

Energia Eolica

www.fisicaxscuola.altervista.org

Energia Eolica

- Il Vento
- Misura del vento
- Vantaggi & Svantaggi
- Potenza Eolica
- Aerogeneratori (Pale Eoliche)
- Parti costituenti
- Aerogeneratori lenti e veloci
- Micro, mini e grande eolico
- Eolico Off Shore
- Normativa

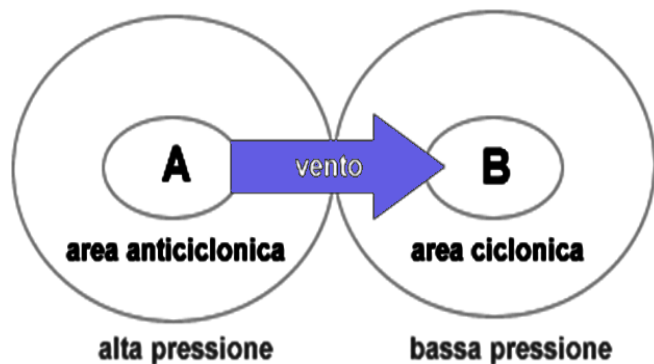
Prerequisiti:

- Pressione Atmosferica

Il vento

1/2

L'**energia eolica** è l'energia ottenuta dal vento ovvero il prodotto della conversione dell'energia cinetica, ottenuta dalle correnti d'aria, in altre forme di energia (meccanica o elettrica).



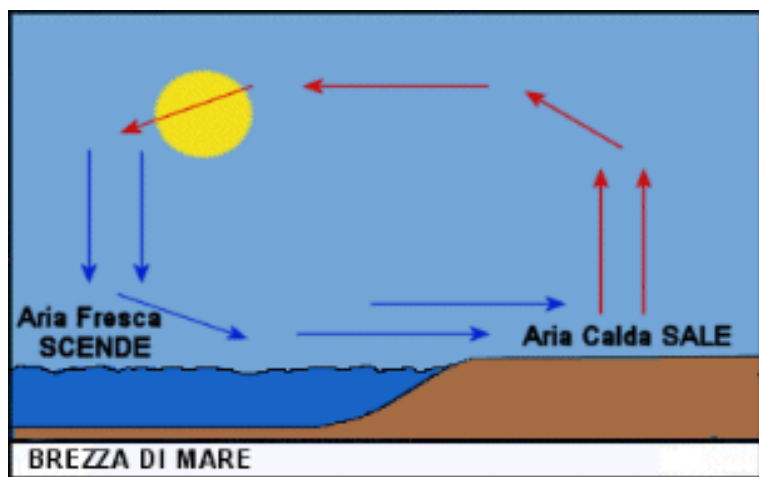
Il **vento** è il movimento di masse d'aria che si spostano da aree ad **alta pressione** (anticicloniche) verso aree a **bassa pressione** (cicloniche).

Il **motore** che innesca questi movimenti è il **calore**, in particolare quello dovuto al sole che irraggia e riscalda, con continuità ma in modo **non omogeneo**, la Terra.

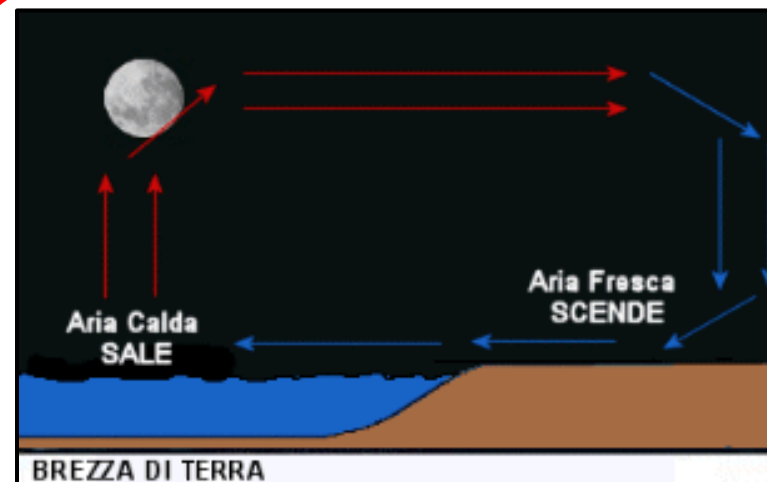
Il vento

2/2

Le superfici marine, avendo una maggiore inerzia termica, tendono a riscaldarsi e a raffreddarsi più lentamente rispetto alla terraferma.



