

**REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI  
"SANT' EGIDIO"**  
**Comune di Cortona – Loc. Croce di Sant' Egidio**  
**POTENZA COMPLESSIVA 900,00 kWp**



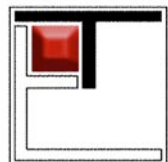
**Richiesta Autorizzazione Unica**  
**All.04 - Quadro di riferimento progettuale**

- Relazione tecnica – Settembre 2016

Ing. Sauro Casini	Ing. Simona Sadotti	P.I. Federico Ugolini	Ing. Michele Bittoni

**PROPRIETÀ:** Sig. Pier Paolo Farina

**COMMITTENTE:**



**En.Tec. S.r.l.**

Via Margaritone n°9, 52100 Arezzo  
Tel. 0575350325 – Fax. 0575296014  
P.IVA 01872510514

**PROGETTISTA:**



**TSI Studio Associato**

Via Margaritone n°9, 52100 Arezzo  
Ing. S. Casini, Ing. S. Sadotti,  
P.I. F. Ugolini e Ing. M. Bittoni



## INDICE GENERALE

1 INTRODUZIONE.....	5
1.1 La proposta.....	5
2 CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO.....	5
2.1 Configurazione impianto.....	5
3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
4 CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE.....	7
5 DATI TECNICI AEROGENERATORE.....	8
5.1 Pale.....	10
5.2 Rotore.....	10
5.3 Generatore.....	11
5.4 Sistema di regolazione delle pale.....	11
5.5 Navicella.....	12
5.6 Sistema di inseguimento del vento.....	13
5.6.1 Svolgimento dei cavi elettrici e di controllo.....	13
5.6.2 Gruppo di trasmissione – concetto di supporto.....	14
5.7 Torre.....	15
5.8 Basamento.....	16
6 PRODUZIONE E IMMISSIONE IN RETE DELL'ENERGIA ELETTRICA.....	17

6.1 Produzione e controllo dell'energia.....	17
6.2 Trasformazione per l'immissione in rete dell'energia.....	19
6.2.1 Trasformatore MT/BT.....	20
6.2.2 Interruttore MT generale impianto.....	21
6.3 Sistemi di sicurezza.....	21
6.3.1 Sistema di Protezione di Interfaccia (S.P.I.).....	21
6.3.2 Il sistema frenante.....	21
6.3.3 Il sistema parafulmine.....	22
6.3.4 Il sistema di sensori.....	22
6.4 Controllo del funzionamento.....	22
6.5 Sistemi di controllo.....	23
6.5.1 Intervento dei sensori di sicurezza.....	23
6.5.2 Avvio dell'impianto.....	23
6.5.3 Funzionamento normale.....	23
6.5.3.1 Funzionamento a carico parziale.....	24
6.5.3.2 Modalità di controllo automatico.....	24
6.5.3.3 Funzionamento a folle.....	24
6.5.3.4 Arresto dell'impianto.....	24
6.5.3.5 Arresto automatico.....	25
6.5.3.6 Arresto manuale.....	25
6.5.3.7 Arresto manuale in situazioni di emergenza.....	25
6.5.4 Mancanza del vento.....	25
6.5.5 Tempesta.....	25
6.6 Opere per allacciamento alla rete elettrica di distribuzione.....	26
6.6.1 Cabina prefabbricata.....	26
6.6.2 Cavidotti interrati per linee MT.....	27
6.7 Sistemazione delle aree e opere di corredo all'impianto.....	27
6.7.1 Viabilità di accesso al generatore.....	27

6.7.2 Territorio e regimazione acque.....	27
6.7.3 Realizzazione piazzola di montaggio.....	28
7 SMANTELLAMENTO E RIPRISTINO DELL'AREA.....	28
8 PRODUCIBILITÀ LORDA DELL'IMPIANTO.....	28

## INDICE DELLE ILLUSTRAZIONI

Fig. 1 - Aerogeneratore .....	7
Fig. 2 - Andamento della produzione di energia .....	9
Fig. 3 - Pala eolica .....	10
Fig. 4 - Grafico di aerodinamicità delle pale .....	10
Fig. 5 - Rotore tripala .....	11
Fig. 6 - Curva usura generatore .....	11
Fig. 7 - Navicella Generatore .....	12
Fig. 8 - Schema di controllo .....	13
Fig. 9 - Trasporto componenti in cantiere .....	15
Fig. 10 - Assemblamento componenti .....	16
Fig. 11 - Fondazione in realizzazione .....	16
Fig. 12 - Disposizione apparecchiature .....	17
Fig. 13 - Schema circuito di controllo ed unità di immissione in rete .....	18
Fig. 14 - Disposizione apparecchiature .....	19
Fig. 15 - Disposizione apparecchiature locale MT piano terra .....	20
Fig. 16 - Interruttore MT SF6 .....	21
Fig. 17 - Schema tipologie di arresto .....	24

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 La proposta

La presente relazione ha per oggetto la realizzazione di un parco eolico della potenza complessiva di 900 kWp collegato alla rete elettrica di distribuzione con cessione totale dell'energia elettrica prodotta.

L'intero intervento interessa una superficie di circa **15.000 mq.**

L'impianto sarà installato nel terreno ubicato in prossimità di Croce Sant'Egidio, Cortona (AR) sul crinale di Monte Spino e **sarà costituito da un aerogeneratore con potenza nominale di 900 kW.**

Catastalmente, i terreni di proprietà del Sig. Pier Paolo Farina, risultano censiti al catasto terreni di Cortona al F. 70 p-Ile 3-4-43 (Tav.02EO).

La durata dell'impianto è stimata complessivamente in circa 25 anni, con un lieve calo di produzione di energia nel corso degli anni.

## 2 CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO

### 2.1 Configurazione impianto

Il parco eolico proposto è costituito da un aerogeneratore con potenza nominale di **900,00 kWp**, installato su terreno censito al N.C.T. F. 70 p-Ile 3-4-43.

La scelta di installare una pala eolica, deriva da precedenti studi effettuati prendendo in considerazione numerosi fattori quali l'anemologia, l'orografia, l'accessibilità del sito e gli aspetti biologici - naturalistici del sito in oggetto oltre alla necessità di minimizzare l'impatto visivi attraverso la diminuzione dell'altezza massima raggiunta dal singolo aerogeneratori.

La soluzione proposta offre la possibilità di produrre energia "pulita" con un impatto ambientale ridotto.

L'energia elettrica prodotta dal generatore verrà immessa direttamente nella rete di distribuzione in MT a 15kV mediante un nuovo tratto di linea interrata attestato alla linea elettrica aerea passante in prossimità del sito di installazione.

L'aerogeneratore scelto è di tipo tripala con generatore sincrono montato su una torre con altezza pari a 45m rilevata all'hub.

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel seguito si elencano le normative e leggi rispettate nella progettazione dell'impianto eolico. Qualora le sotto elencate norme tecniche siano modificate o aggiornate, si applicano le norme più recenti attualmente in vigore.

Si applicano inoltre, per quanto compatibili con le norme sotto elencate, i documenti tecnici emanati dalle società di distribuzione di energia elettrica riportanti disposizioni applicative per la connessione di impianti eolici collegati alla rete elettrica.

Nella seguente sezione sono riportate le principali normative e leggi di riferimento da rispettare in fase di progettazione e di realizzazione di un impianto eolico.

### NORMATIVE E LEGGI DI CARATTERE GENERALE

**D.M. 22/01/2008 n.37:** Regolamento circa l'attuazione dell'art. 11 – quaterdecies, comma 13, lettera a) della Legge 02/12/2005 n. 248, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;

**D.Lgs 09/04/2008 e s.m.i.:** Attuazione dell'art. 1 della Legge 03/08/2007 n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;

**D.Lgs 03/03/2011 n. 28:** Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE

**D.Lgs 29/12/2003 n. 387:** Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità;  
**Legge n. 224:** Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2008);  
**D.Lgs 30/05/2008 n. 115:** "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali di energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE";  
**D.M. 18/12/2008:** Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, ai sensi dell'articolo 2, comma 150 della legge 24/12/2007 n. 244;  
**D.M. 17/10/2007:** Criteri minimi uniformi per la definizione di misure di conservazione relative a Zone speciali di conservazione (ZSC) e a Zone di protezione speciale (ZPS).  
**D.M. 06/07/2012:** Attuazione dell'art. 24 del D.Lgs 03/03/2011 n. 28, recante incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti a fonti rinnovabili diversi dal fotovoltaico.

### IMPIANTO EOLICO E PARTE ELETTRICA

La normativa e le leggi di riferimento da rispettare per la progettazione e realizzazione degli impianti eolici sono:

**CEI 0-16:** Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT ed MET delle imprese distributrici di energia elettrica;  
**CEI 11-1:** Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in corrente alternata;  
**CEI 64-8:** Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua;  
**CEI 11-20:** Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria;  
**CEI EN 61400-1:** Sistemi di generazione a turbina eolica;  
**CEI EN 61000-3-2:** Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 3: Limiti Sezione 2: Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso = 16 A per fase);  
**CEI EN 60555-1:** Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili - Parte 1: Definizioni;  
**CEI EN 60439-1-2-3:** Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione;  
**CEI EN 60445:** Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico;  
**CEI EN 60529:** Gradi di protezione degli involucri (codice IP);  
**CEI EN 60099-1-2:** Scaricatori;  
**CEI 20-19:** Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V;  
**CEI 20-20:** Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V;  
**CEI 81-1:** Protezione delle strutture contro i fulmini;  
**CEI 81-3:** Valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato;  
**CEI 81-4:** Valutazione del rischio dovuto al fulmine;  
**CEI 0-2:** Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici;  
**CEI 0-3:** Guida per la compilazione della documentazione;  
**Legge n. 239/2004;**  
**Delibera dell'autorità per l'energia elettrica e il gas n. 34/05;**  
**Delibera dell'autorità per l'energia elettrica e il gas n. 88/07;**  
**Delibera dell'autorità per l'energia elettrica e il gas n. 89/07;**  
L'immissione in rete deve essere conforme alle Norme  
**CEI 11-20 (ed. agosto 2000) e CEI 11-20; V1 (ed. agosto 2004),** in particolare le protezioni di interfaccia tra la rete e l'impianto eolico possono essere integrate nel sistema di controllo dell'inverter.

