

# BREVE PANORAMICA SU GLI IMPIANTI EOLICI DI MEDIA TAGLIA

L'obiettivo della presente sintesi - che si basa su dati e ricerche già note - è quello di contribuire a riepilogare un minimo di informativa tecnica di primo orientamento in merito allo sfruttamento industriale dell'energia eolica per la produzione di energia elettrica con aereogeneratori negli impianti di media taglia (200-400 kW).

## Alcuni richiami fondamentali

### ● *Potenza estraibile*

E' noto dalla teoria aerodinamica che la potenza estraibile dal vento mediante un aereogeneratore è:

- direttamente proporzionale al cubo della velocità del vento (V);
- direttamente proporzionale al quadrato del diametro (D) delle pale del rotore;
- dipende da un coefficiente (coefficiente di potenza) che assume differenti valori a seconda della configurazione, tipo di aereogeneratore, punto di funzionamento, etc.

Attraverso indagini consolidate su una vasta gamma di casi reali, tenendo conto del rendimento della trasmissione meccanica del moto e di quello del generatore elettrico, si arriva a definire che la potenza elettrica (P) resa da un aereogeneratore è la seguente:

$$P = 1,2 \div 1,7 \cdot 10^{-4} D^2 V^3$$

dove

V = (m/s);

D = (m);

P = (kW).

### ● *Curva di durata del vento*

Un elemento chiave per valutare e caratterizzare un sito eolico è la curva di durata del vento di cui se ne riporta un esempio in figura 1. Questa curva viene ricavata, generalmente con modelli probabilistici, dai rilievi anemologici sul sito e consente di mettere in evidenza per quante ore nell'arco di un anno (che equivale a 8760 ore) una determinata velocità del vento viene superata su un sito in esame.

### ● *Curva di potenza resa da un aereogeneratore (ovvero Caratteristica)*

La curva di potenza resa da un aereogeneratore, detta anche Caratteristica, ha l'andamento tipico riportato in figura 2. Su di essa si possono notare i seguenti punti fondamentali:

- $V_0$  = valore della velocità del vento, raggiunto il quale le pale dell'aereogeneratore si mettono in movimento (stacco) e quindi inizia la produzione di energia elettrica;
- $V_n$  = valore della velocità di progetto, raggiunto il quale l'aereogeneratore eroga la sua massima potenza, che si mantiene costante anche per valori di velocità del vento più elevati;
- $V_c$  = valore della velocità di taglio ("cut-out"), raggiunto il quale il generatore viene sconnesso dalla rete.

### ● *Curva di durata della potenza*

La curva teorica della durata della potenza disponibile su un determinato sito è strettamente connessa a quella della durata del vento ed ha un andamento del tipo indicato in figura 3.

In pratica la curva di durata della potenza resa da un aereogeneratore su un determinato sito si ottiene graficamente dall'intersezione della Caratteristica dell'aereogeneratore con la curva di durata del vento come indicato in figura 4. Vengono così individuate:

- il numero di ore ( $T_n - T_c$ ) di funzionamento alla massima potenza;
- il numero di ore ( $T_o - T_n$ ) di funzionamento a potenza diversa da quella massima;

*Aereogeneratore  
bipala di media  
taglia*



- il numero di ore Tc per le quali è necessario distaccare l'aereogeneratore dalla rete per velocità del vento troppo elevata;  
 - il numero di ore (8760 - To) durante le quali l'aereogeneratore resta fermo per assenza di vento tale da superare lo spunto.  
 L'area tratteggiata sottesa dalla curva di durata

Schema 1,2

Potenza Nominale	(kW)	200 - 400
Diámetro del rotore	(m)	30 - 35
Numero delle pale	(n°)	1 - 3
Altezza del mozzo	(m)	25 - 32
Tipo di mozzo		rigido - oscillante
Tipo di rotore		sopravento - sottovento
Regolatore della potenza		controllo del passo
Generatore elettrico		asincrono
Velocità di avviamento (Vo)	(m/s)	3,5 - 6,5
Velocità di progetto (Vn)	(m/s)	11 - 13
Velocità di taglio (Vc)	(m/s)	18 - 27

