



## PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO

Località "Valle Castagna, Valle Cornuta, Mezzana del Cantone"  
Comune di Montemilone (PZ)

# A.15 DISCIPLINARE DESCRITTIVO E PRESTAZIONALE DEGLI ELEMENTI TECNICI

Cliente/Customer			Commessa/Job	Emesso da	
<b><u>MILONIA S.R.L.</u></b>			98102	PER	
05	05/04/2017	REVISIONE	Scafidi	Scafidi	Ing. A. Sammartano
04	05/12/2016	ESECUTIVO	Scafidi	Scafidi	Ing. A. Sammartano
03	16/10/2014	REVISIONE	Ing. S. Casareale	Ing. S. Casareale	Ing. A. Sammartano
02	13/12/2013	REVISIONE	Ing. S. Casareale	Ing. S. Casareale	Ing. A. Sammartano
01	30/11/2012	REVISIONE	Ing. S. Casareale	Ing. S. Casareale	Ing. A. Sammartano
00	07/01/2010	EMISSIONE	Ing. S. Casareale	Ing. G. Garruti	Ing. V. Mastrangelo
<b>Rev</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Preparato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>
<b>Autorizzazione Emissione</b>					

## INDICE

<b>1. OGGETTO</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIZIONE GENERALE</b>	<b>4</b>
2.1 DESCRIZIONE DELLA NAVICELLA .....	5
2.2 ROTORE.....	10
<b>3. CONTROLLO E REGOLAZIONE</b>	<b>11</b>
3.1 SISTEMA DI CONTROLLO DELLA VELOCITÀ.....	11
3.2 UNITÀ CENTRALE .....	11
3.3 SMORZAMENTO ATTIVO DELLE OSCILLAZIONI TORSIONALI DELL'ALBERO DI TRASMISSIONE .....	12
<b>4. MONITORAGGIO</b>	<b>12</b>
<b>4.1 SENSORI</b>	<b>12</b>
4.1.1 <i>Sensori di servizio.</i> .....	13
<b>5. PROTEZIONE ANTI-FULMINE</b>	<b>14</b>
5.1 LUCI DI SEGNALAZIONE .....	14
5.2 ASCENSORE DI SERVIZIO.....	15
5.3 COLORE DELL'AEROGENERATORE .....	15
5.4 MANUTENZIONE.....	15
<b>6. CONDIZIONI GENERALI DI IMPIEGO</b>	<b>15</b>
<b>7. DATI TECNICI</b>	<b>15</b>
<b>7.1 PESI E DIMENSIONI DI INGOMBRO</b>	<b>17</b>
7.1.1 <i>Navicella</i> .....	17
7.1.2 <i>Pale 18</i>	
7.1.3 <i>Torre</i> .....	18
<b>8. DESCRIZIONE SISTEMA ELETTRICO</b>	<b>18</b>
8.1 SOTTOSTAZIONE DI CONSEGNA .....	19
8.2 SOTTOSTAZIONE DI TRASFORMAZIONE.....	20
8.3 LINEA ALTA TENSIONE INTERRATA .....	28
<b>9. CRITERI DI SCELTA DELLE PROTEZIONI E METODI DI CALCOLO</b>	<b>35</b>
9.1 PROTEZIONE CONTRO IL CORTO CIRCUITO.....	35
9.2 PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI.....	36

9.3 PROTEZIONE CONTRO IL SOVRACCARICO .....	37
9.4 DIMENSIONAMENTO CONTRO LA CADUTA DI TENSIONE .....	38
9.5 DETERMINAZIONE DELLE CORRENTI DI CORTOCIRCUITO .....	39



## 1. OGGETTO

Scopo del presente documento è quello di descrivere le caratteristiche tecniche e funzionali dell'aerogeneratore (o turbina eolica) del Parco Eolico di Montemilone (PZ).

Le informazioni riportate di seguito, di carattere descrittivo, sono puramente indicative; quelle di carattere dimensionale sono, invece, cautelativamente rappresentate riportando i valori massimi; esse, infatti, potranno essere oggetto di variazione in funzione sia della scelta finale del sub-contractor sia di un eventuale progresso tecnologico del settore.

## 2. DESCRIZIONE GENERALE

L'aerogeneratore proposto è una turbina eolica in controllo d'inclinazione e di velocità, con rotore a tre pale.

Tra le turbine presenti sul mercato sono state considerate le seguenti tipologie di turbine a seconda del layout scelto:

- Vestas V136 – 3.45 e V136 – 3.6 con hub height 132 m
- Senvion 3.4M140 e 3.6M140 con hub height 130 m
- GE Wind Energy 3.43 - 137 e 3.63 - 137 con hub height 131,4 m
- Siemens SWT-3.52-142 e SWT-3.53-142 con hub height 129 m

Grazie alle sue caratteristiche, la turbina eolica è in grado di far funzionare il rotore a velocità variabile, mantenendo l'output di potenza anche in caso di elevate velocità del vento.

A basse velocità del vento, il sistema di controllo (in velocità ed inclinazione) è in grado di massimizzare la potenza in uscita impostando il numero di giri e l'angolo di inclinazione delle pale ottimali; questo consente anche di minimizzare le emissioni acustiche prodotte dalla macchina.

Il rinforzo di molti elementi costruttivi, come per es. il cuscinetto del rotore e quello delle pale, l'albero del rotore e l'azionamento, nonché l'impiego di speciali materiali applicati nella zona delle pale del rotore, contribuisce a far sì che gli elevati carichi del rotore vengano assorbiti in modo sicuro.

## 2.1 Descrizione della navicella

Il rivestimento della navicella è in materiale composito. Un'apertura nel pavimento ne consente l'accesso tramite la torre.

Il tetto della navicella è equipaggiato con lucernari che garantiscono l'accesso alla strumentazione anemometrica e alla luci di segnalazione aerea.

Risulta pertanto così costituita:

- un telaio di base fuso;
- un telaio di supporto del generatore saldato;
- una struttura d'acciaio per il sistema di sollevamento e per sorreggere il rivestimento della cabina;
- un rivestimento della cabina costruito in materia sintetica rinforzata con fibre di vetro.

Dal design ergonomico, risulta spaziosa e quindi comoda per le attività di manutenzione.



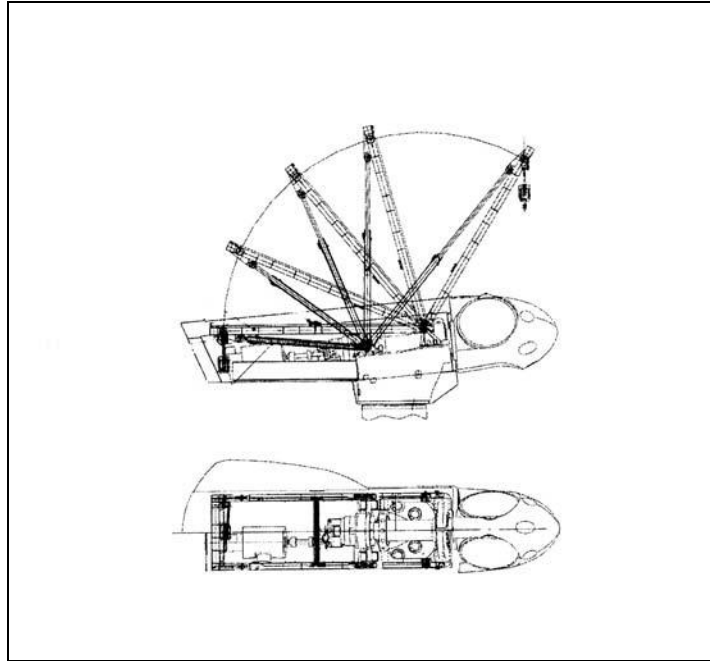
Item	Description
1	Canopy
2	Generator
3	Blades
4	Spinner/hub
5	Blade bearing cover
6	Control panel

Item	Description
7	Yaw gear
8	Hydraulic power unit
9	Swing arm
10	Cooling inlet with filter
11	Wind instruments

## Basamento

Sulla parte anteriore della navicella è ospitato il giunto meccanico che trasmette le forze ed i momenti dal rotore alla torre. La parte anteriore del basamento della navicella è realizzata in acciaio stampato. Il rivestimento esterno della navicella è fissato al basamento.

Il basamento è formato da una parte in acciaio stampato e da una struttura in travi. La parte in acciaio stampato è utilizzata come fondazione per il cambio ed il generatore; la parte bassa fornita è connessa al cuscinetto reggispira. Le rotaie della gru di servizio sono collegate nella parte alta della struttura reticolare. Le travi inferiori della struttura reticolare sono collegate alla parte posteriore del basamento che ospita i quadri di controllo, il sistema di raffreddamento ed il trasformatore.



#### Gru di sollevamento

La navicella ospita una gru (paranco a catena) di servizio da circa 800 kg; in caso di necessità il sistema di sollevamento può essere potenziato con una gru da 12000 kg. Tale gru è in grado di sollevare masse di grandi dimensioni, quali componenti del cambio e del generatore.

#### Trasmissione

Il cambio trasmette la coppia dal rotore al generatore. Il cambio è formato da un ingranaggio a due stadi planetario e da uno stadio elicoidale; la dentatura è progettata per garantire massima efficienza e bassa rumorosità. La scatola del cambio è collegata con accoppiamento di tipo bullonato al basamento. L'albero lento è bullonato direttamente al mozzo senza l'uso di un albero intermedio.

La struttura è progettata per garantire una buona distribuzione dei carichi trasmessi dal rotore alla torre. La trasmissione si trova in prossimità della flangia di testa della torre. L'inclinazione dell'albero del rotore, abbinata all'angolo del mozzo del rotore, consente di ottenere un interasse estremamente piccolo tra il centro del rotore e l'asse della torre.

Il sistema di lubrificazione del cambio è ad alimentazione forzata senza l'ausilio integrato della coppa dell'olio.