### PLINTO DI FONDAZIONE

Il dimensionamento deve essere conforme alle seguenti norme e successive modifiche ed integrazioni:

**D.M. 14/01/2008:** Norme tecniche sulle costruzioni;  
**Circ. del Ministero n. 617/CSLLP del 02/02/2009:** Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni;  
**D.M. LL.PP. 09/01/1996 (G.U. 05/02/1996 n. 29 suppl. ord. n. 19):** Calcolo, esecuzione e collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;  
**D.M. LL.PP. 16/01/1996 (G.U. 05/02/1996 n. 29 suppl. ord. n. 19):** Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi;



**Circ. del Ministero dei LL.PP. 04/07/1996 n. 156AA.GG./STC. (G.U. 16/09/1996 n.151):** Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi;

**D.M. LL.PP. 11/03/1988:** Indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione, il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;

**Circ. del Ministero LL.PP. 24/09/1988 m. 30483:** Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione, il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

#### NORMATIVE IMPATTO ACUSTICO

La normativa e le leggi di riferimento da rispettare per la valutazione preventiva di impatto acustico sono:

**D.P.C.M. 01/03/1991:** Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno;

**Legge n. 447/1995:** Legge quadro sull'inquinamento acustico;

**D.P.C.M. 14/11/1997:** Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore;

**Decreto 16/03/1998:** Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico;

**L.R. 01/12/1998 n. 89:** Norme in materia di inquinamento acustico;

**Delibera G.R. 13/07/1999 n. 788:** Definizione dei criteri per la redazione della documentazione di impatto acustico e della relazione previsionale di clima acustico ai sensi dell'art. 12, comma 2 e 3 della L.R. n. 89 del 1998;

**Delibera C.R. 22/02/2000 n. 77:** Definizione dei criteri e degli indirizzi della pianificazione degli enti locali ai sensi dell'art. 2, della L.R. n. 89 del 1998;

**Deliberazione n. 398 del 28/03/2000, modifica e integrazione della Delibera 113/07/199 n. 788:** Definizione dei criteri per la redazione della documentazione di impatto acustico e della relazione previsionale di clima acustico ai sensi dell'art. 12, comma 2 e 3 della L.R. n. 89 del 1998;

**Circolare applicativa del 04/04/2000 prot. 104/13316/10-03 a firma del Coordinatore del Dipartimento delle Politiche Territoriali e Ambientali. Delibera C.R. 22/02/2000 n. 77:** Definizione dei criteri e degli indirizzi della pianificazione degli enti locali ai sensi dell'art. 2 della L.R. n. 89 del 1998.

#### 4 CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE

Il progetto prevede l'utilizzo di un aerogeneratore con potenza nominale di 900 kW, altezza mozzo 45m e diametro rotore di 44m, in quanto risulta essere la macchina più appropriata per il sito di installazione.

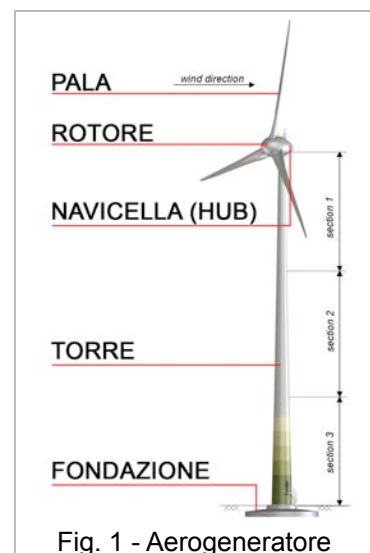


Fig. 1 - Aerogeneratore



## **5 DATI TECNICI AEROGENERATORE**

---

Di seguito si riportano le caratteristiche tecniche riunite del generatore

### **AEROGENERATORE**

- Produttore: ENERCON
- Tipi: E-44
- Potenza nominale: 900kW
- Diametro rotore: 44m
- Altezza mozzo: 45 m

### **ROTORE**

- Tipo: Tripala sopravento con regolazione attiva delle pale
- Senso di rotazione: Orario
- Numero delle pale: 3
- Diametro del rotore: 44 m
- Area descritta: 1.521 m<sup>2</sup>
- Velocità di rotazione: Variabile 12-34 rpm
- Velocità del vento di avvio: 3 m/s
- Velocità del vento di fermo: 28-34 m/s

### **MOLTIPLICATORE**

- Moltiplicatore di giri: Assente, sistema a trasmissione diretta

### **PALE**

- Produttore: ENERCONAEROLAM
- Numero di pale indipendenti: 3
- Lunghezza delle pale: 22 m
- Materiale: resina epossidica

### **GENERATORE**

- Produttore: ENERCON
- Potenza nominale 900 kW
- Tipo Generatore: ad anello a trasmissione diretta

### **SISTEMA DI ORIENTAZIONE**

- Produttore: ENERCON
- Tipo Controllo: idraulico con ammortizzatore dipendente dal carico

## SISTEMI FRENANTI

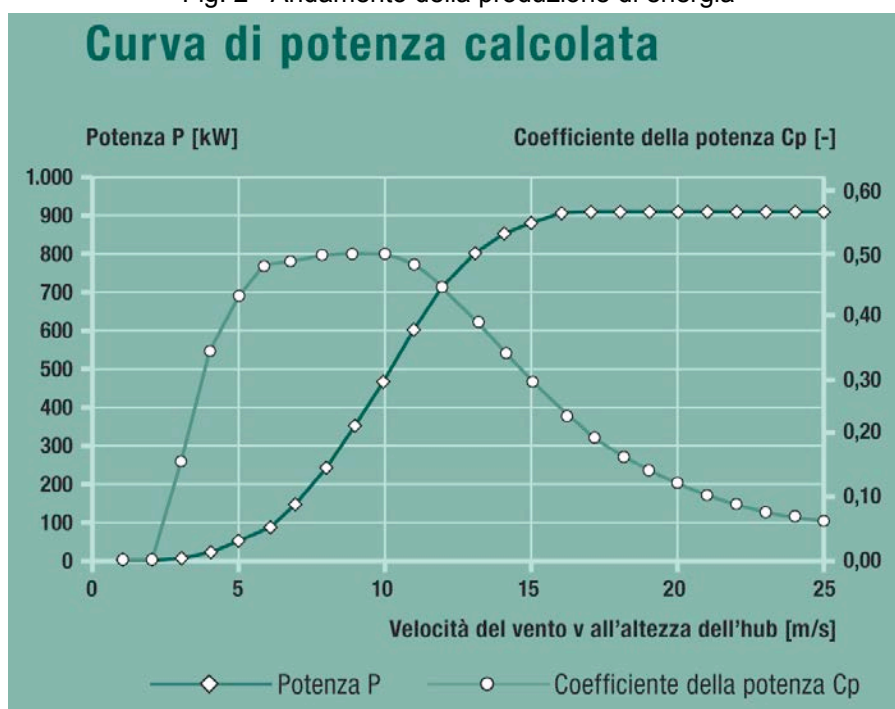
- Freno aerodinamico:
  - sistemi di regolazione delle pale indipendenti con alimentazione di emergenza
  - freno di tenuta rotore
  - blocco rotore

## TORRE

- Altezza del mozzo: 45 m
- Materiale torre: Acciaio
- Numero sezioni: 3 + basamento

Di seguito si riportano i dati di produzione di energia elettrica in base alla velocità del vento presente.

Fig. 2 - Andamento della produzione di energia



## 5.1 Pale

Il design delle pale è caratterizzato da una struttura solida, in grado di resistere anche a forti raffiche di vento, ma leggera per ridurre al minimo i carichi trasmessi sulla navicella.

Ciò è reso possibile dall'impiego di una particolare vetroresina rinforzata che possiede le proprietà necessarie.

Le pale del rotore sono state progettate in modo tale da garantire un'elevata efficienza aerodinamica e una riduzione della rumorosità della turbina grazie anche al rotore tripala.

Uno speciale rivestimento protegge le pale dagli effetti dannosi dei raggi UV e dall'umidità.

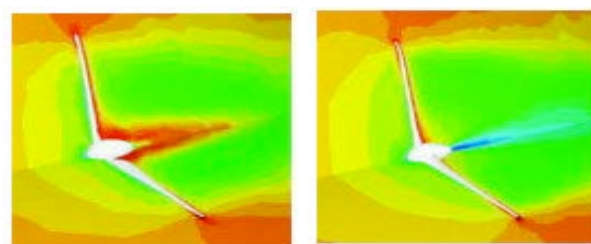
Le pale del rotore generalmente sono di colore grigio chiaro standard, colore che consente di ridurre gli effetti dei riflessi, senza influire sulla caratteristica di potenza della turbina.

Di seguito si riportano i dati tecnici delle pale del rotore:

- Numero di pale del rotore: 3
- Lunghezza: 22,0 m
- Tipo di connessione: Flangiata sul cuscinetto regolabile del mozzo
- Materiale: resina epossidica
- Protezione parafulmine: integrata



Fig. 3 - Pala eolica



Simulazione CFD del flusso dell'aria dietro una navicella con la forma delle pale generalmente usata

la stessa simulazione con la forma delle pale INVERCON

Fig. 4 - Grafico di aerodinamicità delle pale

## 5.2 Rotore

Il rotore è costituito da tre pale in vetroresina rinforzata, flangiate direttamente sul mozzo tramite apposito cuscinetto ruotante che permette la regolazione intorno all'asse longitudinale delle pale in modo tale da ottimizzare il rendimento in qualsiasi situazione di ventosità.

Per garantire la continuità ed il funzionamento sicuro dei motori di regolazione delle pale anche in caso di guasto della rete o dell'impianto, ogni pala del rotore dispone di un set di batterie indipendenti.

Le tre pale del rotore vengono orientate rispettivamente da sistemi di regolazione indipendenti controllati da microprocessore. L'angolo di pala impostato viene controllato di continuo da un dispositivo di misurazione dell'angolo pala ed i tre angoli della pala vengono sincronizzati gli uni con gli altri. Questo consente di regolare l'angolo della pala in modo veloce e preciso in base alle condizioni del vento.

Lo specifico profilo delle pale, e della navicella, è studiato appositamente per ridurre al minimo le perdite interne di circolazione e le rende insensibili alle turbolenze e allo sporco.

