



CONTENUTO: ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI fonte(<http://www.isesitalia.it>)

ENERGIA EOLICA

Quadro sintetico della tecnologia, degli impianti e delle macchine eoliche

L'energia eolica è il prodotto della conversione dell'energia cinetica del vento in altre forme di energia. Attualmente viene per lo più convertita in elettrica tramite una centrale eolica, mentre in passato l'energia del vento veniva utilizzata immediatamente sul posto come energia motrice per applicazioni industriali e pre-industriali. L'ottimo rapporto costo/produzione energetica rende questa risorsa molto competitiva rispetto alle altre fonti rinnovabili.

L'esempio più tipico di impianto eolico è costituito dalla wind farm (raggruppamento, o cluster, di più aerogeneratori disposti variamente sul territorio, ma collegati ad una unica linea che li raccorda alla rete locale o nazionale).

La concezione della wind farm è legata allo sfruttamento della risorsa eolica e deve commisurarsi ad alcuni concetti base: risorsa accessibile, tecnicamente ed economicamente sfruttabile, ma soprattutto deve strutturarsi sulla base delle esigenze dell'utenza cui si riferisce.

La bassa densità energetica, dell'energia eolica per unità di area della superficie di territorio, comporta la necessità di procedere alla installazione di più macchine per lo sfruttamento della risorsa disponibile. Questo ovviamente non costituisce una preclusione agli impianti con macchina singola.

Le tipologie di impianto possono essere classificate sostanzialmente nelle seguenti:

- A. Isolati
- B. In Cluster (in genere collegati alla rete di potenza o ad una rete locale con sistemi diesel);
- C. Combinati o Integrati

Le macchine eoliche sono classificabili in diversa maniera e cioè in funzione della tipologia di energia sfruttata, della posizione dell'asse di rotazione, della taglia di potenza, del numero di pale etc.

Abbiamo così una ulteriore divisione:

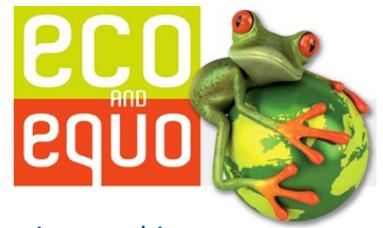
- I. in funzione dell'energia sfruttata
- II. in funzione della posizione dell'asse di rotazione
- III. in funzione della taglia di potenza
- IV. in funzione della velocità del rotore
- V. in funzione del numero di pale
- VI. in funzione della regolazione

Altre variabili utili alla classificazione riguardano per esempio la tipologia della torre (metallica tubolare o a traliccio, in cemento) ed il tipo di progetto delle macchine soft o hard in funzione della rigidità del rotore, ma riguardano in genere le macchine ad asse orizzontale.

Esiste oggi una ulteriore classificazione in macchine a velocità variabile o a velocità fissa ed, inoltre, in funzione del tipo di generatore elettrico, distinguibile in base alla tipologia costruttiva (tra i più diffusi ad oggi sono i generatori multipolari, per rotor lenti, e generatori sincroni per macchine più veloci).



FILONE TECNICO SCIENTIFICO SCHEDA DOCUMENTAZIONE



In questa ultima ripartizione esistono macchine che posseggono *due generatori* e macchine con generatori a *numero di coppie polari variabili*.

Ancora, esistono macchine dotate di inverter e macchine che ne sono prive.

Dal punto di vista della *linea d'assi*: con o senza moltiplicatore del numero di giri.

Gli impianti eolici di potenza sono sostanzialmente costituiti dalle wind farm con cluster più o meno densamente popolato.

Dall'esame di diversi esempi di parchi eolici, diversi per disposizione delle macchine e per densità di popolazione del cluster delle stesse, risulta un gran numero di tipologie possibili, tuttavia possono raggrupparsi in un insieme discreto di cui quelle che seguono sono le principali componenti:

- A. disposizione su reticolo quadrato o romboidale;
- B. disposizione su una unica fila;
- C. disposizione su file parallele;
- D. disposizione su file incrociate (croce di S. Andrea);
- E. disposizione risultante dalla combinazione e sovrapposizione delle precedenti tipologie;
- F. apparentemente casuale;

la prima tipologia è caratteristica delle installazioni più vecchie (specie in USA), mentre l'ultima è caratterizzata da disposizioni in pianta secondo linee e figure molto articolate e si presta alle installazioni in ambiente "*complex terrain*" (cioè con orografia complessa).

