

SPECIFICA TECNICA GENERALE

TURBINA EOLICA JIMP20 PLUS

N° REV.	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	REDAZIONE
0	30/09/2003	EMISSIONE	Pietro Lecce Domenico Cannatà
1	12/09/2004	(revisione generale)	Pietro Lecce
2	17/11/2006	(mod. JIMP20 Plus – diametro rotore 10 m)	Pietro Lecce

il documento è costituito da n. 16 fogli

INDICE

1.	OGGETTO	3
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1.	NORME	3
3.	CONDIZIONI AMBIENTALI DI FUNZIONAMENTO	3
4.	DESCRIZIONE DELL'AEROGENERATORE JIMP20	4
4.1	dati di progetto	5
4.2	i s/sistemi dell'aerogeneratore JIMP20 PLUS	9
4.2.1	il rotore	9
4.2.1.1	caratteristiche generali della pala	9
4.2.1.2	caratteristiche costruttive della pala	10
4.2.2	il sistema per la variazione del passo delle pale	10
4.2.2.1	il mozzo pala	10
4.2.2.2	le ralle del passo pala	10
4.2.2.3	i manovellismi	10
4.2.3	il generatore elettrico e linea d'asse	11
4.2.4	il telaio e ralla di imbardata	11
4.2.5	l'ogiva, la capote e la banderuola	12
4.2.6	il sistema di controllo	13
4.2.7	le condutture elettriche	14
4.3	fondazione e torre di sostegno	14
4.4	il collegamento elettrico alla rete	15
4.5	le modalità installative	16

1. OGGETTO

Il presente documento definisce le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore JIMP20 PLUS, in particolare le caratteristiche tecniche generali di:

- pale
- sistema per la variazione del passo delle pale
- generatore elettrico e linea d'asse
- telaio e ralla di imbardata
- ogiva, capote e banderuola
- sistema di controllo
- condutture elettriche
-

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1. NORME

Il progetto è conforme alle seguenti Norme:

- CEI IEC 61400-2 II edizione, Marzo 2006 -“Wind Turbines, part 2: design requirements for small wind turbines”;

3. CONDIZIONI AMBIENTALI DI FUNZIONAMENTO

- Temperatura -20 / +50 °C
- Umidità fino a 95%

4. DESCRIZIONE DELL'AEROGENERATORE JIMP20

La turbina eolica JIMP20 PLUS, progettata e costruita nello stabilimento della Jonica Impianti a Lizzano (TA), rappresenta l'evoluzione tecnologica della turbina JIMP20, in particolare essa presenta un nuovo rotore eolico e nuovi cicli di lavorazione.

Il rotore è tripala, con diametro di circa 10 metri, con attacco diretto ad un generatore sincrono multipolare a magneti permanenti a flusso assiale, installabile su una torre di sostegno, in acciaio, di altezza standard pari a 18/24 metri.

L'orientamento alla direzione prevalente del vento è determinato da una banderuola realizzata in vetroresina e dalla ralla di interfaccia tra navicella e torre.

Il controllo della potenza è reso possibile dal sistema di passo variabile delle pale e da un attuatore elettrico lineare comandato dal controllo.

Le condutture tra navicella e base torre permettono il passaggio della potenza elettrica fino al convertitore di frequenza ac/dc/ac.

Esse sono costituite, per un primo tratto, da un cavo elettrico a spirale altamente flessibile che permette almeno 50 giri di 360° della navicella, orari o antiorari, senza comprometterne le caratteristiche mecano-elettriche.

Il passaggio della potenza elettrica alla rete nazionale è possibile con l'utilizzo di un convertitore di frequenza ac/dc/ac, che presenta un circuito intermedio in corrente continua per permettere di disaccoppiare i valori di tensione e di frequenza a monte e a valle; con immissione in rete in conformità ai valori nominali della stessa rete elettrica.

Oltre al collegamento in rete, mediante il sistema di conversione descritto, sono possibili altre architetture di impianto come il collegamento "in isola" mediante sistema di conversione in moduli ac/dc e dc/ac con accumulo energetico per l'alimentazione di utenze isolate.