## Sistema di orzata

Il sistema di orzata è un semplice sistema che consente alla turbina di orientarsi nella direzione prevalente del vento. I sei motori elettrici ruotano la navicella attorno alla torre. L'organo di accoppiamento trasmette le forze dalla navicella alla torre. Un sistema elettrico di sensori di allineamento al vento e relativo software comanda sia i tempi di inserimento che il senso di rotazione dei motori; esso svolge inoltre automaticamente i cavi, nel caso che l'impianto si sia girato più volte in un solo senso. In mancanza di alimentazione elettrica vengono attivati i freni.

## Sistema frenante

La turbina frena allineando le pale del rotore parallelamente alle correnti d'aria. Ognuno dei tre dispositivi di regolazione posti sulle pale del rotore è dimensionato in modo completamente indipendente; per portare la turbina eolica ad un regime sicuro di giri è sufficiente inclinare una delle pale del rotore, ciò fa sì che l'intero sistema frenante abbia una triplice sicurezza. In caso di mancanza di corrente, gli azionamenti vengono alimentati dagli accumulatori.

La macchina è dotata di un ulteriore sistema: un freno a disco meccanico che, combinato con il sistema di inclinazione delle pale [sistema frenante primario], consente di bloccare completamente il rotore. Esso è utilizzato come freno di parcheggio e può essere solo attivato manualmente attivando il pulsante di emergenza situato all'interno della macchina.

## Generatore

Si possono considerare due tipologie di generatori a seconda del tipo di aerogeneratore scelto:

1. Un generatore asincrono a 6 poli con rotore avvolto. Il sistema di controllo in velocità fa sì che la turbina possa operare con velocità variabile. Ciò consente di ridurre sia le fluttuazioni di potenza in rete che minimizzare i carichi sui componenti vitali della turbina. Inoltre il controllo in velocità ottimizza la produzione di energia elettrica, specialmente a basse velocità del vento ed è in grado di mantenere il fattore di potenza tra 0,96 induttivo e 0,98 capacitivo (misurato sul livello di bassa tensione). L'alternatore è raffreddato ad acqua.
2. Un generatore sincrono, multipolo a magneti permanenti. Opera tra 6 - 19 giri/minuto, producendo in uscita un segnale elettrico a 3 fasi variabile in tensione, corrente e frequenza. La classe di protezione del generatore è IP44. Il sistema di raffreddamento



non forzato è realizzato tramite alette di raffreddamento poste sulla superficie esterna del generatore.

## Trasformatore

Considerando i due tipi di generatore prima di descritti si riportano i relativi tipi di trasformatore.

1. Il trasformatore elevatore è situato in un compartimento separato nella parte posteriore della navicella. Il trasformatore è tri-fase con isolamento in resina progettato per applicazioni eoliche. Gli avvolgimenti sono con connessione a "triangolo" sul lato media tensione, se non altrimenti specificato. Il collegamento di bassa tensione è di tipo a "stella". Il sistema elettrico di bassa tensione è di tipo TN, in cui il centro stella è collegato a terra. Gli scaricatori di tensione sono sul lato di media tensione del trasformatore. Il cabinato del trasformatore è equipaggiato con sensori di rilevazione di arco elettrico.
2. La produzione di potenza è basata sul generatore in presa diretta e sul convertitore di frequenza a quattro quadranti IGBT, posizionato a base torre, il quale estrae dal generatore la potenza elettrica ottimale e la converte in un'uscita compatibile con la rete (650V ,50Hz). Il trasformatore di media tensione è installato internamente alla torre, eliminando la cabina di trasformazione esterna. I componenti hardware del sistema di controllo sono situati a base torre – un sottosistema (slave) del sistema di controllo è localizzato nella navicella. La comunicazione con il sistema pitch è realizzata attraverso contatti striscianti; la comunicazione con la base torre (master) è effettuata tramite cavi ottici. La trasmissione di potenza elettrica, attraverso il sistema yaw, è realizzata tramite una connessione diretta mediante cavi con sistema antiavvolgimento.

## Sistema di raffreddamento e di ventilazione

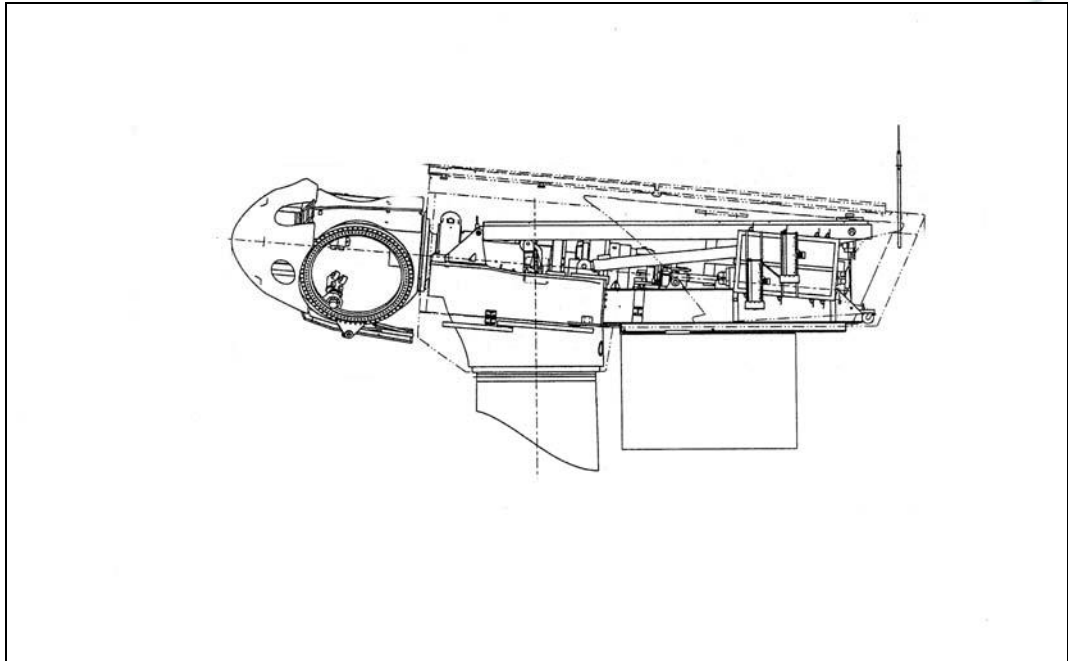
Se la temperatura interna alla navicella oltrepassa il valore massimo impostato, le serrande dell'aria si aprono automaticamente consentendo all'aria esterna di entrare; il ricircolo dell'aria avviene grazie ad un ventilatore.

Il circuito dell'olio di lubrificazione del cambio, l'acqua di raffreddamento del generatore e l'unità di regolazione (controllo in velocità) sono raffreddati attraverso un ingresso separato

d'aria, mediante scambiatori aria/acqua. Gli scambiatori ed i circuiti sono termicamente isolati.

Un ventilatore separato raffredda invece il trasformatore.

Il sistema di ventilazione aria ambiente è alloggiato nella parte posteriore alta della navicella.



## 2.2 Rotore

Hub – parte anteriore

Il mozzo è collegato direttamente al cambio, con ciò viene eliminato il tradizionale sistema di trasmissione del momento torcente al generatore attraverso un albero di trasmissione.

Sistema di controllo dell'inclinazione

La turbina eolica è dotata di un sistema di controllo e regolazione dell'inclinazione delle pale. Considerando la direzione prevalente del vento, esso fa sì che le pale vengano orientate con un'inclinazione ottimale.

Il sistema di regolazione è posizionato nell'hub ed è composto da attuatori idraulici in grado di ruotare le pale fino a 95°. Ogni pala ha una regolazione dedicata con un proprio attuatore.

## Sistema idraulico

Una centralina idraulica controlla il circuito idraulico degli attuatori di regolazione dell'inclinazione delle pale; in caso di interruzione dell'alimentazione elettrica o guasto al circuito idraulico interviene un sistema di back-up (accumulatori) in grado di alimentare indipendentemente gli attuatori, facendo sì che le pale si orientino nella posizione di riposo e la macchina si arresti.

## Pale

Le pale della turbina eolica sono realizzate in materiale composito (matrice in resina epossidica con fibre di vetro e fibre di carbonio). Ogni pala è formata da due gusci collegati ad un'asta di supporto.

Il design delle pale è studiato per garantire un'alta efficienza aerodinamica, una bassa rumorosità e luminescenza. Inoltre il profilo delle pale è studiato per minimizzare i carichi trasmessi alla macchina.

Il cuscinetto montato sulle pale è un cuscinetto a doppia corona di sfere collegato al mozzo. Ogni pala è dotata di un sistema di protezione antifulmine costituito da un ricettore posto sulla sua estremità e da un conduttore in rame che corre all'interno.

## **3. CONTROLLO E REGOLAZIONE**

### **3.1 Sistema di controllo della velocità**

Il controllo della velocità assicura una regolare e costante produzione di energia elettrica.

I sistemi di controllo e regolazione velocità ed inclinazione garantiscono un'ottimizzazione della produzione di energia elettrica, una bassa rumorosità, riducendo i carichi trasmessi alla macchina.

Il sistema controlla la corrente nel circuito rotorico del generatore fornendo un controllo preciso della potenza reattiva e fornisce un agevole controllo delle fluttuazioni quando il generatore è connesso alla rete.

### **3.2 Unità centrale**

Tutte le funzioni della turbina eolica sono monitorate e controllate attraverso un'unità di controllo; essa è costituita da varie sotto-unità. Ogni sotto-unità svolge una funzione dedicata comunicando attraverso una rete in fibre ottiche.

L'unità di controllo è ubicata nella parte inferiore della torre, nella navicella e nell'hub.

Il sistema operativo rispetta i requisiti di stabilità, flessibilità e sicurezza attualmente richiesti ad un sistema nel settore della produzione di energia elettrica.