Il rivestimento esterno delle superfici, a base di poliuretano, garantisce al generatore durezza, resistenza alle abrasioni, agli agenti chimici, atmosferici e alle radiazioni solari.

L'utilizzo del concetto "tilted-cone" con un angolo del cono del mozzo di 4,0° e pale pre-piegate, unitamente ad un'inclinazione dell'albero del rotore pari a 5°, consente un oggetto estremamente ridotto tra il rotore e l'asse della torre e permette così di controllare in maniera affidabile la trasmissione del carico nella struttura della torre, senza dover trasmettere grossi carichi per lunghi tratti sulla struttura principale della macchina.

Per facilitare le operazioni di manutenzione sul mozzo, esso può essere raggiunto direttamente dalla navicella attraverso le aperture presenti tra le zone di raccordo delle pale.

Di seguito si riportano i dati tecnici del rotore:

- Diametro rotore: 44 m (comprese pale)
- Superficie spazzata: 1.521 m<sup>2</sup> (dalle pale)
- Velocità nominale: 12 - 34 rpm
- Inclinazione assiale dell'albero rotore: 5°
- Angolo conico delle pale: 4,0°
- Senso di rotazione (considerato in direzione del vento sul rotore): Orario
- Disposizione verso la torre: sopravvento



Fig. 5 - Rotore tripala

### 5.3 Generatore

Il generatore ad anello, usato sulla macchina scelta, è di tipo sincrono ed è connesso direttamente al rotore senza ulteriori moltiplicatori.

La parte rotante del generatore ad anello ed il rotore formano un unico elemento e vengono montati mediante una flangia direttamente sul mozzo, in modo tale che girino con lo stesso basso numero di giri.

Grazie al ridotto numero dei componenti della trasmissione e altre parti rotanti ad alta velocità, si riducono notevolmente le perdite di energia tra rotore e generatore, l'emissione di rumore, l'impiego di olio e l'usura meccanica.

Grazie alla bassa velocità di rotazione e al grande diametro del generatore, il livello di temperatura durante il funzionamento è relativamente basso e costante.

Poche oscillazioni di temperatura durante il funzionamento e poche variazioni di carico riducono notevolmente le tensioni meccaniche e la conseguente usura del materiale del generatore e del materiale isolante.

Il numero di giri variabile ed il collegamento alla rete elettrica attraverso convertitori riducono inoltre i picchi di coppia.

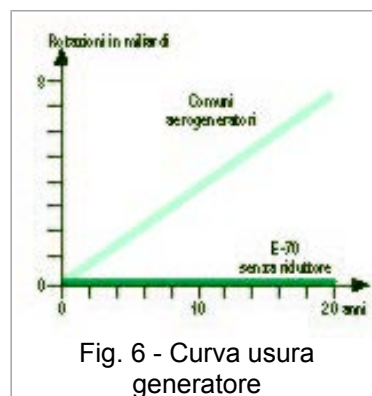


Fig. 6 - Curva usura generatore

### 5.4 Sistema di regolazione delle pale

Le pale del rotore sono incernierate nel mozzo tramite cuscinetti e possono essere ruotate singolarmente intorno all'asse longitudinale mediante l'apposito sistema motorizzato di regolazione del passo.

Ogni pala del rotore possiede infatti un sistema di regolazione autonomo costituito da un motore che agisce sulla dentatura esterna del cuscinetto attraverso il moltiplicatore planetario ed il pignone.

Per sincronizzare i tre sistemi di regolazione delle pale viene impiegato un regolatore sincronizzato rapido e per garantire un funzionamento sicuro anche in caso di guasto della rete o dell'impianto, ogni pala è dotata di un set di batterie autonomo ruotante insieme alla pala stessa.

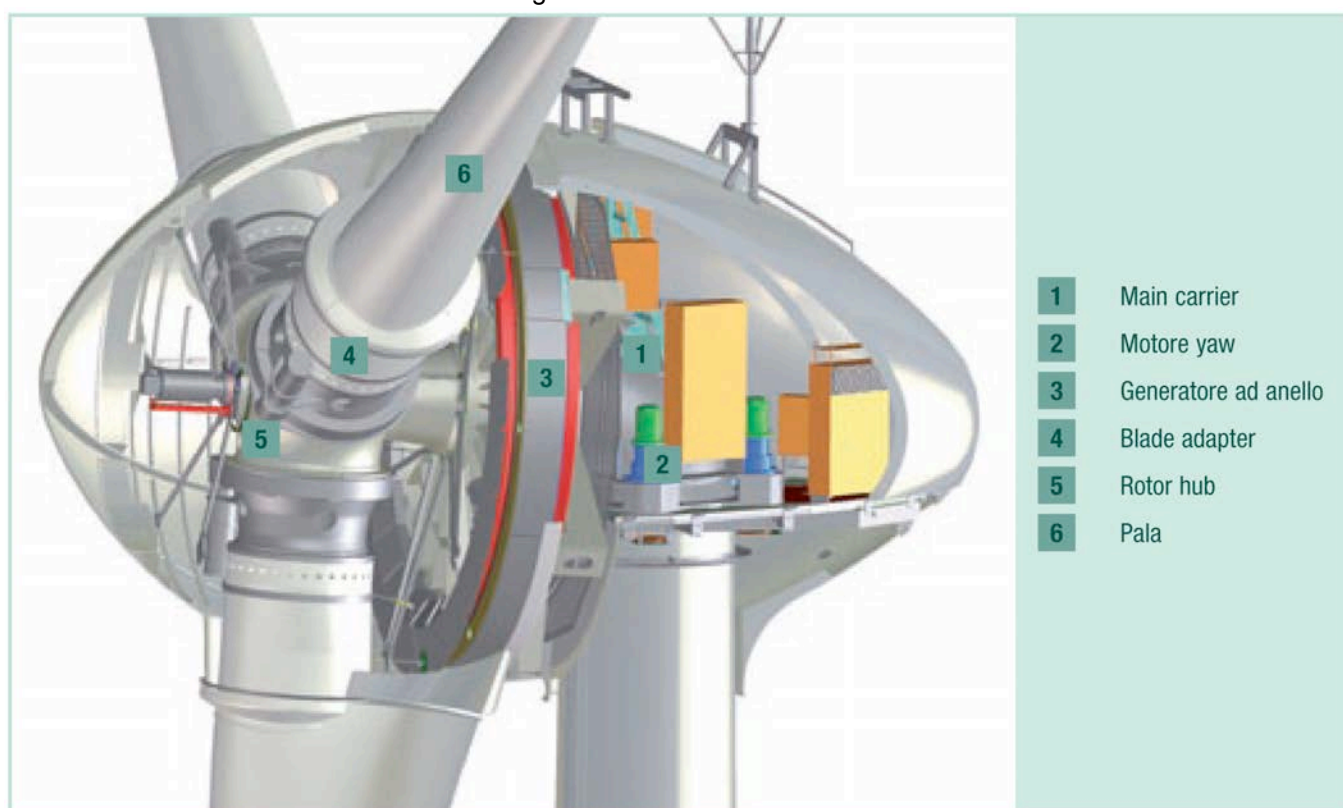
### 5.5 Navicella

Per soddisfare i requisiti di una turbina eolica innovativa, la navicella presenta un design aerodinamico in modo tale da ridurre al minimo turbolenze e le perdite interne per circolazione.

La conformazione interna permette di eseguire interventi di manutenzione a navicella chiusa o parzialmente aperta per effettuare sostituzioni di grandi dimensioni.

L'accesso alla torre nella navicella avviene tramite una botola posta nella struttura principale. Per raggiungere i componenti della struttura principale è disponibile anche una piattaforma di manutenzione. I quadri di controllo dell'inverter e relativo sistema di raffreddamento sono alloggiati all'interno della navicella. Tutti i sistemi possono essere manovrati dalla navicella mediante il dispositivo di comando.

Fig. 7 - Navicella Generatore



Per motivi di sicurezza è previsto un pulsante di arresto d'emergenza.

In linea di massima tutte le parti rotanti/mobili all'interno della navicella sono protette con coperture, per evitare rischi di lesioni.

Come materiale per la carenatura della navicella è stata scelta la vetroresina, che offre una protezione sicura e leggera.

La carenatura della navicella svolge anche la funzione di insonorizzazione e mantenimento della temperatura di esercizio.

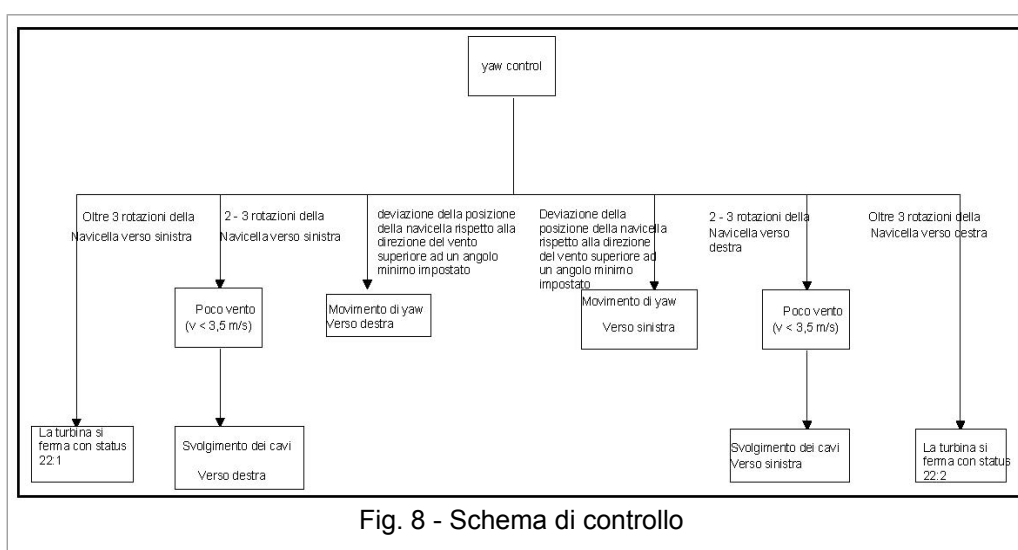
## 5.6 Sistema di inseguimento del vento

La navicella è collegata alla torre mediante un cuscinetto a quattro punti.