4.1 dati di progetto

4.1.1 linee guida del progetto:

1. L' aerodinamica del rotore: profili a maggior rendimento per numeri di Reynolds inferiori a 1.000.000
2. La sicurezza intrinseca: alle alte velocità di vento, intervento di sistemi attivi e/o passivi applicati al passo delle pale
3. Il contenimento dei livelli di rumore: particolare profilo del tip pala
4. L'allargamento del range di funzionamento: basso valore di cut-in, dovuto all'utilizzo dei profili altamente performanti e all'attacco diretto tra rotore e generatore elettrico, alto valore di cut-out, dovuto al controllo attivo del passo delle pale e il mantenimento delle condizioni di sicurezza per valori di velocità del vento fino a 37,5 m/s
5. Le modalità realizzative delle pale in composito: utilizzo della tecnica dell'infusione della resina, assistita dal vuoto, con un significativo aumento qualitativo del prodotto, in termini di rapporto tra vetro e resina, con minor peso a parità di altre caratteristiche meccaniche.
6. L'ottimizzazione dei rendimenti mecano-elettrici: dovuta (i) all'utilizzo del generatore sincrono multipolare a magneti permanenti con curva di rendimento quasi costante nel range nominale di funzionamento, (ii) alla mancanza del moltiplicatore di giri e (iii) ad un sistema di controllo che consente di produrre energia elettrica mantenendo costante il rapporto tra velocità del vento e velocità di rotazione del rotore

4.1.2 dati di input del progetto:

La turbina eolica JIMP20 Plus è disegnata mediante CAD tridimensionale THINK 3, modellata e verificata mediante codice di calcolo FEM ALGOR.

Le condizioni di calcolo ipotizzate sono:

- a. Funzionamento a regime 150 RPM: carichi aerodinamici e centrifughi;
- b. Funzionamento in condizioni estreme 250 RPM: carichi aerodinamici e centrifughi;
- c. Calcolo modi e frequenze

Di seguito si riportano le coppie e le spinte sul rotore in funzione della velocità del vento, con le seguenti ipotesi:

- diametro complessivo 10.0 m;
- velocità nominale del vento 12.5 m/s;
- velocità nominale di rotazione 150 RPM;
- coppia nominale 1540 Nm;
- Funzionamento a velocità variabile.

