



scienza attiva[®]

Energia eolica

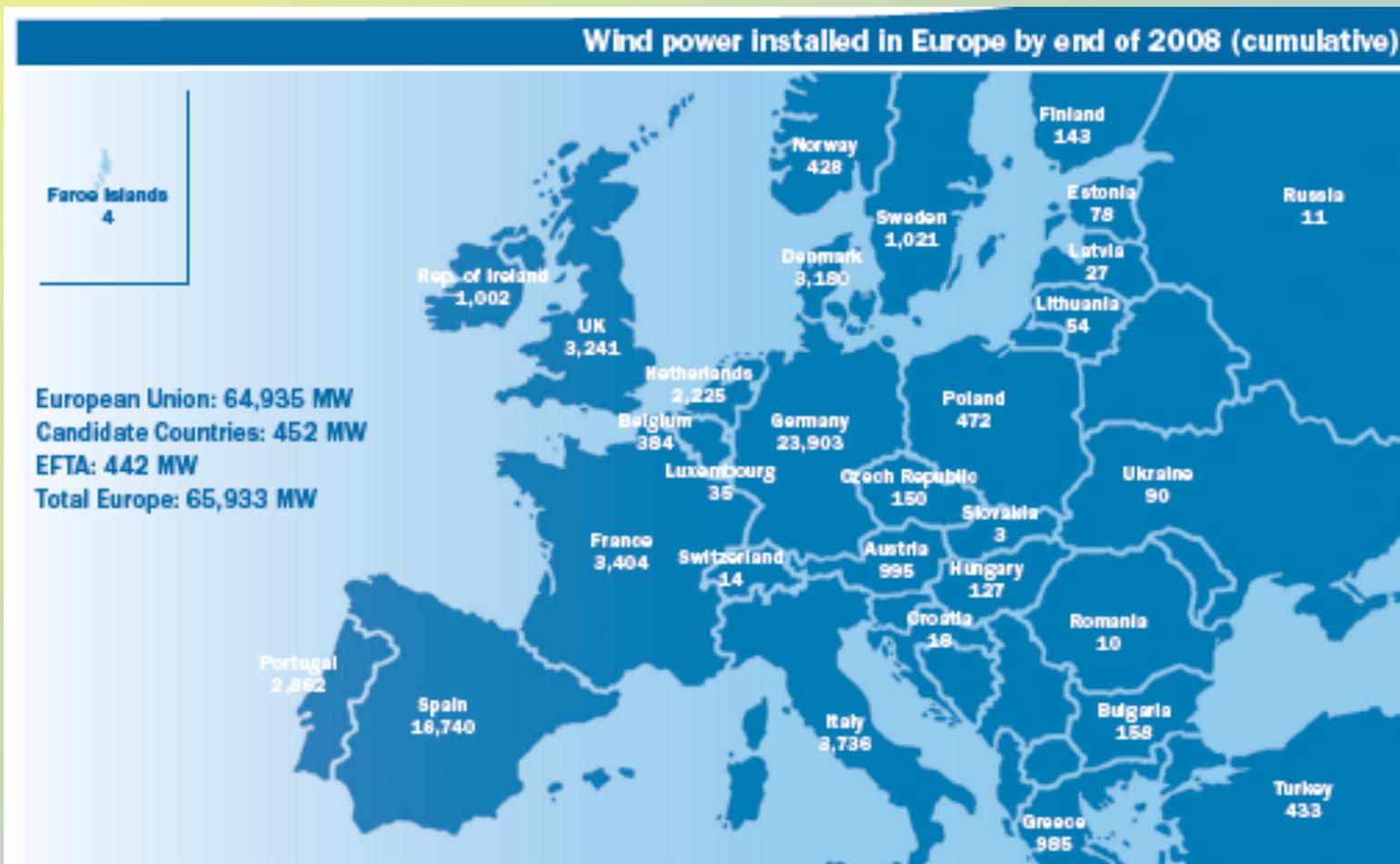
Filippo Spertino

Politecnico di Torino

Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

(F. Spertino - Politecnico di Torino)

