

# AEROGENERATORE MOD. TN535

## DESCRIZIONE GENERALE

Data	Autore	Revisionato	Approvato		
27/09/2011	U. Spallinger G. Cimatti	A. Musso D. Spago M. Bonsignori G. Soraperra	M. Rialti		

RISERVATO  
Tutti i diritti sono riservati

*La trasmissione e la copia di questo documento, l'utilizzo e la comunicazione del suo contenuto non sono consentiti senza previa autorizzazione scritta.*

TN-11-61

Rev.  
**02**

Pagine  
**22**

REVISIONI				
Revisione	Autore	Data	Pagine	Commenti
02	M.Bonsignori M.Rialti	29/02/2012	22	

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
1.1	SCOPO DEL DOCUMENTO	5
1.2	CAMPO DI APPLICAZIONE	5
1.3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
1.4	LISTA DELLE ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI	6
<b>2</b>	<b>CONDIZIONI DI UTILIZZO</b>	<b>7</b>
2.1	CONDIZIONI AMBIENTALI	7
2.1.1.	Climi freddi	8
2.1.2	Influenza della vicinanza con altri aerogeneratori (effetto di scia)	8
2.1.3	Terreno complesso ed altitudine	8
2.2	CONDIZIONI DI USO	8
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE TECNICA</b>	<b>9</b>
3.1	ARCHITETTURA GENERALE DELL'AEROGENERATORE MOD. TN535	9
3.2	ARCHITETTURA GENERALE DEL sistema elettrico	9
3.3	ROTORE	10
3.4	TRENO DI POTENZA	10
3.5	GENERATORE	10
3.6	SISTEMA DI IMBARDATA	10
3.6.1	Cinematismo di imbardata	11
3.6.2	Dispositivo anti avvolgimento dei cavi	11
3.7	TORRE	11
3.8	SISTEMA DI VARIAZIONE DEL PASSO PALARE	11
3.9	SISTEMA DI CONTROLLO	11
3.9.1	Controllo di imbardata	12
3.9.2	Controllo del passo palare	12
3.10	SISTEMA DI SICUREZZA	12
3.10.1	Sensori rilevanti per la sicurezza	12
3.10.2	Segnali di stato	13
3.10.3	Sensori non rilevanti per la sicurezza	13

3.11	SISTEMA DI FRENATA	13
3.11.1	Sistema elettrico di azionamento di frenata	13
3.11.2	Sistema meccanico di azionamento di frenata	13
3.12	PROTEZIONE DELLA LINEA ELETTRICA	14
3.13	PROTEZIONE ANTIFULMINE	14
<b>4</b>	<b>CONDIZIONI OPERATIVE</b>	<b>15</b>
4.1	LIVELLI DI CONTROLLO	15
4.1.1	Livello 1, accesso per il personale istruito	15
4.1.2	Livello 2, accesso solo per personale addestrato e autorizzato da Tozzi Nord	15
4.2	FUNZIONAMENTO NORMALE	15
4.2.1	Rotazione lenta in condizioni di bassi venti	16
4.2.2	Avvio	16
4.2.3	Produzione di potenza	16
4.2.4	Imbardata	17
4.2.5	Frenata per bassi venti	17
4.2.6	Condizione di vento forte	17
4.2.7	Frenata per guasto	17
4.2.8	Arresto manuale	17
4.2.9	Emergenza durante il funzionamento	17
4.2.10	Emergenza durante la manutenzione	18
	<b>APPENDICE A: SPECIFICHE TECNICHE AEROGENERATORE MOD. TN535</b>	<b>19</b>
	<b>APPENDICE B: SCHEMA UNIFILARE DELL'AEROGENERATORE MOD. TN535</b>	<b>21</b>
	<b>APPENDICE C: CASI DI CARICO ASSOCIATI AI DIFFERENTI SCENARI DI GUASTO</b>	<b>22</b>

## **INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1 – Aerogeneratore Tozzi Nord mod.TN535.....	9
Figura 2 – Intervallo operativo.....	16

## **INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 1 – Documenti di riferimento.....	5
Tabella 2 – Lista delle abbreviazioni e definizioni.....	6
Tabella 3 – Sunto delle condizioni ambientali di progetto dell'aerogeneratore mod. TN 535.....	7
Tabella 4 – Definizione degli angoli di calettamento principali.....	11

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento fornisce la descrizione generale dell'aerogeneratore mod. TN535.

Il documento è organizzato come segue:

- Capitolo 1 descrive lo scopo del documento e il suo campo di applicazione;
- Capitolo 2 descrive le condizioni di utilizzo dell'aerogeneratore mod. TN 535;
- Capitolo 3 fornisce una breve descrizione tecnica dell'aerogeneratore mod. TN 535;
- Capitolo 4 descrive gli stati operativi dell'aerogeneratore mod. TN 535.

### 1.2 CAMPO DI APPLICAZIONE

Questo documento vale per l'aerogeneratore mod.TN 535 progettato e prodotto da Tozzi Nord.