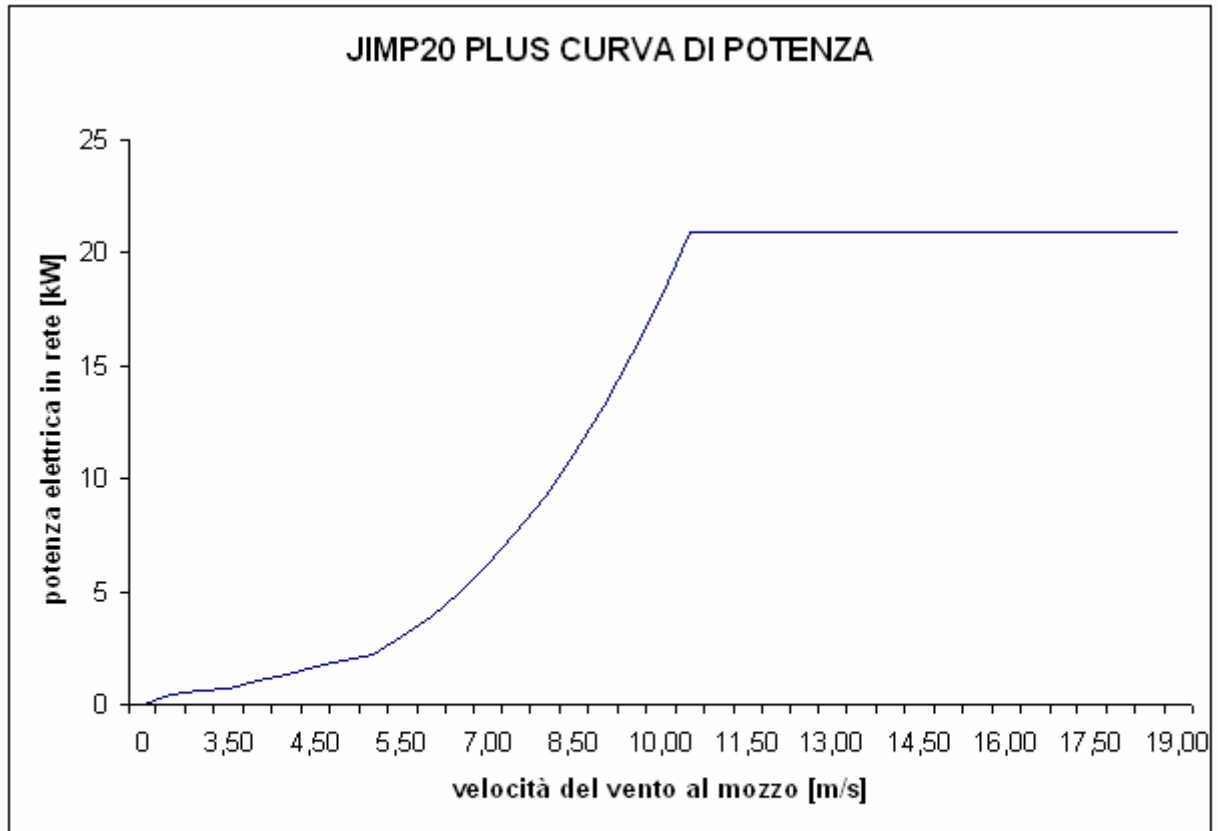
$$S = S (v), Q = Q (v)$$

JIMP20PLUS				
VELOCITA' VENTO	VELOCITA' ROTORE	ELECTRIC POWER	TORQUE	Aero thrust
[m/s]	[RPM]	[kW]	[kNm]	(N)
3,0	41,3	0,5	0,14	288,4
3,5	51,6	0,7	0,17	392,5
4,0	58,9	0,9	0,23	512,7
4,5	61,9	1,6	0,31	648,8
5,0	68,8	2,3	0,44	801,0
5,5	75,6	3,0	0,52	969,3
6,0	82,5	3,9	0,61	1153,5
6,5	89,4	5,0	0,71	1353,8
7,0	96,3	6,2	0,82	1570,1
7,5	103,2	7,6	0,93	1802,4
8,0	110,0	9,3	1,05	2050,7
8,5	116,9	11,1	1,18	2315,0
9,0	123,8	13,2	1,31	2595,4
9,5	130,7	15,5	1,45	2891,8
10,0	137,5	18,1	1,54	3204,2
10,5	150,1	20,9	1,54	3532,6

4.1.3 caratteristiche tecniche generali della turbina eolica JIMP20:

Potenza nominale:	20 kW (@in rete)
Numero pale:	3
Materiale pale:	resina vinilestere, rinforzata con fibre di vetro
Profilo pale:	SG6040-6041
Diametro rotore:	10,0 m
Materiale ogiva, capote, banderuola :	resina vinilestere, rinforzata con fibre di vetro
Peso:	800 Kg
Colore:	bianco
Orientamento:	Sopravvento
Velocità di avviamento:	3,5 m/s
Velocità del vento alla potenza nominale:	10,5 m/s
Velocità di sopravvivenza:	37,5 m/s
Controllo di potenza:	attivo, con variazione del passo
Controllo sovravelocità:	attivo/passivo, con variazione del passo e stallo
Regolazione imbardata:	passiva, con banderuola
Velocità di rotazione:	fino a 150 rpm
Generatore elettrico:	sincrono, multipolare a magneti permanenti a flusso assiale
Tensione di uscita:	< 380 Vca

4.1.4 la curva di potenza di JIMP20 PLUS:



4.2 i s/sistemi dell'aerogeneratore JIMP20 PLUS

4.2.1 il rotore

Il rotore di JIMP20 è costituito da n 3 pale, con profili SG 6040-6041.

Le pale sono realizzate in resina vinilestere rinforzata con fibre di vetro e collegate al mozzo con attacchi metallici.

Esse hanno la funzione di catturare l'energia del vento e trasformarla in energia meccanica di rotazione; l'utilizzo di profili aerodinamici consente di ottimizzare i rendimenti; in particolare, le pale in oggetto presentano profili alari della classe SG 6040 e SG 6041, scelti per essere utilizzati in un regime aerodinamico a bassi numeri di Reynolds ($Re < 10^6$)

Il tip pala ha una geometria tale da consentire una diminuzione del rumore dovuto alla formazione dei vortici di estremità alare.

La scelta di realizzare la pala in composito è dettata da:

- Ottimizzazione delle prestazioni aerodinamiche con l'utilizzo di geometrie complesse quali la variazione non lineare delle corde e delle frecce in funzione del raggio;
- Ottimizzazione dei pesi, quindi minor carichi centrifughi;
- Ottimizzazione della vita a fatica.

Le pale sono progettate per un funzionamento dell'aerogeneratore JIMP20 Plus così definito:

1. velocità nominale di rotazione 150 RPM;
2. velocità massima di rotazione 300 RPM;
3. coppia nominale pari a 1540 Nm;
4. gradino di coppia resistente pari a 860 Nm, a partire dal valore nominale della coppia (1540 + 860 Nm);
5. gradiente di frenata pari a 180 Nm/s;
6. spinta nominale pari a 3540 N;
7. spinta massima pari a 12000 N.

