

Utilizzo dell'energia eolica



Atlante eolico del vento!!!!

R&S
Il sito italiano della ricerca di sistema nel settore elettrico

Atlante Eolico dell'Italia
L'atlante eolico è composto dai seguenti files:

- [testo descrittivo](#) (2,3 Mbytes, circa 1' a 56 kbps);



- [mappa della velocità media annua del vento a 25 m sul livello del terreno](#) (0,9 Mbytes, circa 2' o 3' a 56 kbps);
- [mappa della velocità media annua del vento a 50 m sul livello del terreno](#) (1 Mbytes, circa 2' o 3' a 56 kbps);
- [mappa della velocità media annua del vento a 75 m sul livello del terreno](#) (1 Mbytes, circa 2' o 3' a 56 kbps);
- [mappa della velocità media annua del vento a 100 m sul livello del terreno](#) (1,3 Mbytes, circa 2' o 3' a 56 kbps);

Ciascuna mappa contiene 25 punti di rilevamento a 0,9 M (circa 3' a 56 kbps).

Realizzato da [CESI](#) e da [Università degli studi di Genova](#) - Dipartimento di fisica

Mappe complessive e quadro d'insieme delle fasce di velocità media annua del vento a 26 m s.l.s.



Mappe elaborate da CERSI 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.

0 250 500 km
Scala 1:6.000.000

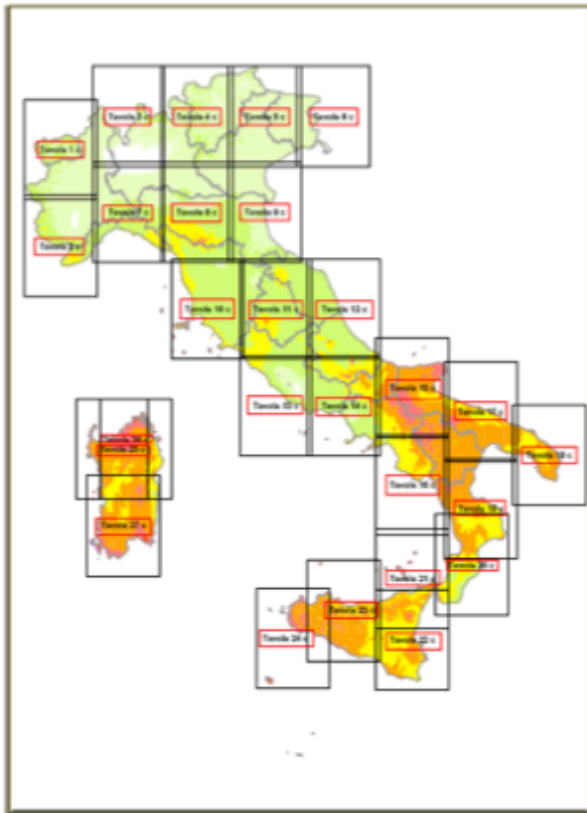
Mappe complessive e quadro d'insieme delle fasce di velocità media annua del vento a 60 m s.l.s.



Mappe elaborate da CERSI 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.

0 250 500 km
Scala 1:6.000.000

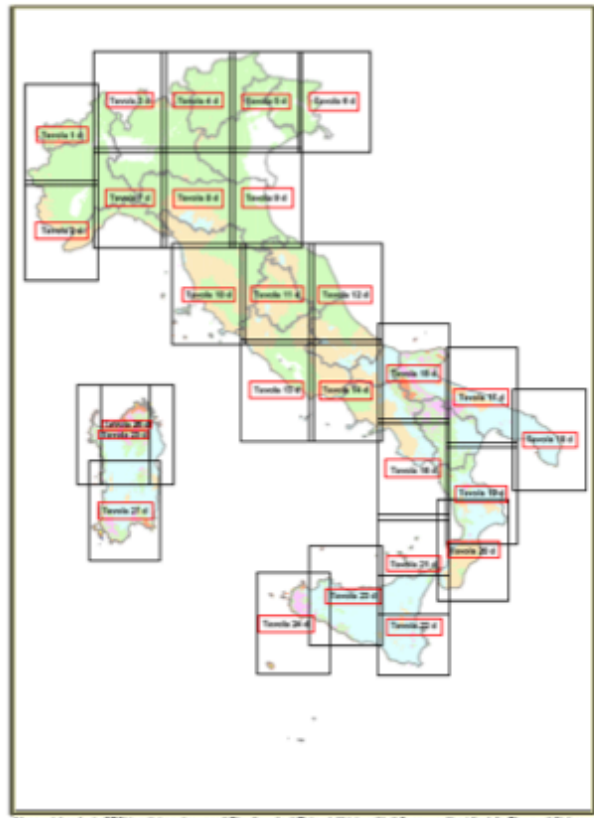
Mappe complessive e quadro d'insieme delle fasce di velocità media annua del vento a 70 m s.l.s.



Mappe elaborate da CERSI 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.

0 250 500 km
Scala 1:6.000.000

Mappe complessive e quadro d'insieme delle fasce di probabilità specifiche a 60 m s.l.s.



Mappe elaborate da CERSI 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.

0 250 500 km
Scala 1:6.000.000

Scala 1:750.000 **Mappa della velocità media annua del vento a 50 m s.l.t.** Tavola 5 b



Scala 1:750.000 **Mappa della velocità media annua del vento a 50 m s.l.t.** Tavola 6 b



Scala 1:750.000 **Mappa della velocità media annua del vento a 50 m s.l.t.** Tavola 5 a



Scala 1:750.000 **Mappa della velocità media annua del vento a 50 m s.l.t.** Tavola 5 b



Scala 1:750.000 **Mappa della velocità media annua del vento a 50 m s.l.t.** Tavola 6 b

Torna al Quarto Volume

Torna al Quarto Volume

Torna al Quarto Volume

Torna al Quarto Volume

Scala 1:750.000 Mappa della velocità media annua del vento a 50 m s.l.t. Tavola 5 b



