aggressiva |

4. SISTEMA ELETTRICO

4.1. DESCRIZIONE GENERALE

Il progetto prevede la realizzazione di opere ed infrastrutture elettriche che rimarranno di proprietà del proponente e che consentiranno l’immissione in rete dell’energia prodotta dalla centrale eolica in esame.

L’impianto eolico è costituito da 8 aerogeneratori per una potenza complessiva di 17.4 MW.

In dettaglio l’impianto presenta:

- N.7 aerogeneratori ad asse orizzontale con potenza unitaria di 2.2 MW;
- N.1 aerogeneratore ad asse orizzontale con potenza unitaria di 2.0 MW;
- N.8 cabine di trasformazione poste all'interno della torre;
- N.1 cabina di raccolta e sezionamento;
- Cavidotto interrato in media tensione (30 kV) per il collegamento tra gli aerogeneratori, tra questi e la cabina di raccolta e tra la cabina e la stazione elettrica di trasformazione;
- Una linea in fibra ottica che collega tra di loro gli aerogeneratori e la stazione elettrica di trasformazione per il telecontrollo del parco eolico;
- N.1 stazione elettrica di trasformazione a 150/30 kV nel comune di Bisaccia (AV);

L'energia elettrica è prodotta da ogni singolo aerogeneratore in bassa tensione (690 V) e trasmessa attraverso una linea in cavo al trasformatore MT/BT posto internamente alla base della torre, dove viene trasformata ed innalzata al valore di 30 kV. Diverse linee in cavo interrato collegano fra loro gli aerogeneratori e la cabina di raccolta; da quest'ultima, mediante una linee in cavo interrato, partono i collegamenti alla sezione in media tensione della stazione di trasformazione.

Gli aerogeneratori del parco eolico in oggetto sono collegati elettricamente tra loro a formare una rete radiale, le lunghezze di ciascuna linea, comprensive di scorta cabina e macchina, relative al collegamento interno ed esterno, sono riportate in tabella 1.

Le ragioni di questa suddivisione sono legate alla tipologia della rete elettrica, alla potenza complessiva trasmessa su ciascuna linea in cavo e alle perdite connesse al trasporto dell'energia elettrica prodotta.

Il collegamento alla RTN del parco eolico appena descritto sarà eseguito mediante la realizzazione di una stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV da collegare in antenna all'adiacente stazione elettrica 150/380 kV Terna di Bisaccia (AV).

4.2. DATI DI IMPIANTO

Di seguito si riportano i dati dei principali componenti elettrici dell'impianto.

RETE MT – AT

– Sistema	trifase
– Frequenza	50 Hz
– Tensione nominale (lato MT)	30 kV
– Tensione nominale (lato AT)	150 kV
– Corrente massima di corto circuito trifase (lato AT-RTN)	31.5 kA
– Corrente massima di corto circuito monofase (lato AT-RTN)	40 kA

GENERATORI ASINCRONI

– Tensione nominale	0.69 kV
– Potenza nominale	2000 - 2200 kW
– Corrente rotore bloccato	1.22 In

TRASFORMATORI MT/BT

– Potenza nominale	2300 kVA
– Rapporto di trasformazione	30/0.69 kV
– Tensione di c.to c.to	9 %
– Perdite nel ferro	4 kW
– Collegamento	Dyn 5
– Regolazione	± 2x2.5 %

TRASFORMATORE MT/AT

– Potenza nominale	25 - 30 MVA
– Rapporto nominale	150 ± 10x1.25% / 31 kV
– Tensione di c.to c.to	10 - 12 %
– Commutatore sotto carico	± 10 x 1,25%
– Collegamento	YNd 11
– Isolamento	Olio minerale
– Raffreddamento	ONAN - ONAF

TRASFORMATORE SA

– Potenza nominale	100 kVA
– Rapporto nominale	30 ± 2x2.5% / 0.4 kV
– Tensione di c.to c.to	4 %
– Commutatore sotto carico	± 10 x 1,25%
– Collegamento	Dyn 11
– Raffreddamento	AN

COLLEGAMENTI MT

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche geometriche dei collegamenti dei cavi MT oggetto del calcolo.

Tabella 1 – Collegamenti MT, sezione e materiali dei conduttori

COLLEGAMENTI IMPIANTO EOLICO		SEZIONE CONDUTTORE (mm ²)	MATERIALE CONDUTTORE	LUNGHEZZA (m)
SOTTOCAMPO 1	WTG01 - WTG02	3x1x185	Al	800
	WTG02 - CAB	3x1x185	Al	1600
SOTTOCAMPO 2	WTG04 - WTG03	3x1x185	Al	700
	WTG03 - CAB	3x1x185	Al	1100
SOTTOCAMPO 3	WTG07 - WTG06	3x1x185	Al	400
	WTG06 - CAB	3x1x185	Al	2100
SOTTOCAMPO 4	WTG08 - WTG05	3x1x185	Al	1700
	WTG05 - CAB	3x1x185	Al	1100
COLLEGAMENTO	CAB - SSE	3x1x630	Al	5100

5. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI

Scopo del presente paragrafo è quello di fornire le caratteristiche tecniche ed elettriche dei cavi che verranno utilizzati per il collegamento in media tensione.

