

# REGIONE PUGLIA

## Provincia di Foggia

COMUNE DI SANT'AGATA DI PUGLIA (FG)

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO  
NEL COMUNE DI SANT'AGATA DI PUGLIA (FG)

COMMITTENTE

### Wind Energy Sant Agata Srl

Via Caravaggio n.125  
Pescara (PE)  
P.IVA 02217800685  
Pec: windsantagatasrl@legpec.it

PROGETTAZIONE

Codice Commessa PHEEDRA: 18\_38\_EO\_VWS



PHEEDRA S.r.l. Via Lago di Nemi, 90  
74121 - Taranto  
Tel. 099.7722302 - Fax 099.9870285  
e-mail: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it

Dott. Ing. Angelo Micolucci



1	Novembre 2018	PRIMA EMISSIONE	CD	AM	VS
REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO

OGGETTO DELL'ELABORATO

RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI

FORMATO	SCALA	CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	FOGLI
		SOC.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
A4	-	VWS	CIV	REL	012	01	WWS-CIV-REL-012-01	

## Sommario

1.	PREMESSA.....	2
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO .....	2
3.	CONDIZIONI AMBIENTALI DI PROGETTO .....	2
4.	SISTEMA ELETTRICO.....	2
4.2.	DESCRIZIONE GENERALE .....	2
4.3.	Dati di impianto.....	4
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 .....	6
5.4.	Caratteristiche funzionali e costruttive .....	6
5.4.1.	Collegamenti MT impianto eolico (interno ed esterno) .....	6
5.4.2.	Collegamenti impianto eolico (interno ed esterno).....	6
5.4.3.	Collegamenti MT interni alla stazione elettrica .....	7
5.5.	Accessori .....	7
6.	DIMENSIONAMENTO ELETTRICO.....	8
6.1.	Portata dei Cavi .....	8
6.2.	Caduta di tensione.....	9
6.3.	Schema di impianto .....	11

## 1. PREMESSA

La presente relazione tecnica specialistica è riferita al progetto di realizzazione di un "Parco Eolico" per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo eolica, e la conseguente immissione dell'energia elettrica prodotta, attraverso la dedicata rete di connessione, sino alla Rete di Trasmissione Nazionale.

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 11 aerogeneratori ognuno da 3,6 MW da installare nel comune di Sant'Agata di Puglia (FG) in località "Viticone Palino, Serro Lucarelli, Monte Rotondo", con opere di connessione ricadenti anche nel comune di Deliceto (FG), commissionato dalla società Wind Energy Sant Agata Srl.

Nella presente relazione si riportano i calcoli di verifica dei cavi MT, nell'ambito della progettazione definitiva dell'impianto eolico proposto.

## 2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Le norme tecniche e i documenti di riferimento utilizzate per la stesura del progetto esecutivo 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

### 4.2. DESCRIZIONE GENERALE

L'impianto eolico è costituito da 11 aerogeneratori da 3600 kW di potenza nominale per una potenza complessiva di 39.60 MW.

In dettaglio l'impianto presenta

- 11 aerogeneratori ad asse orizzontale;
- 11 cabine di trasformazione poste all'interno della torre;

<b>Wind Energy Sant Agata Srl</b> Via Caravaggio, 125 65125 – Pescara windsantagatasrl@legpec.it	<b>PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI  UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI  SANT'AGATA DI PUGLIA (FG)</b>	Nome del file:  <b>VWS-CIV-REL-012_01</b>
---	--	---

- 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 cabina di raccolta
- N.1 stazione elettrica di trasformazione a 150/30 kV nel comune di Deliceto (FG);

L'energia elettrica viene prodotta da ogni singolo aerogeneratore in bassa tensione (690 V), trasmessa attraverso una linea in cavo al trasformatore MT/BT posto internamente alla base della torre dell'aerogeneratore, 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, ciascuno di potenza attiva pari a 3.60 MW, 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 topologia della rete elettrica, alla potenza complessiva trasmessa su ciascuna linea in cavo, 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 alla stazione elettrica 150/380 kV Terna di Deliceto (FG).