I generatori ***eolici*** sono oggi la fonte *non termica* che è cresciuta di più al mondo come potenza installata



Potenza installata in Europa alla fine del 2008 (in MW) sottoforma di generatori eolici (fonte www.ewea.org)

Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

	End 2007	Installed 2008	End 2008
EU Capacity (MW)			
Austria	982	14	995
Belgium	287	104	384
Bulgaria	57	101	158
Cyprus	0	0	0
Czech Republic	116	34	150
Denmark	3,125	77	3,180
Estonia	59	20	78
Finland	110	33	143
France	2,454	950	3,404
Germany	22,247	1,665	23,903
Greece	871	114	985
Hungary	65	62	127
Ireland	795	208	1,002
Italy	2,726	1,010	3,736
Latvia	27	0	27
Lithuania	51	3	54
Luxembourg	35	0	35
Malta	0	0	0
Netherlands	1,747	500	2,225
Poland	276	196	472
Portugal	2,150	712	2,862
Romania	8	2	10
Slovakia	5	0	3
Slovenia	0	0	0
Spain	15,131	1,609	16,740
Sweden	788	236	1,021
United Kingdom	2,406	836	3,241
Total EU-15	55,854	8,067	63,857
Total EU-12	663	417	1,078
Total EU-27	56,517	8,484	64,935
Of which offshore and near shore	1,114	357	1,471

In questa tabella sono presentate le principali statistiche dell'eolico a livello europeo (fonte www.ewea.org).

Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

- ***Vantaggi*** dell'energia eolica:
 - risorsa rinnovabile;
 - assenza di emissioni nell'atmosfera;
 - alta densità di energia (2500-3000 MWh/MW all'anno) ;
 - costi confrontabili con le fonti tradizionali.

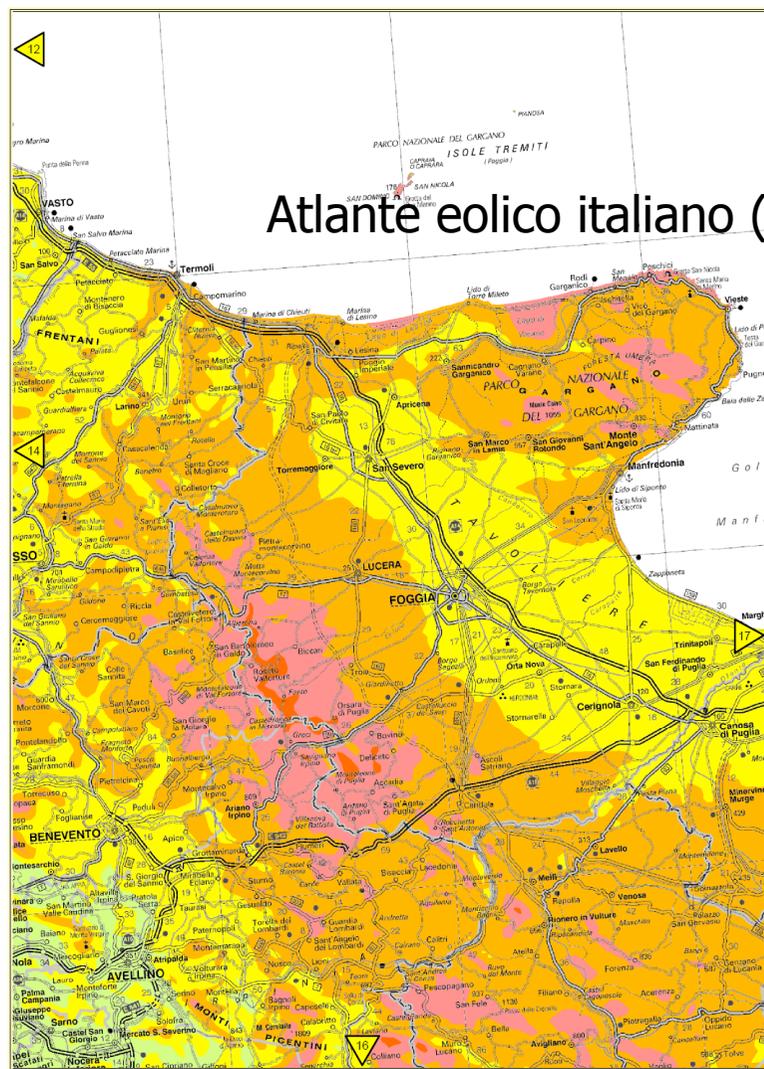
- ***Svantaggi:***
 - produzione intermittente: influenza sulla tensione di rete;
 - rumore acustico e impatto visivo: installazione distante dai centri abitati;
 - investimenti sul sistema di trasmissione specie per installazione sul mare.

Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

Strumenti web per l'individuazione della zona di installazione:

Atlante eolico italiano (CESI - Università di Genova)

Scala 1:750.000 **Mappa della velocità media annua del vento a 50 m s.l.t.** Tavola 15 b



m/s

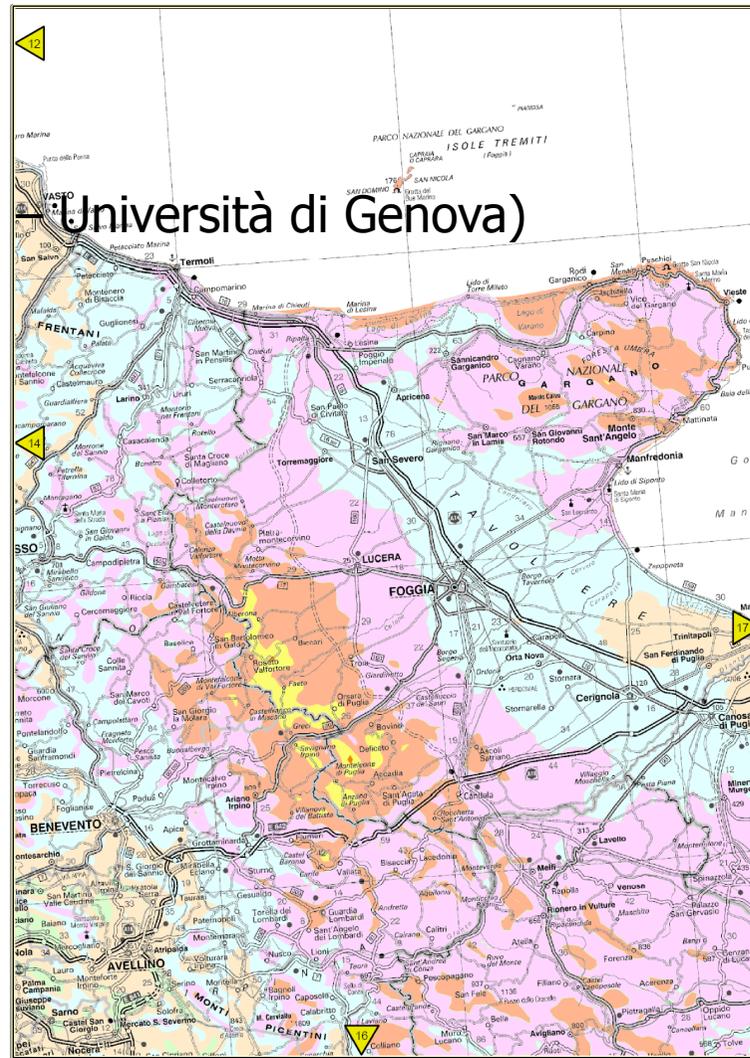
3 4 5 6 7 8 9 10 11

Mappa elaborata da CESI in collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova nell'ambito della Ricerca di Sistema. Per una corretta interpretazione si veda il testo dell'Atlante di cui questa mappa fa parte.

Cartografia di base: copyright GEONext - DE AGOSTINI 2002 - Tutti i diritti riservati
www.geonext.it - info@geonext.it

[Torna al Quadro Unione](#)

Scala 1:750.000 **Mappa della producibilità specifica a 50 m s.l.t.** Tavola 15 d



MWh / MW

500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000

Mappa elaborata da CESI in collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova nell'ambito della Ricerca di Sistema. Per una corretta interpretazione si veda il testo dell'Atlante di cui questa mappa fa parte.