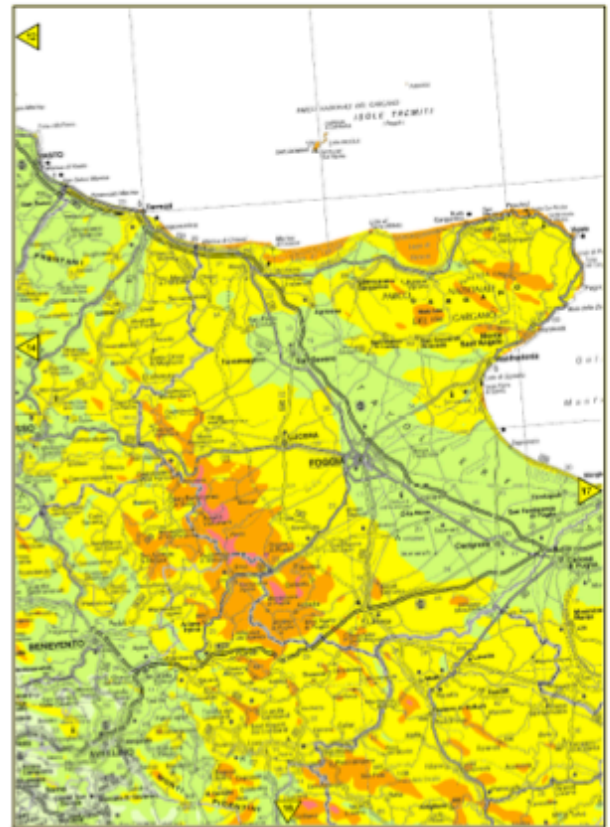
PIRE
3 4 5 6 7 8 9 10 11

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

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

Toma et Quattri Urbina

Scala 1:750.000 Mappa della velocità media annua del vento a 25 m s.l.t. Tavola 15 a



PIRE
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'Allegato A di questa mappa in parte.

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

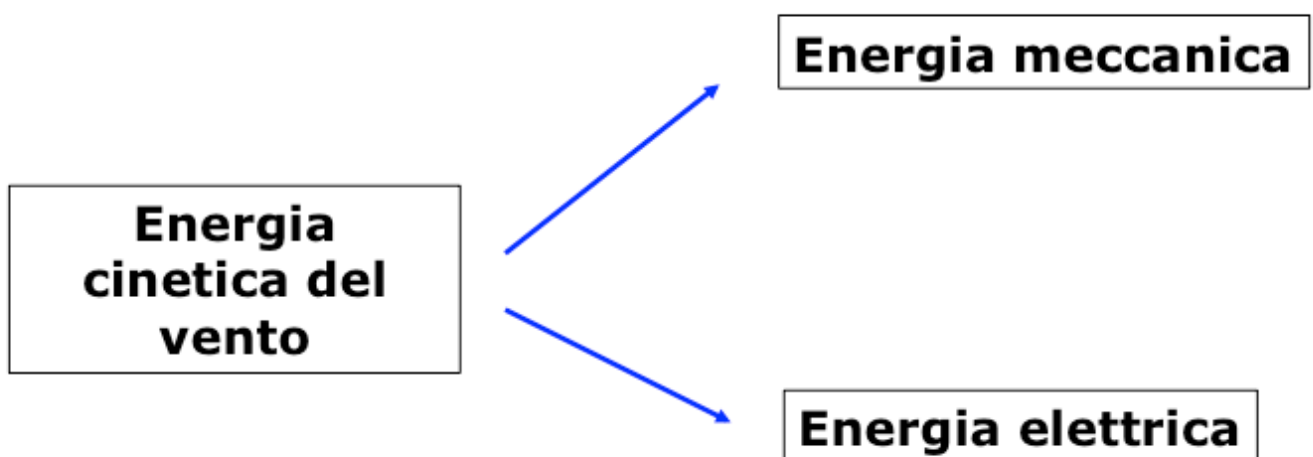
Toma et Quattri Urbina

L'energia eolica è l'energia posseduta dal vento

- L'uomo ha impiegato la sua forza sin dall'antichità, per navigare e per muovere le pale dei mulini utilizzati per macinare i cereali, per spremere olive o per pompare l'acqua
- Solo da pochi decenni l'energia eolica viene impiegata per produrre elettricità. I moderni mulini a vento sono chiamati aerogeneratori
- Il principio di funzionamento degli aerogeneratori è lo stesso dei mulini a vento: il vento che spinge le pale. Ma nel caso degli aerogeneratori il movimento di rotazione delle pale viene trasmesso ad un generatore che produce elettricità

