

## Indice

PREMESSA.....	2
CARATTERISTICHE GENERALI DI PROGETTO.....	2
SVILUPPO TOPOGRAFICO .....	2
PRODUCIBILITÀ ENERGETICA .....	3
STATO DELLA TECNICA .....	4
PROTEZIONI ELETTRICHE .....	5
PROTEZIONI DI INTERFACCIA .....	6
PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI .....	6
INQUINAMENTO ELETTRROMAGNETICO E DISTURBI .....	6
STIMA DEL RUMORE .....	7
PLINTO DI FONDAZIONE .....	7
NORME TECNICHE E RACCOMANDAZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO.....	7
DATI TECNICI .....	8

**PREMESSA**

Il presente documento contiene le indicazioni inerenti le caratteristiche generali di progetto, la tipologia di connessione alla rete elettrica locale, la produzione energetica, la tecnologia utilizzata, le prime indicazioni sul rumore e sulle opere strutturali di sostegno, supporto e fondazione di un impianto di produzione di energia elettrica che utilizza come fonte primaria il vento e della annessa linea elettrica BT in cavo sotterraneo, inerente la fornitura in bassa tensione (BT), per una potenza nominale pari a 60kW, di proprietà del comune di Ozieri, localizzato nel comune di Ozieri sito Ippodromo di Chilivani, codice di rintracciabilità ENEL T0655096.

**CARATTERISTICHE GENERALI DI PROGETTO**

Tipo di impianto: impianto di produzione di energia elettrica da elettrico utilizzatore di categoria I, con alimentazione dalla rete pubblica di bassa tensione;

Punto di origine: gruppo di misura trifase;

Potenza prevista in immissione: 60 kW;

Sistema di fornitura: corrente alternata trifase con neutro, con frequenza nominale 50 Hz;

Tensioni nominali: 230 V per i circuiti monofase, 400 V per quelli trifase;

Sistema di distribuzione: di tipo TT;

Correnti di corto circuito: la corrente di corto circuito presunta per guasto trifase nel punto di connessione è stata assunta pari a 6 kA;

Caduta di tensione ammissibile: si assume pari al 2%.

**SVILUPPO TOPOGRAFICO**

L'impianto elettrico in oggetto ha origine dal punto di allaccio in bassa tensione fornito dall'Ente distributore dell'energia elettrica, costituito dai morsetti di uscita del gruppo di misura trifase.

Dal contatore fuoriesce una linea elettrica, facente capo alla morsettiera del "Quadro elettrico di Allaccio" (QE.A), costituito da un quadro con grado di protezione IP43, posizionato all'interno dello stesso vano contenente il gruppo di misura. Il suddetto quadro, conterà la protezione della in partenza verso l'impianto eolico. Il quadro elettrico dovrà essere conforme alla norma CEI 23-51;V1 e contenere le indicazioni sulle funzioni dei diversi elementi ed i riferimenti agli schemi di montaggio.

Il vano per contenere tali apparecchiature è costituito da un manufatto monolitico in cls vibrato e rinforzato posizionato su un basamento in cls con rete elettrosaldata, delle dimensioni interne di circa 1,20x1,20x0,56 m dotato di porte in vtr rinforzato o acciaio e chiusura a chiave tipo ENEL.

**Caratteristiche delle apparecchiature elettriche**

Quadro interruttore generale (QE.A):

Interruttore automatico magnetotermico differenziale tetrapolare, corrente nominale 160A, potere di interruzione nominale in corto circuito 18 kA, tensione nominale d'impiego 400V alla frequenza di 50Hz. Tale protezione costituisce il Dispositivo Generale DG.

Linea elettrica in uscita dal quadro di allaccio (QE.A):

Caratteristiche del cavo:

La linea, del tipo trifase con neutro, è costituita da un cavo, composto da 4 conduttori tre di fase ed uno di neutro, in possesso delle seguenti caratteristiche:

- ✓ Unipolare;
- ✓ sezione 3x95+1x50, i tre conduttori di fase più neutro;
- ✓ lunghezza 165 metri circa;

- ✓ tipo FG7-R;
- ✓ Isolamento in HEPR di qualità G7, guaina esterna in PVC;
- ✓ non propagante la fiamma e l'incendio;
- ✓ in posa interrata entro cavidotto a doppia parete a circa 80 cm dal piano di campagna.