Cartografia di base: copyright GEONext - DE AGOSTINI 2002 - Tutti i diritti riservati
www.geonext.it - info@geonext.it

[Torna al Quadro Unione](#)

Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

La fonte energetica

Una massa d'aria di densità $\rho \approx 1,225 \text{ kg/m}^3$, con velocità v (m/s) attraverso un'area A , ortogonale alla velocità, è dotata della **densità di potenza** (W/m^2):



$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3$$

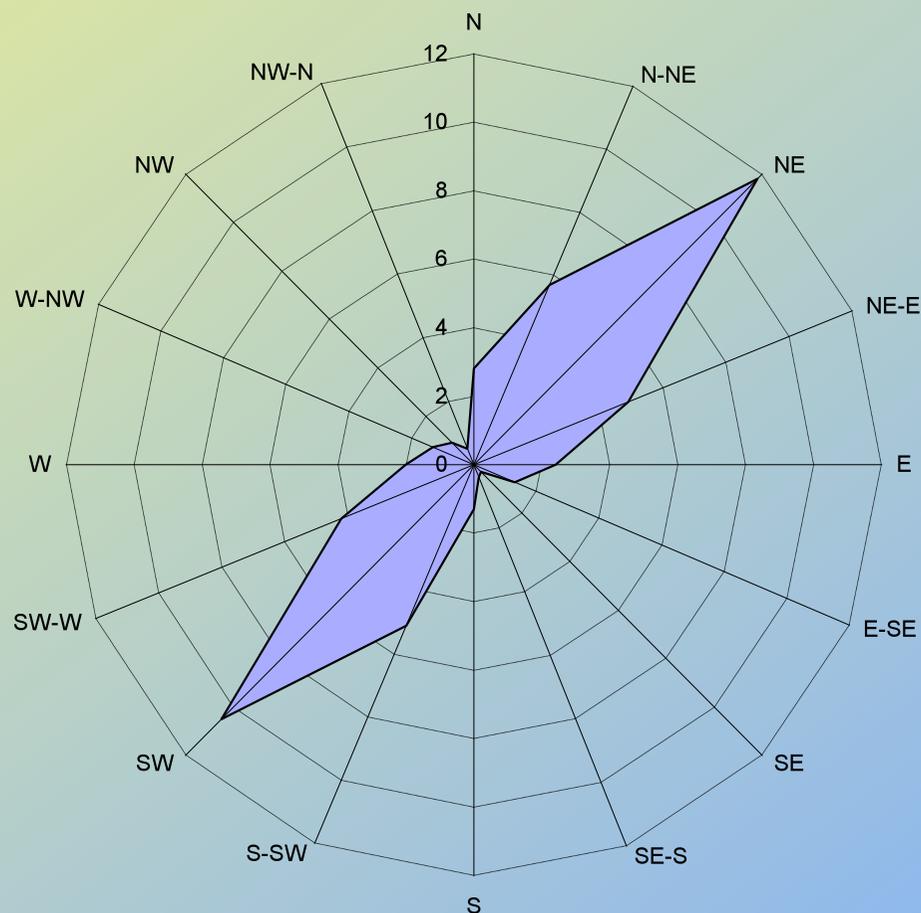
Per velocità tra 8 e 10 m/s, si hanno densità di potenza comprese tra 300 e 600 W/m^2 , mentre con 20 m/s si raggiungono 5 kW/m^2 .

I parametri tipici del vento sono: direzione e velocità. Per misurarli si usano anemometri, posti a una altezza dal suolo di 10-15 m.

In figura: anemometro; la banderuola serve per la direzione e le 3 coppe ruotano misurando la velocità in metri al secondo.

Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

Per utilizzare i dati sperimentali, bisogna riportarli all'**altezza del mozzo** della turbina, poiché la velocità del vento dipende dalla quota (aumenta fino a 100 m) e dalla conformazione del terreno (**rugosità**: valori minori per superfici piatte come il mare). Si determina **la rosa dei venti**, su cui si individuano le direzioni principali.