### 1.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

TITOLO	CODICE	EDIZIONE/REVISIONE
[Ref. 1] Wind turbines – Part 2: Design requirements for small wind turbines	IEC 61400-2	Seconda edizione, 2006-07
[Ref. 2] Electrical apparatus for explosive atmospheres / Areas and zones	IEV426-03-02	-
[Ref. 3] Manuale d'Uso Aerogeneratore modello TN535	TN535-1_MU.01	01
[Ref. 4] Electrical diagram of TN 535 WT : control & power cabinet	60002-1	-
[Ref. 5] Electrical diagram of TN 535 WT: nacelle cabinet	60010-1	-
[Ref. 6] Electrical diagram of TN 535 WT : nacelle wiring diagram	60021-1	-
[Ref. 7] TN 535 Lightning Protection	TN11-48	A
[Ref. 8] Germanischer Lloyd, Guideline for the Certification of Wind Turbines	GL Guidelines	2010

**Tabella 1 – Documenti di riferimento.**

**1.4 LISTA DELLE ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI**

<b>Abbreviazioni</b>	<b>Definizioni</b>
<b>WT</b>	<b>W</b> ind <b>T</b> urbine
<b>SWT</b>	<b>S</b> mall <b>W</b> ind <b>T</b> urbine
<b>HW</b>	<b>H</b> ard <b>W</b> are
<b>SW</b>	<b>S</b> oft <b>W</b> are
<b>PLC</b>	<b>P</b> rogrammable <b>L</b> ogic <b>C</b> ontroller ( <b>C</b> ontrollore <b>L</b> ogico <b>P</b> rogrammabile)
<b>IEC</b>	<b>I</b> nternational <b>E</b> lectrotechnical <b>C</b> ommission
<b>IEV</b>	<b>I</b> nternational <b>E</b> lectrotechnical <b>V</b> ocabulary
<b>DLC</b>	<b>D</b> esign <b>L</b> oad <b>C</b> ase

**Tabella 2 – Lista delle abbreviazioni e definizioni.**

## 2 CONDIZIONI DI UTILIZZO

Questo capitolo definisce le condizioni di impiego dell'aerogeneratore mod.TN535.

### 2.1 CONDIZIONI AMBIENTALI

L'aerogeneratore mod. TN535 è progettato per essere installato e messo in servizio solo ed esclusivamente in siti di classe di ventosità IV come definita nella CEI/IEC 61400-2 [Ref. 1], capitolo 6; l'insieme delle condizioni ambientali di progetto dell'aerogeneratore TN535 sono riassunte nella seguente tabella.

<b>Condizioni di ventosità:</b>	
SWT Classe	IV
Velocità del vento di riferimento $V_{ref}$ (velocità del vento mediata sui 10 minuti, all'altezza del mozzo, con una ricorrenza di 50 anni)	30.0 [m/s]
Velocità del vento media annuale $V_{ave}$	6.0 [m/s]
Indice di turbolenza a 15m/s $I_{15}$	0.18 [-]
Parametro adimensionale $a$ con cui calcolare la turbolenza, in termini di deviazione standard, in funzione della $V_{hub}$ e di $I_{15}$	2.0 [-]
Massimo valore di velocità del vento $V_{e50}$ , medio su 3 sec, con un tempo di ricorrenza di 50 anni (raffica 50ennale)	42.0 [m/s]
Massimo valore di velocità del vento $V_{e1}$ , medio su 3 sec, con un tempo di ricorrenza di 1 anno (raffica annuale)	31.5 [m/s]
Velocità di progetto $V_{design}$	8.4 [m/s]
<b>Altre Condizioni Ambientali:</b>	
Normale Intervallo di temperatura	-10<T<40 [°C]
Umidità relativa dell'aria	<95% [-]
Densità dell'aria $\rho$	1.225 [kg/m <sup>3</sup> ]
Radiazione solare	1000 [W/m <sup>2</sup> ]
Protezione antifulmine secondo con lo schema elettrico descritto: [Ref. 4], [Ref. 5], [Ref.6]	
Composizione atmosferica: "non-polluted inland atmosphere" come definite in IEC 60721-2-1;	
Modello sismico: Le torri e le fondazioni standard dell'aerogeneratore TN535 sono verificate secondo "Decreto Ministeriale 14.01.2008,Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC08), classe sismica II	
<b>Condizioni della Rete Elettrica:</b>	
Tensione di alimentazione normale e relativa tolleranza	400±10% [V]
Frequenza di alimentazione normale e relativa tolleranza	50±3% [Hz]

**Tabella 3 – Sunto delle condizioni ambientali di progetto dell'aerogeneratore mod. TN 535**

**Qualora le condizioni ambientali del sito di impiego dell'aerogeneratore non rientrino in quelle di progetto, Tozzi Nord non può essere ritenuta responsabile per qualsiasi malfunzionamento incluso e non limitato a danni a cose e/o persone e perdite di produzione.**

### **2.1.1. Climi freddi**

La versione standard dell'aerogeneratore è progettata e collaudata per garantire le prestazioni dichiarate all'interno di un intervallo di temperatura compreso tra -10 °C e +40 °C. Oltre la soglia massima di detto intervallo è prevista una riduzione della potenza erogata in funzione dei cicli termici e delle condizioni ambientali. Temperature ambientali al di fuori di detto intervallo non costituiscono un rischio per la sicurezza. Al fine di estendere l'intervallo di temperatura di impiego, l'aerogeneratore può essere fornito con i seguenti dispositivi ausiliari opzionali:

- isolamento termico della cabina del quadro elettrico;
- riscaldamento del quadro elettrico tramite resistenza ausiliaria attivata con termostato;
- ventilazione supplementare all'interno del quadro elettrico;
- grassi lubrificanti per parti meccaniche specifici per le temperature di impiego.

### **2.1.2 Influenza della vicinanza con altri aerogeneratori (effetto di scia)**

I carichi sull'aerogeneratore sono verificati per la macchina in configurazione singola.

In generale Tozzi Nord raccomanda che gli aerogeneratori siano disposti ad una distanza tra loro di almeno 5 volte il diametro del rotore.

### **2.1.3 Terreno complesso ed altitudine**

I carichi sull'aerogeneratore sono calcolati facendo riferimento ad un terreno non complesso, come definito alla sezione 4.4.7 delle GL Guidelines [Ref.7].

L'aerogeneratore standard può erogare la potenza nominale fino ad un'altitudine di 1000 m s.l.m.. Per l'utilizzo dell'aerogeneratore al di sopra di tale altitudine il cliente è tenuto a contattare Tozzi Nord per quantificare le perdite prestazionali e definire eventuali ulteriori limiti di esercizio.