Le file possono risultare con un minor numero di elementi in larghezza nella forma detta di "*pine-tree array*". La centrale di Alta Nurra (Sardegna) appartiene alla tipologia "E" ("C" con sovrapposizione di "D").

La interdistanza fra gli aerogeneratori può variare da (3-5)D a (5-7)D a seconda se si tratti della distanza entro la fila o tra file diverse.

Al fine di completare l'exkursus sulle macchine eoliche, vale la pena di elencare, con un approccio da "teoria dei sistemi", le componenti dell'intero aerogeneratore, guardando ai sistemi e sottosistemi dello stesso.

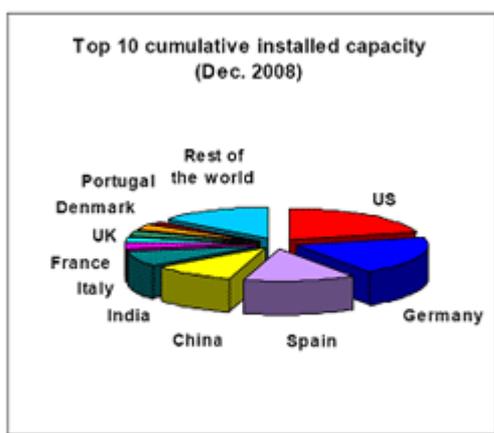
Ne risulta l'elenco che segue:

- A. **sistema della "Torre" e delle fondazioni** o *struttura di sostegno*;
- B. **sistema "Navicella" o struttura di alloggiamento** o *contenimento*;
- C. **sottosistema di orientamento**;
- D. **sottosistema di protezione esterna**;
- E. **sistema "Rotore"**;
 - i. **sottosistemi del rotore**;
 - ii. **il moltiplicatore di giri**;
 - iii. **il generatore elettrico**;
 - iv. **il sottosistema di regolazione**;
 - v. **il sistema di attuazione**;
 - vi. **il freno**;
- F. **sistema di controllo macchina**;
- G. **sistema connessione alla rete** o *sistema di collegamento*.

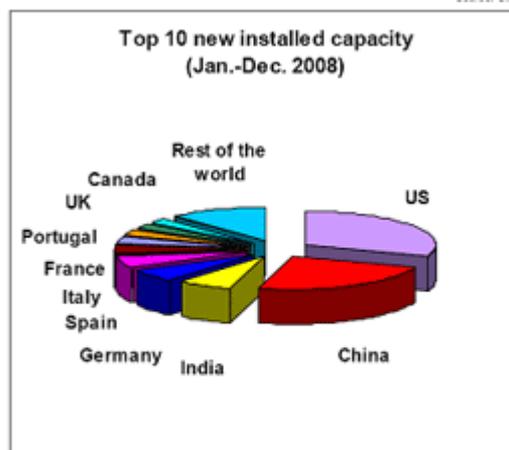


Stato dell'arte

In base ai dati raccolti nelle statistiche EWEA, riportati nelle due figure seguenti, si individuano i paesi maggiormente attivi a livello di installazioni.