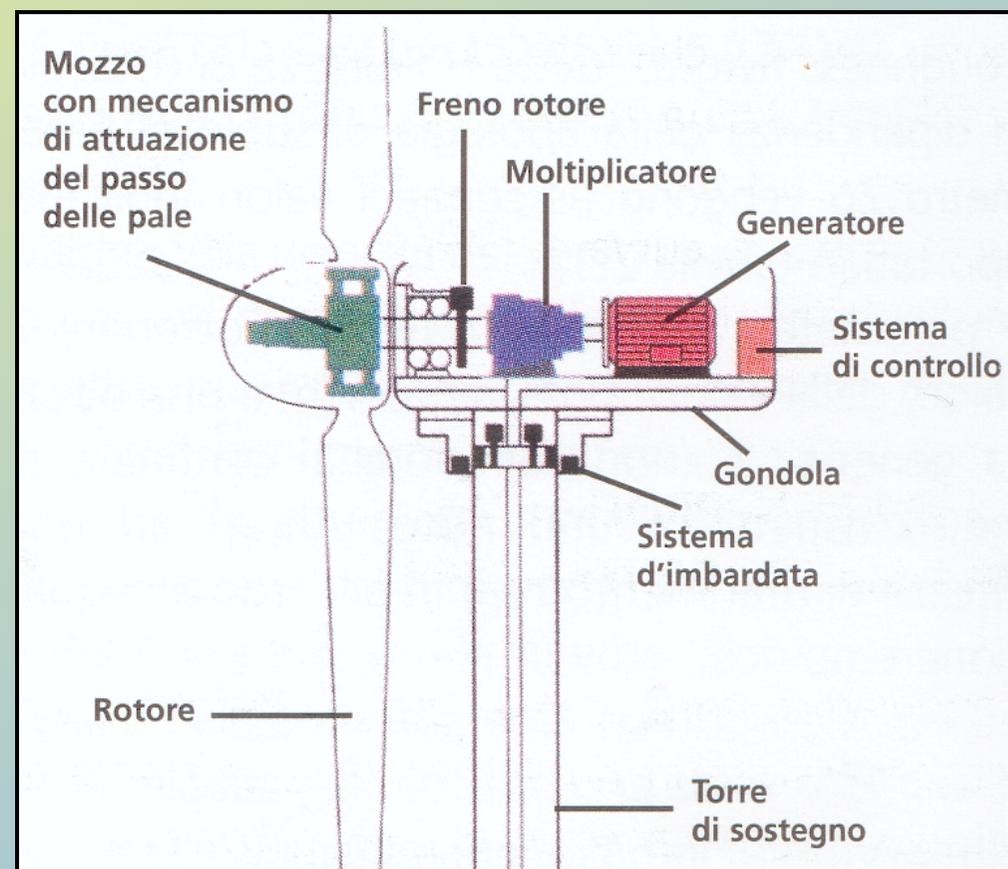


Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

Principio di funzionamento

La massima potenza estraibile da una turbina eolica (asse orizzontale) è pari al 59% della densità di potenza.