L'unità centrale è equipaggiata con batterie tampone; essa esegue le seguenti funzioni:

- Monitorare e supervisionare tutte le operazioni;
- Sincronizzare il generatore con la rete durante la sequenza di parallelo;
- Gestire la turbina durante un qualsiasi disservizio;
- Orzare automaticamente la navicella seguendo la direzione di vento prevalente;
- Gestire, mediante il controllo automatico, l'inclinazione delle pale;
- Controllare potenza reattiva e velocità di esercizio;
- Controllare l'emissione acustica;
- Monitorare le condizioni meteorologiche;
- Monitorare lo stato della rete elettrica;
- Monitorare gli attacchi da fulmine;
- Supervisionare il sistema di rilevamento fumo;
- Decelerare la turbina per altissimi livelli di temperatura.

### **3.3 Smorzamento attivo delle oscillazioni torsionali dell'albero di trasmissione**

Le oscillazioni che possono verificarsi negli organi di trasmissione sono monitorate attraverso il controllo del numero di giri e possono essere smorzate grazie al controllo attivo del generatore.

Il controllo attivo entra in funzione, qualora le oscillazioni superino un dato valore limite.

Alta qualità della stabilità di rete

Il controllo di velocità contribuisce positivamente, riducendo la 5<sup>a</sup> e la 7<sup>a</sup> componente armonica nella rete.

## **4. MONITORAGGIO**

### **4.1 Sensori**

I dati necessari al controllo - regolazione della turbina e della produzione di energia elettrica sono acquisiti mediante differenti sensori che misurano:

- Stato meteo: direzione, velocità e temperatura del vento;
- Stato della macchina: temperature, pressione e livello dell'olio, livello dell'acqua di raffreddamento;
- Stato del rotore: velocità ed inclinazione;
- Stato della struttura: vibrazioni e rilievo scariche atmosferiche;
- Stato della rete: potenza attiva e reattiva, tensione, corrente, frequenza, cosp

#### 4.1.1 Sensori di servizio.

##### Anemometri ad ultrasuoni.

La navicella è equipaggiata con due sensori anemometrici ridondanti ad ultrasuoni; la ridondanza consente di incrementare l'affidabilità e l'accuratezza delle misure.

Se per qualsiasi motivo si interrompe il segnale tra lo strumento e la centralina dati, la turbina viene automaticamente arrestata.

Il sensore può essere eventualmente equipaggiato di riscaldatore.

I sensori sono localizzati sul tetto della navicella e sono dotati di sistema di protezione anti-fulmine.

##### Rilevatori di fumo

La torre e la navicella sono equipaggiate con rilevatori ottici per la presenza di fumo. In caso di presenza di fumo il sistema prevede l'attivazione di un allarme, trasmesso dal sistema di controllo remoto alla sala controllo, e l'apertura degli interruttori principali; ciò fa sì che l'aerogeneratore in allarme venga isolato dalla rete.

##### Parafulmini

Ogni pala di ciascun aerogeneratore è dotata di parafulmini.

##### Sensori di vibrazione

Tali sensori registrano i movimenti della parte alta della torre. I dati registrati sono controllati dall'unità centrale e consentono di fermare la macchina in caso superamento dei valori limite.

Questi sensori permettono all'aerogeneratore (di elevata altezza della torre) di far ruotare il rotore con velocità prossime alla frequenza naturale della torre.

Global positioning system

Il sistema GPS è principalmente utilizzato per sincronizzare l'orario nella macchina. Esso consente di regolare l'ora con una precisione di 1 secondo. Il sistema consente di avere un affidabile monitoraggio nel tempo dei principali parametri operativi dell'aerogeneratore.

Protezione contro archi elettrici

Il trasformatore ed i quadri di bassa tensione sono protetti con un sistema anti-arco elettrico. Nel caso in cui si verificasse un arco elettrico il sistema è in grado di aprire istantaneamente l'interruttore principale a valle del generatore.

## **5. PROTEZIONE ANTI-FULMINE**

L'aerogeneratore è dotato di un sistema di protezione anti-fulmine, in grado di proteggere l'intera macchina a partire dall'estremità di ogni pala fino alla fondazione.

Il sistema consente alla corrente proveniente dal fulmine di by-passare le parti vitali della macchina (quali: pale, navicella e torre) senza arrecare danni.

In aggiunta le unità di controllo ed i processori sono protetti da apposite schermature. Il parafulmini è montato sulla estremità di ogni pala; grazie alla registrazione dei dati provenienti dai rilevatori di scarica è possibile conoscere con esattezza l'ora di un qualsiasi evento di scarica significativo, quale pala sia stata colpita dal fulmine e l'intensità della scarica.

### **5.1 Luci di segnalazione**

L'aerogeneratore è equipaggiato con due luci di segnalazione localizzate sopra alla navicella in modo tale che almeno una delle due sia sempre visibile da qualunque posizione. Il sistema di segnalazione prevede la possibilità di trasmettere alla sala controllo lo stato delle luci, la loro vita residua e può essere altresì variata l'intensità luminosa in funzione della visibilità dell'ambiente.

Nel Parco Eolico le luci di segnalazione dei singoli aerogeneratori possono essere tra di loro sincronizzate.

## **5.2 Ascensore di servizio**

L'aerogeneratore può essere equipaggiato di ascensore di servizio posizionabile all'interno della torre.

## **5.3 Colore dell'aerogeneratore**

Il colore della vernice protettiva esterna previsto è grigio molto chiaro (RAL 7035).

## **5.4 Manutenzione**

L'aerogeneratore necessita di manutenzione programmata (ogni 12 mesi c.a.).

# **6. CONDIZIONI GENERALI DI IMPIEGO**

L'aerogeneratore è progettato per operare in un range di temperatura da  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$ . Tutti i componenti, incluso i refrigeranti, oli e liquidi in generale sono in grado di resistere fino a bassissime temperature ( $-40^{\circ}\text{C}$ ).

Nel caso in cui la temperatura all'interno della navicella oltrepassi i  $+50^{\circ}\text{C}$ , l'aerogeneratore si porta in posizione di riposo.

L'aerogeneratore è in grado di lavorare con umidità relativa del 100%.

Tutti i componenti dell'aerogeneratore sono protetti contro la corrosione (le classi di protezione variano a seconda di componenti a contatto con l'ambiente esterno e interni alla macchina). La progettazione dei rivestimenti corrosivi è pensata per un ciclo di vita di oltre 15 anni.

# **7. DATI TECNICI**

*Rotore*

Diametro massimo: 142 m

Superficie massima spazzata dal rotore:  $15.829 \text{ m}^2$

Numero di pale: 3

Range velocità: 6.5÷13.7 rpm

Senso di rotazione: orario

Orientamento: sopravento

#### *Hub*

Tipo: acciaio stampato

#### *Pale*

Profilo: di tipo alare

Materiale: composito (matrice: resina epossidica – fibre: vetro+carbonio)

Lunghezza massima: 69.3 m

#### *Cuscinetto principale*

Tipo: a doppia corona di sfere

#### *Generatore*

Potenza massima: 3700 kW

Tipo: asincrono con rotore avvolto - sincrono a magneti permanenti

Frequenza: 50 Hz

Fattore di potenza: 0,9<sub>CAP</sub> – 0,9<sub>IND</sub>

Velocità nominale massima: 10.75 rpm

Classe di protezione: IP54

N. di poli: 4/6

#### *Trasformatore*

Tipo: a resina

Potenza max: 3333 kVA

Media tensione max: 36 kV

Frequenza: 50/60 Hz





Bassa tensione: 400÷1000 V

#### *Circuito idraulico*

Pressione: 260 bar circa

Dislocazione: l'unità idraulica è posizionata all'interno della navicella

#### *Sistemi di raffreddamento*

- Olio del cambio: il raffreddamento avviene mediante l'utilizzo di due scambiatori acqua /aria ed uno scambiatore olio/acqua
- Generatore: il raffreddamento avviene mediante l'utilizzo di due scambiatori acqua /aria
- Trasformatore: a ventilazione forzata
- Navicella: a ventilazione forzata con controllo tramite serrande di regolazione

#### *Navicella*

Materiale: composito in fibra di vetro

#### *Torre*

Tipo: conica a sezione tubolare

Materiale: acciaio al carbonio

Trattamento superficiale: verniciata

Diametro: 3÷5 m

Altezza massima hub: 132 m

L'altezza all'hub, seppur indicativa, è calcolata a partire dal livello medio del terreno.

## **7.1 Pesì e dimensioni di ingombro**

### 7.1.1 Navicella

Lunghezza max: 14 m

Larghezza max: 4.8 m

Altezza max: 6.0 m

Altezza max per il trasporto: 3.4 m

Peso max navicella excl rotore e drive train: circa 64 t

Peso max rotore: circa 78 t

#### 7.1.2 Pale

Lunghezza max: 69.3 m

Peso max: circa 18 t (singola pala)

#### 7.1.3 Torre

Peso max: circa 370 t

## 8. DESCRIZIONE SISTEMA ELETTRICO

Sostanzialmente il sistema elettrico è costituito da:

- n°17 aerogeneratori completi di tutte le apparecchiature necessarie al funzionamento, protezione e connessione in rete degli aerogeneratori stessi;
- Sistema di Controllo del Parco Eolico (SCADA);
- linee Media Tensione (30kV) per l'intercollegamento tra i vari aerogeneratori;
- n°4 linee Media Tensione (30 kV) Principali interrato, per il collegamento tra la Sottostazione di Trasformazione e i quadri MT di connessione dei gruppi di aerogeneratori;
- n°1 Sottostazione di Trasformazione 150/30 kV comprensiva di sistema di misura dell'energia elettrica immessa in rete;
- n° 1 linea Alta Tensione (150 kV) interrato per il collegamento tra la Sottostazione di Trasformazione e la Sottostazione di Consegna;
- n°1 Sottostazione di Consegna all'interno dell'Area Utenti della Stazione Elettrica TERNA 380/150 kV nel Comune di Genzano di Lucania (PZ), collegata in entra-esce alla linea RTN 380 kV "Matera – Bisaccia".