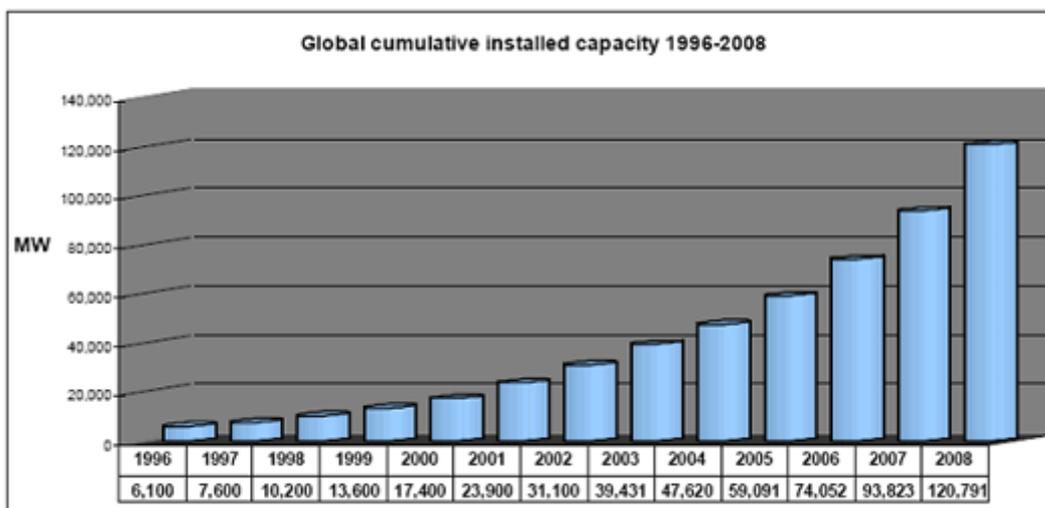
Source: GWEC



Source: GWEC

Fonte: GWEC

Il grafico che segue descrive la crescita della potenza installata nel mondo nel periodo 1996-2008. Si passa da un andamento quasi lineare nei primi 4 anni dell'intervallo studiato, ad una crescita esponenziale negli ultimi 4 anni.



Source: GWEC

Applicazioni

Mini eolico. Le principali applicazioni riguardano, nel caso delle piccole macchine (cioè di altezza inferiore ai 30 m), aerogeneratori o aeromotori installati come sistemi **isolati a servizio** di una utenza isolata non collegata alla rete elettrica o connessi sia per una auto-produzione in scambio che per la fornitura di energia alla rete. La differenza con il grande eolico risiede oltre che nella dimensione delle macchine nella possibilità di operare economicamente con regimi di vento inferiori a quelli richiesti dalle enormi macchine industriali

Nel caso delle macchine di media e grande taglia, l'applicazione tipica è in **cluster** (in genere collegati alla rete di potenza o ad una rete locale con sistemi diesel), ed è questo il caso delle grandi wind farm americane ed europee e, più di recente, italiane.

Le wind farm nel Nostro Paese, dopo qualche esempio realizzato in aree pianeggianti (Alta Nurra), si stanno sviluppando in aree appenniniche anche al di sopra di 1.000 m s.l.m.



Eolico off-shore. Si tratta di impianti installati ad alcune miglia dalla costa di mari o laghi, per meglio utilizzare la forte esposizione alle correnti di queste zone. Per questi impianti vengono utilizzate macchine di potenza elevata. In Italia sono stati presentati diversi progetti in tal senso, soprattutto nelle zone marine limitrofe alla Sicilia e alla Puglia.

Potenzialità

La tecnologia eolica detiene la **leadership** tra le fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica di nuova generazione: oltre 200.000 occupati nel mondo, fatturato di oltre 18 miliardi di euro nel 2007 e crescita maggiore del 28% negli ultimi 10 anni.

La capacità globale ha superato i 90.000 MW con circa 100.000 turbine installate in oltre 70 paesi. L'Europa è l'area leader nella produzione di energia eolica, con il 65% della capacità installata e la presenza dei principali produttori mondiali di turbine.

Top 10 total installed capacity

	MW	%
US	25,170	20.8
Germany	23,903	19.8
Spain	16,754	13.9
China	12,210	10.1
India	9,645	8.0
Italy	3,736	3.1
France	3,404	2.8
UK	3,241	2.7
Denmark	3,180	2.6
Portugal	2,862	2.4
Rest of the world	16,686	13.8
Total top 10	104,104	86.2
World total	120,791	100.0

Source: GWEC

L'innovazione di prodotto ha caratterizzato l'intero ciclo di vita della tecnologia eolica a partire dagli anni '70. Miglioramenti notevoli si sono avuti nei materiali, nelle dimensioni e nelle caratteristiche tecniche funzionali all'efficienza degli impianti. Le turbine eoliche, caratterizzate da dimensioni modeste negli anni '80 (50-300 kW), raggiungono oggi, infatti, dimensioni fino a 5 MW, con una maggiore penetrazione negli ultimi anni delle turbine da 1,5, 2,5 e 3,6 MW. Le turbine di maggiori dimensioni (3,6-5 MW) sono destinate principalmente ai parchi eolici off shore.

I paesi leader per potenza installata, al 2007, risultano la Germania (22,3 GW), la Spagna (15,2 GW), e la Danimarca (3,2 GW), tra i paesi dell'UE, e Stati Uniti (16,8 GW). India (8 GW) e Cina (6,1 GW) mostrano le migliori performance tra i paesi di più recente apertura allo sviluppo dell'energia eolica. L'Italia raggiunge nel 2008 la sesta posizione mondiale con 3.750 MW di potenza eolica, (di cui 1.000 MW di nuova realizzazione).

La capacità installata in Italia è passata da 1.100 MW nel 2004 a 3.750 MW nel 2008, mostrando dei tassi di crescita medi interessanti (circa 300% in 4 anni), soprattutto negli ultimi anni, ma ancora di molto inferiori a quelli registrati dai paesi leaders europei (Germania e Spagna in primis) ed extra UE (USA, Cina e India).