Di giorno il mare si riscalda più lentamente del suolo provocando una brezza dal mare verso la costa.



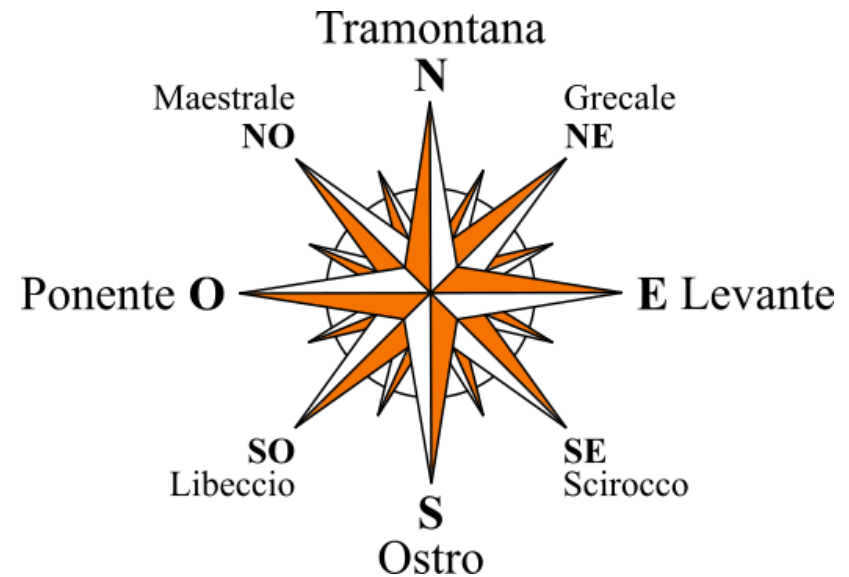
Di notte il mare si raffredda più lentamente del suolo e quindi si avrà una brezza dalla terra verso il mare.

Misura del vento

1/2

Il vento viene classificato in base a:

- Intensità** (m/s, Km/h o nodi);
(1 m/s = 3.6 km/h \approx 1.9 nodi)
- Comportamento nel tempo**
(regolare o irregolare);
- Direzione da cui proviene**
(rosa dei venti).



Lo strumento di misura si chiama **anemometro**.

In base alla velocità, i venti vengono classificati in **dodici gradi di intensità**, scala **Beaufort**, da “calma” ($v < 1 \text{ km/h}$) a “uragano” ($v > 118 \text{ km/h}$).

Vantaggi & Svantaggi

VANTAGGI:

- Disponibile, non inquina, è inesauribile
- Costi relativamente bassi
- Prezzo della fonte quasi costante

SVANTAGGI:

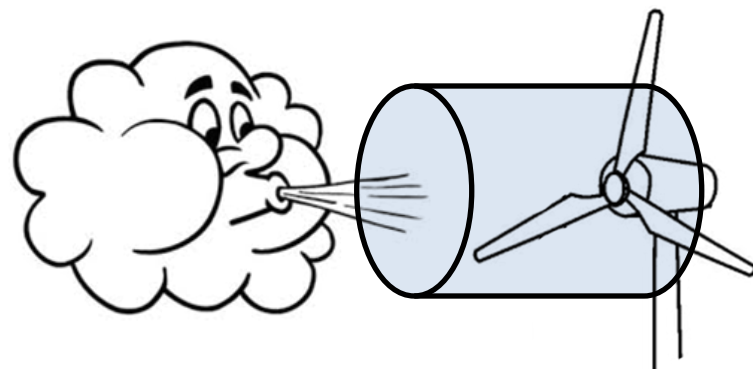
- Irregolarità e incostanza in velocità e direzione
- Impossibilità di accumulazione diretta
- Rumorosità e forte impatto visivo

Potenza Eolica

1/3

Per calcolare la potenza trasportata dal vento consideriamo l'energia cinetica di un volume cilindrico (lunghezza l e area di base A) di aria (densità d) che "colpisce" le pale con velocità v :