Le caratteristiche delle apparecchiature elettriche e i calcoli di dimensionamento saranno inserite nello schema del quadro elettrico allegato alla presente.

### PRODUCIBILITÀ ENERGETICA

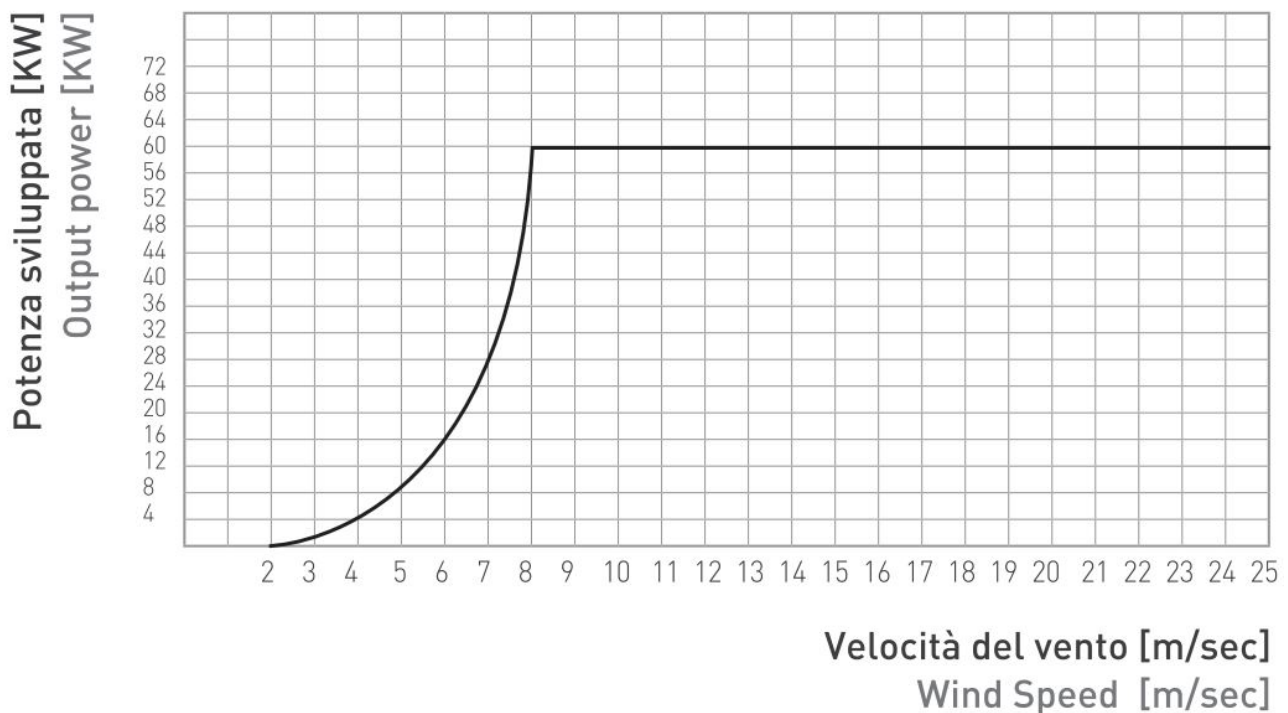
La producibilità elettrica di un aerogeneratore è funzione essenzialmente della potenza estraibile dal vento dal rotore e dalla distribuzione statistica delle velocità del vento in un anno.