## **2.2 CONDIZIONI DI USO**

Le modalità di uso proprio dell'aerogeneratore mod. TN535 sono riportate nel Manuale d'Uso del prodotto [Ref. 3], sezione A.5.

### 3 DESCRIZIONE TECNICA

L'ampio diametro del rotore pari a 13.2 m e l'altezza della torre di 15 m o 18 m o 24 m, permettono all'aerogeneratore mod. TN535 di convertire in modo efficiente le più comuni condizioni di risorsa eolica riscontrabili in aree antropizzate e non.



**Figura 1 – Aerogeneratore Tozzi Nord mod.TN535.**

L'obiettivo principale per lo sviluppo e la progettazione di tutti i prodotti Tozzi Nord è l'ottimizzazione della produzione di energia in siti a bassa ventosità riducendo nel contempo i carichi al minimo.

Il controllo della macchina a velocità variabile consente all'aerogeneratore mod. TN 535 di operare con la massima efficienza su tutto il campo di funzionamento, evitando picchi indesiderati di coppia; inoltre questa soluzione garantisce un'ottima resa in termini di produzione di energia e qualità della potenza elettrica immessa nella rete.

Il controllo attivo del passo palare riduce i carichi sulla struttura soprattutto ad alte velocità del vento.

Per ulteriori dettagli sull'aerogeneratore mod. TN535, si faccia riferimento all'appendice A.

#### **3.1 ARCHITETTURA GENERALE DELL'AEROGENERATORE MOD. TN535**

Il prodotto Tozzi Nord mod. TN535 è un sistema di conversione di energia eolica con rotore tripala sopravvento, controllo attivo del passo palare, velocità di rotazione variabile e potenza nominale di 9.9 kW.

#### **3.2 ARCHITETTURA GENERALE DEL SISTEMA ELETTRICO**

Si rimanda agli schemi riportati in Appendice B.

### 3.3 ROTORE

Il rotore è costituito da tre pale realizzate in materiale composito in fibra di vetro e matrice epossidica.

Le pale sono collegate al mozzo attraverso cuscinetti che permettono la rotazione relativa, e quindi la variazione del passo palare con fini di regolazione.

Il controllo del passo pala è azionato da un attuatore elettrico lineare e trasmesso attraverso un leveraggio collettivo. La catena di sicurezza è completata da un sistema centrifugo meccanico (ridondante) che è in grado di movimentare il passo palare in modo indipendente.

### 3.4 TRENO DI POTENZA

La coppia meccanica prodotta dal rotore viene trasmessa ad una puleggia e quindi al generatore elettrico attraverso un sistema di trasmissione a cinghia. Poiché la coppia motrice è trasferita direttamente sulla puleggia, l'albero principale non è soggetto a torsione.

Il sistema di trasmissione a cinghia ha un rapporto di moltiplicazione di 1:11.4 e trasmette la potenza ad un generatore sincrono a magneti permanenti con una velocità nominale di 750 giri/min.

Il sistema di trasmissione a cinghia adottato sul mod. TN 535, rispetto ai tradizionali moltiplicatori ad ingranaggio, ha i seguenti vantaggi:

- elevata efficienza grazie alle perdite ridotte specialmente nelle condizioni di carico parziali;
- costi di manutenzione inferiori (ad esempio non sono necessari i ricambi d'olio);
- minore influenza della temperatura sull'efficienza di trasmissione;
- maggiore silenziosità;
- agisce come elemento di smorzamento dei picchi di coppia, anche in caso di corto circuito del generatore (attraverso lo slittamento controllato tra rotore e generatore).

### 3.5 GENERATORE

L'aerogeneratore mod. TN535 è equipaggiato con un generatore sincrono a magneti permanenti con velocità nominale di 750 giri/min. Il generatore fornisce la sua potenza nominale in corrispondenza della velocità del rotore di 66 giri/min, assai contenuta per la categoria di prodotto. Gli avvolgimenti sono dotati di un isolamento di classe F in grado di assicurare una temperatura massima di funzionamento di 155 °C.

### 3.6 SISTEMA DI IMBARDATA

Il sistema di imbardata è costituito da una ralla a strisciamento, da un freno e da un azionamento con motore elettrico.

Questa soluzione ha diversi vantaggi:

- non richiede manutenzione programmata;
- maggiore frizione rispetto ad un cuscinetto a rulli. L'attrito esercitato permette di ridurre la potenza frenante necessaria a mantenere l'allineamento desiderato della navicella.

Il freno di imbardata è costituito da due pattini frenanti mantenuti premuti sulla relativa guida da molle in compressione. Tale sistema di frenatura agisce costantemente anche quando l'aerogeneratore sta imbardando.

Il motore di imbardata è di tipo asincrono trifase 400 Vac con un riduttore a flangia. Tale riduttore è esente da manutenzione grazie al particolare tipo di lubrificazione impiegata. La coppia del motore di imbardata viene trasmessa attraverso una catena ad una corona solidale con la torre. La coppia massima del motore è superiore alla somma della coppia di attrito dei freni e della coppia di attrito del cuscinetto di imbardata, così da permettere la rotazione relativa tra navicella e torre, quando richiesto dal sistema di controllo.

### 3.6.1 Cinematismo di imbardata

Il dispositivo di imbardata è montato direttamente sulla parte superiore della torre attraverso una corona dentata e una ralla. La ralla è parte integrante della struttura portante del sistema di imbardata. Il cinematismo di trasmissione è un ingranaggio del tipo catena-pignone con rapporto di trasmissione 1:7.6 . Il peso della navicella è trasferito direttamente alla torre attraverso la ralla.