Barriere alla realizzazione di nuovi impianti eolici sono riconducibili a difficoltà autorizzative (sono numerosi i casi di veti posti dalle amministrazioni locali allo sviluppo dei parchi eolici sul territorio nazionale) e a problemi di coordinamento degli enti locali responsabili dei piani territoriali, energetici ed ambientali.

Un ulteriore limite allo sviluppo di nuovi parchi eolici deriva dalla connessione degli impianti alla rete elettrica, spesso insufficiente a supportare la produzione intermittente di energia elettrica per problemi di congestione e a volte indisponibile in alcune aree territoriali coincidenti con i siti più ventosi.

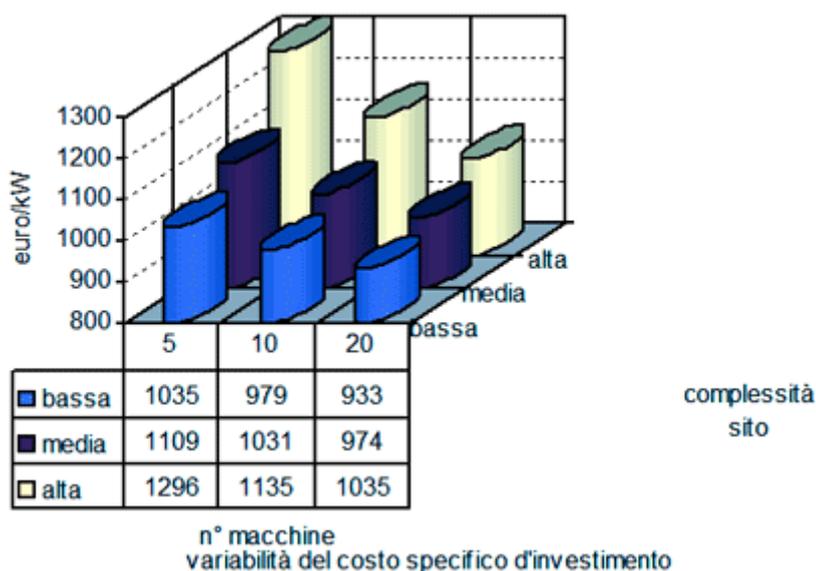
Aspetti economici

Il costo delle tecnologie, sceso radicalmente dal 1990 ai primi anni del 2000, ha subito un'impennata (con una crescita superiore al 20% rispetto al valore medio minimo raggiunto nel 2004-2005 di 800 €/kW) negli ultimi tre anni, a fronte di massicci ordinativi provenienti dalle diverse aree mondiali.

I costi, soprattutto a causa del decentramento dei siti produttivi rispetto alla domanda di grossi quantitativi per le installazioni, presentano delle differenze nelle varie aree di mercato.

Le tecnologie off shore, di più recente sviluppo, sono relativamente più costose.

Attualmente, in Italia, il costo di installazione, ipotizzando l'impiego di aerogeneratori da almeno 600 kW di potenza nominale, si può ritenere compreso fra un minimo di 1.650.000 ed un massimo di 2.500.000 €/kW andando da siti pianeggianti a siti caratterizzati da orografia complessa. Il costo della macchina può ritenersi, prudenzialmente, compreso fra 2/3 e 3/4 del costo totale di installazione in funzione delle caratteristiche orografiche del sito. Il costo dell'energia da fonte eolica è costantemente diminuito negli ultimi venti anni,



ovvero da quando l'industria del settore ha cominciato a raggiungere la maturità commerciale. In Danimarca, i costi sono calati di circa quattro volte nel periodo 1980-2000. Prendendo a riferimento i soli ultimi cinque anni, l'EWEA (European Wind Energy Association) stima che essi si siano ridotti di quasi il 20 %.

I maggiori contributi a tale riduzione derivano da economie di scala legate all'ottimizzazione dei processi produttivi, dalle innovazioni progettuali e dal miglioramento delle prestazioni delle



FILONE TECNICO SCIENTIFICO SCHEDA DOCUMENTAZIONE



macchine. Notevoli benefici sono stati ottenuti anche grazie ad una più efficace valutazione e sfruttamento delle risorse eoliche dei siti.

In siti dotati di buona ventosità l'energia eolica è già competitiva con quella prodotta da centrali a carbone e in alcuni casi si avvicina al costo degli impianti a gas, che attualmente rappresentano la più economica opzione nella maggior parte dei mercati dell'elettricità.

