



aria s.r.l.

Sede legale: Viale Vittorio Veneto 60, 59100 Prato – P.IVA /CF 02110810971

Sede operativa: Via del Mandorlo 30, 59100 Prato
tel. (+39) 0574 550493 fax (+39) 0574 577854

Web: www.aria-srl.it Email: info@aria-srl.it - produzione@aria-srl.it

Dispositivo di conversione di energia elettrica per aerogeneratori composto da componenti commerciali.

Stato della tecnica

La produzione di energia elettrica per mezzo di generatori azionati dalla forza del vento si è molto sviluppata negli ultimi 20 anni, soprattutto per quanto riguarda gli aerogeneratori ad asse orizzontale.

Questi 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.

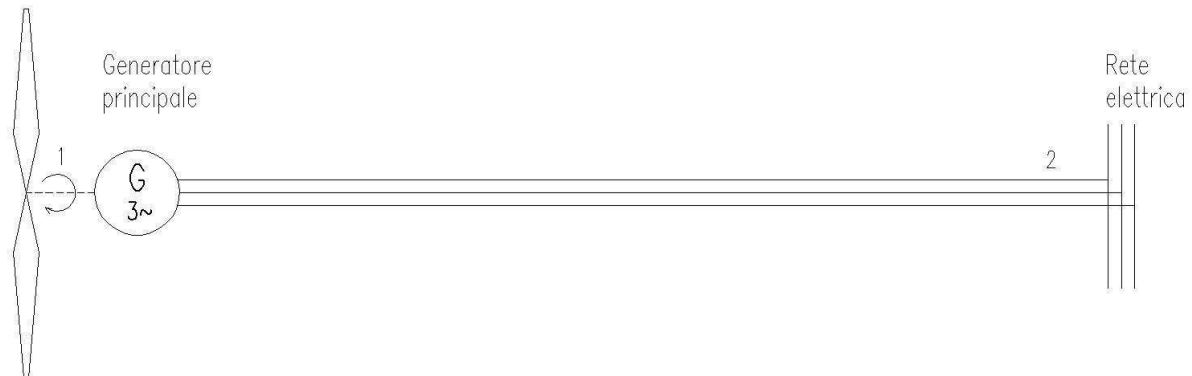
Gli impianti si possono poi suddividere in due tipologie: con rotore a regime di giri fisso o a regime di giri variabile. L'ottimizzazione del rendimento aerodinamico delle pale del rotore è stato ottenuto nei due casi con diverse tecnologie.

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.

Connessione diretta in 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.

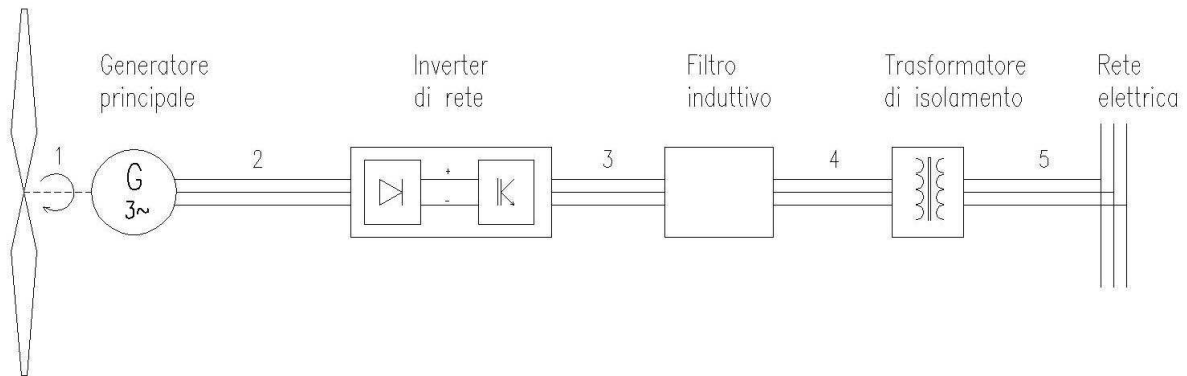
Negli impianti a regime di giri variabile il rotore viene fatto ruotare sempre a velocità tale da ottenere l'angolo di incidenza ottimale; il generatore (che può essere sia sincrono che asincrono) ruota ad una velocità variabile e genera energia elettrica con frequenza variabile; per questo non è possibile 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 di 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.

