

Progettazione:

**SC** Studio di Ingegneria  
**Michele R.G. Curtotti**  
STUDIO DI INGEGNERIA ING. MICHELE R.G. CURTOTTI  
Viale II Giugno, 385 - 71016 San Severo (FG)  
ing.curtotti@pec.it - studiocurtotti@gmail.it

Proponente:

**INNOGY ITALIA S.p.A.**  
Via Francesco Restelli 31/1 - 20124 Milano  
c.f e P.Iva 02590640211 - PEC innogy\_italia@legalmail.it



# PARCO EOLICO SAN SEVERO COMUNE DI SAN SEVERO

Autorizzazione Unica ai sensi della legge 387/03  
del parco eolico nel comune di San Severo (FG)

COMMITTENTE: INNOGY ITALIA S.p.A.  
Comune di San Severo (FG)

DATA : Ottobre 2018

AGGIORN. : \_\_\_\_\_

TAVOLA

**R09**

CALCOLO PRELIMINARE DEGLI IMPIANTI

SCALA : \_\_\_\_\_

DIMENS. : A4

PROGETTO DEFINITIVO

N° FOGLI : \_\_\_\_\_

COMMITTENTE:  
INNOGY ITALIA S.p.A.



PROGETTAZIONE:  
ing. Michele R.G. Curtotti



Questo elaborato è di proprietà dei progettisti ed è protetto a termini di legge

---

## Relazione impianti elettrici

### "PARCO EOLICO SAN SEVERO"

#### PREMESSA

La presente relazione tecnica descrive l'impianto di connessione e distribuzione della energia elettrica prodotta dal PARCO EOLICO "SAN SEVERO" proposto nel Comune di San Severo (FG), alle località "Centoquaranta" e "Mezzanone", costituito da 12 aerogeneratori di potenza nominale di 4.5 MW, per una potenza complessiva installata di 54,00 MW.

L'energia elettrica prodotta dall'impianto sarà convogliata alla RTN, e più precisamente alla linea 380 kV "Rotello-San Severo", mediante collegamento in antenna, a 150 kV, sul futuro ampliamento della esistente Stazione Elettrica della RTN, a 380 kV, sita in agro del Comune di San Severo in località Motta Regina.

Nei pressi della stazione Terna verrà realizzata una Sottostazione Elettrica di Utente, destinata alla Trasformazione (150/30 kV) e alla successiva consegna dell'energia elettrica prodotta da parco eolico, tramite collegamento in antenna a 150 kV.

Nel documento viene descritta la topologia, le scelte impiantistiche, valutate le correnti nel funzionamento ordinario e in emergenza, vengono definite le caratteristiche fondamentali di tutti i componenti dell'impianto al fine di garantire il corretto esercizio e la sicurezza dell'impianto.

A tal fine si è provveduto anche al dimensionamento degli impianti di terra e alla verifica delle condizioni di sicurezza connesse alle sue caratteristiche.

#### *Descrizione del sistema di distribuzione elettrica*

La rete Mt interna, in uscita dall'impianto di generazione da fonte eolica, denominato "Parco Eolico San Severo" avrà una tensione di esercizio di 30 kV.

Per la consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto verrà realizzata una stazione elettrica di consegna (stazione di trasformazione 150/30 kV di Utente - SE) da ubicarsi nei pressi della stazione elettrica a 380 kV (SSE "San Severo").

In particolare, l'energia prodotta dal parco eolico "San Severo" sarà raccolta in due differenti cabine di sezionamento (CS1, per il sottocampo A, e CS2, per il sottocampo B), poste in area interna al parco e, poi, trasportata, tramite cavidotti interrati in media tensione, alla sottostazione elettrica di utenza; quest'ultima è preposta alla

---

trasformazione (elevazione di tensione da 30 kV a 150 kV) e alla successiva consegna dell'energia elettrica, per mezzo di un collegamento in antenna tra SE e SSE.

La SE sarà collegata alle sbarre di parallelo della SSE tramite un unico stallo (condiviso con altri produttori) esercito alla stessa tensione di rete: 150 kV; ad ogni modo, ciascun impianto di produzione (afferente al medesimo stallo) risulterà totalmente indipendente dagli altri dato che, per ognuno di essi, è previsto uno stallo di elevazione tensione, un sistema di misura, protezione e controllo indipendenti. Solo dopo l'effettuazione delle misure dell'energia prodotta, sarà effettuato il parallelo tra gli impianti tramite un sistema di sbarre interne alla stazione di consegna.