Aerogeneratori

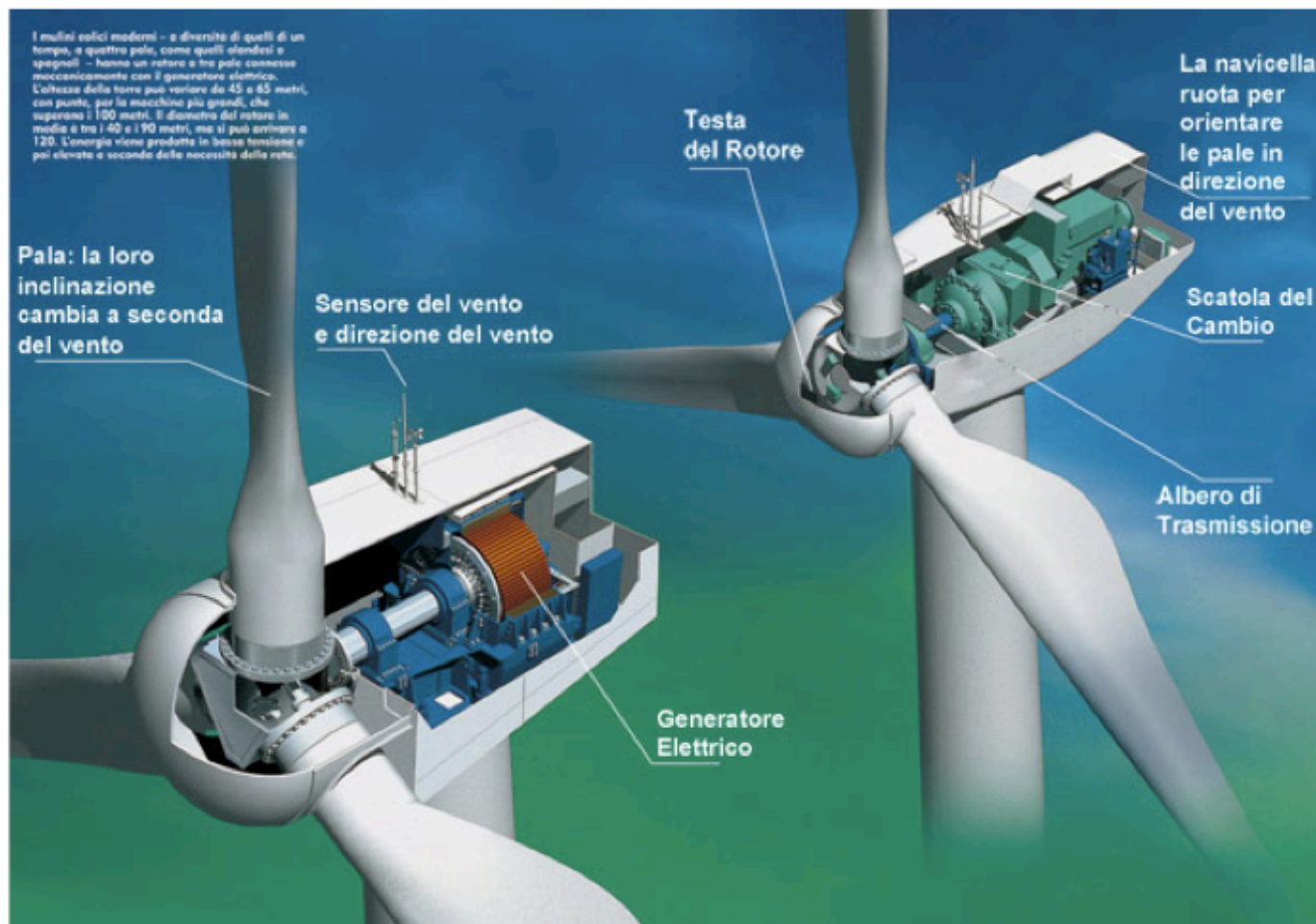
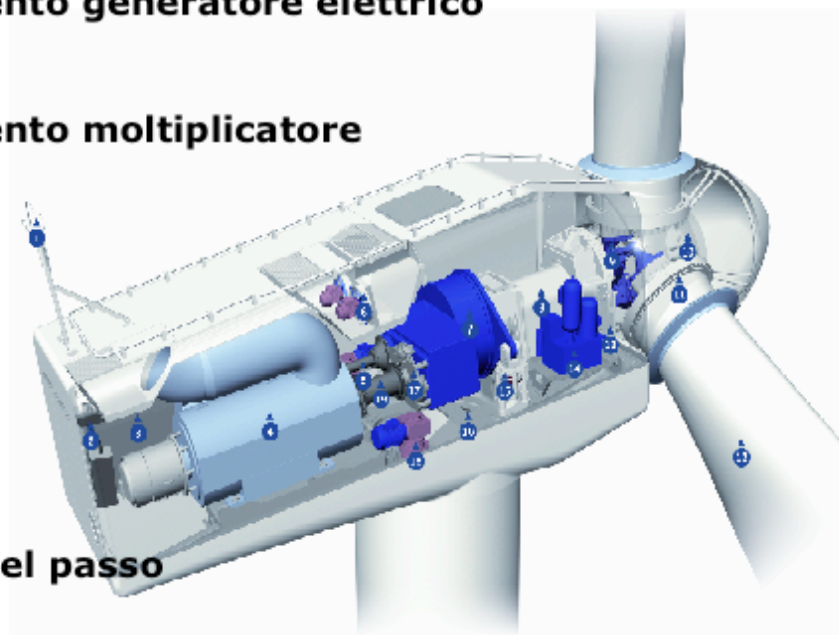
- **Esistono aerogeneratori diversi per forma e dimensione. Possono, infatti, avere una, due o tre pale di varie lunghezze:**
 - ❖ **quelli con pale lunghe 50 centimetri vengono utilizzati come caricabatterie**
 - ❖ **quelli con pale lunghe circa 30 metri, sono in grado di erogare una potenza di 1.500 kW, riuscendo a soddisfare il fabbisogno elettrico giornaliero di circa 1.000 famiglie**
- **Il tipo più diffuso è l'aerogeneratore di taglia media, alto oltre 50 metri, con due o tre pale lunghe circa 20 metri. Questo tipo di aerogeneratore è in grado di erogare una potenza di 500-600 kW e soddisfa il fabbisogno elettrico giornaliero di circa 500 famiglie**



Sezione di un aerogeneratore

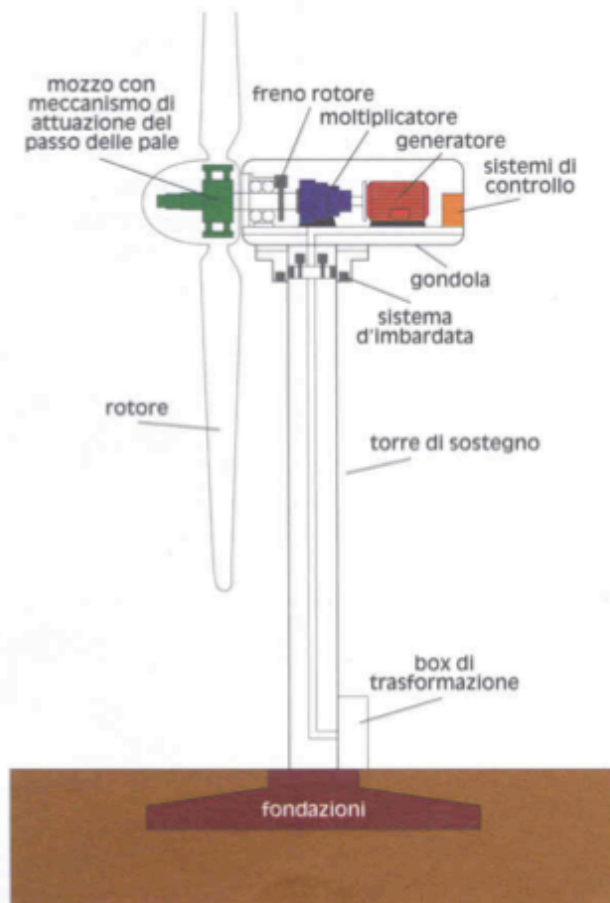
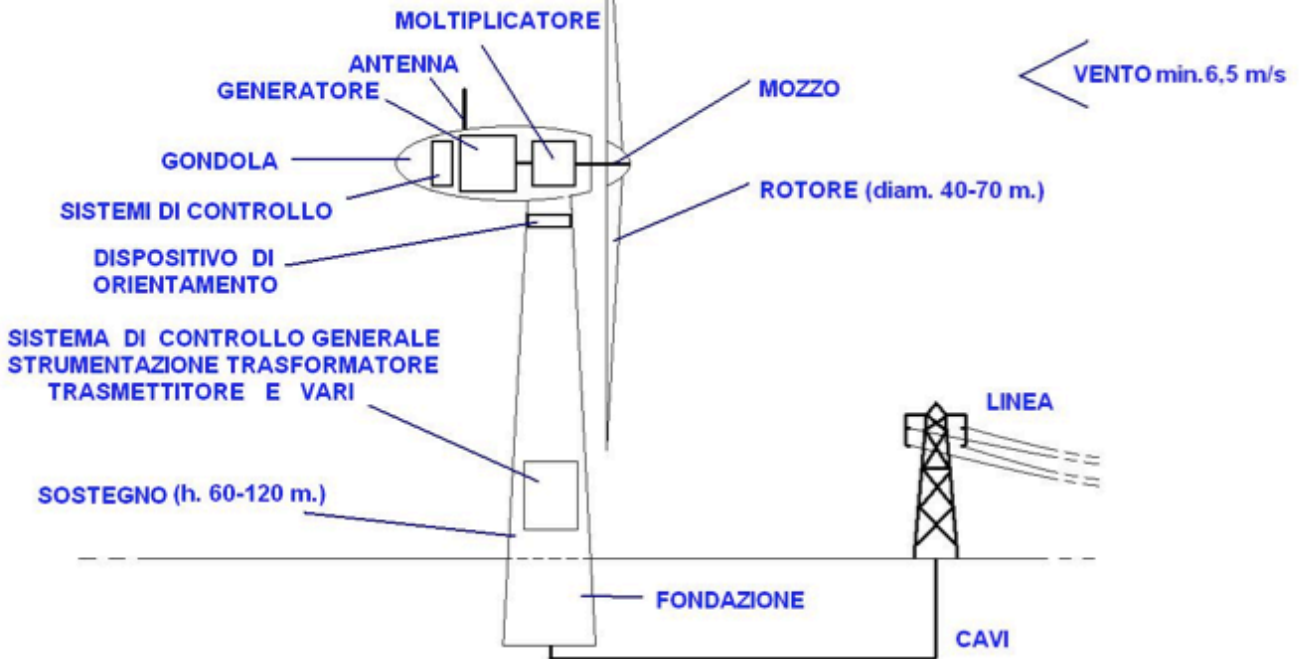
- 1 Anemometro ad ultrasuoni
- 2 Argano di servizio
- 3 Sistema di raffreddamento generatore elettrico
- 4 Generatore
- 5 Attuatore di passo
- 6 Sistema di raffreddamento moltiplicatore