#### 4.3. DATI DI IMPIANTO

Di seguito si riportano i dati relativi ai vari componenti 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)<sup>1</sup> 31.5 kA
- Corrente massima di corto circuito monofase (lato AT-RTN) <sup>1</sup> 40 kA

##### GENERATORI ASINCRONI

- Tensione nominale 0.69 kV
- Potenza nominale 3600 kW
- Corrente rotore bloccato 1.22 In

##### TRASFORMATORI MT/BT

- Potenza nominale 3900 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.69 kV
- Tensione di c.to c.to 9 %
- Perdite nel ferro 4 kW
- Collegamento Dyn 5
- Regolazione  $\pm 2 \times 2.5$  %

##### TRASFORMATORE MT/AT

- Potenza nominale 50 MVA
- Rapporto nominale  $150 \pm 10 \times 1.25\%$  / 31 kV
- Tensione di c.to c.to 15 %
- Perdite nel ferro 29.5 kW
- Collegamento YNd11
- Isolamento olio minerale
- Raffreddamento ONAN-ONAF

##### TRASFORMATORE SA

- Potenza nominale 100 kVA
- Rapporto nominale  $30 \pm 2 \times 2.5\%$  / 0.4 kV
- Tensione di c.to c.to 4 %
- Collegamento Dyn11
- Isolamento olio minerale
- Raffreddamento ONAN

## COLLEGAMENTI MT

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

Tabella 1 - collegamenti MT, sezione e materiale dei conduttori

COLLEGAMENTI IMPIANTO EOLICO		SEZIONE CONDUTTORE [mm <sup>2</sup> ]	MATERIALE CONDUTTORE	LUNGHEZZA [m]
SOTTOCAMPO 1	S01 – S11	185	Al	1.600
	S11 – S04	185	Al	1.000
	S04 - CAB	400	Al	3.950
SOTTOCAMPO 2	S02 – S03	185	Al	700
	S03 – S05	185	Al	2.300
	S05 - CAB	400	Al	3.300
SOTTOCAMPO 3	S06 – S07	185	Al	1.250
	S07 – S10	185	Al	950
	S10 – S08	400	Al	1.750
	S08 – CAB	630	Al	580
	S09 – CAB	185	Al	150
	CAB - SE	630	Al	5.100

## 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.

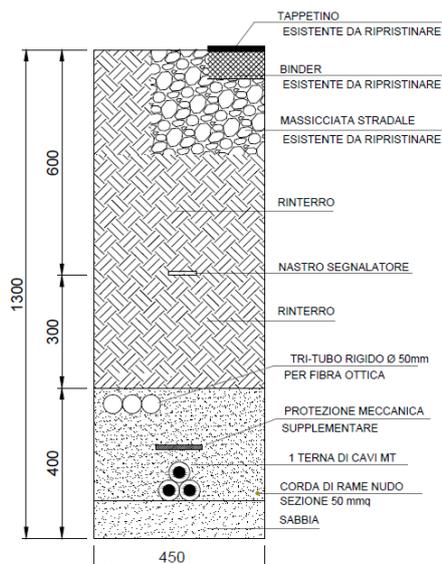
I cavi previsti sono destinati a sistemi elettrici di distribuzione con  $U_0/U=18/30$  kV e tensione massima  $U_m=36$  kV, sigla di designazione ARE4H5E(X).

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 cavodotto 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, 240, 400, 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 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 mm<sup>2</sup> 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 che tiene conto del numero di circuiti affiancati (più cavi o più tubi);

$k_2$  = coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento;

$k_3$  = 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 stato considerato 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 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	6	9
7	0.84	0.74	0.67	0.60	0.55