Nella SE saranno presenti, inoltre, tutte le apparecchiature AT per la protezione e la misura dell'energia prodotta dall'impianto, nonché tutte le apparecchiature elettriche di protezione e misura dell'impianto in MT, comprese le apparecchiature BT per i servizi ausiliari e i relativi edifici per il loro alloggiamento.

La distribuzione interna al parco eolico avverrà alla tensione nominale di 30 kV, in cavo direttamente interrato, con schema di distribuzione radiale.

La SE sarà direttamente collegata alle n. 2 CS, poste in posizione favorevole rispetto alle torri, mediante cavidotti MT; gli aerogeneratori saranno collegati direttamente alle CS attraverso connessioni, in entra-esce, realizzate a piè di aerogeneratori, con aggregazioni fino ad un massimo di sei turbine.

La topologia di interconnessione è descritta negli allegati grafici (schema unifilare), a cui si rimanda.

All'interno di ogni torre sono presenti le apparecchiature di media e bassa tensione, nonché l'interruttore di manovra e sezionatore con fusibili per la protezione e messa in sicurezza del Trasformatore 30/0,69kV (MT/BT).

L'impianto sarà inoltre dotato di impianto di supervisione e telecontrollo dei dispositivi di protezione e sezionamento.

Saranno, inoltre, realizzati adeguati impianti di illuminazione ordinaria e di sicurezza, sia nella sottostazione che negli edifici di comando e controllo in essa presenti, così come in tutti gli altri locali in cui saranno alloggiati i componenti dell'impianto e sistemi di riscaldamento atti a prevenire la formazione di condense.

Nello studio verrà trascurato il dimensionamento degli impianti elettrici BT degli aerogeneratori in quanto saranno forniti e progettati direttamente dal costruttore delle turbine, in accordo alle specifiche del presente documento.

Non verranno definite le caratteristiche delle apparecchiature di alta tensione perché

già individuate e prescritte dal distributore.

## IMPIANTO DI TERRA

Affronteremo, di seguito, il dimensionamento dell'impianto di terra della sottostazione elettrica di consegna (SE), delle cabine di raccolta (CS) e fisseremo i requisiti dell'impianto di terra delle cabine di aerogeneratore.

La rete di trasmissione nazionale (RTN) è esercita con neutro connesso in maniera franca a terra, quindi sceglieremo di esercire la rete interna al parco a 30 kV con neutro isolato da terra; in queste condizioni la corrente di corto circuito monofase a terra è dovuta agli accoppiamenti capacitivi: considerata la lunghezza dei cavi e le loro caratteristiche si è stimata una corrente di 100 A.

Sceglieremo inoltre di non collegare gli schermi dei cavi dell'impianto MT alla terra della sottostazione AT.

### *I valori ammissibili della tensione di contatto*

I valori ammissibili della tensione di contatto  $U_{TP}$ , dovuti a guasti a terra, sono tratti dalla Fig. 9.1 " tensioni di contatto ammissibili  $U_{TP}$ , per correnti di durata limitata", della norma CEI 11-1; tali valori sono stati determinati considerando mano nuda e piedi nudi.

E' permesso utilizzare anche la Fig. C-2 "esempi di curve  $U_{STP}=f(t_F)$  per resistenze aggiuntive diverse  $R_s=R_{a1}+ R_{a2}$ " fornita dall'allegato C della norma CEI 11-1, nei quali si considerano resistenze aggiuntive dovute a calzature ( $R_{a1}$ ) e materiali isolanti della superficie calpestata  $R_{a2}$ .

La  $U_{STP}$  rappresenta la differenza di potenziale che agisce come una sorgente di tensione nel circuito di contatto, di valore limitato, che garantisce la sicurezza di una persona quando faccia uso di resistenze aggiuntive di valore noto.

### **Criterio1**

L'impianto di terra si dimensiona limitando la tensione totale di terra ( $U_E$ ).