- 7 Moltiplicatore di giri
- 8 Albero lento
- 9 Sistema di variazione del passo
- 10 Mozzo
- 11 Cuscinetto pala
- 12 Pala



SCHEMA AEROGENERATORE

www.Energia-Alternativa-Rinnovabile.it



Gli impianti Wind-Farm

- Più aerogeneratori collegati insieme formano le wind-farm, “fattorie del vento”, che sono delle vere e proprie centrali elettriche.
- Nelle wind-farm la distanza tra gli erogeneratori non è casuale, ma viene calcolata per evitare interferenze reciproche che otrebbero causare cadute di produzione.
- Di regola gli aerogeneratori vengono situati ad una distanza di almeno cinque-dieci volte il diametro delle pale.
- Nel caso di un aerogeneratore medio, con pale lunghe circa 20 metri, questo significa istallarne uno ogni 200 metri circa.



Esempio di Wind Farm

- **Una fattoria del vento, ad esempio, costituita da 30 aerogeneratori da 300 kW l'uno in una zona con venti dalla velocità media di 25 chilometri orari, può produrre 20 milioni di kWh all'anno. Vale a dire quanto basterebbe a soddisfare le esigenze di circa 7.000 famiglie**
- **Per raggiungere lo stesso risultato con una centrale a carbone si libererebbero nell'aria ben 22 mila tonnellate di anidride carbonica, 125 tonnellate di anidride solforosa e 43 tonnellate di ossido di azoto**

Gli impianti Offshore

- **Sono le wind-farm costruite in mare. Rappresentano un'utile soluzione per quei paesi densamente popolati e con forte impegno del territorio che si trovano vicino al mare.**
- **La tecnologia degli aerogeneratori da utilizzare in siti offshore è in pieno sviluppo: a livello commerciale esistono macchine da 1 MW ed esistono prototipi da circa 3 MW.**
- **Secondo alcune stime, gli impianti eolici nei mari europei potrebbero fornire oltre il 20% del fabbisogno elettrico dei paesi costieri.**
- **Attualmente in Europa sono operative 5 centrali costruite in Olanda, Svezia e Danimarca con una potenza totale di 30 MW. In Italia non esiste ancora alcun impianto offshore, ma è stato calcolato un potenziale sfruttabile di 3.000 MW, pari a quello sulla terraferma, in grado di soddisfare il 4% degli attuali consumi di elettricità.**



DOVE INSTALLARE UN IMPIANTO EOLICO?

- **Per produrre energia elettrica in quantità sufficiente è necessario che il luogo dove si installa l'aerogeneratore sia molto ventoso.**
- **Per determinare l'energia eolica potenzialmente sfruttabile in una data zona bisogna conoscere la conformazione del terreno e l'andamento nel tempo della direzione e della velocità del vento**

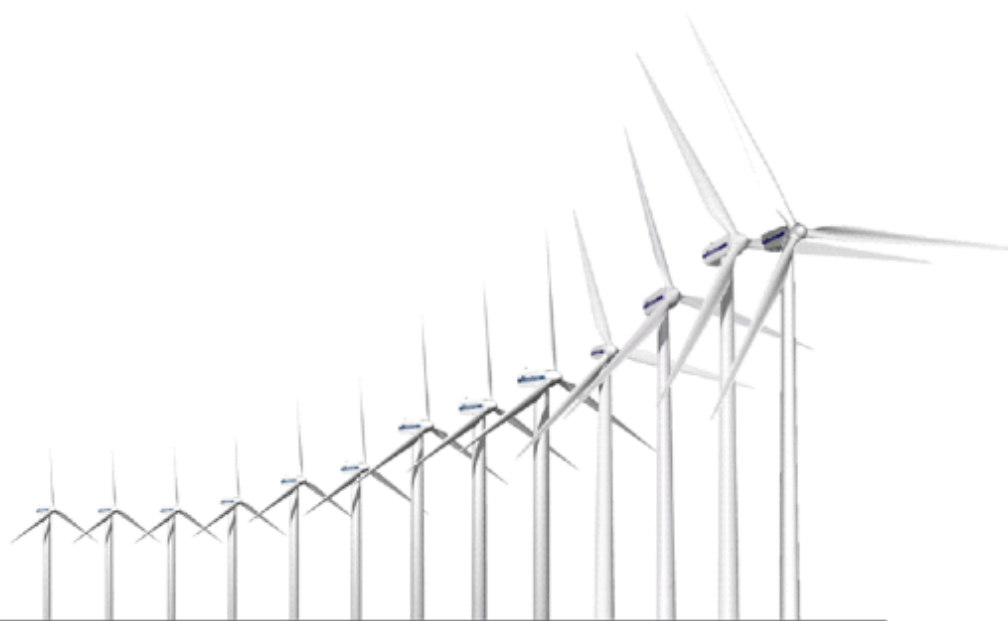
Elementi principali dell'evoluzione della tecnologia dal 1980 ad oggi