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot d \cdot V \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot d \cdot A \cdot l \cdot v^2$$



$$v \text{ costante} \Rightarrow v = \frac{l}{\Delta t} \Rightarrow l = v \cdot \Delta t$$

$$P = \frac{E_C}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \cdot d \cdot A \cdot l \cdot v^2}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{d \cdot A \cdot \Delta t \cdot v \cdot v^2}{\Delta t} = \frac{1}{2} d \cdot A \cdot v^3$$

Potenza trasportata dal vento (legge di Betz)

$$P = \frac{1}{2} \cdot d \cdot A \cdot v^3$$
$$\left\{ \begin{array}{l} A = \text{area spazzata dal rotore } (A = \pi r^2) \\ d = \text{densità dell'aria} \\ v = \text{velocità del vento} \end{array} \right.$$

Per avere un riferimento indipendente si preferisce definire la **potenza specifica per area**, ottenuta dividendo la potenza per l'area interessata:

Potenza Specifica

$$P_s = \frac{\frac{1}{2} \cdot d \cdot A \cdot v^3}{A} = \frac{1}{2} \cdot d \cdot v^3$$

La potenza specifica rappresenta, quindi, la potenza riferita ad un'area unitaria (1m²).

Potenza Eolica

3/3

Non tutta la potenza trasportata dal vento può essere sfruttata per la produzione di energia.

Le pale eoliche riescono ad estrarre (e quindi convertire) solo una frazione dell'energia eolica:

Potenza Estraibile

$$P = C_P \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad \left\{ \begin{array}{l} C_P = \text{coefficiente di potenza (adimensionale)} \\ \text{con } C_P \leq 0,593 = C_{P,MAX} \quad (\text{Teorico}) \end{array} \right.$$

Il coefficiente di potenza C_p dipende dalle velocità del vento a monte del rotore e sul rotore.

Aerogeneratori (Pale Eoliche)

1/2

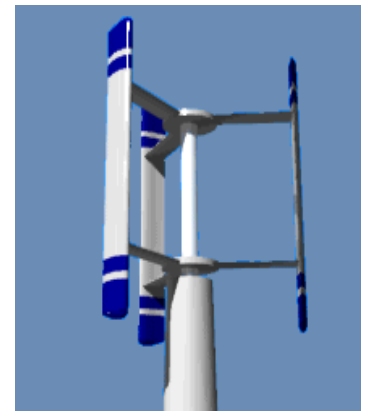
Gli aerogeneratori (Pale Eoliche) trasformano l'energia ottenuta dal vento in altre forme di energia (meccanica o elettrica).

Una prima classificazione delle pale eoliche è in funzione della direzione dell'asse di rotazione.

Asse Orizzontale: sono i più diffusi perché hanno il miglior rendimento. Le pale, quasi sempre tre e con passo variabile, sono generalmente realizzate in fibra di vetro o lega di alluminio, talvolta in fibra di carbonio.

Asse Verticale: sono meno utilizzati per via del modesto rendimento.

Hanno però il vantaggio di non doversi orientare a seconda della direzione del vento.



Aerogeneratori (Pale Eoliche)

2/2

Criteri di classificazione delle pale eoliche, in termini di parametri costruttivi, sono:

- posizione dell'asse di rotazione;
- numero di pale e loro dimensioni;
- taglia e potenza;
- tipologia del sostegno;
- disposizione sul terreno o sul mare.