4.2.1.1 caratteristiche generali della pala

- Air foil: SG6040-6041
- Connessione al mozzo: Attacco cilindrico in ghisa sferoidale
- Lunghezza: 4650 mm
- Corde max / min: 505 / 182 mm
- Twist: 14°
- Peso: 30 kg
- Colore: bianco
- Rotazione: oraria (vista di fronte)

- Orientamento: sopravvento
- Tip: 150 mm di lunghezza a profilo per limitare i vortici di estremità alare

4.2.1.2 caratteristiche costruttive della pala

La pala è composta da:

- N. 2 shells strutturali realizzati in vetroresina con tecnica dell'infusione assistita dal vuoto;
- N. 1 attacco cilindrico in ghisa sferoidale, con montaggio all'interno della pala, in fase di incollaggio dei due shells.

4.2.2 il sistema per la variazione del passo delle pale

4.2.2.1 il mozzo pala

La trasmissione della coppia meccanica dal rotore eolico al generatore elettrico avviene con l'attacco delle pale ai mozzi, posti a 120° tra loro.

I tre mozzi, realizzati in ghisa sferoidale, sono collegati meccanicamente al rotore del generatore, in ghisa sferoidale, attraverso tre ralle, con caratteristiche riportate nel seguito.

4.2.2.2 le ralle del passo pala

Ogni mozzo è dotato di una ralla realizzata in materiale C45 di grado B, dalle seguenti caratteristiche:

diametro esterno pari a 215 mm

dentino di centraggio pari a 1 mm

diametro interno 85 mm

altezza tot. pari a 46 mm e 5 mm di differenza tra il piano giro fori interno e il piano giro fori esterno

giro fori interno pari a 110 mm

giro fori esterno pari a 190 mm

n. 14 bulloni M12, classe 8.8

coppia di avviamento a vuoto < di 10 daNm

preingrassaggio

4.2.2.3 i manovellismi

Ogni singolo mozzo pala presenta, meccanicamente collegato, un sistema biella manovella, in acciaio Fe 430.

Una crociera, in ghisa sferoidale, che scorre su tre guide metalliche, interconnette i tre manovellismi; il tutto è installato all'interno dell'ogiva.

Il moto è determinato da un attuatore lineare, costituito da un albero coassiale all'albero principale, svincolato da cuscinetti lineari, collegato ad un pistone elettrico, montato sul telaio della turbina.

Tra albero di attuazione e pistone elettrico è montato un giunto magnetico, che, in caso di necessità, sconnette meccanicamente l'albero dal pistone.

All'interno dell'ogiva è montata una molla a compressione, che permette la messa in bandiera delle pale, con giunto magnetico scollegato.

4.2.3 il generatore elettrico e linea d'asse

La turbina eolica JIMP20 presenta un generatore elettrico sincrono multipolare a magneti permanenti a flusso assiale che consente l'attacco diretto al rotore.

Le caratteristiche tecniche generali sono le seguenti:

- Potenza attiva nominale continuativa (@150 rpm)	20 kW (@in rete)
- Coppia continuativa nominale	1540 Nm
- Velocità nominale	150 rpm
- Numero di poli	30
- Numero di fasi	3
- Rendimento nominale (@1540 Nm, 150 rpm)	92,0%

La geometria del generatore è caratterizzata dalla presenza di uno statore resinato, solidale al telaio, e da n. 2 corone, che rappresentano i rotori.

Sulle facce interne delle due corone sono alloggiati i magneti permanenti, in Nd-Fe-B, ad una distanza (traferro) di 2 mm dallo statore.

Il rotore esterno è solidale con il mozzo della turbina, i due rotori sono meccanicamente collegati attraverso la linea d'asse, realizzata con un albero in acciaio.

L'interfaccia tra parte fissa, solidale al telaio, e parte mobile, solidale alle pale, è garantita da n. 2 cuscinetti.

4.2.4 il telaio e ralla di imbardata

Una struttura in ghisa sferoidale, costituisce il telaio della turbina JIMP20 Plus.

Uno squadro in ghisa sferoidale, imbullonato al telaio, permette l'interconnessione con il generatore elettrico.

Il telaio presenta un foro centrale per il passaggio dei cavi verso la base torre, una ralla, interfaccia tra torre di sostegno e telaio, permette il movimento di imbardata.