- **Potenza** da decine di kW a 6 MW
- **Affidabilità** elevata (Disponibilità superiore al 98%)
- **Rumore** sensibilmente diminuito
- **Sito** anche in clima artico e ambiente marino
- **Costi** in forte riduzione sino al 2003, stabili nel 2004, in aumento dal 2005
- **Diffusione** in tutti i continenti
- **Efficienza** sempre più elevata



Sviluppo delle turbine Vestas

22



Product/Rotor diameter (m)	V15	V17	V19	V20	V25	V27	V39	V44	V47	V52	V66	V80	V90
Year of installation	1981	1984	1986	1987	1988	1989	1991	1995	1997	2000	1999	2000	2002
Capacity (kW)	55	75	90	100	200	225	500	600	660	850	1750	2000	3000
MWh/year	217	265	301	346	481	647	1304	1581	1947	2530	4705	6768	-

20 Anni di Sviluppo della Tecnologia Eolica

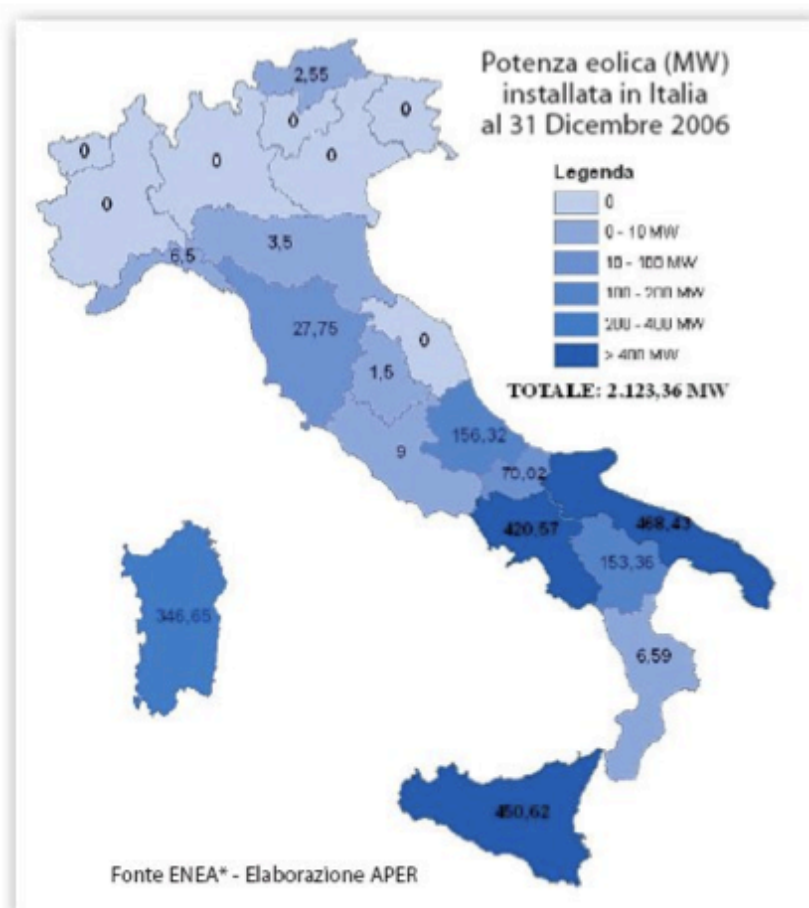


1981 1985 1990 1996 1999 2003

Rotore (m)	10	17	27	40	50	71
KW	25	100	225	550	750	1,650
Costo Totale	\$65	\$165	\$300	\$580	\$730	\$1,300
Cost/kW	\$2,600	\$1,650	\$1,333	\$1,050	\$950	\$790
MWh	45	220	550	1,480	2,200	5,600

1981-1999 = 30 x la potenza, 11 x il costo
 1999-2000 = 2.6 x la potenza, 1.8 x il costo

GE imagination at work 



AEROGENERATORE

Il rotore
Il rotore è costituito da un mozzo su cui sono fissate le pale. Le pale più utilizzate sono realizzate in fibra di vetro.

I rotori a due pale sono meno costosi e girano a velocità più elevate. Sono però più rumorosi e vibrano di più di quelli a tre pale. Tra i due la resa energetica è quasi equivalente.

Sono stati realizzati anche rotori con una sola pala, equilibrata da un contrappeso.

A parità di condizioni, questi rotori sono ancor più veloci dei bipala, ma hanno rese energetiche leggermente inferiori.

Ci sono anche rotori con numerose pale, di solito 24, che vengono impiegati per l'azionamento diretto di macchine, come le pompe.

Sono stati messi a punto dei rotori con pale "mobili". Variando l'inclinazione delle pale al variare della velocità del vento è possibile mantenere costante la quantità di elettricità prodotta dall'aerogeneratore.

Il sistema frenante

È costituito da due sistemi indipendenti di arresto delle pale: un sistema di frenaggio aerodinamico e uno meccanico.