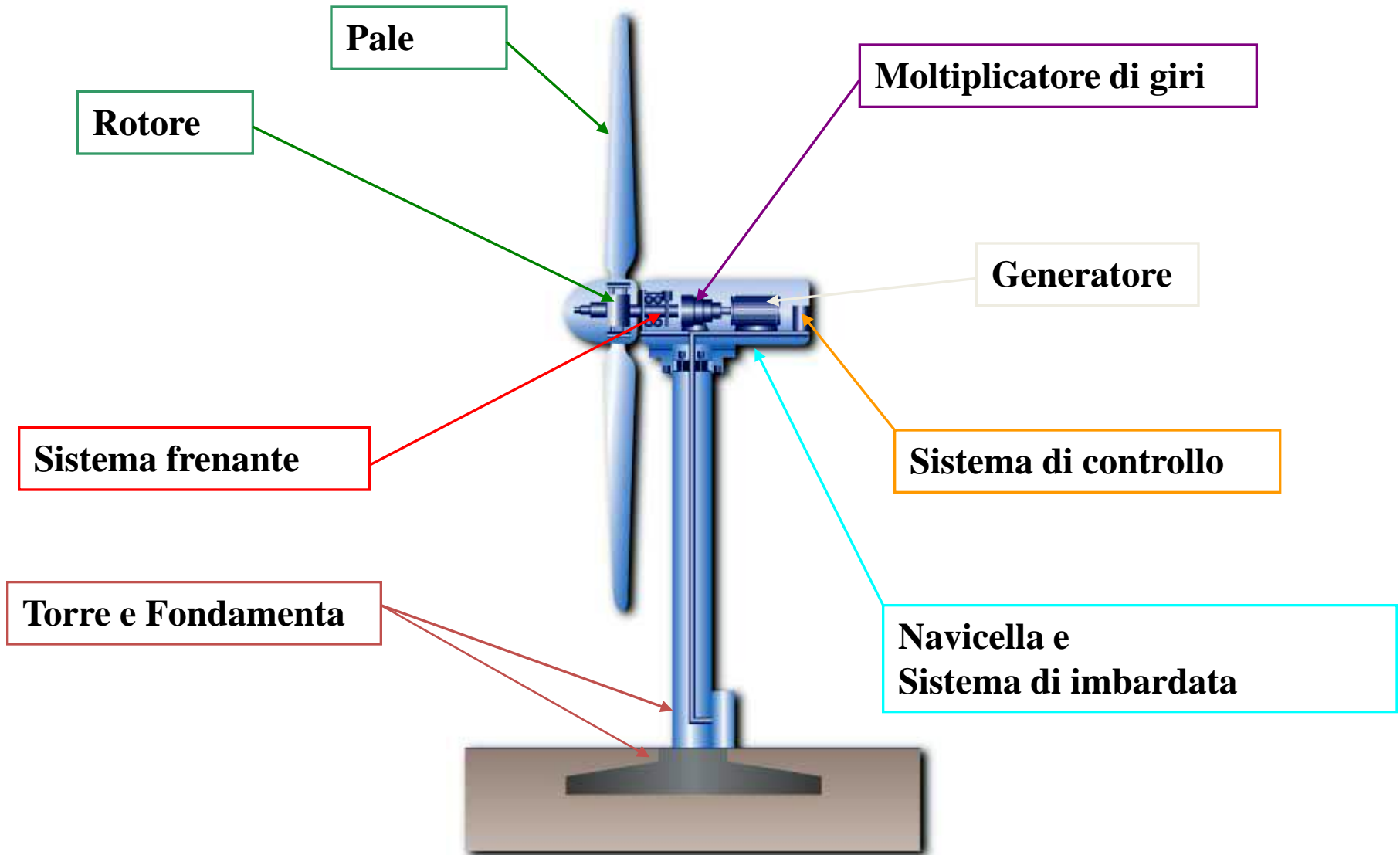
Inoltre sono caratterizzate da una certa inerzia, quindi rimangono ferme per venti deboli e, per motivi di sicurezza, sono disconnesse per venti forti.

Condizioni di funzionamento ottimali:

$$(cut-in) \quad 3-5 \text{ m/s} < v < 20-25 \text{ m/s} \quad (cut-off)$$

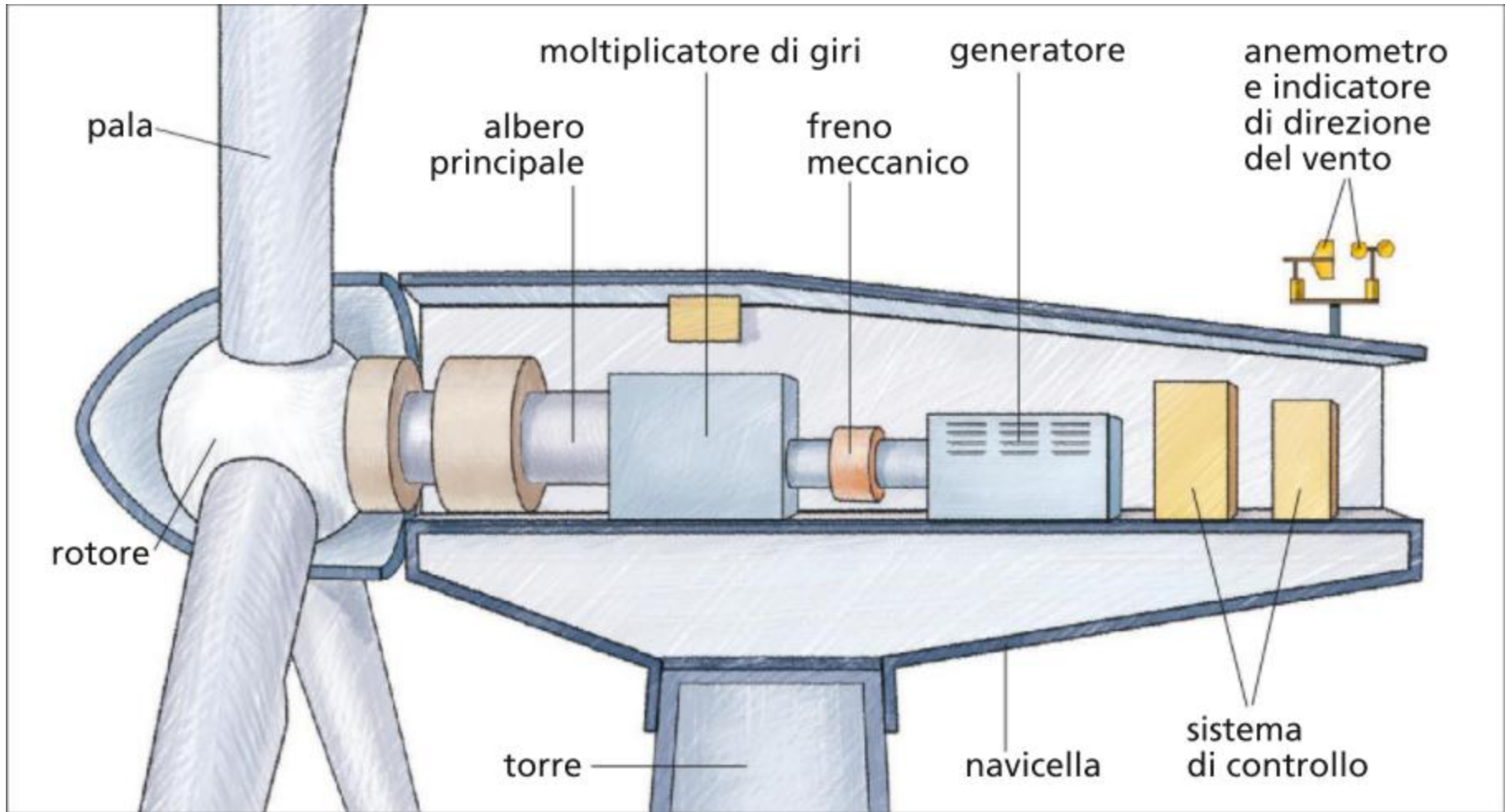
Parti Costituenti

1/2



Parti Costituenti

2/2



Taglie dell'Eolico

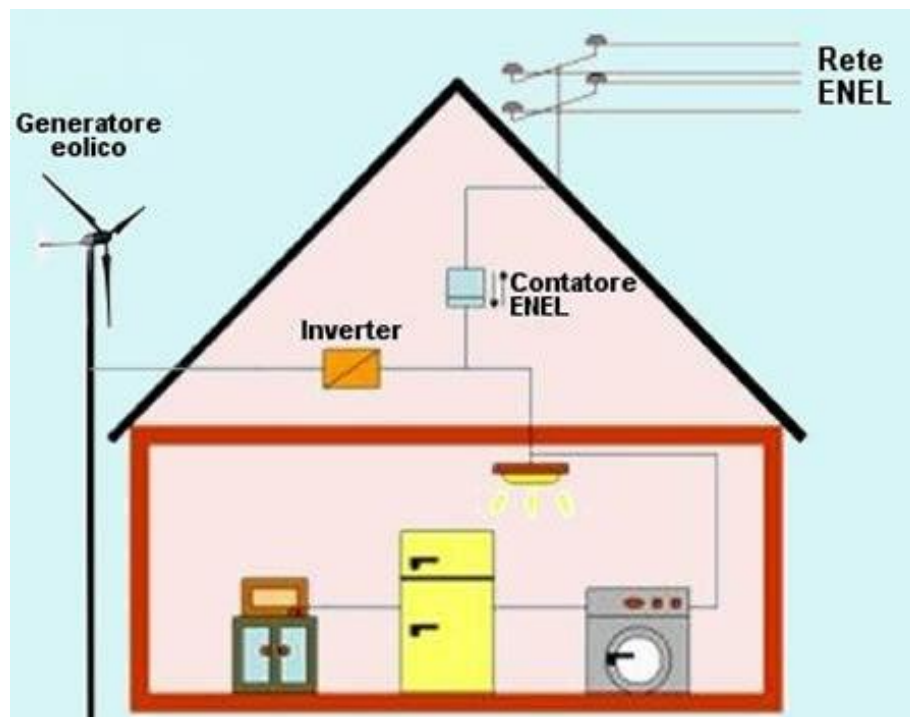
Anche se non esiste una classificazione condivisa delle taglie dell'eolico, esistono 4 grandi famiglie che rispecchiano anche quattro diversi campi di applicazione:

- **Micro eolico**, di potenza fino a 20 kW, adatto per l'autoconsumo di **piccole utenze** isolate o connesse alla rete.
- **Mini eolico**, di potenza compresa tra 20 kW e 200 kW, ideale per l'autoconsumo di **medie utenze** e per scambiare o vendere l'elettricità prodotta.
- **Grande eolico**, con turbine di potenza superiore ai 200 kW, si configura sempre più come una delle scelte strategiche per diversificare le **fonti di approvvigionamento energetico** del nostro paese.
- **Eolico offshore**, consente di sfruttare in maniera ottimale i forti venti che spirano in mare aperto, grazie anche all'utilizzo di grandi generatori di potenza fino a 7 MW.

Micro Eolico

Micro Eolico (P < 20kW)

Macchine ideali per l'alimentazione di utenze residenziali, agricole e industriali di piccole-medie dimensioni. A seconda che siano o meno dotati di un collegamento con la rete elettrica, i micro impianti eolici possono configurarsi come impianti in rete o in isola.



Mini Eolico

Mini Eolico ($20 \text{ kW} < P < 200 \text{ kW}$)

Macchine ideali per l'alimentazione di utenze industriali ed anche commerciali o agricole di una certa dimensione. Il mini eolico è pensato soprattutto per impianti in rete.



Grande Eolico (Wind Farm)

Gli aerogeneratori di maggiore potenza ($P > 200\text{kW}$) sono generalmente aggregati in parchi eolici.

I grandi parchi eolici (*wind farms*), che sono ormai parte integrante del paesaggio contemporaneo, sono vere e proprie centrali elettriche.

Si tratta di impianti costituiti da un numero variabile, anche molto elevato, di generatori eolici di grande taglia connessi tra loro.