Per centrali, stazioni e cabine degli enti distributori, si può limitare il valore della resistenza di terra  $R_E$  in modo che sia verificata una delle seguenti condizioni:

1. la tensione totale di terra assunta dal dispersore sia inferiore ad 1,5 volte la tensione di contatto ammessa ( $U_{TP}$ ), ( $U_E \leq 1,5 U_{TP}$ ) in relazione al tempo di intervento della protezione ( $t_F$ );
2. la tensione totale di terra è minore o uguale a 4 volte la tensione di contatto

ammessa in relazione al tempo di intervento della protezione ( $U_E \leq 4 U_{TP}$ ), purché in aggiunta siano adottati i provvedimenti dettagliati nell'allegato "D" della norma CEI 11-1.

In alternativa può essere applicato il seguente criterio.

### **Criterio 2**

Si verifica che sull'impianto di terra, in corrispondenza della massima corrente di guasto, non si abbiano, in nessuno dei punti accessibili interni ed esterni all'impianto, tensioni di contatto e di passo che superino i valori ammissibili.

Il dimensionamento può essere effettuato secondo due diversi metodi:

1. valutando le tensioni pericolose nel campo di potenziale creato dal dispersore in presenza dell'uomo, considerato assimilabile ad una resistenza di  $1000 \Omega$ , verificando che esse non superino i valori ammissibili per la tensione di contatto e per la tensione di passo;
2. valutando le tensioni pericolose nel campo di potenziale creato dal dispersore in assenza dell'uomo, cioè a vuoto; in tal caso le norme fissano altri limiti ammissibili, denominati  $U_{STP}$ , per la tensione di contatto a vuoto e  $U_{SSP}$ , per la tensione di passo a vuoto.

Nel primo caso le condizioni di sicurezza si ottengono quando i valori di tensione di contatto  $U_T$  e di passo  $U_S$ , misurate nelle maglie d'angolo della penultima fila di maglie, siano inferiori rispettivamente a  $U_{TP}$  e a  $3U_{TP}$ .

Nel secondo caso le condizioni di sicurezza si ottengono se le tensione di contatto a vuoto massima  $U_{ST}$  e di passo  $U_{SS}$ , misurate nelle maglie d'angolo della penultima fila di maglie, siano inferiore rispettivamente a  $U_{STP}$  e a  $3 U_{STP}$ .

Se il punto 2 risulta verificato, è verificato automaticamente anche il punto 1.

Pertanto, in seguito, ci riferiremo solo alla seconda ipotesi.

### **Modalità di calcolo**

Per il calcolo dell'impianto di terra si ricorre ad un software specifico, il quale una volta noti i valori di resistività del terreno, corrente di guasto a terra, tempo di eliminazione del guasto, tipo di alimentazione della stazione, è in grado di determinare:

- le curve di sicurezza e valori limiti delle tensioni di contatto ammissibili;

- 
- la corrente di terra e relativi coefficienti di riduzione;
  - i valori della resistenza di terra di qualunque dispersore con geometria semplice o complessa interrato ad una certa profondità, in un terreno omogeneo di data resistività;
  - l'andamento del potenziale sul terreno e valori delle tensioni di contatto a vuoto massime su qualunque direttrice del dispersore;

Tale programma utilizza un metodo analitico chiamato del "frazionamento dell'area disperdente" o di "Maxwell" che presenta le seguenti ipotesi semplificative:

- tutti i punti di un dispersore hanno una resistività trascurabile rispetto a quella del mezzo circostante;
- tutti i punti si portano allo stesso potenziale;
- la densità di corrente erogata è variabile da punto a punto;
- il terreno è considerato omogeneo.

Tutte le valutazioni sono eseguite in conformità alla norma CEI 11-1 e guida CEI 11-37.

Dal punto di vista operativo si procederà nel seguente modo:

- introduzione dei dati di progetto,
- determinazione delle curve di sicurezza e limiti delle tensioni ammissibili;
- determinazione della corrente di terra;
- ipotesi di geometria del dispersore con sezione dei conduttori superiori a quelli limiti imposti dalla normativa;
- calcolo della resistenza di terra, tensione totale di terra, tensione di contatto massima a vuoto e profili di tensione;

verifica dei limiti normativi criterio 1, e se non verificato criterio 2 (verifichiamo solo il secondo punto ai fini della sicurezza);

### ***Calcolo impianto di terra sottostazione trasformazione e smistamento***

Per i calcoli elettrici relativi all'impianto di terra della stazione elettrica si considerano le seguenti condizioni:

- stato del neutro: francamente a terra;
- corrente di corto circuito monofase: 31.5 kA;
- tempo di eliminazione del guasto: 0,5 s;

- resistività del terreno  $\rho=50 \Omega \text{ m}$ ;

Si è tenuto in conto che la corrente di guasto a terra viene drenata dalle funi di guardia delle linee AT afferenti alla SSE.