La ralla di imbardata, realizzata in materiale C45 di grado B, presenta le seguenti caratteristiche:

- diametro esterno pari a 329 mm
- diametro interno pari a 190 mm
- altezza pari a 45 mm
- giro fori interno pari a 215 mm
- giro fori esterno pari a 305 mm
- n. 16 bulloni M12, classe 8.8
- coppia di avviamento a vuoto < di 10 daNm

in alternativa:

- diametro esterno pari a 329 mm
- diametro interno pari a 191 mm
- altezza pari a 46 mm
- giro fori interno pari a 215 mm
- giro fori esterno pari a 305 mm
- n. 20 bulloni M12, classe 8.8
- coppia di avviamento a vuoto < di 10 daNm

4.2.5 l'ogiva, la capote e la banderuola

L'ogiva, la capote e la banderuola sono realizzate in resina vinilestere rinforzata con fibre di vetro "E".

L'ogiva ha il compito di proteggere tutte le parti rotanti (mozzo, generatore e i manovellismi necessari alla variazione del passo); la capote copre la sagoma del telaio e la componentistica presente.

La banderuola in VTR e longherone in VTR, ha una superficie esposta al vento di circa 2,2 mq, e ha il compito di orientare la turbina al vento.

L'ogiva, solidale con il rotore, e la capote, solidale con il telaio, sono distanziate di circa 5 mm lungo tutta la circonferenza, per evitare interferenze e consentire l'uscita dell'aria calda.

4.2.6 il sistema di controllo

Il controllo della turbina eolica JIMP20 Plus è ubicato nella navicella (in alternativa a base torre); in ingresso riceve informazioni sul posizionamento lineare dell'attuatore del passo, sui valori di tensione, frequenza, corrente e temperatura del generatore, sulla posizione di ap/ch del giunto magnetico.

In uscita comanda l'attuatore lineare e l'alimentazione al giunto magnetico.

E' presente nell'hardware una porta seriale per la comunicazione con il sistema elettrico di base torre (p.e. inverter ac/dc/ac per il parallelo con la rete, convertitore ac/dc per sistemi ad accumulo elettrico).

La strategia di controllo si può sintetizzare nel modo seguente:

1. Ottimizzazione dei rendimenti aerodinamici nel range nominale di funzionamento con un rapporto $C-\omega$ (coppia-velocità) predefinito
2. controllo a potenza costante, fuori dal range nominale di funzionamento, con l'utilizzo della variazione del passo pale
3. controllo della sovravelocità (overspeed): La turbina eolica JIMP20 presenta una variabilità del passo pala da 0° a 75° , che permette la controllabilità dell'overspeed. L'attuazione elettrica del passo, prima descritta nei suoi componenti, consente di mantenere il valore della velocità angolare sempre inferiore a 200 rpm, per valori della velocità del vento fino a 37,5 m/s. Tra pistone elettrico e il manovellismo è installato un giunto magnetico, che, in caso di anomalia dello stesso pistone, dissocia meccanicamente le due parti. Un sistema a molle, alloggiato nell'ogiva, permette in questo caso, di portare le pale in bandiera.
4. In parallelo al sistema di sicurezza prima descritto, è prevista una frenatura elettrica da implementare nell'inverter o convertitore di base torre, in caso di anomalia della variazione del passo; in particolare un sistema costituito da un chopper e da resistenze zavorra. Il generatore sincrono della turbina JIMP20, consente, infatti, la possibilità di essere sovraccaricato fino a 3 volte la coppia nominale per 15 secondi, permettendo una frenatura dinamica dolce della turbina fino a bassi giri. In queste condizioni con l'aumentare dei valori della velocità del vento, la turbina presenta valori di coefficiente di potenza aerodinamica sempre più bassi, il sistema si mantiene in condizioni di stallo e quindi di sicurezza intrinseca.

4.2.7 le condutture elettriche

Le condutture tra navicella e base torre permettono il passaggio della potenza elettrica e di segnale fino al dispositivo elettrico in base torre.

La turbina JIMP20 Plus presenta un sistema di trasmissione che esclude l'esigenza di qualsiasi tipo di contatto strisciante e/o movimentazione attiva dell'imbardata.

Un cavo spiralato, adatto a gravose sollecitazioni meccaniche, collegato elettricamente alla morsettiera del generatore e del controllo, è vincolato rigidamente alla navicella con un cavo di acciaio, in asse con l'asse torre.