La potenza estraibile dal vento viene indicata con la curva di potenza dell'aerogeneratore, generalmente fornita dal costruttore ma deducibile da formule di aerodinamica, che lega le velocità del vento alla potenza trasformata che dipende esclusivamente dalle caratteristiche costruttive della macchina. Generalmente il generatore inizia a produrre, se pur minimamente, ad una certa velocità detta di cut-in e smette dopo una certa velocità detta di cut-off. La prima dipende dalle caratteristiche delle pale mentre la seconda è generalmente legata alla sicurezza della macchina.

La distribuzione statistica delle velocità del vento invece dipende esclusivamente dal sito di installazione e dall'altezza del rotore da terra. Tale parametro viene generalmente ed empiricamente ricavato tramite una indagine anemologica di durata almeno di un anno o mediante analisi spot di dati statistici meteorologici.

Generalmente la producibilità energetica viene indicata tramite le ore equivalenti che indicano un intervallo di tempo fittizio nel quale si considera la macchina alla massima potenza.

Il generatore eolico scelto in base alle caratteristiche del sito è di produzione STOMA modello ST-K60/D21 Direct, possono essere scelti modelli equivalenti tali da garantire la stessa produzione.



L'effettiva produzione di energia elettrica dipenderà poi dal sistema di conversione adottato e dal

suo rendimento.

Tramite appositi software di calcolo la producibilità media annua del generatore nel sito in progetto è stimata in circa 104MWh annui pari a circa 1900 ore equivalenti.

### STATO DELLA TECNICA

I generatori eolici sono sostanzialmente costituiti da un rotore, una navicella che contiene gli organi di trasmissione ed il generatore, una torre di sostegno. Tra la torre e la navicella è interposto un dispositivo di rotazione per l'orientazione del rotore nella direzione del vento: può essere attivo (motore) o passivo (banderuola).

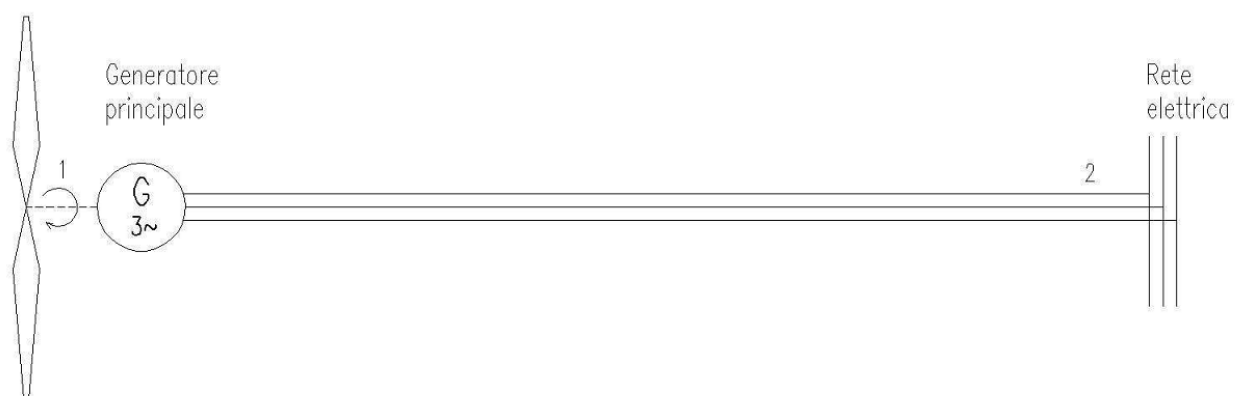
L'energia prodotta viene normalmente ceduta alla rete elettrica per mezzo di opportuni dispositivi di connessione.

Gli impianti si possono poi suddividere in due tipologie: con rotore a regime di giri fisso o a regime di giri variabile. L'ottimizzazione del rendimento aerodinamico delle pale del rotore è stato ottenuto nei due casi con diverse tecnologie.

Negli impianti a regime di giri fisso il generatore (di solito di tipo asincrono ad induzione) può essere direttamente connesso alla rete elettrica e per questo deve ruotare ad una velocità vicina a quella di sincronismo con la rete stessa; dal momento che il rendimento aerodinamico ottimale delle pale del rotore si ottiene soltanto per un certo angolo di incidenza con il vento, l'impianto avrà un rendimento ottimale soltanto ad una velocità del vento ben precisa.