### 3.6.2 Dispositivo anti avvolgimento dei cavi

Il sistema è dotato di una logica che controlla il numero di rotazioni relative della navicella rispetto alla torre attraverso un sensore di posizione. Il sensore è collegato al telaio e rileva il passaggio di un apposito riferimento posto sull'anello di imbardata. Qualora il sistema rilevi un numero di tre rivoluzioni nel medesimo verso comanda il riposizionamento della navicella con conseguente svolgimento dei cavi.

## 3.7 TORRE

L'aerogeneratore mod. TN535 viene fornito con una torre di sezione poligonale a 16 lati, in acciaio zincato a caldo, costituita da due tronchi flangiati e collegati tra loro tramite bulloni. La torre è disponibile in due altezze, 14.6m, 17.6m e 23.6m.

## 3.8 SISTEMA DI VARIAZIONE DEL PASSO PALARE

L'aerogeneratore mod. TN 535 è dotato di un sistema di variazione del passo palare controllato dal PLC. Il sistema di variazione del passo della pala consiste in un attuatore lineare azionato da un motore brushless in corrente continua. Tale motore è alimentato tramite il bus 28 Vdc della macchina, dotato di batteria tampone per sopperire alla mancanza di rete. L'alta velocità dell'attuatore lineare consente inseguimenti del punto di lavoro dell'angolo di passo veloci e precisi, permettendo alla turbina di reagire a variazioni repentine delle condizioni di vento. L'angolo di calettamento, riferito alla radice della pala, prevede un valore ottimale di 13.3° in produzione, di 36,3 ° in condizione di attesa e di 87.4° nello stato di parcheggio.

	Ottimo	Attesa	Parcheggio	
+				
Angolo di calettamento nominale →	2.0	25.0	76.1	[deg]
Angolo di calettamento all'apice della pala →	0.5	23.5	74.6	[deg]
<b>Angolo di calettamento alla radice, r=1500mm (di riferimento in questo documento) →</b>	<b>13.3</b>	<b>36.3</b>	<b>87.4</b>	<b>[deg]</b>

**Tabella 4 – Definizione degli angoli di calettamento principali.**

## 3.9 SISTEMA DI CONTROLLO

Il sistema di controllo del mod. TN 535 è implementato su un PLC industriale che monitora costantemente le grandezze rilevanti per il funzionamento della macchina quali ad esempio la velocità di rotazione del rotore, la direzione del vento e intensità del vento, ecc..

La regolazione è ottenuta influenzando la coppia elettrica del generatore, il passo palare, la posizione di imbardata della navicella e conseguentemente la potenza ottenuta.

I segnali forniti dai sensori a bordo macchina sono monitorati dal PLC anche per la funzione di supervisione: qualora vengano riscontrate delle anomalie, il sistema di controllo adotta le azioni più opportune per la messa in sicurezza della macchina.

### 3.9.1 Controllo di imbardata

La banderuola in navicella misura l'errore relativo di allineamento dell'asse del rotore rispetto alla direzione del vento. Tale errore di direzione viene opportunamente elaborato e confrontato con una soglia; qualora quest'ultima venga superata, la navicella viene allineata con la nuova direzione del vento per mezzo del motore di imbardata.

La coerenza del movimento di imbardata è verificata confrontando il tempo di azionamento di imbardata con il tempo atteso per il passaggio della navicella davanti al riferimento utilizzato per il dispositivo anti-avvolgimento.

### 3.9.2 Controllo del passo palare

Raggiunta la condizione nominale, gli angoli di calettamento delle pale vengono adeguati, attraverso la variazione del passo palare, con l'obiettivo di mantenere la velocità di rotazione pari a quella nominale. Tale obiettivo viene raggiunto dal controllore osservando la velocità e l'accelerazione angolare del rotore.

## 3.10 SISTEMA DI SICUREZZA

Il sistema di sicurezza dell'aerogeneratore mod.TN 535 è progettato per garantirne il funzionamento in condizioni di sicurezza in tutti i casi previsti dalla norma IEC 61400-2 [Ref. 1].

L'Appendice C mostra i casi di carico associati ai differenti scenari di guasto.

I sensori e segnali di stato monitorati dal PLC dell'aerogeneratore sono classificati come segue:

- sensori rilevanti per la sicurezza;
- segnali di stato provenienti da sensori e dagli inverter;
- sensori non rilevanti per la sicurezza.

### 3.10.1 Sensori rilevanti per la sicurezza

La coerenza dei valori forniti dai sensori rilevanti per la sicurezza viene continuamente controllata e verificata dal sistema di controllo. I segnali sotto riportati determinano l'arresto dell'aerogeneratore qualora il valore misurato sia fuori della soglia o non risulti affidabile.

In questo scenario l'azione intrapresa dal PLC consiste nella frenata "normale" nella quale le pale vengono portate nella posizione di parcheggio.

- Sensore 1 di velocità di rotazione del rotore: verificato in continuo attraverso la comparazione con il sensore 2 di velocità di rotazione del rotore.
- Sensore 2 di velocità di rotazione del rotore: verificato in continuo attraverso la comparazione con il sensore 1 di velocità di rotazione del rotore.
- Accelerometro per il controllo delle vibrazioni: verificato in continuo. I valori non attendibili, dovuti ad un guasto o ad un problema nei collegamenti producono una frenata normale.
- Livello di tensione del bus DC a 28Vdc: verificato in continuo.
- Capacità della batteria: controllata mensilmente e ad ogni avvio a seguito di una frenata normale.
- Slittamento della cinghia: verificato in continuo attraverso il confronto tra la velocità del rotore e quella del generatore.
- Sensore di imbardata 1 e 2: viene verificata la coerenza e la sequenza delle attivazioni.