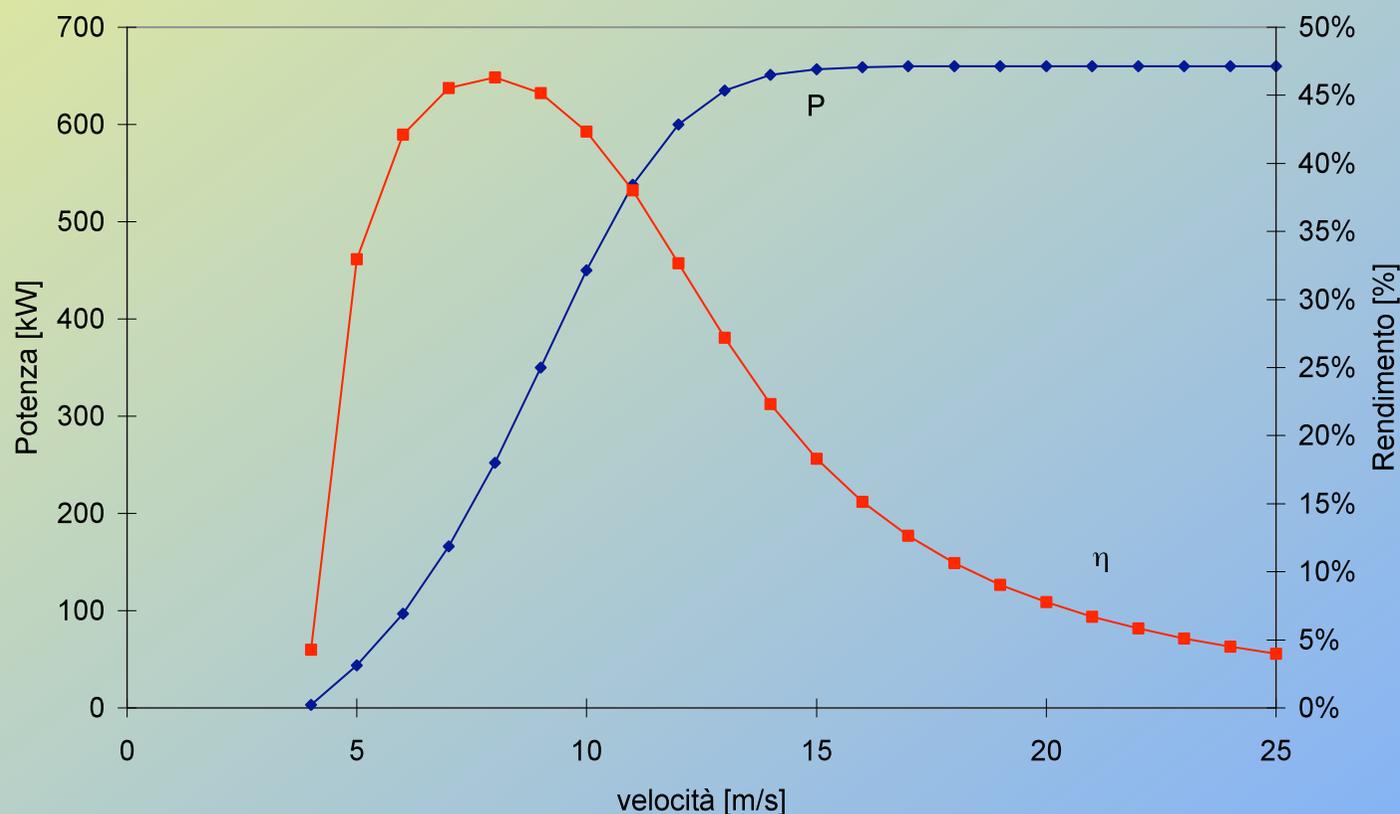
Le turbine sono poste a un'altezza superiore a 50 m dal suolo con una **torre di sostegno**. Le **pale** in resina epossidica (2 o 3 con diametro da 30 a 100 m), sono fissate al mozzo da cui parte l'albero lento della macchina (**≈30 giri/min**): questo è collegato all'albero veloce (**1500 giri/min**) mediante un **moltiplicatore del numero di giri**.



Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

L'albero veloce trasmette la coppia motrice al **generatore elettrico**. Tutti i componenti sono contenuti in un involucro chiamato **gondola**. Le regolazioni meccaniche sono: il **controllo del passo** delle pale, il **controllo di imbardata**. Il controllo del passo regola la coppia motrice per avere una certa velocità delle pale. Il controllo di imbardata, facendo ruotare la gondola rispetto alla torre, consente di orientare la turbina nella direzione del vento.