La figura seguente illustra lo schema di principio della connessione in rete di un tale tipo di generatore: il vento fa girare il rotore, accoppiato per mezzo di opportuni organi di trasmissione (non rappresentati) ad un generatore asincrono (Generatore principale), a sua volta direttamente connesso alla rete elettrica.

Dal momento che nel punto (2) è presente una tensione trifase di frequenza fissa imposta dalla rete elettrica il generatore, per poter funzionare, dovrà obbligatoriamente ruotare con frequenza quasi identica a quella di rete (a meno di una piccola differenza dovuta al necessario "scorrimento", caratteristica delle macchine elettriche asincrone). Per questo anche il rotore eolico sarà forzato a ruotare ad un regime costante, corrispondente a quello della frequenza di rete.



In passato si è migliorato il rendimento utilizzando due generatori distinti di potenza diversa: per velocità del vento ridotte viene utilizzato il generatore più piccolo, costruito per velocità di rotazione bassa; per velocità del vento superiori viene utilizzato il generatore più grande, costruito per velocità di rotazione più alta. Si tratta comunque di una soluzione di compromesso, che consente la rotazione del rotore con due diverse velocità (fisse), e quindi una ottimizzazione del rendimento soltanto parziale.

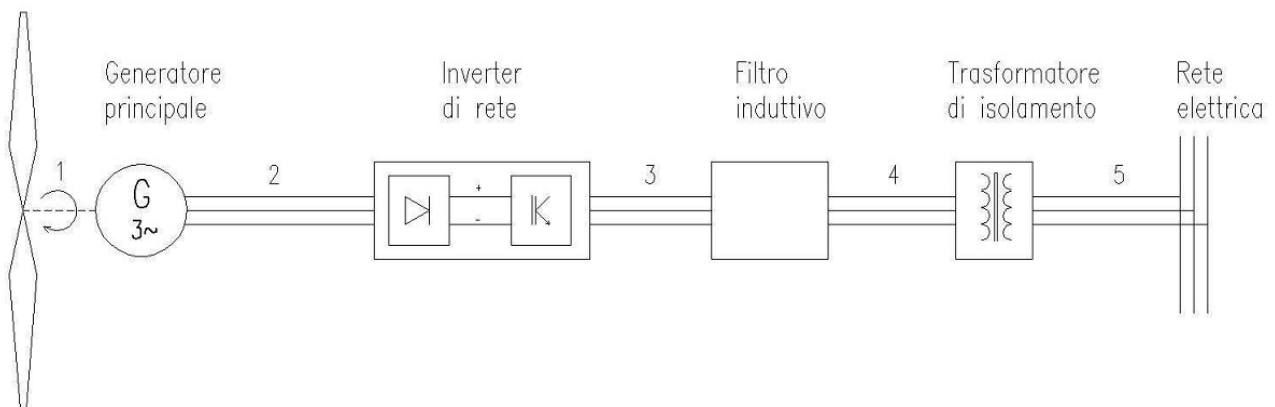
Un metodo alternativo è quello di operare una regolazione dell'angolo di attacco delle pale del rotore (pitch) per far sì che, nonostante la velocità di rotazione sia costante, l'angolo di incidenza del vento sulle pale sia sempre quello ottimale al variare della velocità del vento. Il sistema è comunque costoso e meccanicamente complesso.

Negli impianti a regime di giri variabile il rotore viene fatto ruotare sempre a velocità tale da ottenere l'angolo di incidenza ottimale; il generatore (che può essere sia sincrono che asincrono) ruota ad una velocità variabile e genera energia elettrica con frequenza variabile; per questo non è possibile collegarlo direttamente alla rete elettrica. Per la connessione in rete deve essere interposto un dispositivo di conversione che trasforma l'energia elettrica a frequenza (e tensione) variabile prodotta dal generatore in energia elettrica a frequenza 50 Hz in sincronismo con la rete elettrica.

