



Regione Emilia Romagna  
Città metropolitana di Bologna  
Comune di Camugnano  
Comune di Castiglione dei Pepoli

PROGETTO DEFINITIVO

Nome progetto

” Eolico Camugnano ”

Oggetto

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico da 30 MW con sistema di accumulo da 8 MW e relative opere di connessione, da ubicarsi nei Comuni di Camugnano (BO) e Castiglione dei Pepoli (BO).

Titolo

Relazione generale elettrica con calcolo impianti

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.R.L.  
Via della Chimica 103  
85100 Potenza (PZ)

Progettazione:



SYNERGY S.R.L.  
Via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 – Castel Maggiore  
(BO)

Il professionista:

Ing. Davide Stangalino



7					
6					
5					
4					
3					
2					
1					
0	27/02/24	Emissione	F.Stangalino	D.Stangalino	L.Malservisi
Rev.	Data	Motivo Revisione	Eseguito	Verificato	Approvato

Tipologia:

Formato:

Foglio: 1 di 12

Scala: 1 : 1

File: SYN036.PD.RE.001

Tavola: N° SYN036.PD.RE.001

Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

### SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI MEDIA TENSIONE</b> .....	<b>4</b>
4.1	LINEE IN CAVO MT INTERNE AL PARCO EOLICO .....	4
4.2	LINEE IN CAVO MT INTERNE ALL'IMPIANTO BESS .....	5
<b>5</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DEL QUADRO DI MEDIA TENSIONE DI RACCOLTA</b> .....	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE</b> .....	<b>6</b>
6.1	LINEA IN CAVO MT COLLEGATA AL SECONDARIO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE ....	7
<b>7</b>	<b>VALUTAZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE</b> .....	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>VALUTAZIONE DELLE PERDITE</b> .....	<b>9</b>
<b>9</b>	<b>DIMENSIONAMENTO CAVO AT</b> .....	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>LOAD FLOW</b> .....	<b>11</b>
<b>11</b>	<b>CORTO CIRCUITO DI FASE</b> .....	<b>11</b>
<b>12</b>	<b>GUASTI A TERRA</b> .....	<b>11</b>

**Progettazione:**



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

**Committente:**



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

### 1 INTRODUZIONE

La presente relazione ha l'obiettivo descrivere i criteri di dimensionamento del nuovo impianto eolico denominato "Camugnano", da 30 MW con sistema di accumulo da 8 MW e relative opere di connessione, da ubicarsi nel Comune di Camugnano (BO) e Castiglione dei Pepoli (BO), che sarà connesso alla futura stazione elettrica Terna di Castiglione dei Pepoli, attraverso una stazione condivisa con altri produttori.

### 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

Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

### 3 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO

Il progetto di costruzione dell'impianto eolico consiste nell'installazione di n. 7 torri di generazione eolica di nuova costruzione ciascuna equipaggiata con generatore asincrono DFIG in bassa tensione 950 V da 4,280 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, ad eccezione del quadro di media tensione che sarà installato alla base della torre.

#### Trasformatore elevatore singolo generatore eolico

Tensione primaria	30 kV $\pm 2 \times 2,5\%$ a vuoto
Potenza nominale	4,5 MVA
Gruppo vettoriale	YNd11
Tensione secondaria	0,950 kV
Tensione di corto circuito	8%
Sistema di raffreddamento	AN/AF (resina)
Perdite joule	0,57% (valore ipotizzato)

#### Generatore eolico

Tipologia	asincrono DFIG
Potenza	4,280 MW
Tensione	950 V
Fattore di potenza	0,9
Contributo alla c.c.	4 In

La massima potenzialità del parco eolico sarà di 30 MW.

Il parco eolico sarà suddiviso in n. 2 sottocampi composti da 3/4 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 previsti n. 2 elettrodotti che convogliano l'energia prodotta alla sottostazione di trasformazione:

- Elettrodotto 1: aerogeneratori T01-T02-T03
- Elettrodotto 2: aerogeneratori T07-T04-T05-T06

Il progetto di costruzione dell'impianto eolico prevede la realizzazione anche di un impianto BESS da 8 MW autonomia 2 ore che sarà connesso al quadro di media tensione installato all'interno del fabbricato della sottostazione di trasformazione.

L'impianto BESS sarà composto da 8 container batteria aventi potenza 1376 kW, 2,752 MWh, connessi a n. 2 container PCS contenenti un quadro di media tensione a 30 kV, un trasformatore elevatore da 5000 kVA e due inverter da 2500 kVA.

Sarà inoltre previsto un container ausiliari contenente un trasformatore mt7bt da 1250 kVA.