Il sistema di inseguimento del vento della navicella avviene mediante quattro motori di yaw (motoriduttori elettrici). Le pinze idrauliche del freno tengono la navicella nella direzione del vento e mantengono i motori di yaw essenzialmente liberi dalle sollecitazioni che possono aver luogo, ad es., in caso di flusso inclinato rispetto al rotore. In assenza di corrente, i freni sono attivi.

Il generatore è dotato di un anemometro combinato installato sulla parte superiore della navicella. L'anemometro combinato è composto da un banderuola per il rilevamento continuo della direzione del vento e da un anemometro per la misurazione delle velocità effettive del vento.

Lo yaw control si attiva già al di sotto della velocità del vento di accensione (2 m/s) anche quando l'impianto è spento. L'angolo e il periodo di calcolo della media dipendono dalla velocità del vento e/o dalla potenza dell'impianto.



L'operazione di orientamento viene impostata contando i giri del motore di regolazione e controllando la plausibilità del tempo di regolazione necessario. Se il sistema di controllo rileva irregolarità dello yaw control o dello svolgimento dei cavi (vedi paragrafo seguente), avvia la procedura di arresto dell'impianto.

Mentre la turbina sta ruotando, i freni sono rilasciati per evitare carichi aggiuntivi sui motori di yaw, che così sono esclusivamente sollecitati dalla massa della navicella.

Di seguito si riportano i dati tecnici del sistema di inseguimento del vento

- Controllo dell'orientamento: Attivo con azionatore, ammortizzazione dipendente dal carico
- Esecuzione: 4 motoriduttori, 20 freni di yaw
- Velocità di regolazione: 0,5 m/s
- Supporto: Cuscinetto a quattro punti con dentatura esterna

### 5.6.1 Svolgimento dei cavi elettrici e di controllo

I cavi di potenza e di controllo del generatore che si trovano all'interno della torre vengono fatti passare dalla navicella attraverso un rullo deflettore e di seguito fissati alla parete della torre.

I cavi hanno abbastanza libertà di movimento, per permettere alla navicella di girare più volte nella stessa direzione intorno al proprio asse. Durante la rotazione i cavi si intrecciano lentamente. Il dispositivo di regolazione fa sì che i cavi intrecciati vengano svolti automaticamente.

Se i cavi si sono intrecciati di due o tre rotazioni, il dispositivo di regolazione sfrutta il successivo periodo di poco vento per svolgere i cavi. Se questo non dovesse essere possibile a causa delle condizioni del vento e se i cavi hanno fatto più di tre giri, l'impianto si ferma e i cavi vengono svolti indipendentemente dalla velocità del vento.

Lo svolgimento dei cavi dura circa mezz'ora.

Dopo lo svolgimento dei cavi, l'impianto riparte automaticamente.

Il sensore per l'avvolgimento cavi si trova nel cosiddetto interruttore cable twist nella zona della botola della base torre. Il sensore è collegato alla corona dentata yaw attraverso una ruota dentata e un ingranaggio.

Cambiamenti della direzione della navicella vengono trasmessi al sistema di controllo.

Inoltre, sono montati a sinistra e a destra degli interruttori di fine corsa che segnalano per ogni direzione il superamento di avvolgimenti consentiti (interruttore di fine corsa avvolgimento cavi a destra o sinistra).

In questo modo si evita che i cavi della torre si intreccino ulteriormente. L'impianto si arresta e non si riavvia automaticamente.

### 5.6.2 Gruppo di trasmissione – concetto di supporto

Il gruppo di trasmissione poggia su tre punti appena sopra la flangia superiore della torre, che con la sua geometria conica crea un'ampia base per l'assorbimento delle forze grazie anche al cuscinetto a sfera di grandi dimensioni che ne facilita il movimento.

I due punti di appoggio posteriore sono i bracci di reazione del moltiplicatore. Essi sono collegati con il supporto macchina in modo elastico mediante boccole elastomeriche. Il supporto a tre punti consente una sicura trasmissione del carico e contemporaneamente un'elevata tolleranza di allineamento del gruppo di trasmissione.



## 5.7 Torre

La torre è la struttura portante che sorregge il rotore e la navicella, fondamentale per elevare in quota il generatore in modo tale da captare meglio le correnti ventose.

La torre, in acciaio tubolare, viene fabbricata in più sezioni separate (3 sezioni).

Per i giunti si usano connessioni a flangia ad L che rispettano i componenti. In confronto ai giunti a flangia convenzionali (usati ad es. nella costruzione dei camini d'acciaio) nel giunto a flangia L, la saldatura è situata al di fuori del campo di tensione.

Questo particolare tipo di metodo costruttivo, permette di:

- Eliminare il complesso lavoro di saldatura sul cantiere
- Montare in modo rapido e sicuro secondo i più alti criteri di qualità
- Una perfetta protezione anticorrosione eseguita nelle migliori condizioni

La torre al suo interno è vuota in modo tale da garantire l'alloggio delle apparecchiature di funzionamento (poste nella base) ed il passaggio dei cavi di energia e di controllo

L'accesso all'aerogeneratore è previsto tramite una porta posta sul basamento della torre, rialzata di circa 2 metri dal piano di terra, accessibile tramite una scala fissa.

L'accesso alla navicella avviene mediante una scala a pioli, passante all'interno della torre, dotata di sistema di protezione anticaduta.

Ogni settore della torre è compartimentato e provvisto di piattaforme e illuminazione d'emergenza.

Sulla base della torre è previsto un locale tecnico che contiene alcune delle apparecchiature necessarie per il controllo ed il funzionamento dell'impianto.

L'aerogeneratore scelto, può essere dotato di trasformatore MT/BT integrato in modo tale da garantire l'allaccio alla rete mt senza bisogno di alcun tipo di prefabbricato accessorio.

Il locale di trasformazione, in questo caso, risulta accessibile tramite scala a pioli protetto contro accessi non autorizzati e situato al piano terra, sotto il piano di accesso.

L'impianto può essere comandato anche dal basamento della torre mediante un display di controllo.

La trasmissione di energia nella torre avviene mediante blindosbarre schermate, che contribuiscono a ridurre al minimo i disturbi elettromagnetici.

Dati tecnici della torre

- Tipo di materiale utilizzato: acciaio
- Altezza mozzo: 45 m
- Numero sezioni: 3 + fondazione
- Zona di vento: WZ II exp.



Fig. 9 - Trasporto componenti in cantiere

La torre, presenta una particolare colorazione sfumata di colore verde che parte dalla base e si estende per circa 15 metri, lungo la torre, in modo tale da creare una naturale mitigazione con la vegetazione nei pressi.

Trattandosi di sezioni separate è possibile trasportare indipendentemente le sezioni della torre in cantiere e assemblarle tramite apposite grù di sollevamento.

Questa particolare scelta costruttiva della torre permette di sfruttare il trasporto aereo tramite elicottero permettendo di ridurre al minimo i disagi dovuti ai trasporti eccezionali oltre a non richiedere un adeguamento della viabilità esistente.

Il trasporto della torre così come tutti gli altri componenti, quali la navicella o altri accessori di minore entità, sono normalmente effettuati su gomma. Tale soluzione richiede sempre un adeguamento della viabilità esistente o addirittura la realizzazione di nuove strade di accesso.

In fase di progettazione è stata considerata la possibilità di utilizzare il trasporto su gomma ma, a seguito di verifiche condotte lungo la viabilità di accesso, è emersa la necessità di modificare vari punti della viabilità esistente di accesso al sito.

Consequentemente si è optato per il trasporto mediante elicottero che non richiede interventi di adeguamento alle viabilità esistenti.

Per maggiori dettagli sul trasporto dell'aerogeneratore sul sito si rimanda alla specifica relazione.



Fig. 10 - Assemblamento componenti

## 5.8 Basamento

La fondazione è l'elemento di unione tra la torre ed il terreno e scarica tutti i carichi statici e dinamici dell'aerogeneratore.

La fondazione è eseguita in forma circolare in modo tale da garantire una maggiore uniformità di distribuzione delle forze in qualunque direzione del vento ed una cubatura, di cemento e farri di armatura, minore rispetto alle tradizionali fondazioni a croce.

La fondazione, con diametro di circa 15 metri e profondità 2 metri, sarà composta da cemento armato costituito da un fitto reticolato di tondini in acciaio che incorporeranno in maniera stabile ed inscindibile il primo elemento conico di base della torre.

Vista la ridotta circonferenza della torre, si usa la cosiddetta sezione tirafondi per l'unione alla fondazione.

Essa si compone di numerosi tirafondi in acciaio disposti su due circonferenze. L'esatta posizione dei singoli tirafondi viene assicurata da modelli a forma di anello, che corrispondono alle esatte dimensioni della flangia della torre.

Dopo la realizzazione delle fondazioni, la sezione inferiore della torre viene posta sui tirafondi che fuoriescono dalla superficie in calcestruzzo e avvitata con dadi per raccordi.

Il componente cilindrico viene posto sopra il cosiddetto primo corso prima del getto di calcestruzzo e viene orientato con precisione millimetrica tramite bulloni di allineamento.

Il collegamento fra la torre e la sezione della fondazione avviene con un giunto a flangia dopo la realizzazione della fondazione.

La terra di risulta verrà depositata in cumuli provvisori in attesa di essere riutilizzata nella fase di riempimento delle fondazioni. Il materiale rimanente verrà cosperso nelle immediate vicinanze ponendo attenzione alla sua perfetta integrazione con il paesaggio oppure verrà impiegato come materiale di riempimento nella fase di realizzazione delle piazzole di montaggio. Non è prevista per questa operazione una eccedenza della terra di scavo.



Fig. 11 - Fondazione in realizzazione

## 6 PRODUZIONE E IMMISSIONE IN RETE DELL'ENERGIA ELETTRICA

L'aerogeneratore scelto è in grado di erogare energia elettrica in corrente alternata a tensione nominale 15kV grazie alla cabina di trasformazione MT/BT direttamente incorporata nella base della torre.

Questo permette di evitare l'installazione del trasformatore in un prefabbricato esterno all'aerogeneratore riducendo così al minimo gli spazi e l'impatto ambientale.