Nella pratica si fa uso di sistemi di conversione elettronici a stato solido, molto efficienti ma anche molto costosi e notevolmente sensibili ai guasti dovuti a disturbi elettrici sulla rete (ad esempio causati da fulmini).

La figura seguente illustra lo schema di principio della connessione in rete di un tale tipo di generatore: il vento fa girare il rotore, accoppiato per mezzo di opportuni organi di trasmissione (non rappresentati) ad un generatore che può essere sincrono o asincrono (dotato in questo caso di sistemi di eccitazione). Nel punto (2) sarà presente una tensione trifase variabile sia in tensione che in frequenza, in funzione del numero di giri del rotore eolico.

L'inverter di rete raddrizza questa tensione trasformandola, al proprio interno, in una tensione continua; questa viene poi ritrasformata in una tensione modulata ad impulsi (PWM) in modo da approssimare nel punto (3) una corrente trifase sinusoidale con frequenza e fase identici a quella della tensione di rete presente nel punto (5). Sono indispensabili un elemento di filtro ed un trasformatore per bloccare componenti di frequenza diversa da quella di rete, comprese eventuali componenti continue.



Inizialmente gli inverter per applicazioni eoliche venivano realizzati appositamente per ciascuna macchina, questo comportava alti costi e bassa affidabilità. Attualmente con l'impiego di generatori asincroni a magneti permanenti che permettono di escludere il moltiplicatore di giri, vengono utilizzati raddrizzatori e inverter sviluppati in serie ed adatti a differenti macchine per stessa fascia di potenza. In questo modo vengono abbattuti i costi ed aumentata la affidabilità.

## PROTEZIONI ELETTRICHE

Tutti i componenti elettrici, sia principali che ausiliari, e i loro relativi cavi di connessione, sono opportunamente protetti dal sovraccarico e dal cortocircuito tramite interruttori magnetotermici

mentre per la protezione delle persone sarà previsto, a monte dell'intero sistema, un interruttore differenziale coordinato con l'impianto di terra.

Il generatore eolico scelto è completo di un quadro (Q-GEN) contenente le apparecchiature di conversione, il trasformatore di isolamento, la protezioni di generatore e il sistema di protezione di interfaccia conforme alle norme CEI 0-21, costituito da relè elettronico e contattore tripolare in categoria AC-3. Un secondo quadro (Q-DIS) che contiene le protezioni in arrivo dalla rete e in partenza per il generatore e gli ausiliari e la protezione dalla sovratensioni atmosferiche.

Subito a ridosso di questo quadro sarà posizionato il contatore di produzione M2 in apposito contenitore conforme alle specifiche ENEL.

Tale quadro riceve in entrata la linea proveniente dal punto di allaccio costituito dal contatore di immissione M1, subito a valle del quale sarà posizionato un ulteriore quadro (Q-ENEL) recante la protezione generale dell'impianto Dispositivo Generale DG costituito da un interruttore scatolato magnetotermico differenziale quadripolare. Contatore e protezione saranno posizionati nello stesso armadio monolitico posizionato ai confini della proprietà nel punto indicato da ENEL.

### **PROTEZIONI DI INTERFACCIA**

Come da normativa il sistema è comprensivo di protezione di interfaccia costituita da una relè elettronico sensibile alle variazioni di tensione e di frequenza regolato con le soglie previste e dotato di ingressi di segnale esterni per la selezione delle soglie permissive o restrittive di frequenza e di eventuale telescatto da parte del gestore di rete in occasione di particolari stati della rete. Sempre secondo normativa poiché di potenza superiore ai 20kW il relè è dotato anche di un contatto di comando per una protezione di rinalzo in caso di mancata apertura del dispositivo di interfaccia principale, tale rinalzo è individuato nella protezione del generatore principale. Il relè di interfaccia comanda un contattore tripolare, Dispositivo di Interfaccia DDI, di adeguata taglia in categoria AC3 così come previsto dalle norme applicabili.