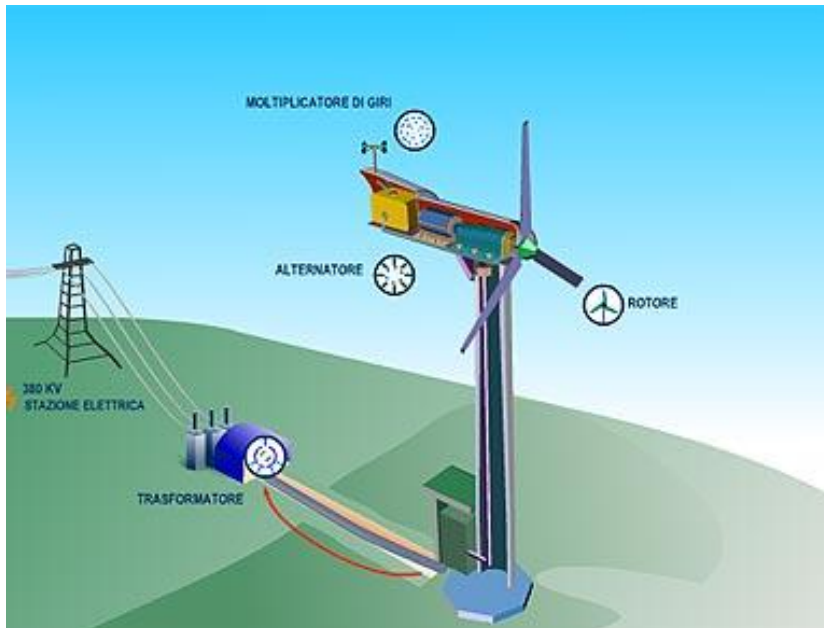


Tehachapi Wind Farm (California - USA)

Grande Eolico (Wind Farm)

La distanza tra ogni generatore è di cinque-dieci volte il diametro delle pale, in modo da evitare addensamenti antiestetici e interferenze nella captazione del vento.

Poiché la fonte energetica è intermittente, installare 100 MW di turbine eoliche non significa avere a disposizione 100 MW di potenza in modo continuo, per disporre di 100 MW effettivi occorre installare 250 MW.



La presenza di sottostazioni elettriche dotate di trasformatore, consente di trasformare la corrente prodotta da media in alta tensione, in modo da poterla immettere nella rete elettrica nazionale.

Wind Farms in Italia (on e off shore)

L'energia eolica in Italia è una fonte di energia rinnovabile in crescita.

È attuata considerando sia una **produzione centralizzata** in impianti da porre in luoghi alti e ventilati, sia un **decentramento energetico**, per il quale i comuni utilizzano impianti di piccola taglia, composti da un numero esiguo di pale (1-3 turbine da 3 o 4 MW), per fornire l'energia necessaria ai propri abitanti.

La regione con il maggior numero di centrali eoliche è il Molise, seguito dalla Campania.

https://it.wikipedia.org/wiki/Energia_eolica_in_Italia

https://it.wikipedia.org/wiki/Parchi_eolici_nel_mondo



Lucito (CB) - 34 MW



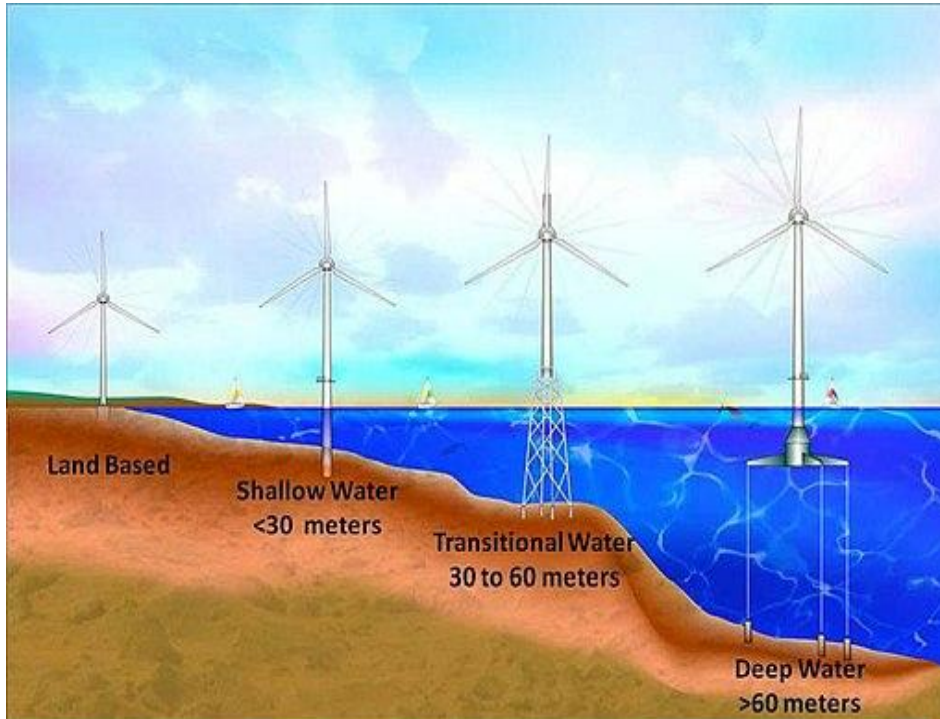
Polero (BN) – 54 MW

Eolica Off-Shore

L'eolico off-shore è l'ulteriore evoluzione della tecnologia.