- 1 Generatore sincrono ad anello
- 2 Rettificatore
- 3 Unità di eccitazione
- 4 Quadro di controllo navicella
- 5 Navicella
- 6 Cavi di potenza e controllo
- 7 Quadri BT di potenza
- 8 Quadro di controllo
- 9 Basamento torre
- 10 Trasformatore e interruttore di protezione
- 11 Locale tecnico MT

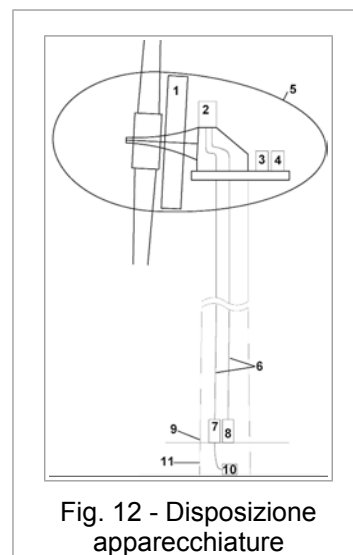


Fig. 12 - Disposizione apparecchiature

### 6.1 Produzione e controllo dell'energia

Il generatore ad anello è un generatore sincrono a più poli, il quale è collegato direttamente al rotore senza alcun moltiplicatore di giri aggiuntivo.

La tensione e la frequenza d'uscita del generatore ad anello variano con il numero dei giri e vengono trasformate attraverso un sistema di alimentazione della rete per l'immissione.

In questo modo si raggiunge un'alta variabilità del numero di giri e il generatore ad anello è disaccoppiato perfettamente dalla rete.

Il numero di giri e la produzione di potenza del generatore vengono controllati e ottimizzati in ogni momento tramite il sistema di controllo dell'impianto.

Il sistema di controllo è composto principalmente dai seguenti componenti:

**Rettificatore:**

Un circuito che svolge la funzione di raddrizzatore di corrente che trasforma la sinusoide creata dal generatore in corrente continua in modo tale da poterla controllare e modificare in base alle esigenze per l'immissione in rete.

**Unità di Eccitazione:**

Circuito che alimenta, in corrente continua, lo statore del generatore.

**Circuito intermedio di controllo:**

Circuito che permette di modificare i parametri della corrente generata e stabilizzarla in modo tale da renderla compatibile con i parametri per l'immissione in rete.

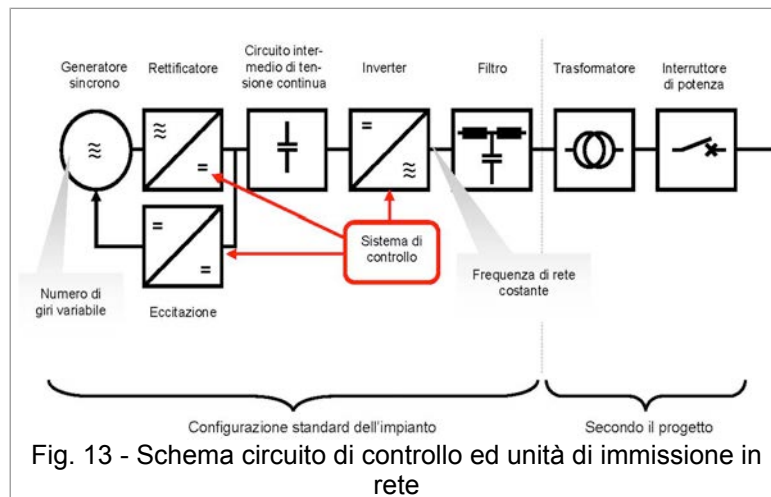
**Inverter:**

Componente in grado di trasformare la corrente continua modificata secondo i parametri impostati, in una perfetta sinusoide a frequenza costante senza oscillazioni.

Filtro ad alta frequenza:

In grado di filtrare gli eventuali disturbi residui presenti nella sinusoide generata dall'inverter e ridurre ulteriormente le oscillazioni delle armoniche.

Di seguito si riporta lo schema unifilare di collegamento del sistema di controllo/generatore.



L'unità di immissione in rete, così come l'eccitazione del generatore e il sistema pitch, viene regolata dal sistema di controllo in base alle richieste di massimo rendimento energetico ed alta compatibilità con la rete.

Con questo collegamento "elastico" tra il generatore ad anello e la rete è possibile trasmettere la potenza prodotta in modo ottimale.

Cambiamenti improvvisi della velocità del vento si traducono in un cambiamento controllato della potenza immessa nella rete. In modo analogo, eventuali guasti della rete elettrica non hanno praticamente alcun effetto sul lato meccanico. La potenza immessa in rete del generatore può essere regolata in modo preciso tra 0 kW e 900 kW.

Grazie al sistema di controllo l'impianto eolico funziona come fonte di corrente controllata.

Finché ai morsetti la tensione rimane all'interno dei valori limite consentiti, i convertitori immettono sempre una corrente simmetrica e di forma sinusoidale. La tensione ai morsetti dell'impianto viene influenzata da questa immissione, ma non controllata attivamente.

Il generatore è dotato di un sistema di regolazione della tensione sul punto di connessione.

Il sistema di conversione definisce le caratteristiche di potenza per l'immissione nella rete e garantisce che la potenza di uscita sia condizionata in base ai requisiti della rete.

Il circuito di controllo e l'unità di immissione in rete, generano una corrente trifase ed effettuano controlli ogni 100  $\mu$ s sulla corrente effettiva erogata (valore reale), procedendo in caso di necessità con la correzione del valore.

La forma della corrente generata è sinusoidale, praticamente senza oscillazioni di disturbo. Un filtro ad alta frequenza riduce ulteriormente le oscillazioni armoniche.

Il generatore è dotato di un particolare dispositivo "Transmission" in grado di non perdere l'energia prodotta in caso di piccole interruzioni di rete.

In particolare, l'impianto è in grado di sopportare cadute di tensione (guasti alla rete di alcuni secondi, ma comunque sotto i limiti imposti dal gestore di rete ed impostati nella protezione di interfaccia generale dell'impianto) senza arrestare la produzione, ma semplicemente accumulandola temporaneamente.

Appena la tensione ritorna, viene immessa nella rete la massima potenza possibile precedentemente accumulata.

Il generatore eroga energia con un fattore di potenza  $\cos \phi = 1$ .

Per tutta la gamma di potenza da 0 fino a 900 kW non ha bisogno di potenza reattiva e non ne immette neanche nella rete, viene immessa nella rete soltanto potenza attiva.

In caso il gestore di rete lo richiedesse, il generatore ha la possibilità di variare il fattore di potenza. In questo modo l'impianto può contribuire al bilancio di potenza reattiva e al mantenimento della tensione nella rete. Il campo massimo di regolazione della potenza reattiva varia a seconda della configurazione dell'impianto.

Tale processo di controllo e generazione avviene tramite le apparecchiature racchiuse all'interno della navicella (in quota).

## 6.2 Trasformazione per l'immissione in rete dell'energia

La corrente prodotta dal generatore e successivamente elaborata dalle apparecchiature di controllo dell'unità di immissione in rete, raggiungono il locale di protezione e trasformazione alla base della torre, tramite blindosbarre schermate fissate alla parete della torre.

L'accesso alla base della torre è realizzato mediante una scala al primo piano della torre ed attraverso una botola bloccata. Soltanto le persone autorizzate possono accedere al locale tecnico.

Nel locale tecnico a piano primo, sono presenti i quadri BT di protezione e controllo del generatore oltre che alle apparecchiature di misurazione dell'energia prodotta.

Tale contatore non è valevole ai fini dell'officina elettrica, per questo dovrà essere installato un secondo contatore bollato UTF, che verrà installato tramite appositi TA e TV, a valle del trasformatore MT/BT e posizionato secondo le disposizioni del gestore di rete, nel locale tecnico alla base della pala o nel locale misure della cabina di allacciamento adiacente.

Il trasformatore è posto in modo che vi sia spazio sufficiente per assistenza e manutenzione.

Le linee di bassa tensione di collegamento tra il trasformatore e gli armadi di potenza a piano primo sono realizzate in cavidotti in rame flessibile posati in apposite condutture protette contro accessi involontari.

Tutti i locali tecnici, ricavati all'interno della torre, completamente progettati ed allestiti dal costruttore del generatore, garantiscono ottime prestazioni tecniche e una sicurezza ottimale per il personale di servizio.

Le condutture elettriche sono posate in apposite canalette o scomparti protetti contro accessi non volontari, le attrezzature e gli spazi sono adeguati per un funzionamento ed una manutenzione ottimale.

Tramite un cavedio sulla compartimentazione della torre, le linee di potenza raggiungono il trasformatore MT/BT.

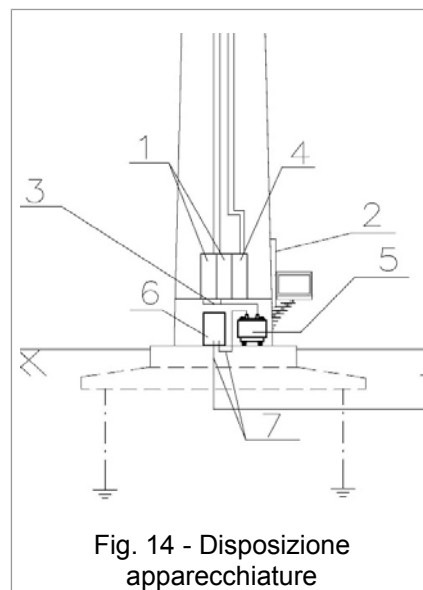


Fig. 14 - Disposizione apparecchiature

### 6.2.1 Trasformatore MT/BT

Il produttore fornisce tutte le attrezzature elettriche necessarie per la protezione, il comando e la trasformazione dell'energia elettrica prodotta, dal generatore in BT fino al quadro MT collegato all'uscita del trasformatore in Media Tensione.

Il trasformatore installato è di tipo ad olio silconico con potenza nominale di 900 kVA e protetto con apposita gabbia di confinamento.