1

potenza macchine	5 MW
costo investimento specifico	media taglia commerciali 2 (milioni/kW)
costi annui eserc. & manut.	2% costo investimento
tasso di attualizzazione	8%
vita impianto	20 anni

2

Tabella 1,2,3

Sito Riparato	Pianura Aperta	Costa	Mare Aperto	Collina/Cresta
(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
1 < 3,5	< 4,5	< 5	< 5,5	< 7,0
2 3,5-4,5	4,5-5,5	5,0-6,0	5,5-7,0	7,0-8,5
3 4,5-5,0	5,5-6,5	6,0-7,0	7,0-8,0	8,5-10,0

1

Scala Decibel	Sorgenti di rumore
Soglia del dolore	
110	Jet
100	
90	Martello pneumatico
80	
70	Aspirapolvere
60	Conversazione
50	
..... CENTRALE EOLICA	
40	
30	Biblioteca
Soglia di udibilità	

2

Investimento (milioni)	Costo dell'energia prodotta (lire/kWh)					
	203	174	152	135	122	111
10000						
ventosità (*) (m/s)	5,75	6,0	6,25	6,50	6,75	7,0
producibilità (MWh) (**)	6000	7000	8000	9000	10000	11000

(\*) velocità media annua del vento all'altezza del mozzo delle macchine.  
 (\*\*) tiene anche conto della indisponibilità delle macchine e della reciproca interferenza fluidodinamica che possono, globalmente, determinare una riduzione della producibilità teorica di circa il 10-15%.

3

della potenza indica l'energia prodotta dall'aereogeneratore.

Ovviamente per un determinato accoppiamento sito/aereogeneratore, più è estesa questa area e più elevato è l'adattamento di quel generatore alle condizioni anemologiche di quel sito.

### Aereogeneratori di media taglia

Gli esperti del settore eolico ritengono che gli aereogeneratori di media taglia abbiano ormai raggiunto maturità industriale tale da consentire la realizzazione di impianti eolici multimegawatt lì dove le caratteristiche dei siti presentino valori e regimi di ventosità convenientemente adatti a questo tipo di macchine. Un'idea delle caratteristiche delle macchine in questione la si può avere dalla tabella ricavata tramite un inviluppo dei dati tecnici che caratterizzano singoli aereogeneratori appartenenti alla taglia media (schema 1).

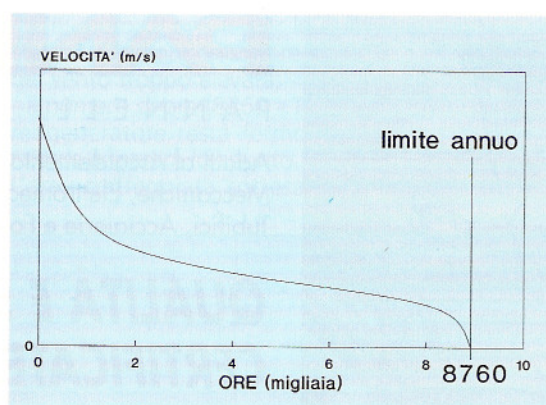
Se ci si riferisce ai dati dello schema 1 ed al grafico che mostra l'andamento tipico della curva di potenza si potrà notare che un aereogeneratore di media taglia richiede per lo "spunto" (inizio della rotazione) - e quindi per iniziare a produrre energia elettrica - una velocità media annua del vento che è collocata (a seconda della potenza e del tipo di macchina) nell'intorno di 5 m/s. Dopo lo spunto la potenza cresce al crescere della velocità del vento e viene raggiunta la potenza massima alla velocità di progetto che è mediamente collocabile nell'intorno dei 12 m/s. Velocità del vento di molto superiori a quella di progetto (più del doppio) costringono al distacco della macchina dalla rete. Dai dati indicati nello schema 1 sopra esposti si deduce che non è ragionevolmente possibile in siti caratterizzati da velocità medie annue del vento più basse di 5 m/s pensare all'impiego di aereogeneratori di media taglia. Uno sfruttamento dell'energia eolica su quel sito è in teoria possibile soltanto - su basi molto più modeste - orientandosi verso aereogeneratori di piccola taglia appositamente studiati perché presentino lo spunto a velocità più basse. Con la media taglia, quindi, ritenuta adatta per l'impianto di centrali multimegawatt, viene ancora più enfatizzato il vincolo territoriale cui gli impianti eolici sono naturalmente soggetti, al punto che diviene essenziale una mappatura della risorsa eolica sul territorio nazionale.