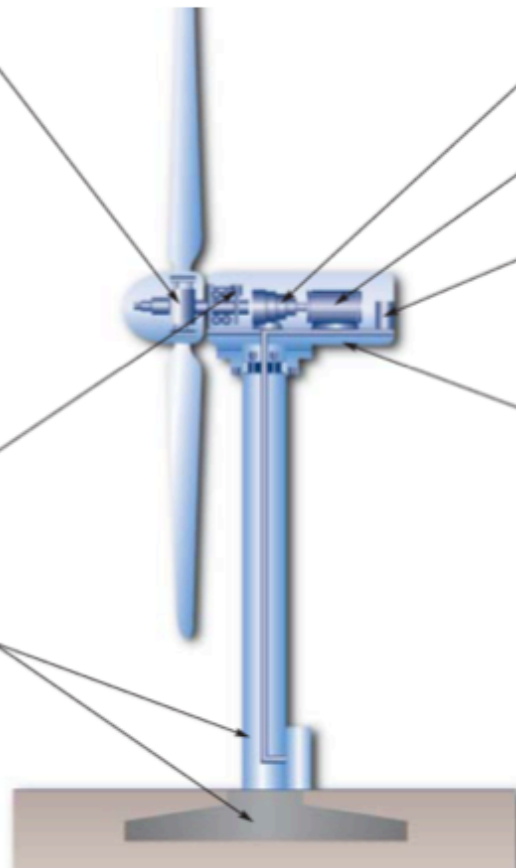
Il primo viene utilizzato per controllare la potenza dell'aerogeneratore, come freno di emergenza in caso di sovravelocità del vento e per arrestare il rotore. Il secondo viene utilizzato per completare l'arresto del rotore e come freno di stazionamento.

La torre e le fondamenta

La torre sostiene la navicella e il rotore, può essere a forma tubolare o a traliccio. In genere è costruita in legno, in cemento armato, in acciaio o con fibre sintetiche.

La struttura dell'aerogeneratore per poter resistere alle oscillazioni ed alle vibrazioni causate dalla pressione del vento deve essere ancorata al terreno mediante fondamenta.

Le fondamenta molto spesso sono completamente interrate e costruite con cemento armato.



Il moltiplicatore di giri

Il moltiplicatore di giri serve per trasformare la rotazione lenta delle pale in una rotazione più veloce in grado di far funzionare il generatore di elettricità.

Il generatore

Il generatore trasforma l'energia meccanica in energia elettrica. La potenza del generatore viene indicata in kilowatt (kW).

Il sistema di controllo

Il funzionamento di un aerogeneratore è gestito da un sistema di controllo che svolge due diverse funzioni. Gestisce, automaticamente e non, l'aerogeneratore nelle diverse operazioni di lavoro e aziona il dispositivo di sicurezza che blocca il funzionamento dell'aerogeneratore in caso di malfunzionamento e di sovraccarico dovuto ad eccessiva velocità del vento.

La navicella e il sistema di imbardata

La navicella è una cabina in cui sono ubicati tutti i componenti di un aerogeneratore, ad eccezione, naturalmente, del rotore e del mozzo.

La navicella è posizionata sulla cima della torre e può girare di 180° sul proprio asse.

Per assicurare sempre il massimo rendimento dell'aerogeneratore è importante mantenere un allineamento più continuo possibile tra l'asse del rotore e la direzione del vento.

Negli aerogeneratori di media e grossa taglia, l'allineamento è garantito da un servomeccanismo, detto sistema di imbardata, mentre nei piccoli aerogeneratori è sufficiente l'impiego di una penna direzionale. Nel sistema di imbardata un sensore, la banderuola, indica lo scostamento dell'asse della direzione del vento e aziona un motore che riallinea la navicella.

Il rotore

- Il rotore è costituito da un mozzo su cui sono fissate le pale
- Le pale più utilizzate sono realizzate in fibra di vetro
- I rotori a due pale sono meno costosi e girano a velocità più elevate. Sono però più rumorosi e vibrano di più di quelli a tre pale. Tra i due la resa energetica è quasi equivalente. Sono stati realizzati anche rotori con una sola pala, equilibrata da un contrappeso. A parità di condizioni, questi rotori sono ancor più veloci dei bipala, ma hanno rese energetiche leggermente inferiori
- Ci sono anche rotori con numerose pale, di solito 24, che vengono impiegati per l'azionamento diretto di macchine, come le pompe. Sono stati messi a punto dei rotori con pale "mobili"
- Variando l'inclinazione delle pale al variare della velocità del vento è possibile mantenere costante la quantità di elettricità prodotta dall'aerogeneratore

Torre resistente e leggera.

- Il peso della torre della V90 è ridotto da 200 a 160 t (80 m IEC I confrontata alla V80 78m)

Come?

- Sono stati ridotti i carichi a fatica ed estremi.
- La resistenza finale è stata migliorata usando un acciaio a maggiore resistenza meccanica.
- Utilizzo di supporti magnetici al posto di staffe saldate.

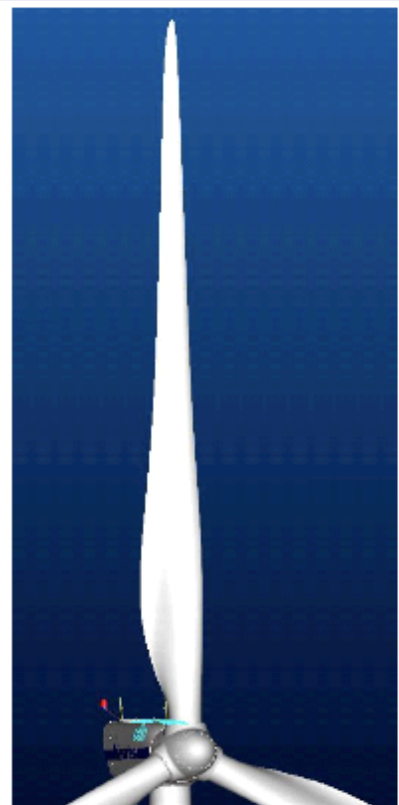


Ottimizzato il design della pala

- Fibra di carbonio nella costruzione dello spar: più resistente e più leggera della fibra di vetro.

Carichi ridotti

- Pale più sottili
 - Nuovo profilo
 - Maggiore torsione
- Carichi a fatica
→ Carichi estremi



Il sistema frenante

- È costituito da due sistemi indipendenti di arresto delle pale: un sistema di frenaggio aerodinamico e uno meccanico
- Il primo viene utilizzato per controllare la potenza dell'aerogeneratore, come freno di emergenza in caso di sovravelocità del vento e per arrestare il rotore.
- Il secondo viene utilizzato per completare l'arresto del rotore e come freno di stazionamento.

La torre e le fondamenta

- La torre sostiene la navicella e il rotore, può essere a forma tubolare o a traliccio. In genere è costruita in legno, in cemento armato, in acciaio o con fibre sintetiche
- La struttura dell'aerogeneratore per poter resistere alle oscillazioni ed alle vibrazioni causate dalla pressione del vento deve essere ancorata al terreno mediante fondamenta
- Le fondamenta molto spesso sono completamente interrato e costruite con cemento armato.

Il moltiplicatore di giri

- Il moltiplicatore di giri serve per trasformare la rotazione lenta delle pale in una rotazione più veloce in grado di far funzionare il generatore di elettricità.