E' stato individuato un dispersore le cui caratteristiche geometriche e costruttive siano in grado di contenere i valori di tensione di contatto e di passo al di sotto del valore richiesto dalla norma CEI 11-1.

Sono stati calcolati i valori ammissibili delle tensioni di contatto secondo le curve normative derivanti dall'allegato C della norma CEI 11-1 e considerando, trattandosi di stazione elettrica ad accesso ristretto, le resistenze addizionali  $RA1=1000 \Omega$  (resistenza delle calzature) e  $RA2=1,5 \rho_s=1750 \Omega$  (resistenza verso terra del luogo di sosta), avendo assunto una resistività superficiale di  $500 \Omega \text{ m}$ .

La tensione di contatto ammissibile è risultata essere pari a 577 V.

Per valutare le tensioni di contatto, si è considerato che parte della corrente di guasto a terra viene drenata dalla fune di guardia che collega la terra di stazione alle altre sottostazioni RTN.

Il coefficiente di riduzione è stato valutato, a vantaggio di sicurezza in  $r=0.68$  e pertanto la corrente di dimensionamento è stata assunta pari a  $I_{rs}=r \cdot I_f=0.68 \times 31500=21420 \text{ A}$ .

Le tensioni di contatto sono state valutate in corrispondenza delle zone periferiche e sulla diagonale del dispersore e, come si può vedere negli allegati, risultano inferiori a quella ammissibile.

### ***Calcolo impianto di terra cabina di raccolta***

Per i calcoli elettrici relativi all'impianto di terra della cabina di raccolta (CS) si considerano le seguenti condizioni:

- stato del neutro: isolato;
- corrente di guasto monofase a terra: 100 A
- tempo di eliminazione del guasto: 0,45 s;
- resistività del terreno  $\rho=50 \Omega \text{ m}$ ;

a vantaggio della sicurezza non si è considerata la frazione di corrente di guasto che viene drenata dagli schermi dei cavi che sono connessi a tutti gli altri impianti di terra MT.

Si ipotizza un dispersore rettangolare costituito da corda di rame di sezione  $50 \text{ mm}^2$  interrata a 50 cm di profondità con picchetti interrati fino a 3 m di sezione  $95 \text{ mm}^2$  posti

ai vertici del rettangolo che circonda la cabina.

Dal tempo di intervento del dispositivo di protezione si determina, sulla figura 9-1 della norma CEI 11-1, la tensione di contatto ( $U_T$ ) pari a 248 V.

Per avere le condizione di sicurezza è sufficiente che la tensione totale di terra sia inferiore a  $UE < 1,5 U_{TP} = 1,5 * 248 = 372$  V (allegato valori ammissibili)

La resistenza di terra vale 2,41  $\Omega$  e le tensione totale di terra è pari 241 V, inferiore ai 372 V.

#### ***Calcolo impianto di terra cabina di aerogeneratore***

Per i calcoli elettrici relativi all'impianto di terra della cabina di aerogeneratore si considerano le seguenti condizioni:

- valore massimo ammesso per la resistenza di terra: 2  $\Omega$ ;
- geometria del dispersore : omologato costruttore turbine di forma circolare ;
- diametro del dispersore : 18 m;
- caratteristiche del terreno:  $\rho = 50$   $\Omega$  per metro;

a vantaggio della sicurezza, non si è considerata la frazione di corrente di guasto che viene drenata dagli schermi dei cavi che sono connessi a tutti gli altri impianti di terra MT.

Per un dispersore circolare o ad anello con diametro D, realizzato con corda di rame da 50 mmq interrato ad una profondità 0,5 m, si ha una resistenza di terra valutabile con la relazione:

$$R_e = \rho \cdot 1,15 / (\pi D)^{0,83}$$

Tenendo conto delle condizioni operative si ottiene una resistenza di terra di 2,01  $\Omega$ .

La tensione totale di terra vale dunque 201 V, valore inferiore alla tensione di contatto ammissibile  $372V = 1,5 * 242V$ .