## 8.1 Sottostazione di Consegna

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede il collegamento in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV di una futura stazione elettrica della RTN 380/150 kV che è collegata in entra/esce sulla linea RTN a 380 kV "Matera-Bisaccia".

L'impianto di Consegna sarà condivisa da tre società e così costituito:

- Zona comune utenti MILONIA 201100596 e altre due società
- n° 1 montante di partenza (per il collegamento in cavo interrato alla sottostazione 380/150Kv RTN)
- sistema sbarre con trasformatore di tensione induttivo

Il montante di partenza dell'impianto di Consegna, sarà costituito dalle seguenti apparecchiature:

- N°1 sezionatore tripolare A.T. con comando motorizzato
- N°1 Interruttore tripolare A.T. con comando motorizzato

L'impianto di connessione alla Millonia s.r.l. sarà costituito da:

- N° 1 montante risalita cavi AT interrati;
- locali destinati al contenimento dei quadri di potenza e controllo della Sottostazione e all'alloggiamento delle apparecchiature di misura dell'energia elettrica.

### Opere accessorie

La sottostazione Consegna sarà opportunamente recintata e verranno previsti n.1 ingresso carraio adeguatamente collegato al sistema viario più prossimo.

Sarà previsto un adeguato sistema di illuminazione esterna, realizzato con proiettori al sodio da 125W o 250W, installati su palo o altra struttura, secondo necessità. Il sistema di illuminazione esterna sarà gestito da un interruttore crepuscolare.

Tutta la sottostazione sarà provvista di un adeguato impianto di terra che collegherà tutte le apparecchiature elettriche e le strutture metalliche presenti nella sottostazione stessa.

Sarà prodotta apposita "Relazione di Verifica" allo scopo di accertare se sia necessario o meno adottare idonee misure di protezione, per la salvaguardia delle persone e dei beni esistenti sull'impianto, dai pericoli derivanti dalle scariche atmosferiche.

Per la verifica sarà impiegata la procedura prevista dalle Norme CEI 81-1, CEI 81-4.

In seguito ai risultati di detta "Relazione" sarà previsto o meno un adeguato sistema di protezione da scariche atmosferiche.

Tutti i locali saranno illuminati con plafoniere stagne, contenenti uno o due lampade fluorescenti da 18/36/58W secondo necessità.

Sarà inoltre previsto un adeguato numero di plafoniere stagne dotate di batterie tampone, per l'illuminazione di emergenza.

## **8.2 Sottostazione di Trasformazione**

L'energia elettrica prodotta dal Parco Eolico viene trasportata attraverso 4 linee MT interrato fino alla Sottostazione di Trasformazione MT/AT, dove la tensione viene innalzata da 30 kV a 150 kV.

L'impianto di Trasformazione sarà così costituito:

- n° 1 montante trasformatore (completo di trasformatore AT/MT)
- locali destinati al contenimento dei quadri di potenza e controllo relativi all'Impianto Utente

Il montante trasformatore, dell'impianto Utente, sarà costituito dalle seguenti apparecchiature:

- Trasformatore AT/MT da 95 MVA
- Scaricatori di sovratensione AT;
- Sezionatore tripolare A.T. con comando motorizzato
- Trasformatori di tensione
- Trasformatori di corrente
- Interruttore tripolare A.T. con comando motorizzato
- Supporto per cavo AT interrato

Il trasformatore AT/MT provvederà ad elevare il livello di tensione della rete del parco eolico (30kV) al livello di tensione di 150kV; detto trasformatore sarà di tipo con isolamento in olio e di potenza pari a 95 MVA.

Il trasformatore sarà dotato di sonde termometriche (PT100) installate sugli avvolgimenti secondari del trasformatore stesso e di dispositivi per la rilevazione della pressione dell'olio di isolamento; i segnali delle protezioni saranno inviate al quadro di controllo della sottostazione ed utilizzate per segnalazioni di allarme e blocco.

All'interno dell'area della sottostazione AT/MT sarà realizzato un edificio atto a contenere le apparecchiature di potenza e controllo relative alla sottostazione stessa.

L'edificio sarà composto dai i seguenti locali:

- Locale quadri
- Locale batterie
- Locale misure
- Locale servizi igienici
- Locale SCADA

Nel locale quadri verranno installati:

- Quadro di Media Tensione (completo di trasformatore MT/BT e relativo box metallico di contenimento) per alimentazione utenze ausiliarie
- Quadro di distribuzione BT.
- Quadro di distribuzione tensione ininterrompibile 400/230Vca.
- Quadro di distribuzione tensione ininterrompibile 110Vcc.
- Quadro controllo e protezione sottostazione Impianto Utente.

#### Opere accessorie

La sottostazione Trasformazione sarà opportunamente recintata e verranno previsti n. 1 ingresso carraio adeguatamente collegato al sistema viario più prossimo.

Sarà previsto un adeguato sistema di illuminazione esterna, realizzato con proiettori al sodio da 125W o 250W, installati su palo o altra struttura, secondo necessità. Il sistema di illuminazione esterna sarà gestito da un interruttore crepuscolare.

Tutta la sottostazione sarà provvista di un adeguato impianto di terra che collegherà tutte le apparecchiature elettriche e le strutture metalliche presenti nella sottostazione stessa.

Sarà prodotta un'apposita "Relazione di Verifica" allo scopo di accertare se sia necessario o meno adottare idonee misure di protezione, per la salvaguardia delle persone e dei beni esistenti sull'impianto, dai pericoli derivanti dalle scariche atmosferiche.

Per la verifica sarà impiegata la procedura prevista dalle Norme CEI 81-1, CEI 81-4.

In seguito ai risultati di detta "Relazione", sarà previsto o meno un adeguato sistema di protezione da scariche atmosferiche.

Nel locale quadri della sottostazione sarà previsto un locale per il contenimento del sistema SCADA completo del rack di automazione e della stazione di supervisione di tutto il parco eolico e dei servizi igienici.

Tutti i locali saranno illuminati con plafoniere stagne, contenenti uno o due lampade fluorescenti da 18/36/58W secondo necessità.

Sarà inoltre previsto un adeguato numero di plafoniere stagne dotate di batterie tampone, per l'illuminazione di emergenza.

#### Quadri elettrici

La tipologia e la quantità dei quadri elettrici relativi alla sottostazione sarà concordata con TERNA, in ogni caso di seguito sono indicati i principali armadi necessari per il corretto funzionamento della sottostazione.

#### Quadro di controllo

Destinato al comando e controllo della sottostazione, detto quadro sarà completo di un sinottico operativo riportante le apparecchiature della sottostazione ed i relativi pulsanti e lampade di segnalazione per il comando degli interruttori e sezionatori.

Il quadro di controllo conterrà inoltre il relè multifunzione per le protezioni elettriche; oltre a quanto eventualmente richiesto da TERNA, saranno previste le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata (50 e 51).

Sul quadro di controllo saranno inoltre previsti dei convertitori di segnale per la ritrasmissione (segnale 4÷20mA) a SCADA e TERNA delle principali grandezze elettriche quali:

- Tensione
- Potenza attiva
- Potenza reattiva

- Fattore di potenza

### Corrente

A seguito di quanto verrà concordato con GRTN, verranno resi disponibili a morsettiera dei contatti liberi da tensione per la ripetizione a GRTN dello stato delle apparecchiature della sottostazione e dell'intervento protezioni ed allarmi.

Saranno inoltre previsti a morsettiera ulteriori contatti liberi da tensione per la ripetizione a SCADA dello stato delle apparecchiature della sottostazione e dell'intervento protezioni ed allarmi.

### Quadro media tensione di Distribuzione Generale

Allo scopo di convogliare l'energia prodotta (a 30kV) dai gruppi dei generatori eolici sui trasformatori AT/MT, sarà previsto un quadro di media tensione costituito da n. 6 scomparti:

- n. 1 scomparto protezione trasformatore AT/MT dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione. Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata e massima corrente di guasto a terra, (50, 51 e 51N).

Inoltre su detta apparecchiatura saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Lo scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

- n. 4 scomparti di arrivo dai gruppi dei generatori eolici: ciascuno dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione. Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata, massima corrente di guasto a terra, minima e massima tensione, massima tensione omopolare e minima e massima frequenza (50, 51, 51N, 27, 59, 59Vo, 81< e 81>). Le protezioni voltmetriche sopra indicate sono quelle prescritte da GRTN per gli impianti produttori (DV601).

Inoltre, su detta apparecchiatura saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Ciascun scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

- n. 1 scomparto protezione trasformatore MT/BT ausiliari: dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione. Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata e massima corrente di guasto a terra, (50, 51 e 51N).

Inoltre, su detta apparecchiatura, saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Lo scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

Il dimensionamento degli interruttori MT del quadro in oggetto è stato eseguito considerando le correnti di ciascuna linea. In particolare:

Per la protezione delle linee che alimentano i tre gruppi dei generatori, è stato scelto un interruttore ciascuno di taglia pari a 630 A in quanto la corrente massima dei gruppi è di 514 A.

Per la protezione della linea che collega il quadro di distribuzione MT al trasformatore elevatore della sottostazione, di potenza nominale pari a 95MVA che alla tensione di 30kV corrispondono ad una corrente pari a °2034A, è stato scelto un interruttore di taglia pari a °2500A.

Per la protezione della linea relativa all'alimentazione del trasformatore ausiliario è stato scelto un interruttore di taglia pari a 630A.

Per quanto concerne il dimensionamento della barratura del quadro in oggetto è stato considerato il valore cautelativo di °3000A, tuttavia in considerazione della particolarità di realizzazione di un quadro con tali caratteristiche, ci riserviamo di rivedere tale valore in fase di progettazione di dettaglio, dopo lo studio, insieme al costruttore del quadro stesso, di conformazioni tali da consentire la riduzione del valore stesso.