Connessione in rete con inverter di rete



Questi dispositivi di conversione di potenza elettronici hanno in genere un costo elevato dal momento che non si tratta di dispositivi prodotti in grande serie, ma sono progettati e costruiti specificamente per l'applicazione; non si ha quindi il beneficio dell'economia di grande scala di cui godono i dispositivi elettronici commerciali.

Non possono poi essere connessi in rete prima di essere stati omologati per garantirne la sicurezza.

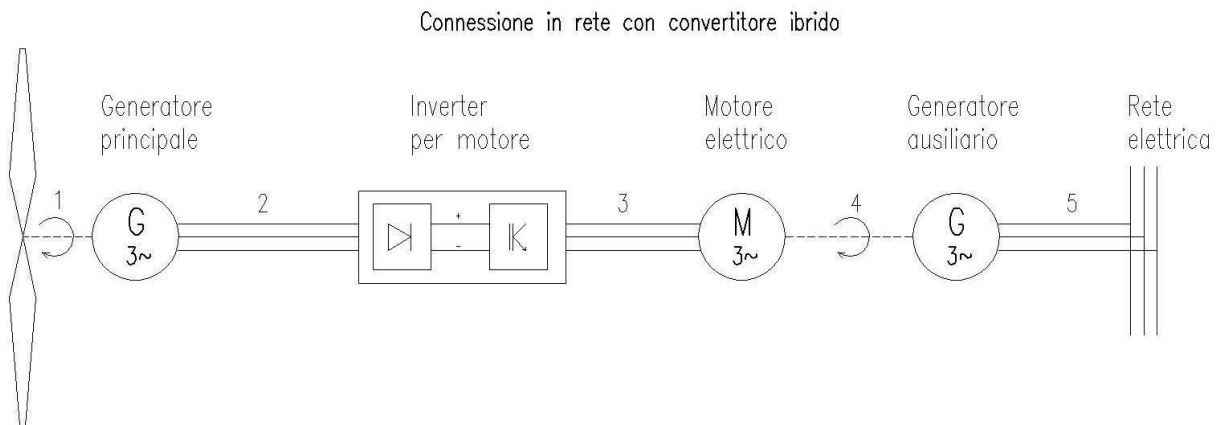
Inoltre un collegamento diretto alla rete di dispositivi elettronici sofisticati li rende soggetti a guasti causati da disturbi e sovratensioni da queste provenienti.

Descrizione dell'invenzione

L'idea alla base dell'invenzione è quella di realizzare un dispositivo di conversione facendo uso di componenti commerciali, di provata affidabilità e facilmente reperibili a costi relativamente bassi.

Il dispositivo oggetto dell'invenzione (nella versione da 55kW) è composto da:

- Un generatore principale che può essere sincrono o asincrono (dotato in questo caso di sistemi di eccitazione)
- Un convertitore di frequenza commerciale da 55kW per motori elettrici asincroni (inverter per motore)
- Un motore asincrono da 55kW (motore elettrico)
- Un motore asincrono da 45 o 55kW, utilizzato come generatore, comandato direttamente dal motore ausiliario (generatore ausiliario).



La figura 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) al generatore principale. 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 per motore funziona in modo del tutto analogo all'inverter di rete precedentemente descritto: raddrizza la tensione a frequenza variabile 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 circa pari a quella della tensione di rete presente nel punto (5). Per l'utilizzo di questa corrente in un motore non sono necessari filtri né trasformatori. Il motore è meccanicamente accoppiato nel punto (4) con il generatore ausiliario, di tipo asincrono, a sua volta direttamente connesso in rete. Questo accoppiamento meccanico garantisce il completo isolamento di tutto il sistema elettrico dell'aerogeneratore dalla rete elettrica.

Il convertitore di frequenza commerciale per motori asincroni (inverter) è un dispositivo progettato per comandare un motore asincrono trifase con frequenza variabile, indipendente dalla frequenza di rete e impostabile a piacere in un ampio intervallo (in genere da 0 a 120 Hz, quando la frequenza di rete è fissa a 50 o 60 Hz). In questo modo il motore può essere fatto ruotare a regime di giri variabile a piacere.