Pertanto saranno 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.

Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

### 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	3004,136x10 <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	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 1x300mm <sup>2</sup>	I <sub>zeff</sub> = I <sub>z</sub> *K1*K2*K3*K4 = 331,78 A
cavo 1x630mm <sup>2</sup>	I <sub>zeff</sub> = I <sub>z</sub> *K1*K2*K3*K4 = 418,86 A

Corrente di impiego massima I <sub>b</sub>	91,52 A tratto iniziale alimentato da 1 generatore 183,04 A tratto intermedio alimentato da 2 generatori 274,56 A tratto finale alimentato da 3 generatori 366,08 A tratto finale alimentato da 4 generatori
--	---

(valutazioni con cosφ≥0,9 a piena potenza: 4,280 MW)

Verifica della portata I<sub>b</sub><I<sub>zeff</sub>



Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

Per le linee di alimentazione tra PCS e TAC saranno usati cavi da 150 mm<sup>2</sup>, sulla linea di collegamento alla sottostazione saranno usati cavi da 300 mm<sup>2</sup>.

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  $I = KS/\sqrt{t} = 36,26$  kA cavo 1x150 m<sup>2</sup>

$I = KS/\sqrt{t} = 72,51$  kA cavo 1x300 m<sup>2</sup>

### 5 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 (2 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 MVA

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 1250 A

Corrente simmetrica di c.c. 20 kA

Corrente di picco 50 kA

### 6 DIMENSIONAMENTO DEL TRASFORMATORE ELEVATORE

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

- Impianto eolico + BESS 30 MW

Considerando un margine di riserva del 10% e un fattore di potenza pari a 0,9 si ottiene una potenza apparente pari a 36,67 MW, pertanto sarà previsto un trasformatore di potenza 35/45 MVA con sistema di ventilazione ONAN/ONAF.

Pertanto le caratteristiche principali del trasformatore elevatore sono:

Tensione primaria 132 kV

Potenza nominale 35/45 MVA

Gruppo vettoriale Ynd11

Tensione secondaria 30 kV

Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

Tensione di corto circuito	13%
Sistema di raffreddamento	ONAN/ONAF
Perdite cc	valore ipotizzato 0,325%

### 6.1 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 <sup>2</sup> / 3 conduttori in parallelo per fase
Resistenza:	0,0425 Ω/km
Reattanza:	0,099 Ω/km
Capacità:	0,36 Ω/km

Portata nominale I <sub>z</sub>	525 A
Costante cavo	K = 143
Energia specifica passante	8116,2x10 <sup>6</sup> A <sup>2</sup> s

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 K <sub>4</sub>	4= 0,85

Portata effettiva del cavo I<sub>zeff</sub> I<sub>z</sub>\*K1\*K2\*K3\*K4 = 701,76 A

Corrente di impiego I<sub>b</sub> 866,05 A (corrente nominale trasformatore a 45 MVA)

Verifica della portata I<sub>b</sub><I<sub>zeff</sub> → 1732,1 A < 2x701,76= 1403,52 A

Tempo di intervento protezioni	0,5 s soglia di corto circuito ritardato (51)
Massima c.c. sopportabile	I = KS/√t = 127,41 kA

Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

### 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 [A]	Cdt%
T01	T02	1170	1x300	91,52	<b>0,099%</b>
T02	T03	2205	1x300	183,04	<b>0,375%</b>
T03	QMT-SS	10540	1x630	274,56	<b>1,5704%</b>
					<b>2,045%</b>

#### Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Corrente transitante [A]	Cdt%
T07	T04	1210	1x300	91,52	<b>0,103%</b>
T04	T05	2330	1x300	183,04	<b>0,396%</b>
T05	T06	1455	1x300	274,56	<b>0,371%</b>
T06	QMT-SS	8500	1x630	366,08	<b>1,689%</b>
					<b>2,558%</b>

#### Linee impianto BESS

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Corrente transitante [A]	Cdt%
MV ST-1	QMT-BESS	35	1x150		<b>0,004%</b>
MV-ST-2	QMT-BESS	55	1x150		<b>0,006%</b>
TAC-1	QMT-BESS	35	1x150		<b>0,001%</b>
QMT-BESS	QMT-SS	150	1x300		<b>0,022%</b>

Occorre evidenziare che le suddette cadute di tensione sono state calcolate considerando come potenza erogabile, la potenza dei generatori (4,208 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.

Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

### 8 VALUTAZIONE DELLE PERDITE

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 4.1 e 4.2

Corrente di impiego delle condutture:

corrispondente alla potenza erogabile (4,280 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 %
T01	T02	1170	1x300	3,793	
T02	T03	2205	1x300	28,592	
T03	QMT-SS	10540	1x630	143,028	
				<b>175,412</b>	<b>1,366%</b>

#### Elettrodotto 2

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
T07	T04	1210	1x300	3,922	
T04	T05	2330	1x300	30,213	
T05	T06	1455	1x300	42,450	
T06	QMT-SS	8500	1x630	205,057	
				<b>281,643</b>	<b>1,645%</b>

#### Linee impianto BESS

DA	A	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Perdite in linea [kW]	Perdite %
MV ST-1	QMT-BESS	35	1x150	0,155	
MV-ST-2	QMT-BESS	55	1x150	0,243	
TAC-1	QMT-BESS	35	1x150	0,012	
QMT-BESS	QMT-SS	150	1x300	1,681	

Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

### 9 DIMENSIONAMENTO CAVO AT

L'elettrodotto sarà costituito da tre cavi unipolari in alluminio idonei per tensione 76/132 kV. Ciascun cavo a 150 kV sarà costituito da un conduttore in alluminio compatto, tamponato, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, nastri in materiale igroespandente, schermo in alluminio longitudinalmente saldato, rivestimento in polietilene con grafitatura esterna.

#### CARATTERISTICHE DI COSTRUZIONE

Materiale del conduttore:	Alluminio
Isolamento:	XLPE
Tipo di conduttore:	Corda rotonda compatta
Schermo metallico:	Alluminio termosaldato

#### CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

Sezione:	1x1600 mm <sup>2</sup>
Diametro del conduttore:	48,9 mm
Diametro esterno nominale:	99 mm
Sezione schermo:	95 mm <sup>2</sup>
Peso approssimativo:	10 kg/m

#### CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Tensione di isolamento:	145kV
Messa a terra degli schermi:	posa a trifoglio con correnti di circolazione
Portata:	1135 A (nota 1)
Massima resistenza:	0,0186 Ohm/km a 20°C in cc
Induttanza:	0,52 mH/km
Capacità nominale:	0,30 µF / km

Nota 1: valore riferito a 20 °C, profondità 1,3 m, resistività del terreno 1,0 Km/W

Nelle reali condizioni di posa:  
profondità di 1,5 m  
terna singola  
temperatura del terreno di 20 °C  
resistività del terreno 1 Km/W

si ha un coefficiente di riduzione della portata di  $K=0,98$ .

Pertanto, il valore effettivo della portata risulta essere 1112,3 A, a cui corrisponde una potenza attiva pari a 228,87 MW con fattore di potenza di 0,9.

Progettazione:



via Clodoveo Bonazzi, 2  
40013 Castel Maggiore (BO)

## Relazione generale elettrica con calcolo impianti

Committente:



ENERGIA PULITA TRE S.r.l.  
via della Chimica, 103  
85100 Potenza (PZ)

### 10 LOAD FLOW

I flussi di potenza dell'impianto eolico sono stati calcolati considerando la piena potenza dei generatori eolici (4,280 MW  $\cos\phi=0,9$ ) decurtata delle perdite sul trasformatore elevatore di ogni torre (30 kV/950V  $vcc\%=8\%$  perdite nel rame 0,57%) e del consumo degli ausiliari (41 kW).

La potenza netta immessa in rete da ogni generatore risulta essere pari a 4213,35 kW.

Pertanto considerando tutti i generatori in servizio con erogazione massima si ha una potenza complessiva evacuabile sulla rete di 29493,45 kW

Complessivamente le perdite di trasmissione sono 457,055 kW (perdite per effetto Joule sulle linee).

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

Le perdite per effetto Joule sul trasformatore elevatore sono 116,95 kW (riferite a 35 MVA)

La potenza netta evacuata risulta essere pari a 28919,44 kW.

### 11 CORTO CIRCUITO DI FASE

Le correnti di corto circuito saranno in funzione dei parametri della rete a 132 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 (6661,93 A). Pertanto si ritiene che il valore di dimensionamento del quadro della sottostazione (20 kA) sia idoneo per il servizio richiesto.

Il contributo dei generatori asincroni alla corrente di corto circuito lato 30 kV risulta essere pari a  $7 \times 366,09 = 2562,66$  A, ipotizzando un contributo del singolo generatore pari a 4,0 volte la corrente nominale.

Il contributo lato 132 kV risulta essere pari a 582,4 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  $I_g=0,2 \cdot L \cdot V$  [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 27,410 km e pertanto la corrente di guasto a terra massima potrebbe essere pari a 164,46 A.

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