Sul quadro di media tensione saranno previsti i seguenti interblocchi:

- Sistema di "rincalzo" per mancata apertura interruttore MT (152/L2, 152/L3 e 152/L4) per intervento protezioni voltmetriche (DV601): nel caso in cui si verificasse su una o più linee (relative ai suddetti interruttori), una anomalia tale da determinare l'intervento delle protezioni DV601 e, a seguito di detto intervento, non si verificasse l'apertura del relativo interruttore MT, è stato previsto un sistema di "rincalzo" che



provoca (con un ritardo di 500ms) l'apertura dell'interruttore AT 252/E3. In tal modo viene garantito, con un doppio sistema di interruzione, l'isolamento del parco eolico dalla Rete Nazionale in caso di perturbazione elettrica.

- Sistema di "trascinamento" interruttore AT 252/E3 – interruttore MT protezione trasformatore (152/L1 e 152/L5): nel caso in cui si verificasse l'apertura di un interruttore AT è stato previsto un sistema di "trascinamento" che provoca l'apertura del relativo interruttore MT.

La scelta di prevedere le protezioni richieste da GRTN (DV601) per gli impianti produttori, su ciascun interruttore MT relativo a ogni gruppo di generatori, consente una maggiore affidabilità di produzione, in quanto, al verificarsi di una perturbazione elettrica su un gruppo di generatori, l'intervento delle protezioni (DV601) agisce solo sull'interruttore MT relativo al gruppo stesso, consentendo agli altri gruppi di continuare a funzionare e quindi ad immettere energia in Rete.

Al tempo stesso il sistema di "rincalzo" precedentemente descritto assicura che, in ogni caso, la perturbazione elettrica prodotta dal gruppo di generatori, non investa la Rete Nazionale.

#### Trasformatore MT/BT

Detto trasformatore, alimentato dal quadro di media tensione sopra descritto, sarà di tipo con isolamento in resina e di potenza pari a 63KVA; esso sarà utilizzato per trasformare la media tensione 30KV in bassa tensione (400V).

Il trasformatore sarà dotato di una centralina termometrica che riceverà i segnali provenienti dalle sonde termometriche (PT100) installate sugli avvolgimenti secondari del trasformatore stesso e provvederà, in caso di sovratemperature, a dare una segnalazione di allarme. Nel caso in cui la temperatura dovesse ulteriormente salire la centralina comanderà l'apertura dell'interruttore MT ad esso relativo.

Il trasformatore verrà installato in un adeguato box metallico di contenimento ubicato in prossimità del quadro di distribuzione BT.

#### Quadro di distribuzione BT

Detto quadro riceverà alimentazione dal trasformatore sopra descritto e provvederà a distribuire l'alimentazione BT, tramite adeguati interruttori, a tutte le utenze elettriche (compresi gli impianti di illuminazione interna ed esterna) presenti nella sottostazione. Sarà inoltre previsto, sull'interruttore generale, un comando di "trascinamento" proveniente dall'interruttore sul quadro di media tensione, che determinerà (in caso di apertura di quest'ultimo) la conseguente apertura dell'interruttore generale BT.

#### Quadro UPS e distribuzione 400/230Vca

Detto quadro riceverà alimentazione dal quadro di distribuzione e sarà del tipo a due "rami" ovvero adatto all'alimentazione dei carichi privilegiati 400/230Vca ed alla contemporanea carica (normalmente in tampone e periodicamente a fondo) di una batteria di accumulatori. Detti accumulatori saranno installati in un quadro dedicato e distinto dal quadro UPS e ubicato, come già indicato, in un apposito locale. Sul quadro sarà inoltre prevista una sezione di distribuzione contenente tutti gli interruttori necessari per le alimentazioni di tutte le utenze privilegiate a 400/230Vca presenti nella sottostazione.

#### Quadro raddrizzatore e distribuzione 110Vcc

Detto quadro riceverà alimentazione dal quadro di distribuzione e sarà del tipo a due "rami" ovvero adatto all'alimentazione dei carichi in corrente continua ed alla contemporanea carica (normalmente in tampone e periodicamente a fondo) di una batteria di accumulatori.

Detti accumulatori saranno installati in un quadro dedicato e distinto dal quadro 110Vcc e posizionato, come già indicato, in un apposito locale. Sul quadro sarà inoltre prevista una sezione di distribuzione contenente tutti gli interruttori necessari per le alimentazioni di tutte le utenze a 110Vcc presenti nella sottostazione.

#### Linea Media Tensione interrata

Al fine di realizzare il collegamento tra la sottostazione di Trasformazione e il Parco Eolico, saranno previste tre linee in media tensione interrata.

La massima potenza erogabile dal parco eolico è:

Gruppo 1: costituito da n. 5 Generatori per una potenza complessiva di 15 MW (*Generatori 1-2-3-4-5*) che alla tensione di 30kV con un fattore di potenza pari a 0.9, corrispondono ad una corrente pari a circa 322 A; sulla base di detto valore e alla lunghezza della linea di circa 8000 m, si è scelto di realizzare una linea elettrica costituita da n. 3 cavi tripolari in parallelo della sezione cadauno di 150mm<sup>2</sup>.

Gruppo 3: costituito da n. 8 Generatori per una potenza complessiva di 24 MW (*Generatori 12-13-14-15-16-18-19-20*), che alla tensione di 30kV con un fattore di potenza pari a 0.9, corrispondono ad una corrente pari a circa 514A; sulla base di detto valore e alla lunghezza

della linea di circa 4100 m, si è scelto di realizzare una linea elettrica costituita da n.2 cavi tripolari della sezione di 240mm<sup>2</sup>.

Gruppo 4: costituito da n.7 Generatori per una potenza complessiva di 21 MW (*Generatori 22-23-24-25-26-17-21*), che alla tensione di 30kV con un fattore di potenza pari a 0.9, corrispondono ad una corrente pari a circa 514A; sulla base di detto valore e alla lunghezza della linea di circa 600 m, si è scelto di realizzare una linea elettrica costituita da N°2 cavi tripolari della sezione di 95mm<sup>2</sup>.

La linea in oggetto oltre ad essere adeguatamente dimensionata per la portata di corrente che consente di limitare la caduta di tensione entro valori accettabili.

Per realizzare la linea in oggetto saranno utilizzati cavi con conduttore in rame o in alluminio e materiale isolante in gomma ad alto modulo, dotato di schermo a nastri di rame su ogni anima e protezione esterna in PVC di qualità RZ di colore rosso.

Il percorso sarà realizzato principalmente a bordo strada, i cavi verranno posati in un letto di sabbia e successivamente protetti da un "tegiolo" prefabbricato. Detto "tegiolo" verrà a sua volta ricoperto con terreno di riempimento compattato.

Il percorso del cavo sarà inoltre segnalato (in caso di attività di scavo successive alla posa stessa) da una rete di plastica forata di colore rosso-arancione e da un nastro di segnalazione in PVC opportunamente interrati.

All'interno di detto percorso verrà posato un cavo in fibra ottica a più fibre, per la trasmissione dei dati al sistema SCADA.

Anche per le connessioni tra i generatori eolici sarà prevista la realizzazione di linee interrate, utilizzando cavi con conduttore in rame o alluminio e materiale isolante in gomma ad alto modulo, dotato di schermo a nastri di rame su ogni anima e protezione esterna in PVC di qualità RZ di colore rosso.

I cavidotti di collegamento elettrico tra gli aerogeneratori fino alla sottostazione MT/AT, viaggiano interrati ad una profondità minima di 120cm,

La realizzazione di un cavidotto interrato così come prospettato, permette il rispetto dei valori imposti dalla normativa (DPCM del 08/07/2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".) sia in termini di intensità del campo elettrico che di induzione magnetica.

### **8.3 Linea Alta Tensione interrata**

Il collegamento tra la Sottostazione di Trasformazione, sita nel Comune di Montemilone, e la Sottostazione di Consegna, sita nel Comune di Genzano di Lucania in prossimità della Stazione Elettrica RTN 380/150 kV, verrà realizzato mediante cavo AT interrato di lunghezza pari a circa 30 km; il cavo AT interrato andrà ad interessare i seguenti Comuni della provincia di Potenza (PZ): Montemilone, Venosa, Palazzo San Gervasio, Banzi e Genzano di Lucania.

I cavidotti di collegamento elettrico tra la sottostazione di Trasformazione e la sottostazione di Consegna viaggiano interrati, posati direttamente nel terreno ad una profondità minima di 120 cm.

La realizzazione di un cavidotto interrato così come prospettato, permette il rispetto dei valori imposti dalla normativa (DPCM del 08/07/2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".) sia in termini di intensità del campo elettrico che di induzione magnetica.

La linea in oggetto oltre ad essere adeguatamente dimensionata per la portata di corrente consente di limitare la caduta di tensione entro valori accettabili.

Per realizzare la linea in oggetto saranno utilizzati cavi con conduttore in rame o in alluminio e materiale isolante in gomma ad alto modulo, dotato di schermo a nastri di rame su ogni anima e protezione esterna in PVC.

Il percorso sarà realizzato principalmente a bordo strada, i cavi verranno posati in un letto di sabbia e successivamente protetti da un "tegolo" prefabbricato. Detto "tegolo" verrà a sua volta ricoperto con terreno di riempimento compattato.

Il percorso del cavo sarà inoltre segnalato (in caso di attività di scavo successive alla posa stessa) da una rete di plastica forata di colore rosso-arancione e da un nastro di segnalazione in PVC opportunamente interrati.

All'interno di detto percorso verrà posato un cavo in fibra ottica a più fibre, per la trasmissione dei dati al sistema SCADA.

#### Quadri Media Tensione di Torre

Per quadri di media tensione di Torre si identificano tre configurazioni:

- Quadro MT "Entra-Esce": quadri che oltre a collegare il generatore relativo alla torre dove sono ubicati, hanno la funzione di "entra-esce" all'interno della sottogruppo di generatori di cui fanno parte.