Tale soluzione permette almeno 50 giri di 360° della navicella, orari o antiorari, senza comprometterne le caratteristiche meccano-elettriche.

Un eventuale rottura del cavo (di segnale o di potenza) non compromette, comunque, la sicurezza del sistema eolico.

4.3 fondazione e torre di sostegno

La turbina JIMP20 viene installata su sostegni con altezze standard di 12/18/24 metri; le caratteristiche tecniche dei sostegni e delle relative fondazioni sono espresse in specifici documenti progettuali.

La torre di sostegno è dimensionata in base alle sollecitazioni trasmesse dalla turbina JIMP20 Plus e dall'azione del vento agente lungo tutto lo sviluppo della stessa.

Il dimensionamento è congruente alle seguenti norme:

- D.M. LL.PP. 09/01/1996 (G.U. 05/02/1996 n. 29 suppl. ord. n. 19)

(Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il 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)

(Norme tecniche relative ai "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" di cui al decreto ministeriale del 16/01/1996)

Ai fini della stabilità, la turbina JIMP20 necessita di un ancoraggio al terreno mediante la realizzazione in opera di un plinto in conglomerato cementizio armato.

Il plinto viene dimensionato in base ai carichi trasmessi dalla turbina e dalla torre di sostegno e verificato in fase esecutiva sulla base delle caratteristiche geotecniche del sito.

Il dimensionamento viene effettuato in conformità alle seguenti norme:

- D.M. LL.PP. 09/01/1996 (G.U. 05/02/1996 n. 29 suppl. ord. n. 19)

(Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il 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)

(Norme tecniche relative ai "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" di cui al decreto ministeriale del 16/01/1996)

4.4 il collegamento elettrico alla rete

Di seguito si descrivono le caratteristiche generali del dispositivo elettrico necessario al collegamento in parallelo della turbina JIMP20 Plus alla rete pubblica di b.t. (@380 Vca, 50 Hz).

La turbina eolica JIMP20 Plus, a valle dei morsetti del generatore, presenta l'installazione di un convertitore di frequenza con circuito intermedio in corrente continua.

Tale sistema consente di dissociare i valori di frequenza e tensione del generatore elettrico dai valori della rete elettrica.

Con questo sistema è possibile attuare strategie di controllo a velocità variabile pur mantenendo, a valle, i livelli di tensione e frequenza necessari al parallelo con la rete pubblica.

Il sistema di conversione utilizzato, a commutazione forzata ma senza riferimenti interni di tensione e corrente, determina un sistema di produzione non idoneo a sostenere tensione e corrente (CEI 11-20, art. n. 1.3.2 b)).

Il convertitore ac/dc/ac è alloggiato all'interno di un quadro metallico, completo di sistema di rifasamento, a monte, contattore (dispositivo del generatore) e interruttore bt.

L'armadio metallico di custodia del dispositivo elettrico deve essere predisposto per l'installazione all'aperto, ai piedi della torre di sostegno; a tal fine occorre avere caratteristiche di protezione dalle polveri, dall'acqua e dal ghiaccio.

La turbina JIMP20, oltre al collegamento in rete, con l'ausilio di un inverter ac/dc/ac, è possibile utilizzarla interfacciata ad un convertitore ac/dc, per accumulo elettrico, o a un quadro elettrico, per l'alimentazione diretta di elettropompe, compressori, o altre utenze.

4.5 le modalità installative

Di seguito si riporta una sintesi delle attività necessarie per l'installazione di una turbina eolica JIMP20.

- realizzazione dello scavo e del plinto, almeno 28 gg prima dell'installazione e contestuale installazione della gabbia di tirafondi
- predisposizione, nello scavo, per il passaggio delle condutture elettriche, dalla base torre verso l'esterno (tubazione in pvc flessibile, diam.=80 mm)
- montaggio a terra dei conci di torre
- posa della torre sulla piastra di base, annegata nel plinto
- posa delle condutture elettriche con un estremo vincolato alla testa torre e l'altro in uscita dal cavidotto
- montaggio a terra di banderuola e pale, con pale in bandiera e angolo di calettamento = 9°
- montaggio della ralla di imbardata sulla torre
- montaggio della navicella sulla ralla di imbardata
- vincolo meccanico delle condutture alla navicella
- collegamenti elettrici in navicella
- collegamenti elettrici a bordo del dispositivo elettrico di interfaccia a base torre

Mezzi necessari:

- gru portata 2 ton, altezza max di lavorazione di 24 metri
- cestello porta-persone, altezza max di lavorazione 24 metri