- Tempo di imbardata: controllato da un timer nel SW del PLC.
- Sensore della posizione di parcheggio dell'attuatore lineare: il raggiungimento della posizione di parcheggio viene controllato da un timer nel SW del PLC.
- Sensore della posizione di attesa dell'attuatore lineare: il raggiungimento della posizione viene controllato da un timer nel SW del PLC.
- Sensore della posizione di lavoro dell'attuatore lineare: il raggiungimento della posizione viene controllato da un timer nel SW del PLC.

### 3.10.2 Segnali di stato

Se un segnale di stato è assente o il valore non è coerente, l'aerogeneratore viene arrestato attraverso una procedura di frenata normale. Di seguito i segnali di stato che vengono monitorati.

- Stato dell'inverter: verificato in continuo.
- Stato di alimentazione dalla rete di 28 VDC: verificato in continuo.
- Alimentazione ausiliaria e sensori in navicella: verificato in continuo.
- Guasto o mancanza di rete: verificato in continuo.
- Protezione del motore di imbardata: verificato in continuo.

### 3.10.3 Sensori non rilevanti per la sicurezza

Di seguito una lista di questo tipo di sensori:

- Rottura banderuola o banderuola ghiacciata: verificato in continuo
- Temperatura generatore: verificato in continuo.

## 3.11 SISTEMA DI FRENATA

L'aerogeneratore mod. TN535 frena sempre aerodinamicamente attraverso il controllo del passo pala. Ci sono due sistemi indipendenti per l'attuazione della movimentazione collettiva del passo palare: il sistema principale, che è utilizzato nelle condizioni di normale funzionamento ed è azionato elettricamente, ed il sistema di emergenza, che è azionato meccanicamente per mezzo di una massa centrifuga.

### 3.11.1 Sistema elettrico di azionamento di frenata

Il sistema elettrico di azionamento di frenata utilizza un attuatore lineare che agisce sulle tre pale attraverso un leveraggio meccanico. La potenza elettrica è fornita da un bus 28 Vdc provvisto di una batteria tampone per l'esecuzione delle manovre in caso di mancanza di rete. Lo stato della batteria tampone viene verificato mensilmente dal controllore.

### 3.11.2 Sistema meccanico di azionamento di frenata

Il sistema meccanico di azionamento di frenata rappresenta un meccanismo di emergenza. Esso si attiva per mezzo della forza centrifuga qualora il sistema di azionamento elettrico non sia stato in grado di agire portando quindi la macchina in una condizione di sovra velocità.

L'energia per muovere il sistema di variazione del passo delle pale è intrinsecamente contenuta nella massa del rotore in rotazione. Il sistema è progettato per esercitare una forza sulla catena cinematica di 10 volte superiore rispetto a quella del sistema elettrico: questo surplus di potenza garantisce l'efficacia anche qualora il sistema di attuazione elettrico risulti completamente fuori servizio.

Il sistema di emergenza deve essere riarmato manualmente in navicella, da personale addestrato e abilitato da Tozzi Nord.

### 3.12 PROTEZIONE DELLA LINEA ELETTRICA

La funzione di protezione della linea elettrica è sostanzialmente svolta dal convertitore statico, e dalla sua logica, rispetto ai seguenti guasti:

- corto circuito a massa del generatore;
- corto circuito fase-fase del generatore;
- corto circuito nei cavi tra generatore e inverter;
- guasti dell'inverter;
- guasto verso la rete.

### 3.13 PROTEZIONE ANTIFULMINE

Si rimanda al documento TN 535 Lightning Protection [Ref. 7] .

## 4 CONDIZIONI OPERATIVE

Questo capitolo descrive le principali condizioni di funzionamento dell'aerogeneratore mod. TN535. Per informazioni più dettagliate si rimanda al Manuale d'Uso Aerogeneratore modello TN535 [Ref. 3].

### 4.1 LIVELLI DI CONTROLLO

#### 4.1.1 Livello 1, accesso per l'utilizzatore

L'utilizzatore è il soggetto che ha letto e compreso le istruzioni di uso espresse nel Manuale d'Uso Aerogeneratore modello TN535 [Ref. 3]. Tale soggetto, solitamente il cliente, ha accesso al primo livello di controllo. A questo livello è possibile azionare il SELETTORE DI FUNZIONAMENTO (SA41) e l'INTERRUTTORE GENERALE (QS11).

Il SELETTORE DI FUNZIONAMENTO (SA41) ha tre posizioni:

1. *Off* L'aerogeneratore è completamente spento, non può muovere il passo palare né imbarcare. La posizione delle pale è in parcheggio.
2. *Standby* L'aerogeneratore è spento, non può muovere il passo palare, ma può allineare l'asse del rotore con la direzione del vento. La posizione delle pale è in parcheggio.
3. *Auto* L'aerogeneratore è in funzione in modalità automatica, (posizione normale del selettore). Il comportamento dell'aerogeneratore viene descritto nei prossimi paragrafi.

Tutte le volte che il selettore viene spostato dalla posizione di Auto, l'aerogeneratore viene arrestato attraverso l'opportuna variazione del passo collettivo delle pale.