### Risorsa eolica e territorio

L'energia eolica, contrariamente a quella solare, non è disponibile ovunque e pertanto è sfruttabile industrialmente solo in luoghi con determinate caratteristiche di ventosità e disponibilità di aree.

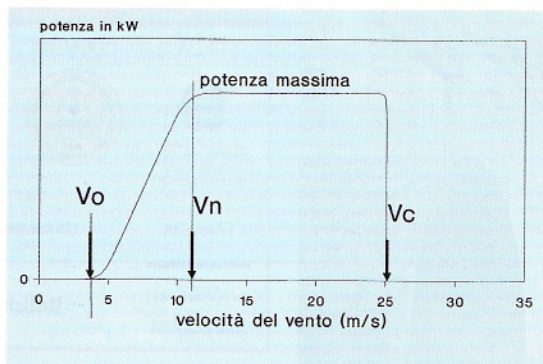
Rispetto ad altre regioni geografiche, la nostra penisola, essendo posta in un bacino chiuso come quello del Mediterraneo e protetta dalla catena alpina al nord e da quella appenninica lungo la propria dorsale, non è caratterizzata da venti regolari di forte intensità; piuttosto si rilevano fenomeni stagionali irregolari in intensità e direzione. Se ad esempio si prende in considerazione la zona appenninica, dove indagini preliminari lasciano presupporre che a quote superiori ai 1000 metri possano essere selezionati siti a ventosità medio alta, si può scoprire che tale ventosità può talvolta es-

Figura 1  
Curva di durata  
su un sito  
(durata del vento)



1

Figura 2  
Aereogeneratori di  
media taglia  
Andamento medio  
tipico curva  
di potenza  
(caratteristica)



2

sere accompagnata da fenomeni di vorticosità o nevosità e formazione di ghiaccio tali da pregiudicare seriamente lo sfruttamento dell'energia eolica presente.

Pertanto se si escludono alcune zone costiere mediterranee e le isole, si ritiene che la nostra penisola disponga solo di alcune aree specifiche adatte allo sfruttamento dell'energia eolica ai fini della produzione di elettricità con aereogeneratori di media taglia.

Una sintesi preliminare - dal solo valore illustrativo e non certo tecnico specifico - di quelle che possono essere ritenute le caratteristiche eoliche medie delle nostre regioni a 50 metri di quota è riportata nella tabella 1.

In via di larga massima si possono ritenere appartenenti:

- al gruppo 1: tutta l'Italia del Nord e quella tirrenica, inclusa la Campania;
- al gruppo 2: tutta l'Italia appenninico-adriatica, inclusa la Calabria, la Sicilia ionica e la Sardegna orientale;
- al gruppo 3: le Puglie, la Sicilia tirrenico-occidentale e la Sardegna occidentale.

Una indagine anemologica condotta localmente, però, si impone ogni qualvolta si miri ad un determinato sito per l'installazione di un nuovo impianto.

Essa potrà essere più o meno lunga e laboriosa quanto più i dati da essa ricavabili sono correlabili con quelli di eventuali stazioni di rilevamento presenti nelle vicinanze.

#### Fattori ambientali connessi ad un'iniziativa nel settore eolico

Un impianto eolico per la produzione di energia

elettrica non rientra tra le tipologie per le quali la normativa italiana e quella europea prevedono la procedura di VIA, in quanto il loro impatto con l'ambiente è di lieve entità.