- Quadro MT “Inizio Sottogruppo”: quadri che oltre a collegare il generatore relativo alla torre dove sono ubicati, hanno la funzione inviare l'energia prodotta al quadro ubicato nella posizione successiva all'interno del sottogruppo stesso ma non ricevono energia da nessun altro generatore.
- Quadro MT “Entra-Esce” e invio energia a Quadro MT in Sottostazione MT/AT: Quadri che oltre a collegare il generatore relativo alla torre dove sono ubicati, hanno la funzione di “entra-esce” all'interno della sottogruppo di generatori di cui fanno parte e inviano l'energia prodotta da tutti i generatori che costituiscono il gruppo, al quadro MT di sottostazione MT/AT.

I quadri MT “Entra-Esce” saranno costituiti da n°3 scomparti:

- N.1 scomparto protezione trasformatore di torre: dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione.

Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata e massima corrente di guasto a terra, (50, 51 e 51N). Potranno essere implementate ulteriori protezioni suggerite dal costruttore del generatore.

Inoltre, su detta apparecchiatura, saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Lo scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

- N.1 scomparto invio energia al quadro ubicato nella posizione successiva all'interno del sottogruppo dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione.

Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata e massima corrente di guasto a terra, (50, 51 e 51N). Potranno essere implementate ulteriori protezioni suggerite dal costruttore del generatore.

Inoltre, su detta apparecchiatura, saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Lo scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

- N.1 scomparto di arrivo linea da altri generatori.

Il dimensionamento degli interruttori MT dei quadri in oggetto è stato eseguito considerando quanto segue:

- Ciascun generatore eroga una potenza massima pari a 3 MW che (alla tensione di 30kV con un fattore di potenza pari a 0.9) corrispondono ad una corrente pari a circa 65A; pertanto tutti gli interruttori di protezione del trasformatore di torre saranno di taglia pari a 630A.

- I sottogruppi di generatori sono costituiti al massimo da n°8 generatori che producono una potenza massima pari a 24MW che (alla tensione di 30kV con un fattore di potenza pari a 0.9) corrispondono ad una corrente pari a circa 500A; pertanto tutti gli interruttori arrivo dal generatore precedente all'interno del sottogruppo saranno di taglia pari a 630A.

Per quanto concerne il dimensionamento della barratura di ciascun quadro è stato scelto il valore 630A che è un valore cautelativo rispetto alla corrente circolante che, come abbiamo già evidenziato, nel caso più gravoso è pari a circa 500A.

I quadri MT "Inizio Sottogruppo" saranno costituiti a n°2 scomparti:

- n.1 scomparto protezione trasformatore di torre: dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione.

Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata e massima corrente di guasto a terra, (50, 51 e 51N). Potranno essere implementate ulteriori protezioni suggerite dal costruttore del generatore.

Inoltre, su detta apparecchiatura, saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Lo scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

- n.1 scomparto invio energia al quadro ubicato nella posizione successiva all'interno del sottogruppo dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione.

Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata e massima corrente di guasto a terra, (50, 51 e 51N). Potranno essere implementate ulteriori protezioni suggerite dal costruttore del generatore.

Inoltre, su detta apparecchiatura, saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Lo scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

Il dimensionamento degli interruttori MT dei quadri in oggetto è stato eseguito considerando quanto segue:

Ciascun generatore eroga una potenza massima pari a 3MW che (alla tensione di 30kV con un fattore di potenza pari a 0.9) corrispondono ad una corrente pari a circa 65A; pertanto tutti gli interruttori di protezione del trasformatore di torre saranno di taglia pari a 630A.

Per quanto concerne il dimensionamento della barratura di ciascun quadro è stato scelto il valore 630A che è un valore fortemente cautelativo rispetto all'effettiva corrente circolante che, come abbiamo già evidenziato, è pari a circa 64A.

Quadro MT e invio energia a Quadro MT in Sottostazione MT/AT in quantità pari a N. 3 di cui uno a tre scomparti e due a quattro scomparti.

Il quadro MT a tre scomparti è identico al quadro MT "Entra-Esce" e quindi vale quanto già descritto.

I quadri MT a quattro scomparti, sono costituiti da:

- n.1 scomparto protezione trasformatore di torre: dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione.

Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata e massima corrente di guasto a terra, (50, 51 e 51N). Potranno essere implementate ulteriori protezioni suggerite dal costruttore del generatore.

Inoltre, su detta apparecchiatura, saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Lo scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

- n.1 scomparto invio energia al quadro di distribuzione MT in sottostazione MT/AT, dotato di interruttore MT in SF<sub>6</sub> e del relativo relè di protezione multifunzione.

Detto relè avrà impostate almeno le protezioni di massima corrente, istantanea e ritardata e massima corrente di guasto a terra, (50, 51 e 51N). Potranno essere implementate ulteriori protezioni suggerite dal costruttore del generatore.

Inoltre, su detta apparecchiatura, saranno visualizzabili le seguenti grandezze elettriche: tensione, corrente, fattore di potenza, potenza attiva e reattiva, energia attiva e reattiva, frequenza.

Lo scomparto sarà inoltre provvisto di un apposita cella estraibile per il contenimento dei fusibili MT e dei trasformatori di tensione ad un solo secondario utilizzato per il relè di protezione.

- n.2 scomparti di arrivo linea da altri generatori.

Il dimensionamento degli interruttori MT (in arrivo da altri gruppi e del generatore) dei quadri in oggetto è stato eseguito considerando le correnti di ciascun quadro conseguentemente al numero di generatori ad essi collegati; in particolare:

Ciascun generatore eroga una potenza massima pari a 3MW che (alla tensione di 30kV con un fattore di potenza pari a 0.9) corrispondono ad una corrente pari a circa 65A; pertanto tutti gli interruttori di protezione del trasformatore di torre saranno di taglia pari a 630A.

I generatori che fanno capo al quadro di media tensione da cui parte la linea di connessione con la sottostazione MT/AT sono costituiti al massimo da n°8 generatori che producono una potenza massima pari a 24MW che (alla tensione di 30kV con un fattore di potenza pari a 0.9) corrispondono ad una corrente pari a circa 514A; pertanto tutti gli interruttori arrivo dai sottogruppi saranno di taglia pari a 630A.

Per quanto concerne il dimensionamento della barratura di ciascun quadro è stato scelto il valore 630A.

La protezione dell'impianto è, come già indicato, ottenuta con protezioni di massima corrente. Al fine di risolvere le problematiche derivanti dall'utilizzo di una selettività di tipo "cronometrico" (che per un impianto come quello in oggetto, ovvero con molti "gradini", comporta un tempo di eliminazione del guasto non conforme ai limiti tecnici dei componenti dell'impianto) si è ipotizzato di utilizzare dispositivi a microprocessore strutturati per realizzare una selettività di tipo "logico" ovvero si fa intervenire, attraverso un'apposita logica, solo la protezione immediatamente a monte del guasto mentre le altre protezioni, pur rilevando il guasto, ricevono un segnale di blocco e pertanto non effettuano l'intervento.

### Generatori eolici

Come indicato, il parco eolico è costituito da tre gruppi di generatori eolici.

All'interno di ciascuna torre dei generatori eolici, saranno installate tutte le apparecchiature e i quadri elettrici necessari al funzionamento del generatore ed alla sua connessione alla rete di distribuzione del parco eolico.

Oltre ai quadri di media tensione già descritti saranno previste le seguenti apparecchiature principali:



- Trasformatore di torre (elevatore)
- Trasformatore alimentazioni ausiliarie
- Convertitori AC/DC
- Sistema di controllo, protezione e sincronizzazione generatore

Ciascun generatore avrà potenza pari a 3 MW ad una tensione di 3.3kV. La tensione sarà elevata, per essere immessa nella rete del parco eolico, a 30kV tramite un adeguato trasformatore elevatore MT/MT.

#### Sistema di Controllo (SCADA)

Per controllare l'intero parco eolico sarà impiegato un sistema SCADA pensato appositamente per il controllo e supervisione di impianti di notevoli dimensioni per poter garantire il più elevato livello di prestazioni ed affidabilità.

Lo scopo del sistema SCADA è quello di massimizzare l'erogazione della centrale eolica, nel rispetto dei suoi limiti operativi, per mezzo di un controllo e di una diagnostica perfetti.

Il compito principale del sistema SCADA consiste nel registrare i dati operativi sulla centrale e nel renderli disponibili non appena richiesto.

I dati saranno resi disponibili nella forma desiderata, alle persone interessate e nel momento giusto.

E' importante avere a disposizione, per esempio, tutti i dati storici relativi allo stato dei segnali di tensione, di corrente, di temperatura, velocità per il personale di intervento in caso di malfunzionamento di qualche apparecchiatura o per il personale di manutenzione.

Il responsabile di impianto avrà a disposizione i dati statistici, le tabelle relative alle prestazioni dei generatori, il rendimento dell'impianto ecc.

Sarà quindi possibile avere a disposizione tutte le cause di malfunzionamento, dello stato di tutte le apparecchiature, il rapporto tra erogazione della potenza e velocità del vento, stime ecc.

Il sistema SCADA permette l'elaborazione dei dati trasformandoli in report personalizzati alle esigenze richieste dal responsabile di impianto e tecnici di centrale.

Nel caso di malfunzionamento che causa allarme, sarà immediatamente generato un segnale che sarà inviata a personale preposto al controllo o tramite SMS o E-Mail.

Considerato il crescente contributo energetico che le centrali eoliche forniscono ormai ai sistemi di tanti paesi, i sistemi di controllo degli impianti eolici, devono essere il più affidabili

possibile, sottostare a regole severe garantire continuità di servizio e rispondere in tempo reale all'insorgere di qualsiasi problema di malfunzionamento allertando il personale tecnico.