In Italia, in un sito con una producibilità annua di 2000 ore equivalenti a piena potenza, il costo di produzione dell'energia può essere stimato intorno a 6 €cent/kWh.

Guardando al futuro, le proiezioni della società di consulenza danese BTM, tra le più accreditate del settore, stimano che il costo del chilowattora eolico nel 2010 possa scendere sotto 3 €cent, assumendo a quella data un investimento di 627 € per chilowatt installato. Per il 2020, tale valore potrebbe scendere sotto 2,5 €cent, con un investimento intorno ai 500 €/kW.

Impatto ambientale degli impianti eolici

Gli impianti eolici producono un impatto sull'ambiente estremamente limitato e fondato sui seguenti fattori di impatto:

1. occupazione del territorio;
2. variazione al paesaggio;
3. emissioni acustiche;
4. interferenze elettromagnetiche;
5. disturbo all'avifauna stanziale e migratoria;
6. produzione di energia da immettere direttamente sulla rete locale (*impatto positivo*);
7. disponibilità di potenza direttamente vicino ai centri di carico locali (*impatto positivo*);
8. emissioni inquinanti evitate dalla sostituzione di una quota parte del parco termoelettrico (*impatto positivo*).

Di questi fattori solo i primi due possono in qualche modo considerarsi particolarmente significativi e provati.

Tuttavia il fattore rappresentato dall'*occupazione del suolo* di fatto non esclude gli altri usi del territorio in quanto solo l'1-2% del territorio occupato dalla wind farm è materialmente indisponibile per l'esistenza stessa delle macchine.

Gli impianti eolici, insieme agli impianti idraulici (anche di piccola taglia), sono al momento ancora gli unici in grado di sostituire quote significative di impianti basati su fonti fossili, per cui per ogni unità di energia elettrica prodotta verrebbero risparmiati importanti quantitativi di emissioni inquinanti.

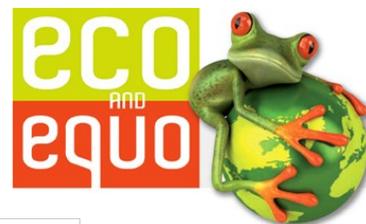
La produzione di energia elettrica mediante combustibili fossili infatti comporta l'emissione di sostanze inquinanti e di gas serra. Tra questi ultimi, il più rilevante è la CO₂ (biossido di carbonio o anidride carbonica), il cui progressivo incremento nell'atmosfera potrebbe contribuire al temuto effetto serra, che, secondo alcuni studiosi, potrebbe causare drammatici cambiamenti climatici, con inestimabili danni alla società umana. La SO₂ (biossido di zolfo o anidride solforosa) e gli NO_x (ossidi di azoto) sono estremamente dannosi, sia per la salute dell'uomo, sia per il patrimonio storico e naturale.

Il livello delle emissioni dipende, naturalmente, dal combustibile e dalla tecnologia di combustione e di controllo dei fumi. Si assumano come valori specifici delle principali emissioni, associate alla generazione elettrica, i seguenti limiti (fonte: IEA):

	CO ₂	SO ₂	NO _x
--	-----------------	-----------------	-----------------



FILONE TECNICO SCIENTIFICO SCHEDA DOCUMENTAZIONE



g/kWh	1000	1,4	1,9
-------	------	-----	-----

Emissioni da combustibili fossili

Si faccia riferimento, ora, ai circa 785 MW di impianti eolici attualmente in regolare attività. Nell'ipotesi che l'energia annua prodotta sia pari a 2000 MWh/MW - valore atteso in tipici regimi anemologici italiani - una tale potenza sarebbe in grado di produrre energia per circa 1,6 TWh, pari a poco più dello 0,6 % del fabbisogno elettrico nazionale. Se tale produzione va a sostituire la ossidazione di combustibili fossili, si stima che le emissioni annue evitate siano del seguente ordine:

	CO ₂	SO ₂	NO _x
tonnellate	1,6 milioni	2200	2980

Emissioni evitate dall'intero settore eolico italiano

Il traguardo, raggiunto nelle mancate emissioni in atmosfera, è di grande importanza. Se si considera che con l'energia eolica si evita solo una frazione delle emissioni delle nostre centrali termoelettriche, è evidente che occorre incrementare la potenza installata da parchi eolici, come stanno facendo i programmi energetici tedeschi e di altri paesi del nord Europa.