Di seguito si riportano le caratteristiche del trasformatore MT/BT

- Potenza nominale: 900 kVA
- Frequenza: 50 HZ
- Tensione primario:  $1 \leq U \leq 24 \text{ kV}$
- Tensione secondario: 400V
- Tappings: 4x2,5%
- Gruppo: Dyn5
- Impedenza: 6 %
- No load current at 110 % rated voltage (A)  $\leq 5$
- Perdite del ferro a tensione nominale:  $\leq 1.100 \text{ W}$
- Perdite nel rame a corrente nominale e  $75^\circ\text{C}$ :  $\leq 10.000 \text{ W}$
- BIL tra fase e terra: 125 kV
- Aumento di temperatura Olio/bobine: 50/55°K
- Temperatura ambiente:  $40^\circ\text{C}$
- Monitoraggio temperatura:
  - Livello di allerta:  $90^\circ\text{C}$
  - Trip level:  $95^\circ\text{C}$
- Materiale di raffreddamento: Olio a base silconica
- Tipo di raffreddamento: KNAN
- Livello di rumorosità: 60dB (A)
- Dimensioni: 1600x770x2040 mm
- Peso: 2,5 t

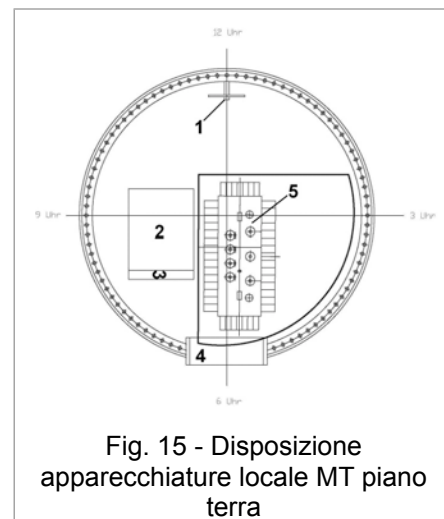


Fig. 15 - Disposizione apparecchiature locale MT piano terra

### 6.2.2 Interruttore MT generale impianto



Le linee di potenza in uscita dal lato MT del trasformatore, si attestano all'interruttore MT a gas SF<sub>6</sub>, posto accanto al trasformatore, che funge da generale dell'impianto eolico.

Il collegamento tra il primario MT del trasformatore e l'interruttore generale impianto MT è costituita da linea in cavo unipolare RG7H1R 1 x 95 mm<sup>2</sup> per ogni fase.

Di seguito si riportano le caratteristiche dell'interruttore generale:

- Uso: Interno alla torre
- Tensione nominale: 24kV
- Frequenza nominale: 50 Hz
- Numero di celle: 2
- Configurazione standard
- Gas di isolamento: SF<sub>6</sub>
- Tipo di connessione: compatto
- Tipo di servizio: continuo
- Corrente nominale: 630 A
- Corrente nominale trasformatore dell'interruttore: 200 A
- Corrente a breve termine (1s): 16 kA
- Corrente di corto circuito: 50 kA



Fig. 16 - Interuttore MT  
SF<sub>6</sub>

## 6.3 Sistemi di sicurezza

### 6.3.1 Sistema di Protezione di Interfaccia (S.P.I.)

Oltre che ai vari sistemi di sicurezza e protezione incorporati nel generatore, è presente una protezione di interfaccia (S.P.I.) che agisce direttamente sull'interruttore MT generale impianto con funzione anche di dispositivo di interfaccia (D.D.I.)

La protezione di interfaccia è in grado di aprire l'interruttore e quindi scollegare l'impianto dalla rete elettrica ogni qualvolta si verificano condizioni non ideali per l'immissione in rete dell'energia prodotta.

Il dispositivo di interfaccia è tarato secondo le regole tecniche prescritte del gestore di rete.

### 6.3.2 Il sistema frenante

Durante il funzionamento gli impianti di energia eolica vengono frenati solo in modo aerodinamico regolando le pale del rotore nella posizione della banderuola.

A questo servono i tre motori pitch indipendenti che portano le pale del rotore nella posizione della banderuola in pochi secondi ("fuori dal vento"). La velocità dell'impianto si riduce senza caricare ulteriormente il tratto della trasmissione.

Per portare la velocità del rotore ad un livello di sicurezza sarebbe sufficiente portare fuori dal vento solo una delle tre pale del rotore.

Anche con impianto spento, il rotore non si arresta, bensì continua a girare al minimo. Il rotore e il tratto della trasmissione rimangono praticamente senza carico.

Durante il funzionamento a folle i cuscinetti vengono sollecitati meno che con rotore bloccato.

L'arresto completo del rotore avviene solo per scopi di manutenzione ed azionando il pulsante di ARRESTO DI EMERGENZA posizionato alla base della torre dentro il locale utente.

In questo caso viene utilizzato un freno supplementare che si attiva solo quando il rotore è già stato frenato parzialmente con il dispositivo di regolazione delle pale. Il blocco rotore viene inserito solo manualmente come sicurezza finale per scopi di manutenzione.



In casi di emergenza (ad es. in caso di mancanza di tensione nella rete elettrica), ogni pala del rotore viene portata nella posizione della banderuola tramite un'unità di regolazione di emergenza a batteria. Lo stato di carica e la disponibilità delle batterie vengono garantiti da un caricabatteria automatico.

L'attivazione del dispositivo di regolazione delle pale tramite le unità di regolazione di emergenza avviene in modo sincrono attraverso un collegamento elettromeccanico.

L'alimentazione di corrente parallela per i casi di emergenza (rete o accumulatore) in abbinamento ai tre motori pitch completamente indipendenti crea un sistema di sicurezza che soddisfa ampiamente le esigenze di due sistemi frenanti indipendenti ("fail safe").

### 6.3.3 Il sistema parafulmine

L'aerogeneratore è dotato di un sistema parafulmine integrato che devia con altissima probabilità eventuali fulmini senza che l'impianto venga danneggiato.

La punta delle pale è fatta di una fusione di alluminio, i bordi anteriori e posteriori delle pale sono dotati di profili in alluminio collegati tramite un anello di alluminio nella zona di raccordo della pala.

Un fulmine viene scaricato in tutta sicurezza da questi profili e la corrente da fulminazione diretta viene deviata mediante spinterometri e conduttori fino al suolo intorno alle fondamenta.

Anche nella parte posteriore del rivestimento della navicella è stato collocato un parafulmine dal quale la corrente dei fulmini viene deviata al suolo.

Nel caso di lampi o di aumenti inconsueti di tensione (sovratensione), l'intero impianto elettrico ed elettronico viene protetto da componenti fissi ad assorbimento di energia.

Tutti i componenti dell'impianto a conduzione elettrica sono collegati alla barra equipotenziale con sezioni sufficienti. Sul collegamento principale dell'impianto sono stati installati altri scaricatori di sovratensione, messi a terra a bassa impedenza.

L'elettronica dell'impianto è isolata galvanicamente e si trova in box metallici.

Il sistema di monitoraggio a distanza viene protetto da uno speciale modulo di protezione per l'interfaccia dati.

In caso di fulminazione, le tensioni di passo che si formano nel terreno circostante la pala, risultano comunque entro i parametri prescritti dalle norme vigenti.

### 6.3.4 Il sistema di sensori

Un ampio sistema di monitoraggio garantisce la sicurezza dell'impianto.

Tutte le funzioni di sicurezza (ad es. velocità rotore, temperature, carichi, oscillazioni) vengono controllate elettronicamente e, dove necessario, in aggiunta, da sensori meccanici con accesso sovraordinato.

Se uno dei sensori registra una grave anomalia, l'impianto si arresta immediatamente.

## 6.4 Controllo del funzionamento

Il dispositivo di regolazione del generatore si basa su un sistema di microprocessori che controllano tramite sensori tutti i componenti dell'impianto e i dati come la direzione e la velocità del vento, adeguando di conseguenza il funzionamento del generatore.

Se nei tre minuti successivi viene rilevata una velocità del vento sufficiente al funzionamento dell'impianto, quest'ultimo si avvia automaticamente.

Se viene raggiunto il limite inferiore dell'intervallo del numero di giri, inizia l'erogazione di potenza alla rete.

All'avvio non si manifestano elevate correnti di accensione grazie al collegamento alla rete attraverso circuiti intermedi.

Il numero di giri, l'emissione di potenza e l'angolo delle pale vengono continuamente adeguati alle condizioni del vento.

La potenza elettrica viene regolata tramite il sistema di eccitazione del generatore. Anche al di sopra della velocità nominale del vento, il numero di giri viene mantenuto al valore nominale regolando l'angolo di pala.

Se, viene superata la velocità media del vento, di 25 m/s nella media dei 10 minuti o un valore di picco di 25 m/s, l'impianto si arresta.

L'impianto si riavvia quando si resta in modo continuativo al di sotto della velocità del vento di fermo.

Anche ad impianto spento, il rotore gira alla velocità minima.

Lo yaw control del generatore si attiva già al di sotto della velocità del vento di accensione.

Con la banderuola viene rilevata costantemente la direzione del vento. Se lo scostamento della direzione assiale del rotore rispetto alla direzione rilevata del vento è troppo elevato, la navicella viene orientata tramite l'attuatore idraulico. A seconda della velocità variano l'angolo dello scostamento e il tempo, finché la navicella viene orientata verso il vento.

Se l'impianto viene fermato manualmente o dall'unità di controllo, l'angolo di pala viene portato in posizione banderuola e così la superficie della pala esposta al vento viene ridotta.

L'impianto gira per inerzia fino a funzionamento a folle.

## 6.5 Sistemi di controllo

### 6.5.1 Intervento dei sensori di sicurezza

Se ha reagito un sensore di sicurezza, innanzitutto l'impianto dà il via ad un arresto automatico. Il tipo di arresto e l'eventuale riavvio, dipendono dall'anomalia visualizzata sull'apposito display.

Dopo aver premuto il tasto di riavvio, l'impianto riprende a funzionare automaticamente. Anche il funzionamento dei sensori viene controllato di continuo dal sistema di controllo.

Se i sensori reagiscono viene inviato un messaggio di errore al monitoraggio a distanza. In base al tipo di anomalia rilevata, l'impianto può continuare a funzionare per un determinato periodo. Se ha reagito un sensore di sicurezza, innanzitutto l'impianto dà il via ad un arresto automatico. Il tipo di arresto e l'eventuale riavvio, dipendono dall'anomalia visualizzata sull'apposito display. Dopo aver premuto il tasto di riavvio, l'impianto riprende a funzionare automaticamente.

Anche il funzionamento dei sensori viene controllato di continuo dal sistema di controllo. Se i sensori reagiscono viene inviato un messaggio di errore al monitoraggio a distanza. In base al tipo di anomalia rilevata, l'impianto può continuare a funzionare per un determinato periodo.