Il sistema SCADA sarà configurato per massimizzare la rendita economica della centrale eolica garantendo la qualità dell'energia immessa nella rete di distribuzione.

Il sistema SCADA inoltre sarà configurato per essere interfacciato con unità esterne quali ad esempio il sistema di monitoraggio della qualità energetica, le stazioni meteorologiche, sistemi di previsione meteo ecc.

Il sistema SCADA è costituito essenzialmente da un Personal Computer di tipo industriale che ha la funzione di server della centrale eolica, posizionato nella sala controllo della sottostazione MT/AT, collegato alle turbine tramite cavi in fibra ottica.

Sarà realizzata inoltre la connessione con le sottostazioni elettriche di trasformazione per riportare al Server tutte le informazioni relative allo stato degli interruttori, correnti assorbite, valore di fattore di potenza ecc.

Tutti i dati relativi alle turbine e le sottostazioni sono quindi memorizzati sul Server e saranno utilizzati per creare report personalizzati e messaggi di avviso per gli operatori.

Si possono quindi visualizzare i report e controllare l'impianto eolico da PC in postazioni remote collegate al Server da una rete locale, da una connessione Internet protetta o da un Modem. Il sistema sarà in grado di poter regolare l'energia immessa in rete, controllare il fattore di potenza, controllo della tensione ecc.

L'hardware del sistema SCADA è costituito, come già detto in un server, da N. 1 stazioni operatore di cui utilizzabile anche come stazione di ingegneria, da N. 1 stampante laser A4/A3, da una linea in cavo a fibra ottica che collega i generatori e le sottostazioni.

La configurazione adottata permette la gestione dell'intero parco eolico offrendo garanzie di altissima affidabilità.

## 9. CRITERI DI SCELTA DELLE PROTEZIONI E METODI DI CALCOLO

### 9.1 Protezione contro il corto circuito

La protezione contro gli effetti del corto circuito sarà realizzata nell'intervento efficace degli organi di protezione, nel dimensionamento corretto delle apparecchiature e materiali ed inoltre nella resistenza agli sforzi elettrodinamici di quadri e quant'altro.

Per garantire l'interruzione automatica dell'alimentazione in Media Tensione (nei valori e tempi previsti dalla norma, coordinati con i dati caratteristici della rete MT), la corrente di intervento della protezione contro il cortocircuito deve essere accuratamente selezionata, tra le varie impostazioni offerte dall'apparecchiatura di protezione.

Le apparecchiature di MT e di BT dovranno resistere senza danneggiarsi, nel caso avvenga un corto-circuito, potendo riprendere il servizio normale (senza risentire in modo grave) passato ed eliminato il guasto.

L'impianto e le apparecchiature che lo compongono, saranno in grado di resistere a:

- sforzi elettrodinamici che interessano i conduttori vicini, durante il passaggio di un elevato valore di corrente che si verifica durante un guasto;
- sollecitazioni termiche a cui viene sottoposto il conduttore e l'isolante che lo ricopre senza alterare le proprie caratteristiche;
- sollecitazioni dovute ad arco elettrico che interessano apparecchiature come interruttori (che dovranno essere in grado di estinguerlo senza diminuire le proprie prestazioni);
- sollecitazioni determinate dal passaggio di elevati valori di corrente che si verificano, in genere nei vari punti di una installazione, ogni volta che avviene un guasto con conseguente corto-circuito.

La protezione contro gli effetti del corto circuito su apparecchiature, distributori di energia e sistemi di sbarre sarà garantita dal costruttore delle stesse, a seguito di prove di laboratorio e dimensionamenti accurati, in particolare questi potrà garantire a catalogo le proprie apparecchiature.

Tali considerazioni sono riferite soprattutto agli interruttori automatici, ai quadri di distribuzione che li contengono, ai sistemi prefabbricati di distribuzione dell'energia elettrica all'interno dei quadri elettrici.

Per gli organi di protezione automatici dovrà essere verificata la condizione:

$$I_{cc} \leq P. di I.$$

Dove:

$I_{cc}$  corrente di cortocircuito massima nel punto considerato [kA]

P.di I. potere di interruzione dell'interruttore automatico di protezione [kA]

La protezione contro gli effetti termici del corto circuito sui cavi avviene verificando che l'energia che l'organo di protezione lascia passare nel tempo, sia dissipabile dal cavo senza danneggiarsi secondo la proporzione:

$$I^2t \leq K^2S^2$$

Dove:

$I^2t$  integrale di joule, energia sviluppata per la durata del cortocircuito [A<sup>2</sup>s]

$K^2S^2$  fattore caratteristico del cavo, dipendente dalla sezione e dall'isolante [A<sup>2</sup>s]

$I$  corrente di cortocircuito [A]

$t$  tempo di durata del cortocircuito [s]

$K$  fattore caratteristico del cavo in PVC tra 115 e 143 se in GOMMA tra 143 e 176

$S$  sezione conduttore [mm<sup>2</sup>]

## 9.2 Protezione contro i contatti indiretti

La protezione contro i contatti diretti delle parti in MT, deve essere di tipo totale, da attuarsi mediante isolamento e l'adozione di involucri con grado di protezione idoneo. In particolare, le parti attive sono accessibili solo aprendo alcune portelle dopo sicure operazioni interbloccate, oppure togliendo parti di involucri con l'uso di attrezzi, il tutto conformemente alle norme e leggi in vigore.

Il minimo grado di protezione deve raggiungere almeno IP2X conformemente alle prescrizioni della norma CEI 17-6.

La protezione contro i contatti diretti delle parti in BT, deve essere di tipo totale, da attuarsi mediante isolamento o l'adozione di involucri con grado di protezione almeno: IPXXD, per le superfici orizzontali superiori a portata di mano, e IPXXB per le altre superfici. In particolare, le parti attive sono accessibili solo togliendo parti di involucri con l'uso (almeno) di attrezzi.

Per le linee elettriche in cavo la protezione sarà di tipo totale, costituita dall'isolamento del conduttore, asportabile solo mediante distruzione, pertanto sicura contro i contatti diretti lungo tutto il suo percorso.

### 9.3 Protezione contro il sovraccarico

Per garantire l'interruzione automatica dell'alimentazione per sovraccarico, saranno adottate le protezioni di cui saranno fornite le apparecchiature di Media Tensione. Le tarature di queste saranno dettate dal tipo di apparecchiatura installata a valle. La curva caratteristica di intervento sarà scelta tra le varie opzioni disponibili dal sistema di protezione, cercando quella più adatta allo scopo. Il valore nominale di questi dovranno considerare i carichi a cui sarà sottoposta la rete MT; questi saranno dello stesso tipo sulle tre fasi, senza particolari applicazioni, data la natura ordinaria dell'impianto.

La protezione dal sovraccarico degli impianti di Bassa Tensione, sarà assicurata mediante l'adozione di interruttori automatici magnetotermici coordinati con la portata delle condutture installate a valle di essi.

La verifica della protezione dal sovraccarico avviene assicurando le seguenti relazioni:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \qquad I_f \leq 1,45 \times I_z$$

Dove:

- $I_B$  corrente di impiego del circuito [A]
- $I_n$  corrente nominale del dispositivo di protezione [A]
- $I_z$  portata a regime permanente della conduttura elettrica [A]
- $I_f$  corrente convenzionale di funzionamento del dispositivo di protezione [A]

La determinazione di  $I_z$  viene riferita alle recenti tabelle CEI-UNEL 35024/1, per cavi isolati con materiale elastomerico, nei campi di applicazione previsti; per altri tipi di posa o di cavo valgono le normative specifiche. In base a questa normativa, maggiormente restrittiva rispetto alle precedenti edizioni, l'effettiva portata di un cavo è oggetto di diversificate considerazioni; per cui:

$$I_z = I_0 \times k_1 \times k_2$$

Dove:

- $I_z$  portata a regime permanente della conduttura elettrica [A]
- $I_0$  portata alla temperatura ambiente di 30°C relativa al singolo cavo multipolare, o insieme di cavi unipolari che compongono un solo circuito (valori reperibili nelle tabelle della stessa norma) [A]
- $k_1$  fattore di correzione per temperatura ambiente diversa da 30 °C (valori reperibili nelle tabelle)
- $k_2$  fattore di correzione per cavi installati in fascio od in strato

La determinazione del fattore di correzione denominato  $k_2$  è frutto di considerazioni distinte e complesse, riguardanti il concetto secondo cui un cavo, posto in prossimità di altri circuiti, diminuisce la sua portata, in quanto viene riscaldato dagli altri e viceversa.

Per cavi raggruppati in fascio o strato è prevista l'applicazione del fattore quando i cavi considerati hanno sezioni simili (tre sezioni commerciali consecutive)

$$k_2 = 1 / \sqrt{n}$$

intendendo  $n$  come numero di circuiti (circuiti cautelativamente considerati percorsi dall'intera corrente di portata), trascurando da  $n$  i circuiti percorsi da una corrente:

$$I < 30\% I_z$$

#### 9.4 Dimensionamento contro la caduta di tensione

Il fenomeno di abbassamento di tensione tra due punti, uno a monte e l'altro a valle, in una rete elettrica di distribuzione, viene denominato caduta di tensione. In tutti gli impianti elettrici occorre valutare che la differenza tra la tensione al punto d'origine dell'alimentazione e la tensione all'utilizzatore d'energia sia adeguatamente contenuta, nei limiti normativi e nei limiti di funzionamento dell'apparecchio utilizzatore.

Un'eccessiva differenza tra i due valori nuoce al funzionamento ed al rendimento degli impianti, inoltre elevate differenze di tensione tra monte e valle è sinonimo di perdite sulla linea elettrica, con conseguente cattivo dimensionamento e non ottimizzazione dell'impianto di trasmissione dell'energia.

La caduta di tensione sarà contenuta mediante un corretto calcolo dimensionale delle linee.