Ciononostante, la "voglia di verde", senza escludere il senso di responsabilità e la scrupolosità dei promotori, hanno prodotto investigazioni lungo le seguenti direttrici che possono essere assunte come punti di partenza per l'individuazione di fattori ambientali connessi ad un'iniziativa nel settore eolico:

- caratteristiche dell'area su cui l'impianto dovrà sorgere;
- assetto e pianificazione del territorio in cui l'area è inserita;
- uso del suolo ed attività umane connesse;
- ecosistemi (flora, fauna - avifauna in particolare- etc.);
- paesaggio;
- rumore;
- interferenze elettromagnetiche.

Dalle investigazioni sinora condotte risulta che normalmente un impianto eolico non altera un determinato territorio se non per la propria presenza ed è generalmente compatibile anche con quei siti ove possano esistere vincoli quali ad esempio i parchi naturali.

Inoltre è assodato che una centrale eolica è compatibile con i più diversi usi del suolo e non altera minimamente quegli usi già in atto su un determinato sito.

L'impatto paesaggistico è ritenuto limitato e ben assorbibile dal territorio circostante e dalla fauna presente. Le possibili collisioni dell'avifauna con le pale degli aereogeneratori sono numericamente insignificanti (i siti interessati da rotte migratorie o rare specie in estinzione vengono esclusi secondo criteri europei al riguardo).

Talvolta si nota che "l'eleganza peculiare" di questi impianti può costituire attrattiva turistica ulteriore specie nel caso di un insediamento in un parco naturale.

In merito alla produzione di interferenze elettromagnetiche è riconosciuto che gli aereogeneratori non ne sono una fonte e l'ostacolo per i radioservizi è circoscritto all'area d'impianto.

Circa il problema del rumore si può dire che gli aereogeneratori più moderni non alterano sostanzialmente la rumorosità ambientale, anche perché il forte vento di per sé ne innalza i valori di fondo. A tale riguardo si riporta in tabella 2 una scala per un pratico confronto.

#### Fattori chiave per la valutazione di un'iniziativa nel settore eolico

Per valutare la convenienza di un'iniziativa in campo eolico devono essere presi in considerazione un certo numero di fattori chiave che possono essere schematicamente riassunti nei seguenti punti:

##### ● Scelta del sito

C'è una reciproca interdipendenza tra sito disponibile e macchina utilizzabile.

Ciò deriva non solo dai diversi regimi che il vento può assumere in differenti luoghi e dalla diversità delle caratteristiche di aereogeneratori realizzabili,

ma anche dal fatto che la producibilità energetica di una macchina è proporzionale al cubo della velocità del vento: se quest'ultima raddoppia, l'energia elettrica ottenibile aumenta di otto volte. In caso di un impianto "industriale", quindi, una qualificazione anemologica del sito è assolutamente necessaria per valutazioni di convenienza tecnico-economica e di affidabilità e continuità del servizio.

I dati su cui riflettere per una corretta valutazione ed individuazione di potenzialità, ancora prima di impegnarsi in una eventuale qualificazione anemologica di un sito sono:

- **altitudine:** (la velocità del vento entro certi limiti è influenzata dalla quota);

- **superficie disponibile:** (sebbene gli impianti propriamente detti occupino solo qualche percento dell'area su cui sorgono, in realtà sono necessarie ampie superfici onde evitare interferenze aerodinamiche; si ritiene che in condizioni favorevoli non possa essere superata una densità di potenza di 10 MW/km<sup>2</sup>;

- **aspetti topografici:** quali ad esempio gli ostacoli sul terreno circostante (edifici, insediamenti, etc.), orografia (colline, scarpate, scogliere, etc.), andamento altimetrico della zona, etc.;

- **aspetti infrastrutturali:** per esempio accessibilità, viabilità, presenza di rete elettrica, etc.;

- **vincoli esistenti:** non solo ambientali e paesaggistici, ma anche idrogeologici, urbanistici, demaniali, archeologici, militari, di radioservizio, di centri abitati più prossimi, etc.;

- **usi del terreno:** non solo di tipo agricolo ma riferiti ad ogni possibile attività umana in loco;
- **indicatori biologici:** per esempio inclinazione della vegetazione;

- **condizioni ambientali e climatiche particolari:** ove ve ne siano;

- **eventuali stazioni anemologiche nelle vicinanze:** ove ve ne siano;

- **eventuali dati anemologici già esistenti:** ove ve ne siano.