Il generatore

- Il generatore trasforma l'energia meccanica in energia elettrica. La potenza del generatore viene indicata in chilowatt (kW).

Il sistema di controllo

- Il funzionamento di un aerogeneratore è gestito da un sistema di controllo che svolge due diverse funzioni.
- Gestisce, automaticamente e non, l'aerogeneratore nelle diverse operazioni di lavoro e aziona il dispositivo di sicurezza che blocca il funzionamento dell'aerogeneratore in caso di malfunzionamento e di sovraccarico dovuto ad eccessiva velocità del vento

La navicella e il sistema di imbardata

- La navicella è una cabina in cui sono ubicati tutti i componenti di un aerogeneratore, ad eccezione, naturalmente, del rotore e del mozzo
- La navicella è posizionata sulla cima della torre e può girare di 180° sul proprio asse
- Per assicurare sempre il massimo rendimento dell'aerogeneratore è importante mantenere un allineamento più continuo possibile tra l'asse del rotore e la direzione del vento
- Negli aerogeneratori di media e grossa taglia, l'allineamento è garantito da un servomeccanismo, detto sistema di imbardata, mentre nei piccoli aerogeneratori è sufficiente l'impiego di una pinna direzionale
- Nel sistema di imbardata un sensore, la banderuola, indica lo scostamento dell'asse della direzione del vento e aziona un motore che riallinea la navicella.

Energia eolica e ambiente

- L'energia eolica è una fonte rinnovabile e pulita. I possibili effetti indesiderati degli impianti hanno luogo solo su scala locale e sono:
 - ❖ l'occupazione del territorio
 - ❖ l'impatto visivo
 - ❖ il rumore
 - ❖ gli effetti sulla flora e la fauna
 - ❖ le interferenze sulle telecomunicazioni

Occupazione del territorio

- Gli aerogeneratori e le opere a supporto (cabine elettriche, strade) occupano solamente il 2-3% del territorio necessario per la costruzione di un impianto. È importante notare che nelle windfarm, a differenza delle centrali elettriche convenzionali, la parte del territorio non occupata dalle macchine può essere impiegata per l'agricoltura e la pastorizia.

Impatto visivo

- Gli aerogeneratori per la loro configurazione sono visibili in ogni contesto ove vengono inseriti. Ma una scelta accurata della forma e del colore dei componenti, per evitare che le parti metalliche riflettano i raggi solari, consente di armonizzare la presenza degli impianti eolici nel paesaggio.

Il rumore

- Il rumore che emette un aerogeneratore viene causato dall'attrito delle pale con l'aria e dal moltiplicatore di giri. Questo rumore può essere smorzato migliorando l'inclinazione delle pale e la loro conformazione, e la struttura e l'isolamento acustico della navicella. Il rumore proveniente da un aerogeneratore deve essere inferiore ai 45 decibel in prossimità delle vicine abitazioni. Tale valore corrisponde ad una conversazione a bassa voce. I moderni aerogeneratori soddisfano questa richiesta a partire da distanze di 150/180 metri.

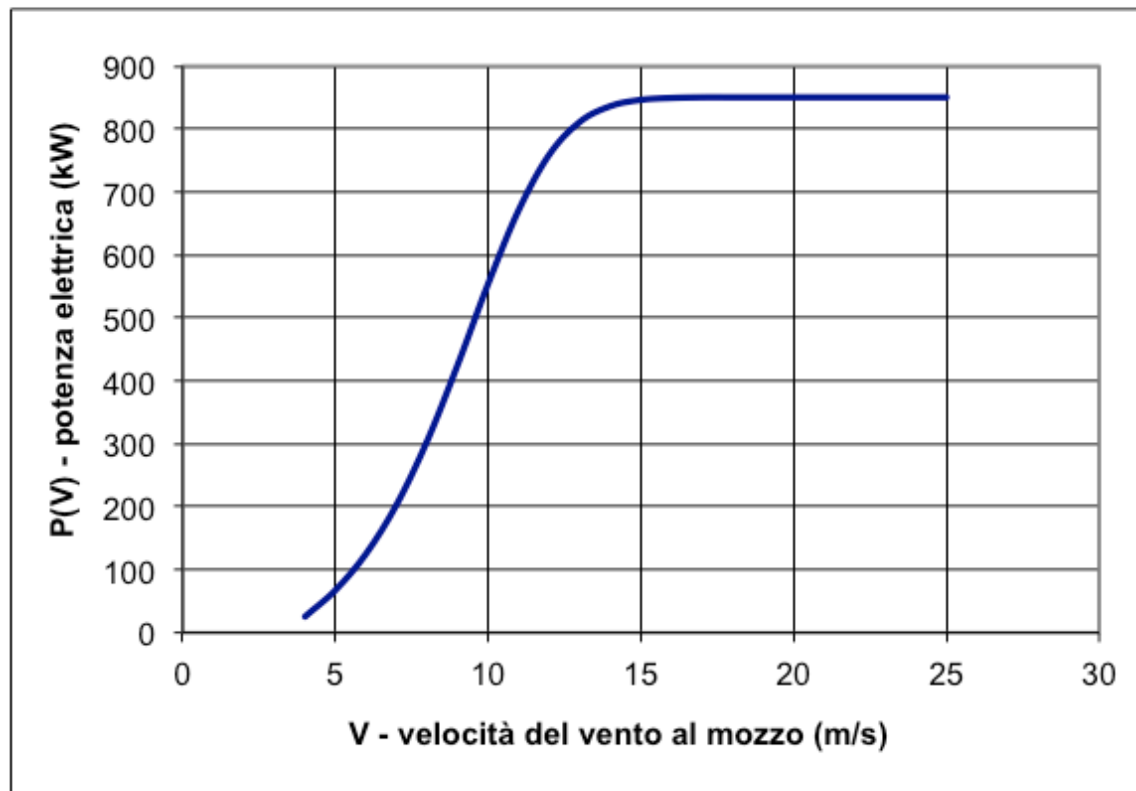
Effetti su flora e fauna

- I soli effetti riscontrati riguardano il possibile impatto degli uccelli con il rotore delle macchine. Il numero di uccelli che muoiono è comunque inferiore a quello dovuto al traffico automobilistico, ai pali della luce o del telefono.

Telecomunicazioni

- Per evitare possibili interferenze sulle telecomunicazioni e la formazione di campi elettromagnetici basta stabilire e mantenere la distanza minima fra l'aerogeneratore e, ad esempio, stazioni terminali di ponti radio, apparati di assistenza alla navigazione aerea e televisori.