Tabella 3 - Verifica della portata dei cavi

	Nodo	Lunghezza L[m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>0</sub> [A]	Terne in parallelo [n.]	I <sub>z</sub> [A]	Posa in opera	Potenza P [MW]	Corrente di linea I <sub>b</sub> [A]	I <sub>b</sub> <I <sub>z</sub>	Caduta di Tensione ΔV <sub>i</sub> [V]	Caduta di Tensione ΔV <sub>i</sub> [%]	Caduta di Tensione complessiva ΔV <sub>i</sub> [%]
SOTTOCAMPO 1	S01 – S11	1.600	3*1*185	283	1	283	Direttamente interrati	3,6	69,4	VERIFICATO	41,71339	0,139	0,139
	S11 – S04	1.000	3*1*185	283	4	189,61	Direttamente interrati	7,2	138,7	VERIFICATO	52,14174	0,174	0,313
	S04 – CAB	3.950	3*1*400	422	9	232,1	Direttamente interrati	10,8	208,1	VERIFICATO	155,1817	0,517	0,830
SOTTOCAMPO 2	S02 – S03	700	3*1*185	283	1	283	Direttamente interrati	3,6	69,4	VERIFICATO	18,24961	0,061	0,061
	S03 – S05	2.300	3*1*185	283	4	189,61	Direttamente interrati	7,2	138,7	VERIFICATO	119,926	0,400	0,461
	S05 – CAB	3.300	3*1*400	422	9	232,1	Direttamente interrati	10,8	208,1	VERIFICATO	129,6455	0,432	0,893
SOTTOCAMPO 3	S06 – S07	1.250	3*1*185	283	7	155,65	Direttamente interrati	3,6	69,4	VERIFICATO	32,58859	0,109	0,109
	S07 – S10	950	3*1*185	283	2	237,72	Direttamente interrati	7,2	138,7	VERIFICATO	49,53465	0,165	0,274
	S10 – S08	1.750	3*1*400	422	9	232,1	Direttamente interrati	10,8	208,1	VERIFICATO	68,7514	0,229	0,503
	S08 – CAB	580	3*1*630	545	9	299,75	Direttamente interrati	14,4	277,5	VERIFICATO	2,7873	0,009	0,512
	S09 – CAB	150	3*1*185	283	1	283	Direttamente interrati	3,6	69,4	VERIFICATO	1,964326	0,007	0,007
	CAB – SE	5.100	3*(3*1*630)	1635	9	1373,4	Direttamente interrati	39,6	763,0	VERIFICATO	67,3998	0,225	2,466

## 6.2. CADUTA DI TENSIONE

Di seguito riportata la formula per il calcolo della caduta di tensione percentuale:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta v \times L \times I}{V} \times 100$$

Dove:

V = tensione di linea [V]

Δv = caduta di tensione specifica,  $\sqrt{3} \times (r \cos\phi + x \sin\phi)$  [V/A km]

L = lunghezza della linea [km]

I = corrente di carico [A]

r = resistenza specifica [Ω/km]

x = reattanza specifica [Ω/km]

Cos φ = 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*

	Nodo	Lunghezza L[m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Posa in opera	Potenza P [MW]	Corrente di linea I <sub>b</sub> [A]	Caduta di Tensione ΔVi [V]	Caduta di Tensione ΔVi [%]	Caduta di Tensione complessiva ΔVi [%]
SOTTOCAMPO 1	S01 – S11	1.600	3*1*185	Direttamente interrati	3,6	69,4	41,71339	0,139	0,139
	S11 – S04	1.000	3*1*185	Direttamente interrati	7,2	138,7	52,14174	0,174	0,313
	S04 - CAB	3.950	3*1*400	Direttamente interrati	10,8	208,1	155,1817	0,517	0,830
SOTTOCAMPO 2	S02 – S03	700	3*1*185	Direttamente interrati	3,6	69,4	18,24961	0,061	0,061
	S03 – S05	2.300	3*1*185	Direttamente interrati	7,2	138,7	119,926	0,400	0,461
	S05 - CAB	3.300	3*1*400	Direttamente interrati	10,8	208,1	129,6455	0,432	0,893
SOTTOCAMPO 3	S06 – S07	1.250	3*1*185	Direttamente interrati	3,6	69,4	32,58859	0,109	0,109
	S07 – S10	950	3*1*185	Direttamente interrati	7,2	138,7	49,53465	0,165	0,274
	S10 – S08	1.750	3*1*400	Direttamente interrati	10,8	208,1	68,7514	0,229	0,503
	S08 – CAB	580	3*1*630	Direttamente interrati	14,4	277,5	2,7873	0,009	0,512
	S09 – CAB	150	3*1*185	Direttamente interrati	3,6	69,4	1,964326	0,007	0,007
	CAB - SE	5.100	3*(3*1*630)	Direttamente interrati	39,6	763,0	67,3998	0,225	2,466

### 6.3. SCHEMA DI IMPIANTO

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