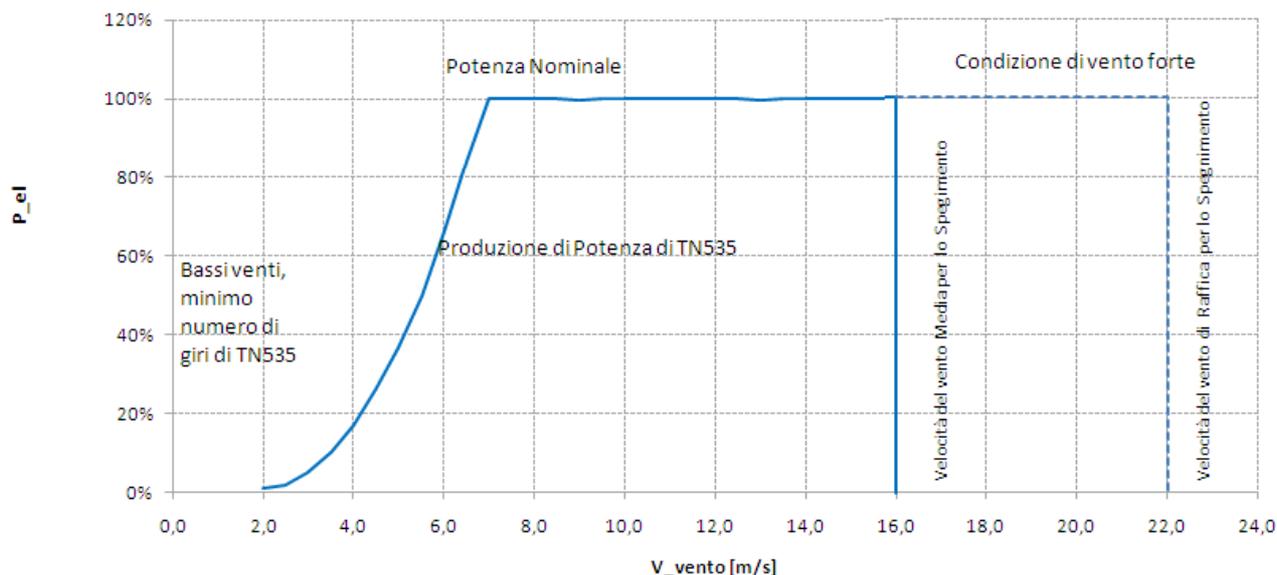
L'INTERRUTTORE GENERALE (QS11) interrompe la connessione elettrica tra rete e aerogeneratore.

#### 4.1.2 Livello 2, accesso solo per personale addestrato e autorizzato da Tozzi Nord

Questo livello è accessibile solo al personale addestrato e autorizzato da Tozzi Nord e quindi la sua descrizione esula dallo scopo del presente documento.

### 4.2 FUNZIONAMENTO NORMALE

La figura seguente mostra l'intervallo di lavoro dell'aerogeneratore TN535. Il sistema di controllo mantiene la macchina sempre all'interno dell'area consentita. Tutte le procedure di avviamento e di frenata vengono eseguite automaticamente.



**Figura 2 – Intervallo operativo.**

#### 4.2.1 Rotazione lenta in condizioni di bassi venti

Se la velocità del vento non è sufficientemente elevata per la produzione di energia, la turbina passa in stato di *attesa*, variando il passo collettivo delle pale fino a raggiungere un angolo di calettamento alla radice di circa 36,3 ° e gli inverter vengono mantenuti spenti. Nella posizione di attesa, il rotore ruota con una velocità di rotazione circa proporzionale a 2,5 giri/min per ogni metro al secondo di vento. Il sistema di imbardata mantiene allineata la navicella rispetto al vento.

#### 4.2.2 Avvio

Se, nello stato di attesa, la velocità di rotazione media in 100 secondi supera 11 giri/min, o se la velocità di rotazione istantanea supera 20 giri/min, l'aerogeneratore passa dallo stato di *attesa* allo stato di *avvio*.

L'avvio segue le seguenti fasi:

- accensione dell'inverter
- accelerazione del rotore fino a 20 giri/min, attraverso l'opportuna variazione del passo collettivo delle pale.
- attesa a 20 giri/min per l'autorizzazione da parte dell'inverter;
- se la procedura di avvio degli inverter non avviene entro 10s, l'aerogeneratore si mette in condizione di guasto e dopo 2 minuti esegue un ulteriore tentativo di avvio. Questa operazione viene ripetuta al massimo per 5 volte consecutive, dopodiché viene segnalata una condizione di guasto al manutentore.
- Se la procedura di avvio degli inverter viene eseguita entro 10s, lo stato dell'aerogeneratore passa in *produzione di potenza*: la velocità di rotazione del rotore viene accelerata variando opportunamente il passo collettivo delle pale fino al raggiungimento dell'angolo di passo ottimo pari a 2°.

#### 4.2.3 Produzione di potenza

Lo stato di produzione di potenza è suddiviso in due sotto intervalli:

- sotto la velocità nominale;
- sopra la velocità nominale.

Sotto la velocità del vento nominale le pale stanno lavorando con l'angolo di calettamento ottimale. La velocità di rotazione del rotore è controllata attraverso la scelta della coppia elettrica opportuna con l'obiettivo di permettere al rotore di operare nel punto di massima efficienza; la velocità di rotazione scala in maniera quasi-lineare con la velocità del vento. La potenza erogata cresce con il cubo della velocità del vento.

Sopra la velocità del vento nominale il sistema di controllo mantiene costante la velocità di rotazione del rotore variando il passo palare. Poiché il sistema generatore-inverter non è perfettamente rigido la velocità di rotazione presenta una certa variabilità attorno al valore nominale garantendo sempre la massima raccolta di energia.

#### **4.2.4 Imbardata**

L'aerogeneratore mod.TN535 ha un sistema attivo di imbardata. La banderuola misura il disallineamento relativo tra asse del rotore e direzione del vento. Un algoritmo ad hoc presiede la regolazione del sistema di imbardata in modo da mantenere la navicella mediamente allineata alla direzione media del vento. In caso di rottura della banderuola o di un cavo di collegamento, il sistema di controllo rileva la condizione di guasto mediante l'allarme: "*wind vane broken*".

In caso di presenza di vento e se il segnale dalla banderuola si mantiene costante per un certo periodo, il sistema di controllo riconosce il guasto mediante l'allarme: "*wind vane not moving*".