### **PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI**

Il generatore eolico data la sua natura di corpo isolato da altre strutture, metallico e di discreta altezza è soggetto ad alta probabilità di fulminazione di origine atmosferica, tutte le parti metalliche saranno quindi francamente connesse a terra tramite il dispersore previsto, mentre le apparecchiature elettriche saranno protette da scaricatori di sovratensione.

### **INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO E DISTURBI**

Secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008, la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);
- linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i..

Per quanto riguarda i disturbi condotti e irradiati sulle linee connesse o vicine le apparecchiature disturbanti sono opportunamente schermate.

**STIMA DEL RUMORE**

L'aerogeneratore è una macchina che nel suo funzionamento normale produce rumore, in particolare modo le apparecchiature che maggiormente producono rumore sono le pale, il moltiplicatore di giri e le macchine elettriche rotanti impiegate per la conversione dell'energia.

Tramite misure in sito e trattando i dati secondo la teoria della propagazione sferica delle onde sonore sono state stimate le potenze sonore emesse dalla macchina a varie velocità del vento e a differenti distanze. Le emissioni sonore rientrano nei limiti normativi imposti.

**PLINTO DI FONDAZIONE**

Il plinto di fondazione è destinato a sostenere sia il peso proprio dell'aerogeneratore sia contrastare le azioni di ribaltamento agenti sul generatore stesso. Il costruttore dell'aerogeneratore fornisce un progetto di plinto standard adatto per la maggior parte dei casi, in fase esecutiva e acquisite le caratteristiche reali del sito di installazione dovrà essere verificata tale soluzione o elaborata una adatta.

Nella relazione specifica sono riportati tutti i calcoli di verifica basati sulle indagini geologiche e geotecniche effettuate in sito.

**NORME TECNICHE E RACCOMANDAZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO**

- 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 a continuità collegati a reti di I e II categoria
- CEI EN 61000-3-2 Armoniche lato a.c.
- 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 in gomma con tensione nominale non superiore a 450/750V
- CEI 20-20 Cavi isolati in polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750V
- 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 per Legge 46/90
- CEI 0-21:2012-6 Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti Attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 0-21;V1:2012-12 Foglio di interpretazione - Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti Attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte I".

**DATI TECNICI**

Aerogeneratore	STOMA ST-K60/D21 Direct
----------------	-------------------------

**DATI GENERALI**

potenza nominale	60kW
velocità vento cut-in	2,5 m/sec.
velocità vento cut-out	25 m/sec.
orientamento rotore	automatico
regolazione potenza	passo elica variabile e convertitore
altezza massima	44,15 m
peso navicella	4.000 kg

**Rotore**

tipologia	tripala ad asse orizzontale
materiale delle pale	vetroresina rinforzata con fibra di carbonio
diametro	21,30 m
area spazzata	356 m <sup>2</sup>
posizione di lavoro	controvento
velocità di rotazione	10÷55 rpm
ellitticità delle pale	8°

**Generatore**

tipologia	asincrono a magneti permanenti e velocità variabile
potenza	60 kW
tensione nominale	400 V
corrente nominale	100 A
frequenza	29,1 Hz
classe di protezione	IP55

**Sistema di Conversione**

tipologia	digitale con controllo a DSP
classe di protezione	IP54

**prestazioni inverter lato rete**

tensione di uscita	400V trifase
frequenza di uscita	50 Hz
potenza nominale	80 kW
contenuto armonico THD%	<5%
fattore di potenza cosφ	0,9÷1

**prestazione convertitore lato generatore**

tensione di ingresso	480 V trifase
frequenza di ingresso	max 100 Hz
tensione di uscita	700 Vcc
potenza nominale	80 kW
contenuto armonico THD%	<5%
fattore di potenza cosφ	0,9÷1



Torre	
tipologia	tubolare a sezione poligonale in tre tronchi
materiale	acciaio zincato a caldo
altezza	max 33,50 m
diametro alla base	1,55 m
diametro alla sommità	0,65 m