Nel nostro sistema l'energia elettrica prodotta dal generatore principale (a frequenza variabile) è utilizzabile per alimentare il convertitore di frequenza commerciale (inverter per motori) in quanto viene da questo trasformata internamente in una corrente continua e quindi indipendente dalla frequenza.

L'inverter, indipendentemente dal valore di frequenza (e quindi dal numero di giri) del generatore principale, può comandare il motore ausiliario con frequenza variabile e liberamente impostabile; nella fattispecie può comandarlo con la frequenza esattamente necessaria per far erogare la potenza richiesta al generatore ausiliario una volta che questo sia stato connesso alla rete elettrica.

Il motore asincrono utilizzato come generatore ausiliario è collegato direttamente alla rete elettrica; un motore asincrono, forzato a ruotare a regime leggermente superiore a quello corrispondente alla frequenza di rete, si comporta come un generatore erogando tanta più potenza quanto più la velocità di rotazione supera quella di sincronismo.

Il rendimento globale del sistema è pari al prodotto dei rendimenti dei tre elementi della catena:

$$REND_{tot} = REND_{inverter} \times REND_{motore_aux} \times REND_{generatore_aux}$$

Il rendimento dell'inverter per motori è pari a circa il 96%.

Dal momento che i motori oggi disponibili in esecuzione cosiddetta EFF1 hanno rendimenti relativamente elevati (es. circa 95,3% per motori da 55kW di potenza) la coppia dei due motori ha un rendimento di circa il 91%, in modo che il rendimento complessivo netto risulta di circa il 87.2%.

Per confronto, il rendimento di un sistema con inverter di rete sarebbe pari al prodotto dei rendimenti dei tre elementi della catena:

$$\text{REND}_{\text{tot}} = \text{REND}_{\text{inverter}} \times \text{REND}_{\text{filtro}} \times \text{REND}_{\text{trasformatore}}$$

Il rendimento dell'inverter è pari a circa il 96%, come nel caso precedente.

Il rendimento del sistema di filtraggio è circa del 99%.

Il rendimento del trasformatore è intorno al 97.5%.

Il rendimento complessivo sarebbe quindi teoricamente pari al 92.6%.

In realtà a questo va sempre sottratta la quota di potenza elettrica necessaria per la ventilazione o il condizionamento della cabina che contiene il sistema e che comporta un abbattimento del rendimento che può essere stimato intorno al 1,5-2%.

Il rendimento complessivo netto risulta quindi intorno al 91%.

La soluzione elettromeccanica non ha bisogno di ventilatori o sistemi di condizionamento elettrici in quanto sfrutta i motori utilizzati che sono già autoventilati meccanicamente.

La differenza tra le due soluzioni, in termini di rendimento teorico complessivo, è quindi minore del 4%, a fronte di una maggiore affidabilità e ad un costo commerciale che può essere ridotto del 40%.

Con questo metodo abbiamo i seguenti vantaggi:

- la stessa semplicità di connessione (diretta) in rete del sistema a giri fissi
- un elevato rendimento aerodinamico caratteristico dei sistemi con rotore a giri variabili
- virtuale immunità ai disturbi provenienti dalla rete elettrica, che si ripercuotono soltanto sul generatore ausiliario (unico componente connesso alla rete) che è un elemento estremamente robusto ed affidabile, in grado di sopportare senza danni sovratensioni significative
- possibilità di connettere in rete il sistema senza necessità di dispositivi di filtraggio e di protezione particolari
- possibilità di connettere in rete il sistema senza necessità di trasformatore di isolamento
- possibilità di connettere in rete il sistema senza necessità di omologazione, indispensabile invece per i sistemi a stato solido custom
- assenza di sistemi elettrici di ventilazione forzata, che causano perdite di rendimento e hanno durate di vita relativamente brevi (i ventilatori vanno normalmente sostituiti ogni 3 anni).

Il piccolo svantaggio residuo in termini di rendimento viene compensato dal minor costo, almeno fino a quando il prezzo di mercato dei convertitori statici custom si manterrà al livello attuale.