5.1. CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Le caratteristiche elettriche principali del sistema elettrico in media tensione sono:

– Sistema elettrico	3 fasi - c.a.
– Frequenza	50 Hz
– Tensione nominale	30 kV
– Tensione massima	36 kV
– Categoria sistema	B

5.2. TENSIONE DI ISOLAMENTO DEL CAVO

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

5.3. TEMPERATURE MASSIME DI ESERCIZIO E DI CORTOCIRCUITO

Dalla tab. 4.2.2.a della norma CEI 11-17 per cavi con isolamento estruso in polietilene reticolato ed in gomma ad alto modulo la massima temperatura di esercizio è di 90°C mentre quella di cortocircuito è di 250°C.

5.4. CARATTERISTICHE FUNZIONALI E COSTRUTTIVE

5.4.1 Collegamenti MT impianto eolico (interno ed esterno)

I cavi MT utilizzati per le linee elettriche interrate, per il collegamento tra gli aerogeneratori e la cabina di raccolta e tra quest'ultima e la stazione elettrica, saranno del tipo pre-cordato ad elica visibile o "trifoglio", adatti a posa interrata, con conduttore in Al, isolamento XLPE, schermo in tubo Al, guaina in PE.

I cavi previsti sono destinati a sistemi elettrici di distribuzione con $U_0/U=18/30$ kV e tensione massima $U_m=36$ kV, sigla di designazione ARE4H5E(X).

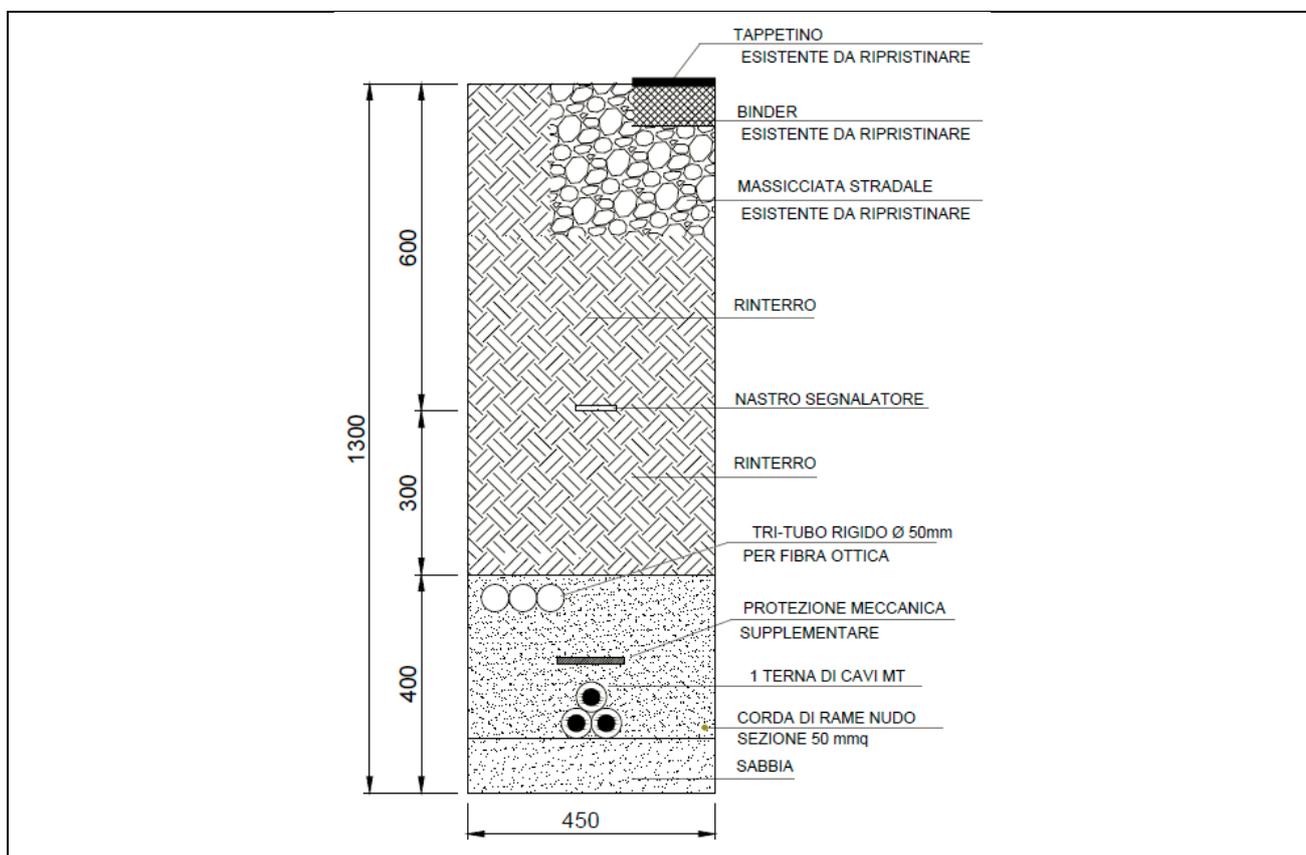
La stessa tipologia di cavi sarà utilizzata per i collegamenti MT tra quadri e trafo all'interno dell'aerogeneratore e tra quadri e trasformatore AT/MT all'interno della stazione elettrica di trasformazione della RTN.