### 6.5.2 Avvio dell'impianto

L'avvio del generatore avviene in maniera automatica, controllato dai sensori, quando il tasto di accensione è attivo. 90 secondi dopo l'avvio, le pale del rotore vengono spostate dalla posizione di banderuola (circa 90°) e si attiva il "funzionamento a folle".

L'impianto gira a velocità ridotta. L'impianto inizia la vera e propria procedura di avvio quando la velocità media del vento è superiore alla velocità minima del vento per tre minuti consecutivi.

### 6.5.3 Funzionamento normale

Al termine della procedura di avvio, l'impianto di energia eolica funziona in modalità normale.

Durante il funzionamento vengono controllate di continuo le condizioni del vento, viene ottimizzata la velocità del rotore, la potenza del generatore, la posizione della navicella e vengono rilevati tutti gli stati dei sensori.

In caso di elevate temperature esterne e contemporaneamente, di alte velocità del vento, si attiva anche la ventola di raffreddamento del generatore.

### 6.5.3.1 Funzionamento a carico parziale

Durante il funzionamento con carico parziale vengono adeguate di continuo la velocità e l'erogazione di potenza alle condizioni del vento. Nell'area superiore di carico parziale le pale del rotore vengono spostate di qualche grado per evitare lo stallo della corrente d'aria (effetto di perdita aerodinamica).

Con l'aumentare della velocità del vento aumentano la velocità del rotore e la potenza erogata.

### 6.5.3.2 Modalità di controllo automatico

Al di sopra della velocità nominale del vento, la velocità di rotazione viene mantenuta all'incirca sul valore nominale regolando l'angolo della pala e la potenza viene limitata.

La modifica dell'angolo della pala viene determinata valutando la velocità di rotazione e l'accelerazione.

In questo modo la potenza erogata viene mantenuta sul suo valore nominale.

### 6.5.3.3 Funzionamento a folle

Quando l'impianto si ferma (ad es. a causa di mancanza di vento o di guasti), le pale del rotore di solito si trovano a 60° rispetto alla posizione di funzionamento e il rotore gira al minimo.

Se si supera questa velocità (circa 3 rpm), le pale del rotore vengono spostate in direzione della banderuola (circa 90°). Questa modalità operativa viene denominata "Funzionamento a folle".

Il funzionamento a folle riduce i carichi e consente di riavviare l'impianto in tempi brevi.

### 6.5.3.4 Arresto dell'impianto

È possibile fermare il generatore azionando manualmente l'interruttore Start/Stop e il pulsante di ARRESTO D'EMERGENZA posizionati entrambi all'interno del locale tecnico sulla base della torre.

In presenza di anomalie o di condizioni del vento non idonee, il sistema di controllo arresta l'impianto.

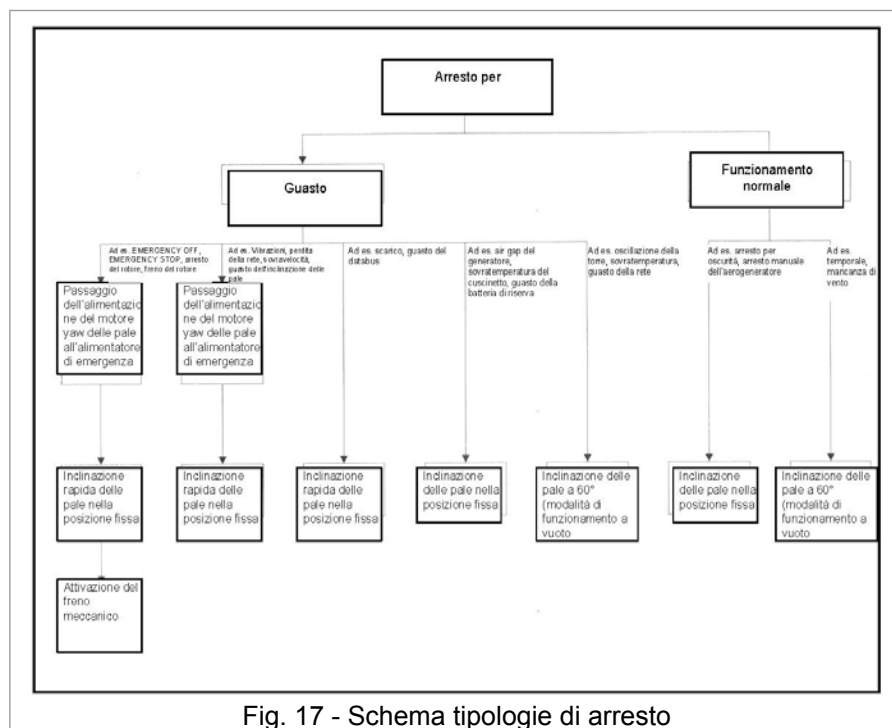


Fig. 17 - Schema tipologie di arresto

#### 6.5.3.5 Arresto automatico

Gli impianti di energia eolica vengono frenati durante il funzionamento automatico solo in modo aerodinamico regolando le pale del rotore.

La regolazione delle pale del rotore riduce le forze di spinta aerodinamica e il rotore viene frenato.

I dispositivi di regolazione delle pale sono in grado di portare le pale fuori dal vento e/o in posizione a banderuola entro pochi secondi.

La turbina si ferma automaticamente anche in caso di determinati guasti, condizioni di funzionamento o condizioni di vento. In caso di alcuni guasti si verifica un arresto veloce attraverso i dispositivi di alimentazione di emergenza delle pale. Altri guasti portano ad un fermo normale dell'impianto.

A seconda del tipo di anomalia, è possibile un riavvio automatico dell'impianto. In ogni caso i sistemi di conversione vengono staccati galvanicamente dalla rete durante la procedura di arresto.

#### 6.5.3.6 Arresto manuale

È possibile fermare il generatore con l'interruttore Start/Stop posizionato sul locale tecnico alla base della torre.

Il sistema di controllo porterà le pale rotore "fuori dal vento" e l'impianto girerà per inerzia sino all'arresto.

Durante questa operazione il freno rotore non viene azionato e lo yaw control resta in funzione in modo che il generatore possa continuare a orientarsi verso il vento in modo ottimale.

#### 6.5.3.7 Arresto manuale in situazioni di emergenza

Se persone o componenti dell'impianto sono in pericolo, è possibile fermare l'impianto velocemente premendo il pulsante di ARRESTO DI EMERGENZA. Sul locale tecnico, alla base della torre, si trova il pulsante di ARRESTO DI EMERGENZA che avvia un arresto di emergenza immediato del rotore con la regolazione rapida delle pale attraverso le unità di regolazione di emergenza delle pale e attiva il freno.

Contemporaneamente si inserisce il freno meccanico. Tutti i componenti continuano ad essere alimentati.

I pulsanti sono a innesto e devono essere riportati nella posizione originaria, ad emergenza rientrata, per permettere all'impianto di essere riavviato.

Se l'interruttore principale viene posizionato su OFF, viene tolta tensione a tutti i componenti dell'impianto ad eccezione dell'illuminazione e prese della torre.

L'impianto dà inizio ad una regolazione rapida delle pale attraverso le unità di regolazione di emergenza.

Il freno meccanico non viene attivato se si aziona l'interruttore principale.

#### 6.5.4 Mancanza del vento

Quando l'impianto è in funzione e la velocità del rotore si riduce troppo a causa della mancanza di vento, l'impianto viene portato in folle regolando lentamente le pale del rotore.

L'impianto riprende a funzionare automaticamente quando si raggiunge la velocità del vento di avvio.

Se, a causa delle basse temperature ( $< 3^{\circ}\text{C}$ ), si verificassero formazioni di ghiaccio sull'anemometro, l'impianto verifica, con tentativi di avvio ogni ora, se la velocità del vento è sufficiente.

Se l'impianto si avvia ed eroga potenza, passa nella modalità di funzionamento normale, anche se, a causa del sensore ghiacciato, non si avrebbero dati corretti relativi alla velocità del vento.

#### 6.5.5 Tempesta

Con una velocità istantanea del vento superiore a 25 m/s, l'impianto non si avvia da fermo o dal funzionamento a folle. Se la velocità media del vento supera 25 m/s o se si supera un valore di picco di 30 m/s, la modalità di funzionamento automatico del generatore viene terminata.

Anche se viene superato l'angolo di pala massimo consentito, l'impianto si ferma. Quindi un anemometro ghiacciato non costituisce un rischio per la sicurezza.

In ogni caso, l'impianto passa alla modalità di funzionamento a folle.

I componenti del generatore, come ad es. le pale del rotore, la navicella, la torre e le fondamenta, sono stati progettati in modo da resistere a velocità del vento molto più elevate.

L'impianto si avvia automaticamente quando la velocità del vento scende per 10 minuti consecutivi al di sotto della velocità di fermo (25 m/s).

L'aerogeneratore non si spegne improvvisamente con velocità del vento superiori a 28 m/s, ma riduce la potenza regolando continuamente le pale tramite il sistema pitch.

Solo a ca. 34 m/s la potenza viene ridotta a zero.

Questa strategia migliora il comportamento elettrico nella rete e aumenta il rendimento.

## 6.6 Opere per allacciamento alla rete elettrica di distribuzione

L'impianto sarà destinato alla produzione di energia elettrica, con cessione totale dell'energia al netto degli autoconsumi, tramite allacciamento in media tensione MT sfruttando la linea aerea esistente passante lungo la strada Comunale di Cantalena.

Il generatore, grazie alla cabina di trasformazione MT/BT incorporata nella base del palo, è in grado di allacciarsi alla rete elettrica di distribuzione senza particolari interventi.

Sarà posizionata una cabina prefabbricata, in modo da garantire al gestore di rete di posizionarvi tutte le apparecchiature necessarie per effettuare l'allacciamento.

Il nuovo punto di fornitura per l'allaccio in MT avverrà all'interno della cabina prefabbricata.

L'allaccio della nuova cabina MT, avverrà tramite collegamento interrato alla linea aerea esistente passante lungo la strada comunale di Cantalena.

I cavi MT saranno posati direttamente interrati, lungo il ciglio del nuovo percorso carrabile di accesso alla pala in modo tale da permettere al gestore di rete di effettuare facilmente interventi/manutenzioni per tutta la lunghezza della linea.