Una volta accertate le potenzialità eoliche di un sito, un altro aspetto fondamentale è rappresentato da un'efficace progettazione del lay-out dell'impianto: le macchine devono essere opportunamente distanziate per evitare le reciproche interferenze fluidodinamiche che ne riducono la producibilità (generalmente si ritiene opportuna una distanza di 4 - 5 volte il diametro delle pale del rotore).

Tutte le fasi sopra menzionate richiedono uno specifico e approfondito know-how pertanto è essenziale esperienza e professionalità, evitando il "do it your-self".

### ● Tecnologia

Esistono innumerevoli tipi di rotori con diverse "solidità" (rapporto tra la superficie delle pale e la superficie del disco spazzato dal rotore). In termini approssimativi si può dire che rotori ad alta solidità (multipale) sono caratterizzati da elevata coppia di spunto e basse velocità.

Per le macchine di media taglia, di più moderna concezione sono più diffusi i rotori a bassa solidità (bipala/monopala) che sono caratterizzati da più elevata velocità di rotazione (minor esigenza

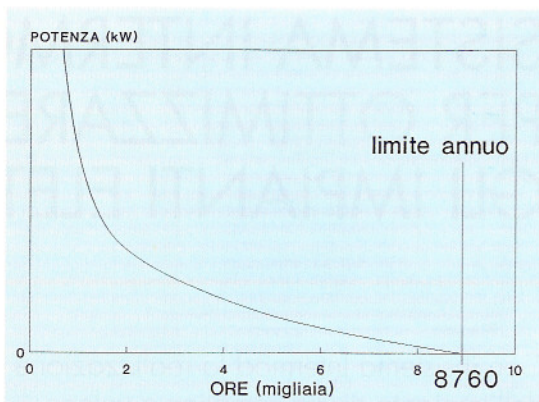
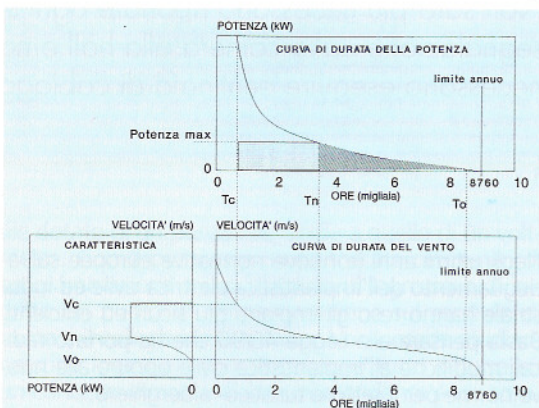


Figura 3  
Curva di durata della potenza

Figura 4



4

di moltiplicatori di giri) e più bassa coppia di spunto.

La filiera di aereogeneratori ritenuta tecnologicamente più sviluppata e commercialmente matura è costituita dalle macchine di media taglia, caratterizzate da potenze tra 200 e 500 kW, diametri del rotore tra 30 e 40 m ed altezza al mozzo intorno ai 30 m.

Le macchine di grande taglia (potenze >1 MW, diametri del rotore ed altezza al mozzo intorno ai 60 m) sono ancora considerate allo stadio di prototipo e sta per iniziare la loro commercializzazione.

### ● Costi

Trattandosi di utilizzo di fonti rinnovabili, si può affermare che il costo di produzione dell'energia elettrica prodotta per via eolica è determinato, per la massima parte, dall'investimento iniziale che consiste nell'acquisizione del sito, degli aereogeneratori, nella realizzazione dell'impianto con le relative infrastrutture.

Per le macchine di media taglia il costo d'investimento specifico può essere attualmente stimato nell'intervallo 2-2,5 milioni per kW installato, a prezzi 95.

I costi annui di esercizio e manutenzione sono abitualmente stimati nell'intervallo 1,5-3% del costo d'investimento.

A scopo esemplificativo, per sottolineare l'influenza degli aspetti sopra indicati, vengono riportati nella tabella 3 i costi previsti di produzione dell'energia elettrica al variare della ventosità del sito, per un impianto con le caratteristiche riportate nello schema 2.