Il valore della caduta di tensione può essere determinato mediante la formula:

$$\Delta U = k \times I \times L \times (r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi)$$

Dove:

$\Delta U$  caduta di tensione [V]

$I$  corrente efficace della linea [A]

$L$  lunghezza della linea [km]

$r_0$  resistenza della linea (rif. 90°C) [ $\Omega$ /km]

$x_0$  reattanza della linea [[ $\Omega$ /km]

$V$  tensione inizio linea [V]

$k$  sistema trifase  $\Rightarrow \sqrt{3}$  sistema monofase  $\Rightarrow 2$

la caduta di tensione percentuale sarà quindi:

$$\Delta V\% = 100 \bullet \Delta U / U$$

## 9.5 Determinazione delle correnti di cortocircuito

La presente sezione riporta la descrizione del metodo con cui è stato elaborato il procedimento per il calcolo delle correnti di cortocircuito.

La potenza di cortocircuito della Rete AT ( $P_r$ ) è la potenza, espressa in MVA, che si ottiene dalla corrente di cortocircuito simmetrica ( $I_{ccs}$ ) alla tensione nominale.

Essa si calcola come:

$$P_r = c \times (\sqrt{3}) \times U_n \times I_{ccs}$$

Dove:

$P_r$  Potenza di corto circuito della Rete [MVA]

$U_n$  Tensione nominale della Rete [kV]

$I_{ccs}$  Corrente di cortocircuito trifase simmetrica [kA]

$c$  Coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (Valore = 1.1)

Per il computo corretto del contributo della rete AT, riferito alla tensione dei montanti MT, si deve calcolare la reattanza equivalente della Rete ( $X_r$ ), riferita al lato MT dei trasformatori:

$$X_r = (U_{t2})^2 / P_r$$

Dove:

$X_r$  Reattanza equivalente della Rete riferita all'avvolgimento MT del trasformatore [ $\Omega$ ]

$U_{t2}$  Tensione riferita all'avvolgimento MT del trasformatore, con la maggiorazione del 10% (condizione limite) [kV]

$P_r$  Potenza di corto circuito della Rete [MVA]

Per determinare l'impedenza equivalente (e la relativa resistenza e reattanza) del trasformatore riferita all'avvolgimento MT, si sono utilizzate le seguenti formule:

$$Z_{t2} = [(U_{t2})^2 / P_{tn}] \times [U_{cc} / 100]$$

$$R_{t2} = [(U_{t2})^2 / P_{tn}] \times [P_{p(Cu)} / 100]$$

$$X_{t2} = \sqrt{[Z_{t2}]^2 - (R_{t2})^2}$$

Dove:

$Z_{t2}$  Impedenza equivalente riferita all'avvolgimento MT ( $U_{t2}$ ) del trasformatore [ $\Omega$ ]

$R_{t2}$  Resistenza equivalente riferita all'avvolgimento MT ( $U_{t2}$ ) del trasformatore [ $\Omega$ ]

$X_{t2}$  Reattanza equivalente riferita all'avvolgimento MT ( $U_{t2}$ ) del trasformatore, calcolata come differenza vettoriale tra l'impedenza e la resistenza [ $\Omega$ ]

$U_{cc}$  Tensione di cortocircuito del trasformatore [%]

$P_{tn}$  Potenza nominale del trasformatore [MVA]

$P_{p(cu)}$  Perdite nel rame del trasformatore [%]

Per determinare il contributo fornito dai generatori alla corrente di cortocircuito, si è utilizzata la seguente formula:

$$X_{cc(s)g} = (c \times U_g) / [(\sqrt{3}) \times X''d]$$

Dove:

$X_{cc(s)g}$  Corrente simmetrica di cortocircuito (iniziale) prodotta dal Generatore [kA]

$U_g$  Tensione nominale del trasformatore [kV]

$c$  Coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (Valore = 1.1)

$X''d$  Reattanza subtransitoria diretta satura del generatore [ $\Omega$ ]

A sua volta  $X''d$  è calcolato come:

$$X''d = (U_g^2 \times X''d_{pu}) / [(\sqrt{3}) \times I_g \times U_g]$$

Dove:

$X''d_{pu}$  Reattanza subtransitoria diretta satura del generatore espressa in [per unit]

$U_g$  Tensione nominale del trasformatore [kV]

$I_g$  Corrente nominale del trasformatore [kA]

Il prodotto  $(\sqrt{3}) \times I_g \times U_g$  rappresenta la potenza nominale apparente del generatore [MVA]

Le impedenze relative alle sbarre dei quadri e dei componenti di linea non vengono, nel calcolo in oggetto, considerate in quanto si ritengono di valore trascurabile.

Il valore simmetrico della corrente di cortocircuito " $I_{cc(s)_x}$ ", nel punto richiesto (x), viene calcolato come:

$$I_{cc(s)_x} = [c \times (U_{t_x})] / [(\sqrt{3}) \times Z_{x_{cc}}]$$



Dove:

$I_{cc}(s)_x$  Valore simmetrico della corrente di corto circuito al punto di guasto (x) considerato [kA]

c Coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (Valore = 1.1)

$U_{t_x}$  Valore di tensione al punto di guasto (x) considerato [kV]

$Z_{xcc}$  Impedenza totale del circuito al punto di guasto considerato [ $\Omega$ ]

A sua volta  $Z_{xcc}$  è calcolata come:

$$Z_{xcc} = \sqrt{[R_{xcc}]^2 + [X_{xcc}]^2}$$

Dove:

$R_{xcc}$  Resistenza totale del circuito come somma delle resistenze delle apparecchiature fino al punto di guasto considerato (comprensivo anche delle resistenze delle linee elettriche) [ $\Omega$ ]

$X_{xcc}$  Reattanza totale del circuito come somma delle reattanze delle apparecchiature fino al punto di guasto considerato (comprensivo anche delle reattanze delle linee elettriche) [ $\Omega$ ]

Il valore di cresta della corrente di cortocircuito " $I_{cc}(p)_x$ " nel punto richiesto (x), viene calcolato come:

$$I_{cc}(p)_x = k(p) \times I_{cc}(s)_x$$

Dove:

$I_{cc}(p)_x$  Valore di cresta della corrente di corto circuito al punto di guasto (x) considerato [kA]

$I_{cc}(s)_x$  Valore simmetrico della corrente di corto circuito al punto di guasto (x) considerato [kA]

$k(p)$  fattore di cresta, dipendente dalle caratteristiche del circuito (resistenza e reattanza) ove avviene il cortocircuito, che definiscono l'angolo di sfasamento dato da:

$$\tan\varphi = X_{xcc} / R_{xcc}$$

Data una certa sezione del conduttore, deve essere verificato che, nelle condizioni di corto circuito, la corrente passante non sia tale da danneggiare l'isolamento del cavo stesso. La massima corrente di corto circuito  $I_{cc}(H)_x$ , ammessa nel cavo del circuito (x), è data dalla relazione

$$I_{cc}(H)_x = (S \times C) / \sqrt{T}$$

Dove:

S Sezione del conduttore [mm<sup>2</sup>]

T Durata del cortocircuito. Si assume il tempo di intervento delle protezioni che interrompono il cortocircuito [sec]

C Coefficiente di tipo del cavo che tiene in considerazione il tipo di materiale e d'isolamento, la temperatura iniziale e finale ammessa, come da Norma CEI 11-17, tabella 2.02.02.

Nel caso di collegamento con più conduttori in parallelo per fase, il valore di I<sub>cc</sub> di linea deve essere ridotto proporzionalmente per l'ottenimento del valore di I<sub>cc(H)<sub>x</sub></sub> del conduttore da inserire nella formula, come:

$$I_{cc} / N_c = I_{cc(H)_x}$$

Dove:

N<sub>c</sub> Numero di conduttori in parallelo sulla stessa fase

La verifica della corrente minima di cortocircuito viene effettuata per stabilire la corrente sotto la quale la linea non può considerarsi protetta, ovvero la lunghezza massima protetta per una certa corrente di cortocircuito.

Come corrente di cortocircuito minima si considera quella corrispondente ad un cortocircuito che si produca tra le fasi, nel punto più lontano della linea protetta.

Per la determinazione della corrente di cortocircuito minima saranno utilizzate le seguenti formule:

$$I_{cc(m)_x} = [k\delta U_L \times (U_{C_x})] / \{1.5 \times \rho \times [(2 \times L) / S]\}$$

Dove:

U<sub>C<sub>x</sub></sub> Tensione concatenata di alimentazione del circuito (x) [V]

ρ Resistività a 20°C del materiale dei conduttori (0.0179 per il rame) [Ωmm<sup>2</sup>/m]

L Lunghezza della linea protetta [m]

S Sezione del conduttore [mm<sup>2</sup>]

I<sub>cc(m)</sub> Corrente di cortocircuito presunta [A]

kδU<sub>L</sub> Coefficiente di riduzione della tensione di alimentazione per effetto della corrente di cortocircuito, rispetto alla tensione di alimentazione, dato da:

$$k\delta U_L = 1 - [(\sqrt{3}) \times I_{cc(p)} \times Z_L] / U_{f_x}$$

Dove:

U<sub>f<sub>x</sub></sub> Tensione di fase di alimentazione del circuito (x) [V]

$I_{cc}(p)$  Corrente di cortocircuito nella situazione di cresta (picco) [A]

$Z_L$  Impedenza di linea [ $\Omega$ ]

Si può ricavare la massima lunghezza protetta di un cavo, con la seguente formula:

$$L = (k\delta U_L \times U_{c,x} \times S) / [1,5 \times \rho \times 2 \times I_{cc}(m)_x]$$

Nel caso di collegamento con più conduttori in parallelo per fase, il valore di  $I_{cc}$  di linea deve essere ridotto proporzionalmente per l'ottenimento del valore di  $I_{cc}(m)$  del conduttore da inserire nella formula, come:

$$I_{cc} / N_c = I_{cc}(m)_x$$

Dove:

$N_c$  Numero di conduttori in parallelo sulla stessa fase.



Vincenzo Rossi