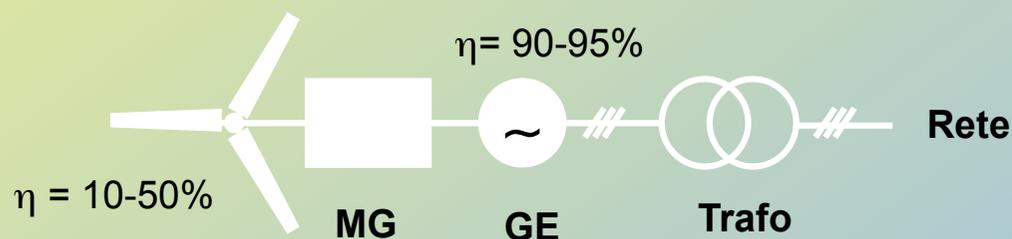
Generatore eolico da 660 kW



Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

Turbine a velocità fissa

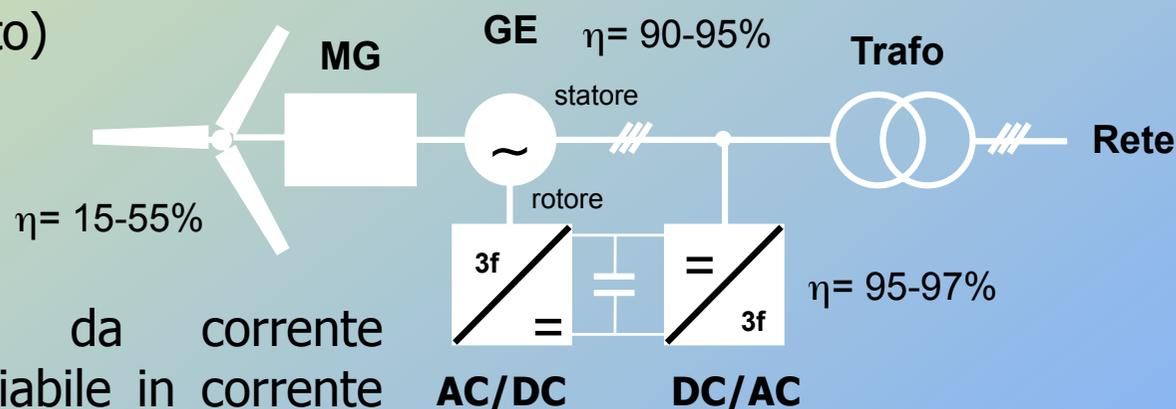
(siti con vento intenso)



MG: moltiplicatore di giri - GE: generatore elettrico – Trafo: trasformatore

Turbine a velocità variabile

(siti con vento moderato)



Convertitore elettronico da corrente alternata a frequenza variabile in corrente alternata a frequenza fissa (50 Hz)

Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

Statistiche

Le taglie tipiche sono **850 kW, 1 – 1,75 – 2 - 3 MW** con tensione del generatore (690 V) elevata mediante trasformatore (20 kV).

Gli impianti installati nel mondo presentano potenze dal kilowatt fino al centinaio di megawatt (160 MW presso Horns Rev in Danimarca).

Il 1° Paese installatore è la Germania (≈ 24 GW con ≈ 40 TWh – 8 % del consumo di energia elettrica) poi la Spagna (≈ 16 GW con ≈ 30 TWh – 10 % del consumo), in Italia abbiamo ≈ 4 GW con 6 TWh. La Danimarca produce il 20% dell'energia con l'eolico.

Crescita media del settore: **+30%/anno**



Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

Parametri economici per la generazione eolica:

- costo della potenza installata: 800 – 1200 €/kW (onshore);
- costo dell'energia prodotta: 0,04 – 0,08 €/kWh;
- incentivo con Certificati Verdi (CV): circa 12,5 c€/kWh anche se in diminuzione;
- cessione dell'energia (fino a 2 GWh): 7-9,5 c€/kWh
- ritorno dell'investimento in 4-8 anni.

Tecnologie e prospettive dell'eolico in Italia

Prospettive nell'eolico per il futuro prossimo :

- ✓ crescita nelle installazioni on-shore (su terreno) con turbine di potenza superiore al megawatt (800-1000 MW/anno);
- ✓ contributo alla regolazione della rete nel ripristino dopo black-out tensione;
- ✓ sviluppo della tecnologia a velocità variabile per siti poco ventosi;
- ✓ maggiore sfruttamento del mini-eolico (20 kW) che presenta impatto visivo minore;
- ✓ prime esperienze sull'off-shore (sul mare).



scienza attiva