---

## **PROGETTO PRELIMINARE DELL'IMPIANTO DI TRASMISSIONE DELL'ENERGIA**

### ***La portata dei cavi***

Il trasporto dell'energia avviene mediante l'utilizzo di cavi interrati posati in trincea a sezione trapezoidale sul letto di sabbia secondo quanto descritto dalla modalità M delle norme CEI 11-17.

I cavi utilizzati sono con conduttore in alluminio a corda rigida rotonda, isolati con una miscela isolante a base di polietilene reticolato, schermati per mezzo di piattine o fili di rame, la guaina protettiva è a base di polivinilcloruro; la sezione dei cavi di ciascuna linea è stata calcolata in modo da essere adeguata ai carichi da trasportare nelle condizioni di massima produzione di tutti gli aerogeneratori, facenti parte della linea MT, e minimizzare le perdite.

Tutti i cavi MT 30 kV sono stati dimensionati in modo da risultare verificate le seguenti relazioni:

$$1) \quad I_c \leq I_n$$

$$2) \quad \Delta V\% \leq 5\%$$

Dove:

- $I_c$  è la corrente di impiego del cavo;
- $I_n$  è la portata del cavo, calcolata tenendo conto del tipo di cavo e delle condizioni di posa;
- $\Delta V\%$  è la massima caduta di tensione calcolata a partire dalla cabina d'impianto fino all'aerogeneratore più lontano (massima caduta di tensione su sottocampo A e sottocampo B).

La portata dei cavi, interrati ad una profondità non inferiore ad 1,2 m, con temperatura del terreno di 20° C e resistività termica del terreno stesso pari a 1,0° Cm/W, è desumibile dalla tabella 1, seguente:

**Cavo Tipo ARE 4H1RX 18/30 kV**

Posa interrata		T. funzionamento		T. 90°	
Sez. (mmq)	1°Cm/W In (A)	R	X	R	X
		ohm/Km	ohm/Km	ohm/Km	ohm/Km
70	210	0,442	0,133	0,576	0,15
95	251	0,316	0,125	0,415	0,14
120	286	0,25	0,119	0,329	0,14
150	319	0,207	0,115	0,269	0,13
185	361	0,162	0,11	0,217	0,12
240	419	0,11	0,107	0,168	0,12
300	472	0,1	0,103	0,134	0,12
400	540	0,083	0,101	0,109	0,11
500	615	0,06	0,097	0,1	0,11
630	699	0,048	0,095	0,1	0,1

Limitatamente ai tratti di cavidotto RTN 30 kV di interconnessione tra CS e SE, verranno utilizzati cavi tipo **ARG7H1E 18/30 kV** della sezione pari a:

Posa interrata	
Sez. (mmq)	1°Cm/W In (A)
630	560
400	251

Il progetto delle linee elettriche si fonda sul criterio della perdita della potenza e della caduta di tensione ammissibile.

Pertanto:

In base al numero di turbine che, secondo lo schema unifilare adottato (vedi tavola IE 09), risultano collegate a monte di ciascuna linea, viene definita una corrente massima di impianto denominata "Ic" che viene determinata utilizzando la seguente espressione:

$$I_c = \frac{P}{V \times \sqrt{3}}$$

Successivamente, si sceglie una sezione per ciascun cavo di linea e, ipotizzando un coefficiente del terreno pari a 1,0° Cm/W, viene individuata la corrispondente corrente

nominale  $I_n$ .

Il coefficiente  $K_t$  è ricavato dai data sheet dei costruttori.

Il valore di corrente nominale così ottenuta viene corretta per mezzo dell'applicazione di un coefficiente ( $K$ ) che tiene conto dell'influenza reciproca di più cavi posati nella stessa trincea; si ottiene, quindi, il valore finale di corrente nominale ( $I_n$ ) di cavo da paragonare al valore di corrente  $I_c$  di impianto.

Per le linee posate nella medesima trincea, la distanza tra le terne assunta è 7 cm, le tabelle del costruttore prevedono i seguenti coefficienti di abbattimento della portata:

Distanza tra i cavi o terne	Numero di cavi o terne (in orizzontale)			
	2	3	4	6
7	0.84	0.74	0.67	0.60

Coefficienti di derating della portata per più circuiti affiancati

Nel caso in esame, la maggior parte dello sviluppo delle linee prevede l'alloggiamento di un'unica terna di cavi MT posati in trincea ( $K=1$ ); per i tratti di collegamento ove si avrà la compresenza di n. 2 terne di cavi, posati a trifoglio posti nella medesima trincea, il coefficiente  $K$  è pari a 0.84.