#### **4.2.5 Frenata per bassi venti**

Quando, durante lo stato di produzione di potenza, la velocità media di rotazione del rotore calcolata su 1 minuto scende al di sotto dei 25 giri/min per più di 30 s o qualora la velocità istantanea del rotore scenda al di sotto di 8 giri/min, il sistema torna allo stato di *attesa* variando il passo palare fino al valore di 36.3 ° dell'angolo di calettamento alla radice.

#### **4.2.6 Condizione di vento forte**

In caso di velocità media del vento di oltre 16 m/s (media su **480** sec), o di raffiche massime di oltre 22 m/s, l'aerogeneratore si ferma attuando la variazione del passo palare fino al raggiungimento del valore proprio dello stato di parcheggio (angolo di calettamento alla radice uguale a 87,4 °). Il sistema di controllo decide quando vi sono le condizioni per il riavvio dell'aerogeneratore

#### **4.2.7 Frenata per guasto**

La maggior parte dei guasti determina la procedura di frenata normale della macchina, attraverso la variazione del passo collettivo delle pale fino al raggiungimento del valore dell'angolo di calettamento alla radice di circa 87,4 °. In questo stato di minimo del numero di giri, la velocità di rotazione del rotore è proporzionale circa a 0,6 giri/min per ogni m/s della velocità del vento. Il sistema di imbardata allinea ancora la navicella al vento quando sia necessario.

#### **4.2.8 Arresto manuale**

L'aerogeneratore mod. TN535 può essere arrestato manualmente spostando il SELETTORE FUNZIONAMENTO (SA41) dalla posizione di *Auto* alla posizione di *Standby* o di *Off*. Così facendo, l'aerogeneratore va in stato di parcheggio variando opportunamente la posizione del passo palare.

#### **4.2.9 Emergenza durante il funzionamento**

Qualora durante il funzionamento venga rilevata una qualunque condizione anomala dell'aerogeneratore, lo stesso può essere disattivato tramite la commutazione del SELETTORE DI FUNZIONAMENTO (SA41) e sezionato rispetto alla rete elettrica mediante l'INTERRUTTORE GENERALE (QS11).

In caso di incendio l'aerogeneratore dovrebbe essere sezionato in corrispondenza del punto di consegna, se questo non espone l'utilizzatore a pericoli.

### **4.2.10 Emergenza durante la manutenzione**

Durante le operazioni di manutenzione la tensione di tutti gli attuatori in navicella può essere disattivata premendo uno dei funghi di emergenza (situati uno in navicella e uno all'interno del quadro elettrico).

## APPENDICE A: SPECIFICHE TECNICHE AEROGENERATORE MOD. TN535

### **Architettura dell'aerogeneratore**

Tipo:	Rotore sopravento con controllo attivo del passo pala e dell'imbardata
Verso di rotazione	Orario, visto da sopravento
Numero di pale	3
Diametro rotore	13.2 m
Altezza mozzo	15 -18 -24m
Potenza nominale elettrica	9.9 kW
Regolazione di potenza	Regolazione attiva del passo pala
Velocità del vento di cut in	2.5 m/s
Velocità del vento di cut out	16 m/s
Velocità del vento nominale	6.7 m/s
Area spazzata	136.7 m <sup>2</sup>

### **Rotore**

Tipo	LWTB535 (tolto costruttore)
Lunghezza pala	6.344 m
Materiale	GFRP
Protezione antifulmine	Opzionale (tolto :recettore in alluminio all'estremità delle pale)
Mozzo	Rigido (no tilt)

### **Treno trasmissione di potenza**

Trasmissione	Cinghia
Cuscinetti principali	Cuscinetti a singola fila di sfere
Velocità di rotazione albero veloce	225-750 giri/min
Velocità di rotazione albero lento	20-66 giri/min
Immissione in rete	Sistema di conversione ABB ACSM1

### **Generatore**

Potenza nominale	11.0 kVA (tolto costruttore)
Tipo	Generatore sincrono a magneti permanenti a 8 poli
Protezione	IP54
Classe di isolamento	F

### **Sistema di Imbardata**

Tipo di sistema di imbardata	Controllo attivo
Velocità di imbardata	3.35 deg/s

### **Controllore**

Tipo	PLC (tolto costruttore)
Monitoraggio remoto	Tozzi Nord Scada/Real Time Viewer
Unità di potenza ausiliaria	Batteria di riserva al piombo/ acido, (2X12V)

### ***Sistema di frenata***

Freno aerodinamico	Sistema di regolazione collettiva del passo palare che porta le pale in posizione di parcheggio
Freno meccanico (ridondante)	Sistema meccanico centrifugo passivo che porta le pale in posizione di parcheggio
Tipo di bloccaggio del rotore	Spina metallica da inserire durante la manutenzione

### ***Torre***

Altezza torre	14.6m-17.6 m - 23.6 m
Tipo di torre	Torre poligonale in acciaio, 16 lati, 2 tronconi flangiati e imbullonati
Classe di ventosità del progetto	IV