5.4.2 Collegamenti impianto eolico (interno ed esterno)

Il cavidotto MT che interessa il collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione elettrica seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, sarà costituito da cavi unipolari (ad elica visibile) direttamente interrati, ad eccezione degli attraversamenti di opere stradali e o fluviali richieste dagli enti concessionari, per i quali sarà utilizzata una tipologia di posa che prevede i cavi unipolari in tubo interrato, mediante l'uso della tecnica con trivellazione orizzontale controllata (TOC). La posa verrà eseguita ad una

profondità di 1.20 m in uno scavo di profondità 1.30-1.50 m (la seconda profondità è da considerarsi in terreno agricolo) e larghezza alla base variabile in base al numero di conduttori presenti. La sequenza di posa dei vari materiali, partendo dal fondo dello scavo, sarà la seguente:

- Strato di sabbia di 10 cm;
- Cavi posati a trifoglio di sezione 185, 630 direttamente sullo strato di sabbia;
- Ricopertura dei cavi con sabbia;
- Posa della lastra di protezione supplementare;
- Ulteriore strato di sabbia per complessivi 30 cm;
- Posa del tubo e/o tritubo in PEHD del diametro esterno di 63 mm per inserimento di una linea in cavo di telecomunicazione (Fibra Ottica);
- Riempimento con il materiale di risulta dello scavo di 60÷90 cm;
- Nastro segnalatore (a non meno di 20 cm dai cavi);
- Riempimento finale con il materiale di risulta dello scavo e ripristino del manto stradale ove necessario, secondo le indicazioni riportate nelle concessioni degli enti proprietari.



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.

5.4.3 Collegamenti MT interni alla stazione elettrica

Le linee in media tensione che interessano il collegamento tra il quadro MT ed il trasformatore di potenza MT/AT seguiranno le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, saranno costituite da 3 terne di cavi

unipolari (ad elica visibile) posate ciascuna in tubo di polietilene ad alta densità, inglobati in calcestruzzo. La posa verrà eseguita ad una profondità di 0.50 m in uno scavo di profondità 0.60 m e larghezza alla base variabile in base al numero di tubi presenti.

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, costituita da una terna di cavi unipolari (ad elica visibile) posate su passerella porta-cavi o in cunicolo areato/chiuso, all'interno del locale utente della stazione elettrica di trasformazione.

5.5. ACCESSORI

Le terminazioni e le giunzioni per i cavi di energia devono risultare 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 deve essere 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 devono essere 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: 2006-07.

I percorsi interrati dei cavi devono essere 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: 2006-07. I nastri monitori dovranno riportare la dicitura "Attenzione Cavi Energia in Media Tensione".

6. DIMENSIONAMENTO ELETTRICO

6.1. PORTATA DEI CAVI

La portata dei cavi in regime permanente viene determinata in accordo alla norma IEC 60502-2, tenendo conto del declassamento dovuto alla temperatura, profondità e tipologia di posa.

In particolare è utilizzata la formula seguente:

$$I_Z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

Dove

I_0 = portata in condizioni nominali dei conduttori con isolante polimerico, E4 e G7, ed è ricavata dai datasheet del costruttore.

K_1 = coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento;

K_2 = coefficiente di correzione che tiene conto del numero di circuiti affiancati (più cavi o più tubi);

K_3 = coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento;

K_4 = coefficiente di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento

Il valore di I_0 ricavato dalle tabelle è riferito alle seguenti condizioni:

- Temperatura del terreno 20°C;
- Profondità di posa 1.20 m;
- Resistività termica del terreno 2 K·m/W;

In assenza di informazioni specifiche sulle caratteristiche termiche del terreno, variabili sulla base di diversi fattori (composizione, umidità, ecc.), è stata considerata una resistività termica pari a 2 K·m/W. Tale valore risulta essere cautelativo e rappresenta una media tra i valori di resistività dei materiali costituenti il letto di posa (sabbia, materiale di riporto, ecc.).