Se il valore di corrente ( $I_n$ ) è maggiore del valore effettivo di portata ( $I_c$ ) la scelta della sezione del cavidotto risulta adeguata.

**I risultati delle elaborazioni, condotte secondo la metodologia su esposta, sono riepilogati in tabella 2 seguente:**

Id. WTG	n° turbine collegate	lunghezza linea MT (m)	$I_c$ (A)	Sez. cavo (mmq)	n° terne di cavi in trincea	$I_n$ (A)	Delta P (kW)
Id. A1 a A2	1	1306	86,71	95	1	251,00	8,90
Id. A2 a A3	2	965	173,41	95	2	210,84	26,30
Id. A3 a A4	3	1921	260,12	185	2	303,24	60,49
Id. A4 a A6	4	3079	346,82	300	2	396,48	106,29
Id. A6 a A5	5	692	433,53	400	2	453,60	27,99
Id. A5 a CS1	6	5528	520,23	630	2	587,16	204,47
Id. A7 a CS1	1	474	86,71	95	1	251,00	3,23
Id. A8 a A9	1	617	86,71	95	1	251,00	4,20
Id. A9 a A10	2	1193	173,41	95	1	251,00	32,51
Id. A10 a A11	3	1187	260,12	185	2	303,24	37,38
Id. A11 a A12	4	1382	346,82	400	2	453,60	35,78
Id. A12 a CS2	5	212	433,53	400	2	453,60	8,58
da CS1 a SE	7	14733	606,94	630	2	611,52	741,72
da CS2 a SE	5	13607	433,53	400	2	470,40	550,47

Individuata quindi la sezione del cavidotto idonea per ciascuna linea di cui si compone l'impianto, si procede alla verifica della perdita di potenza per mezzo della seguente formula:

$$\Delta P = 3\rho \frac{LI^2}{S}$$

- $\rho$ : la resistività elettrica del conduttore espressa in  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;
- L: la lunghezza della linea in metri;
- I: la corrente nominale trasportata;
- S: la sezione del cavo in  $\text{mm}^2$ ;

#### *Cavi MT*

Si riterrà che un guasto a terra verrà risolto in un tempo inferiore ad una ora e pertanto, considerato che la tensione nominale del sistema è di 30 kV si sceglieranno cavi con  $U/U_0$  pari a 18/30 kV.

Per i cavidotti di interconnessione tra le WTG, saranno utilizzati cavi idonei per posa interrata in alluminio con schermo metallico del tipo **ARE 4H1RX 18/30 kV**.

Per i cavidotti di interconnessione tra le cabine di sezionamento e la stazione di utenza, saranno utilizzati cavi idonei per posa interrata in alluminio con schermo metallico del tipo **ARG7H1E 18/30 kV**.

#### *Cavo AT*

Il collegamento in cavo a 150 kV tra il futuro ampliamento della stazione RTN 380 kV denominata "San Severo" e la stazione di utenza 150 kV, dovrà sostenere il trasporto 54 MW (meno le perdite di carico) e quindi è interessato da una corrente nominale di 208,09 A:

Cavo AT	n° turbine collegate	lunghezza linea AT (ml)	Ic (A)	Sez. cavo (mmq)	n° cavi in trincea	In (A)	Delta P (kW)
150 kV	12	142	208,09	400	1	515	1,32

Per tale valore di corrente, si prevede l'utilizzo di un cavo in alluminio avente sezione 400 mmq, con isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, guaina in alluminio termo saldata e rivestimento in polietilene e con un diametro esterno di 82 mm, tipo **XPLE 400R**.

### Trasformatori TR

Le perdite a VUOTO (nel ferro) e a CARICO (nel rame), per il trafo di SE e il trafo di ciascuna WTG, sono stimabili (da data sheet dei costruttori) in 551,60 kW:

		n.	Pn	Pf	Perdite
Trafo AT in SE	P rame TR 50/60 MVA	1	180	114,6	114,6
Trafo AT in SE	P ferro TR 50/60 MVA	1	31	31	31
Trafo MT in torre	P rame TR 4,5 MVA	12	25,2	25,2	302,4
Trafo MT in torre	P ferro TR 4,5 MVA	12	5,3	5,3	63,6
<b>Perdite totali Trafo (KW)</b>					<b>511,6</b>