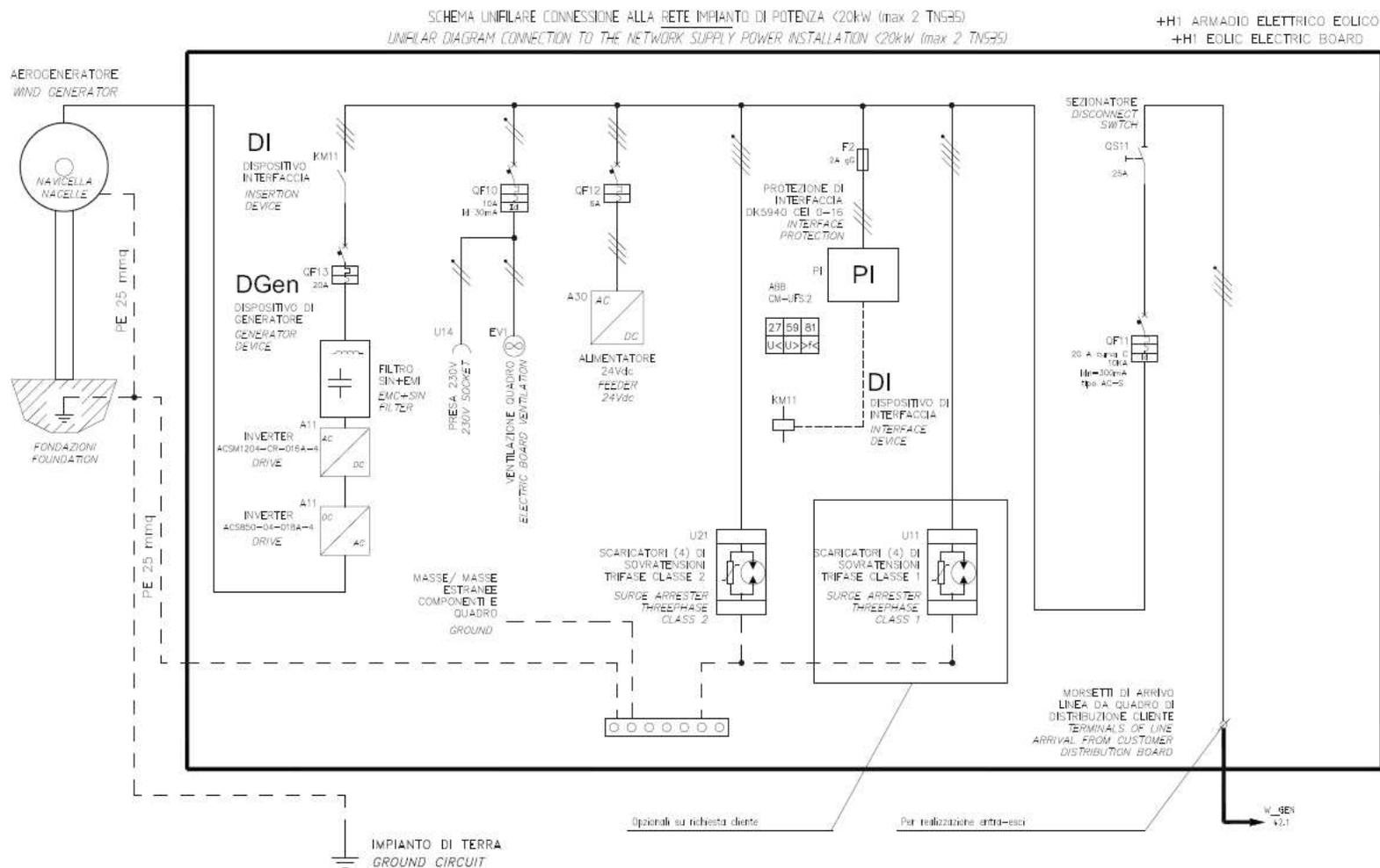
### ***Pesi***

Navicella, escluso rotore e mozzo	≅ 800 kg
Rotore (mozzo incluso)	≅ 400 kg
Torre	1300kg (14.6m)-1750kg (17.6m)-3350kg (23.6m)

### ***Emissione acustica***

Max Lwa@10m/s	87.1dB
---------------	--------

## APPENDICE B: SCHEMA UNIFILARE DELL'AEROGENERATORE MOD. TN535



## APPENDICE C: CASI DI CARICO ASSOCIATI AI DIFFERENTI SCENARI DI GUASTO

Classe	Componente	Caso di carico	Reazione del PLC	Effetto del guasto
Guasto del sensore	Sensore 1 della velocità del rotore rotto	3.1	Frenata Normale	
	Sensore 2 della velocità del rotore rotto	3.1	Frenata Normale	
	Sensore di imbardata 1 rotto	3.1	Frenata Normale	
	Sensore di imbardata 2 rotto	3.1	Frenata Normale	
	Sensore del dispositivo di passo pala 1 rotto	3.1	Permanenza in stato di parcheggio	Trascurabile
	Sensore del dispositivo di passo pala 2 rotto	3.1	Frenata da stato di attesa a stato di parcheggio	
	Sensore del dispositivo di passo pala 3 rotto	3.1	Frenata Normale	
	Accelerometro rotto	3.1	Frenata Normale	
	Anemometro rotto	2.2		Trascurabile
Banderuola rotta	2.2	il PLC emette un allarme	Trascurabile	
Guasti interni	Corto Circuito del generatore	3.1	Frenata Normale	Possono verificarsi delle alte vibrazioni del supporto del generatore durante il primo transitorio della frenata causata dal corto circuito.
	Guasto dell'inverter durante il funzionamento	3.1	Frenata Normale	
	Guasto dell'inverter durante l'avvio	3.1	Frenata da stato di attesa a stato di parcheggio	Piccoli carichi
	Perdita della rete	3.1	Frenata Normale	
	Rottura del PLC	4.1	Frenata meccanica centrifuga	
	Motore di imbardata rotto	3.1	Frenata Normale	
	Catena rotta	2.2	Frenata Normale	Funzionamento dell'aerogeneratore disallineato rispetto direzione prevalente vento
	Dispositivo del passo pala rotto	4.1	Frenata meccanica centrifuga	
Normali operazioni	Frenata	3.1	Frenata da stato di produzione allo stato di attesa	Piccoli carichi
	Spegnimento per vento forte	3.1	Frenata Normale	
	Test della batteria	3.1	Frenata da stato di attesa a stato di parcheggio	Piccoli carichi
	Spegnimento manuale	3.1	Frenata Normale	