Curva di potenza di un aerogeneratore



Centrale eolica in Basilicata con macchine Vestas di media taglia



Centrale eolica in Campania (14 MW) con macchine Gamesa da 2 MW



Centrale eolica in Irpinia (70 MW) con macchine Vestas da 2 MW



Affidabilità

- Generalmente alta, come confermato dall'elevata disponibilità delle turbine eoliche attuali
- Sporadici incidenti dovuti a condizioni climatiche eccezionali danneggiano anche irreversibilmente gli aerogeneratori
- Maggiore il numero di problemi occorsi a singoli componenti, in particolare alle pale e al moltiplicatore di giri
- Il livello di manutenzione influenza la vita dell'aerogeneratore. In Germania si è stimato che sia necessaria una persona addetta al servizio a tempo pieno per ogni 20 MW installati.

Aspetti Innovativi

- Configurazione che si è affermata rapidamente
- Controllo della velocità di rotazione del rotore
- Funzionamento ad efficienza massima per un tratto della curva di potenza
- Maggiore producibilità
- Riduzione rumore

La risorsa eolica

“speed effect” e classi di rugosità

- La compressione dell'aria origina un aumento della sua velocità.
- L'aumento della velocità del vento quando avviene tra edifici elevati e montagne è conosciuto come effetto tunnel.
- La presenza di profili verticali o fortemente inclinati genera il fenomeno della turbolenza.
- L'aumento di velocità del vento avviene anche sui crinali dei monti e sommità delle colline. Anche in questo caso l'aria si comprime ed aumenta la sua velocità.

La risorsa eolica

“speed effect” e classi di rugosità

- Le classi di rugosità esprimono le diverse condizioni fisiche del terreno, in termini di resistenza opposta al passaggio del vento.
- Un'elevata classe di rugosità, 3 o 4, si riferisce ad una superficie molto irregolare con molti alberi e manufatti (edifici, etc.).
- Un'area urbana sarà caratterizzata da un valore di circa 1 m, una prateria con erba bassa e qualche cespuglio da un valore di circa 0,03 m, una superficie innevata liscia da un valore di circa 0,0005 m.

La risorsa eolica

Turbolenza ed influenza degli ostacoli

- Aree caratterizzate da superfici molto irregolari presentano fenomeni di turbolenza
- La turbolenza si manifesta con flussi di vento irregolari con con rapide fluttuazioni di velocità e direzione del vento, creazione di vortici e mulinelli
- La turbolenza riduce l'utilizzo dell'energia eolica ed aumenta le sollecitazioni agli aerogeneratori

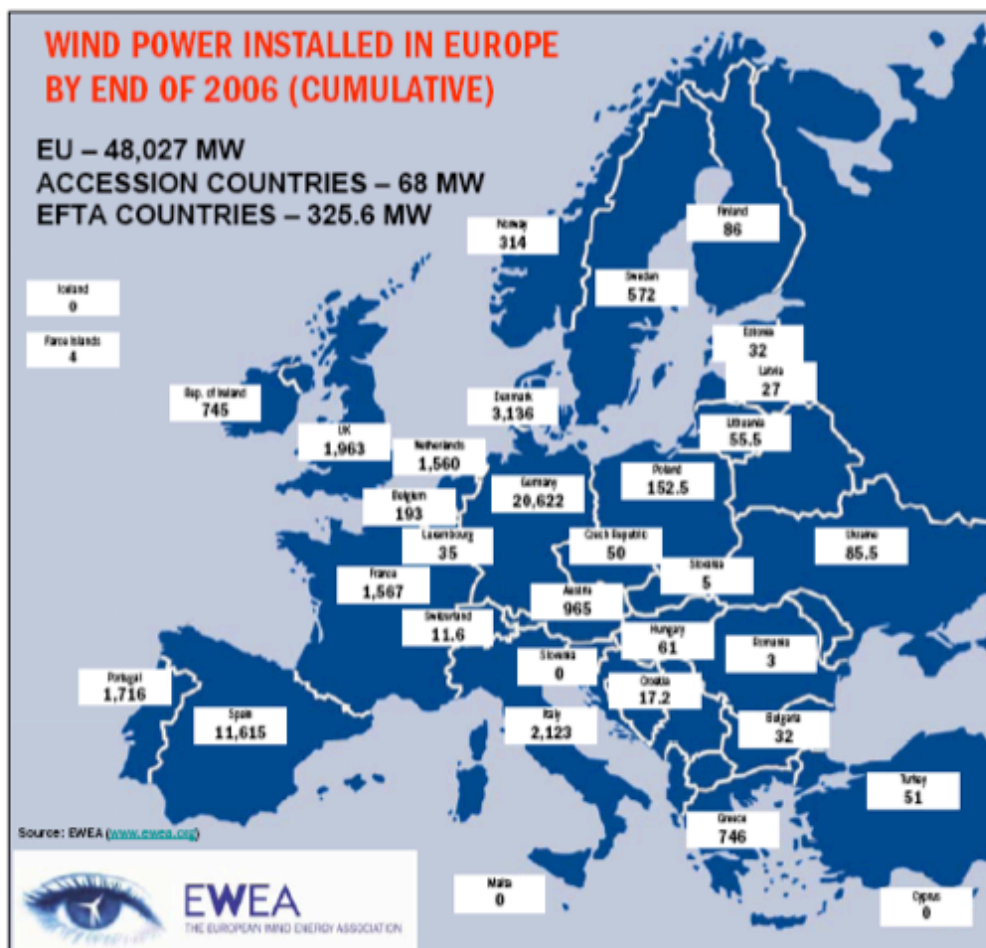
La risorsa eolica

Ricerca di siti idonei

- Adeguata ventosità, definita da opportuni parametri statistici ottenuti elaborando dati anemometrici
- Disponibilità di terreno d'impiego marginale (agricoltura estensiva, pascolo etc.)
- Andamento di velocità e direzione del vento sufficientemente omogeneo nell'area interessata
- Terreno privo d'irregolarità e ostacoli tali da creare, da un lato, un'eccessiva turbolenza del vento

La risorsa eolica ricerca di siti idonei

- Assenza di insediamenti abitativi nelle immediate vicinanze del sito
- Esistenza di un sistema viario di collegamento alla rete stradale
- Presenza di una rete elettrica in grado di assorbire l'energia prodotta dalla centrale eolica



Potenza eolica nelle regioni italiane al 31 ottobre 2007 (MW)