L'interramento dei cavi sarà eseguito come da disposizioni del gestore di rete, ad una profondità minima di 1m e opportunamente segnalati con nastro monitore.

Sul punto di derivazione dalla linea aerea esistente sarà installato un sezionatore su palo prima della discesa per l'interramento della linea.

### 6.6.1 Cabina Prefabbricata

La cabina è costituita da un'unica struttura monolitica auto-portante completamente realizzata e rifinita nello stabilimento di produzione aventi dimensioni esterne 1250 x 250 x 250 cm.(All. E15)

Il manufatto presenta una notevole rigidità strutturale ed una grande resistenza agli agenti atmosferici che lo rendono adatto all'uso anche in ambienti con atmosfera inquinata ed aggressiva.

L'armatura interna del prefabbricato totalmente collegata elettricamente, crea una vera gabbia di Faraday tale da proteggere tutto il sistema da sovratensioni atmosferiche limitando inoltre, a valori trascurabili, gli effetti delle tensioni di passo e di contatto.

Le pareti esterne prive di qualsiasi giunzione, sono trattate con un rivestimento murale plastico idrorepellente costituito da resine sintetiche pregiate, polvere di quarzo, ossidi coloranti ed additivi che garantiscono il perfetto ancoraggio sul manufatto, inalterabilità del colore e stabilità agli sbalzi di temperatura.

L'elemento di copertura è provvisto di un manto impermeabilizzante costituito da una guaina bituminosa elastomerica, applicata a caldo, con spessore minimo di 3 mm ricoperta da scaglie di ardesia con funzione protettiva e riflettente dei raggi solari.

Il prefabbricato sarà suddiviso in un locale ente pubblico, adibito all'alloggio di tutte le apparecchiature necessarie al gestore di rete per l'allacciamento dell'impianto e un locale misure, nel quale saranno installati i contatori di energia elettrica oltre che al quadro per gli ausiliari.

L'area circostante la cabina sarà recintata e l'accesso sarà autorizzato solo per opere di manutenzione ordinaria e straordinaria. La recinzione si rende necessaria nel rispetto di quanto previsto dalla normativa inerente i campi elettromagnetici; a tal proposito si rimanda alla specifica relazione.

#### 6.6.2 Cavidotti interrati per linee MT

I cavi MT saranno posati direttamente interrati ad una profondità di minimo 1 metro, come indicato dalle specifiche tecniche del gestore di rete. Sarà eventualmente posato un cavidotto interrato per il collegamento dal locale tecnico di trasformazione interno alla pala fino alla cabina di allacciamento.

Il cavidotto, BT é costituito da tubazioni in polietilene ad alta densità corrugate esternamente e lisce internamente per protezione cavi elettrici BT (bassa tensione) conformi alle normative CEI EN 50086-1 (CEI 23-39) e CEI EN 50086-2-4 (CEI 23-46) di colore rosso nella parete esterna e nero nella parete interna. Il cavidotto ha una resistenza allo schiacciamento superiore a 450 N con una deformazione del diametro interno pari al 5%. I cavidotti sono raccordati gli uni agli altri mediante manicotti di giunzione. Le linee MT di collegamento interne all'impianto sono direttamente interrate ad una profondità variabile tra 1,00m e 1,20m.

### **6.7 Sistemazione delle aree e opere di corredo all'impianto**

Il progetto prevede anche la realizzazione di alcune opere di corredo, come ad esempio la sistemazione della strada di accesso e la posa della cabina ENEL, che risultano strettamente necessarie all'impianto.

#### 6.7.1 Viabilità di accesso al generatore

La viabilità esistente di accesso alla zona di intervento è sufficiente e non necessita di modifiche di alcun genere per il transito dei mezzi sia in fase di cantiere che in fase di esercizio per gli eventuali interventi di manutenzione futura.

Il progetto prevede la realizzazione di un percorso carrabile secondario e una piazzola nei pressi del generatore in modo tale da garantire le manovre dei mezzi di trasporto e l'allestimento della cabina di allacciamento ENEL.

Il percorso carrabile sarà un potenziamento del sentiero esistente e la sua conformazione verrà modificata in base alle necessità per permettere il transito dei mezzi.

Il percorso avrà una larghezza di 4 metri.

Ai bordi dei percorsi è prevista la realizzazione di opportune opere per la regimazione delle acque meteoriche (cunette e schive laterali), che avranno la funzione di evitare fenomeni di dilavamento e ruscellamento della superficie dei percorsi realizzata con inerti.

#### 6.7.2 Territorio e regimazione acque

Il territorio non presenta percorsi d'acqua rilevanti che intersecano in alcun modo l'area di intervento.

Per questo non verranno fatti interventi in merito, visto che il progetto non apporterà modifiche sostanziali alla conformità morfologica del terreno.

In fase di adeguamento della viabilità intraparco, si avrà particolare cura nel realizzare adeguati sistemi di raccolta e di allontanamento delle acque meteoriche. Queste opere di regimazione consentiranno di evitare pericolosi fenomeni di ruscellamento e dilavamento della superficie dei percorsi e dei terreni adiacenti.

Le fossette lato strada verranno realizzate lungo tutte le porzioni dei percorsi dove si andrà ad operare in fase di sterro o scavo.

Le fossette convogliano le acque meteoriche che vengono scaricate in corrispondenza degli impluvi naturali attraverso schive, trasversali alla sezione stradale.

Per limitare al massimo ed anzi evitare il fenomeno del ruscellamento lungo i percorsi interni, si prevede di realizzare un adeguato sistema di schive trasversali (All. E09 - tav. 09EO), che convoglieranno all'interno della



fossetta di nuova realizzazione, le acque meteoriche intercettate, che saranno quindi allontanate verso valle. Si avrà cura di realizzare lo strato superficiale dedicato al transito dei mezzi con una leggera pendenza verso la fossetta.

### 6.7.3 Realizzazione piazzola di montaggio

La piazzola di montaggio dell'aerogeneratore costituisce lo spazio di manovra delle gru che permetteranno il montaggio dei vari componenti ed il loro temporaneo stoccaggio.

Tale opera quindi necessiterà di alcuni accorgimenti tecnici che consentiranno di eseguire in assoluta sicurezza le operazioni necessarie.

La piazzola di cantiere avrà una superficie determinata sulla base delle esigenze connesse al trasporto ed al montaggio dei componenti dell'aerogeneratore: in particolare, sulla piazzola dovrà essere assemblato il rotore prima di essere montati sull'asse della navicella. Su questa area dovrà inoltre essere posizionata la gru necessaria al montaggio della torre dell'aerogeneratore ed alla successiva posa in opera della stessa navicella e delle tre pale del rotore.

La piazzola di montaggio dell'aerogeneratore, inoltre costituisce una discontinuità nel ruscellamento naturale delle acque meteoriche: per questo motivo si prevedono delle adeguate opere di regimazione delle acque in corrispondenza di queste opere. Esse avranno quindi una pendenza minima del 1% per garantire il deflusso., come si evince dagli elaborati progettuali a corredo del progetto.(All. E09 - tav. 09EO).

La realizzazione della canaletta di regimazione posta lungo il perimetro della piazzola di montaggio è da intendersi come opera integrativa agli altri interventi per la regimazione delle acque meteoriche in corrispondenza del layout dell'impianto e delle relative vie di accesso.

Una volta ultimato il montaggio dell'aerogeneratore, la piazzola sarà ridotta ad una dimensione necessaria per le operazioni di ordinaria manutenzione della turbina eolica.

Le dimensioni della piazzola sono meglio riscontrabili dagli elaborati progettuali a corredo del progetto.(All. E10 - tav. 10EO).

## 7 SMANTELLAMENTO E RIPRISTINO DELL'AREA

La vita stimata dell'impianto è di circa 25 anni.

Dopo tale periodo il generatore deve essere sostituito, considerando le perdite di produzione e l'usura delle parti meccaniche ed elettroniche.

Nel caso in cui si decidesse di non sostituire la macchina, si provvederà con la rimozione del generatore ed il recupero del sito che potrà essere riportato alla iniziale destinazione.

Per quanto riguarda lo smantellamento del generatore, esso verrà smontato nelle sue varie sezioni, utilizzando il processo inverso impiegato per il montaggio.

L'acciaio utilizzato per la torre, potrà essere recuperato da apposite fonderie specializzate.

Le apparecchiature elettriche, contenute all'interno della navicella e del locale tecnico alla base della torre e le varie parti del generatore, saranno inviate ad impianti specializzati per il recupero dei metalli (principalmente rame).

La fondazione in cemento armato atta al fissaggio del basamento dalla torre, verrà rimossa e trasportata a blocchi in apposte ditte specializzate per il riciclaggio degli inerti.

Lo scavo effettuato per lo smantellamento delle fondazioni, verrà ricoperto con terreno vegetale in modo tale da favorire la spontanea crescita della vegetazione presente.

Tutti i manufatti in cemento utilizzati per i pozzetti d'ispezione saranno rimossi senza demolizione e inviati in discarica di demolizione inerti.

I cavi elettrici utilizzati saranno sfilati e venduti per il recupero del rame.

I cavidotti interrati in materiale plastico rimossi e riciclati.

## 8 PRODUCIBILITÀ LORDA DELL'IMPIANTO



Per lo studio sulla producibilità attesa dell'impianto in oggetto, si è deciso di affidarsi ad un'azienda specializzata in misurazioni anemometriche e calcolo della resa.

Il calcolo è stato eseguito tramite simulatore software basato sul codice di calcolo WAsP, che utilizza la distribuzione di Weibull per rappresentare i dati di vento e definisce il campo di vento indisturbato sull'area (Atlas) con i parametri derivati da tale distribuzione.

Il calcolo effettuato e le misurazioni rilevate sono state confrontate con i dati forniti da una stazione di riferimento usata per studi interni dall'azienda situata nelle vicinanze dell'area di intervento che si riferisce ad un periodo di oltre due anni di raccolta dati ad un'altezza di rilevazione sufficientemente idonea a risultare non influenzata dalla rugosità del terreno. La ventosità misurata, mediante un processo di storicizzazione, è stata quindi verificata e ritenuta stabile nel tempo.

Nella relazione Producibilità impianto (All. 09) vengono riportate le producibilità lorde di alcuni aerogeneratori, frutto della simulazione con WAsP, ipotizzando altezze variabili del mozzo fra 73m e 40m.