Per la temperatura si è mantenuto il valore di riferimento di 20 °C.

Per i circuiti affiancati, la distanza tra le terne considerata è 7 cm, le tabelle del costruttore prevedono i seguenti coefficienti di abbattimento della portata:

Tabella 2 - Coefficienti di derating della portata per più circuiti affiancati

Distanza tra i cavi o terne	Numero di cavi o terne (in orizzontale)		
	2	3	4
7	0.84	0.74	0.67

Tabella 3 - Verifica della portata dei cavi

COLLEGAMENTI IMPIANTO EOLICO	NODO	LUNGH. (m)	SEZIONE COND. (mm ²)	I ₀ (A)	TERNE IN PARAL.	I _z (A)	POSA IN OPERA	POTENZA (MW)	I _b (A)	I _b < I _z (A)
SOTTOCAMPO 1	WTG01 WTG02	800	3*1*185	283	2	237.72	Direttam. interrati	2.2	42.4	VERIFIC.
	WTG02 CAB	1600	3*1*185	283	3	209.42	Direttam. interrati	4.4	84.8	VERIFIC.
SOTTOCAMPO 2	WTG04 WTG03	700	3*1*185	283	2	237.72	Direttam. interrati	2.2	42.4	VERIFIC.
	WTG03 CAB	1100	3*1*185	283	3	209.42	Direttam. interrati	4.2	80.9	VERIFIC.
SOTTOCAMPO 3	WTG07 WTG06	400	3*1*185	283	1	283	Direttam. interrati	2.2	42.4	VERIFIC.
	WTG06 CAB	2100	3*1*185	283	2	237.72	Direttam. interrati	4.4	84.8	VERIFIC.
SOTTOCAMPO 4	WTG08 WTG05	1700	3*1*185	283	2	237.72	Direttam. interrati	2.2	42.4	VERIFIC.
	WTG05 CAB	1100	3*1*185	283	2	237.72	Direttam. interrati	4.4	84.8	VERIFIC.
COLLEGAMENTO	CAB SSE	5100	3*1*630	545	2	457.8	Direttam. interrati	17.6	340	VERIFIC.

6.2. CADUTA DI TENSIONE

Di seguito riportate le formule per il calcolo della caduta di tensione effettiva e in valore percentuale

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot (r_l \cos \varphi + x_l \sin \varphi)$$

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_n} 100$$

Dove:

V = tensione di linea (V)

ΔV = caduta di tensione effettiva

L = lunghezza della linea (Km)

I = corrente di carico (A)

r = resistenza specifica (Ω /Km)

x = reattanza specifica (Ω /Km)

$\cos\varphi$ = fattore di potenza

Tabella 4 – Resistenza specifica dei cavi

Formazione	RESISTENZA a 20°C (Ω /Km)
3x1x185	0.217
3x1x240	0.168
3x1x300	0.134
3x1x400	0.109
3x1x630	0.01

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di calcolo relativi alla portata effettiva ed alla caduta di tensione di ciascuna tratta in media tensione costituente la rete dell'impianto eolico.

Tabella 5 – Calcolo della caduta di tensione

COLLEGAMENTI IMPIANTO EOLICO	NODO	LUNGH. (m)	SEZIONE COND. (mm ²)	POSA IN OPERA	POTENZA P(MW)	I_b (A)	Caduta di tensione Δv (V)	Caduta di tensione Δv (%)	Caduta di tensione complessiva Δv (%)
SOTTOCAMPO 1	WTG01 WTG02	800	3*1*185	Direttam. interrati	2.2	42.4	12.734	0.042	0.042
	WTG02 CAB	1600	3*1*185	Direttam. interrati	4.4	84.8	50.936	0.17	0.212
SOTTOCAMPO 2	WTG04 WTG03	700	3*1*185	Direttam. interrati	2.2	42.4	11.142	0.037	0.249
	WTG03 CAB	1100	3*1*185	Direttam. interrati	4.2	80.9	33.42	0.112	0.361
SOTTOCAMPO 3	WTG07 WTG06	400	3*1*185	Direttam. interrati	2.2	42.4	6.367	0.021	0.382
	WTG06 CAB	2100	3*1*185	Direttam. interrati	4.4	84.8	66.853	0.223	0.605
SOTTOCAMPO 4	WTG08 WTG05	1700	3*1*185	Direttam. interrati	2.2	42.4	27.06	0.092	0.697
	WTG05 CAB	1100	3*1*185	Direttam. interrati	4.4	84.8	35.018	0.117	0.814
COLLEGAMENTO	CAB SSE	5100	3*1*630	Direttam. interrati	17.6	340	29.998	0.1	0.914

6.3. SCHEMA D'IMPIANTO

Di seguito si riporta lo schema logico-dimensionale del cavidotto di connessione.