**Le perdite totali ammontano a 2361,24 KW, pari a 4.37% ca.**

### Quadri elettrici

Dalla scelta iniziale sulla tensione nominale del sistema, dall'analisi delle tabelle del load flow e del corto circuito, si dovranno scegliere quadri con le seguenti caratteristiche:

- tensione nominale: 30 kV;
- tensione massima: 34 kV;
- tensione di tenuta a frequenza industriale: 50 kV;
- tensione di tenuta ad impulso: 125 kV;
- categoria della disponibilità di esercizio: LSC2.

quadri MT in stazione:

- corrente nominale di breve durata NMT: 20 kA;
- corrente nominale delle sbarre principali NMT: > 2000 A;
- corrente nominale delle sbarre secondarie: 1250
- cabina di raccolta
- corrente nominale di breve durata CAB: superiore 20 kA;
- corrente nominale delle sbarre principali: 1250 A;
- corrente nominale delle sbarre secondarie: 630 A.

---

### ***Interruttori***

Specifiche funzionali degli interruttori:

- tensione nominale ( $U_r$ ) almeno uguale alla tensione massima del sistema elettrico ( $U_m$ );
- corrente nominale ( $I_r$ ) almeno uguale alla corrente di intervento del relè;
- potere di interruzione ( $I_{sc}$ ) almeno uguale alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione.

### ***Sezionatori***

Specifiche funzionali dei sezionatori:

- tensione nominale ( $U_r$ ) almeno uguale alla tensione massima del sistema;
- corrente nominale di breve durata ( $I_k$ ) almeno uguale alla corrente presunta di cortocircuito (trifase simmetrica) nel punto di installazione, e durata nominale di cortocircuito ( $t_k$ ) almeno uguale al tempo di interruzione della corrente di cortocircuito dei dispositivi di protezione;
- corrente nominale ( $I_r$ ) almeno uguale alla corrente di intervento del relè di massima corrente ritardato.

### ***Trasformatori di corrente (TA) per misure e protezioni***

Specifiche funzionali dei TA:

- Corrente nominale primaria ( $I_{pn}$ ) deve essere uguale o superiore alla corrente di sovraccarico prevedibile nell'impianto per i trasformatori di protezione, mentre deve essere uguale o superiore all'83% della corrente massima nel punto di inserzione per i trasformatori di misura;
- Corrente nominale secondaria ( $I_{sn}$ ) scelta tra (1 A, 2 A e 5 A) in funzione di ( $I_n$ ).

Specifiche tecniche dei TA scelti:

$U_r$  [kV]: 24

$I_{Pn}$  [A] > 83%  $I_b$

$I_{sn}$  [A]: 5

Precisione TA di protezione: 5P20

Tutti i trasformatori di corrente ad uso fiscale dovranno avere le seguenti classi di precisione:

- alta tensione 0,2;
- media tensione 0,5;
- bassa tensione 1.

---

### *Trasformatori di tensione (TV) per misure e protezioni*

Specifiche funzionali dei TV:

- Tensione nominale prescritta per l'avvolgimento primario pari a  $U_n/\sqrt{3}$  (inserzione fase/terra) oppure pari a  $U_n$  (inserzione fase-fase);
- Tensione nominale prescritta per l'avvolgimento secondario pari a  $100/\sqrt{3}$  V (inserzione fase-terra) o 100 V (inserzione fase-fase).

Specifiche tecniche dei TV scelti:

<b>elemento</b>	<b>U<sub>pn</sub> [kV]</b>	<b>U<sub>sn</sub> [kV]</b>	<b>Classe di precisione</b>
TV misura	24	0,058	0,5
TV protezione	24	0,058	3P

### *Contatori*

Specifiche funzionali dei contatori:

- contatore statico di tipo numerico e non ad impulsi;
- corrente nominale pari a 1 A o 5 A, scelta coerentemente con la corrente nominale
- secondaria dei TA;
- tensione nominale pari a  $100/\sqrt{3}$  V nel caso di inserzione dei TV tra fase e terra, o pari a 100 V, nel caso di inserzione dei TV tra fase e fase.

Specifiche tecniche dei contatori scelti:

$$I_n [A] = 5$$

$$U_n [kV] = 0,058$$

$$\text{Classe di precisione } 0,5 P_{att} / 0,2 P_{reatt}$$