Le pale eoliche sono collocate in alto mare, sopra dei pali portanti ancorati sul fondale marino.

Sul mare il vento soffia costantemente, grazie al continuo scambio di masse d'aria con la terraferma, e non ci sono ostacoli.



Ciò fa sì che il mare sia il posto ideale per catturare l'energia del vento.

Inoltre, se posti lontano dalla riva, l'impatto sul paesaggio è minimo.

Al momento la tecnologia consente di installare impianti ad una profondità massima di circa 40-60 m ma sono allo studio nuovi ancoraggi e, soprattutto, sistemi galleggianti.

Eolica Off-Shore

In totale, l'Italia dispone di ben **11.686 km²** di superficie marina adatta all'eolico offshore; le zone ideali sono soprattutto quelle dell'Italia centro-meridionale, con in testa la Puglia.

Il potenziale offshore italiano è purtroppo scarso in zone marine a bassa profondità, dove risulterebbe più agevole l'installazione e l'ancoraggio delle turbine al fondale. In ogni caso, installazioni eoliche troppo vicine alla costa potrebbero non essere gradite a causa dell'importante impatto visivo.

Il primo progetto di eolico off-shore nel Mediterraneo, a Taranto, si chiama Beleolico.

Avrà una potenza nominale totale di **30 MW** e si presume che entrerà in funzione nell'autunno del **2018**.

Il progetto prevede dieci turbine da **3 MW** ciascuna, per una produzione annuale prevista di **80 GWh**.

Normativa

- Accordi internazionali (Protocollo di Kyoto)
- Obiettivi UE per la produzione di energia da fonti rinnovabili e la riduzione di gas serra - La direttiva 2001/77/CE
- Norme sul paesaggio - Il d.lgs. 42/2004
- Norme sulla VIA (valutazione di impatto ambientale) - d.lgs. 152/2006
- Norme sulla Rete Natura 2000 - Il DPR 357/97
- Certificati verdi - Il d.lgs. 79/99
- Competenze e procedure autorizzative per la realizzazione di impianti eolici (d.lgs. 387/2003)

CAMPANIA

- Dgr Campania 4 ottobre 2016, n. 533 Criteri per la individuazione delle aree non idonee all'installazione di impianti eolici con potenza superiore a 20 Kw - Attuazione articolo 15, Lr 6/2016
- Lr Campania 5 aprile 2016, n. 6 Collegato alla Lr di stabilità per l'anno 2016 - Servizio idrico integrato e piano dei rifiuti - Impianti eolici e biomasse - Sicurezza nei cantieri - Spazi verdi urbani
- Dossier Regione Campania - Autorizzazione unica: vincoli e divieti

PREREQUISITI

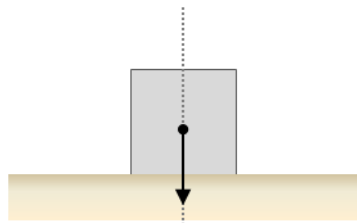
La Pressione Atmosferica

La Pressione

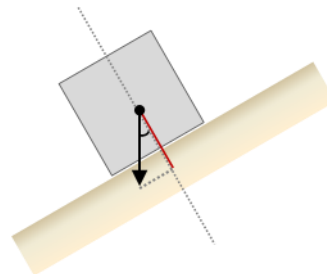
Data una forza F esercitata su una superficie S , si definisce **PRESSIONE** il rapporto fra il modulo della componente ortogonale alla superficie della forza e l'area della superficie su cui la forza agisce:

$$p = \frac{F_{\perp}}{S}$$

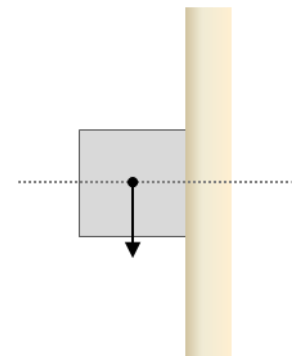
Nel S.I. l'unità di misura della pressione è il Pascal: $Pa = N/m^2$



$$F_{\perp} = m \cdot g$$



$$F_{\perp} < m \cdot g$$

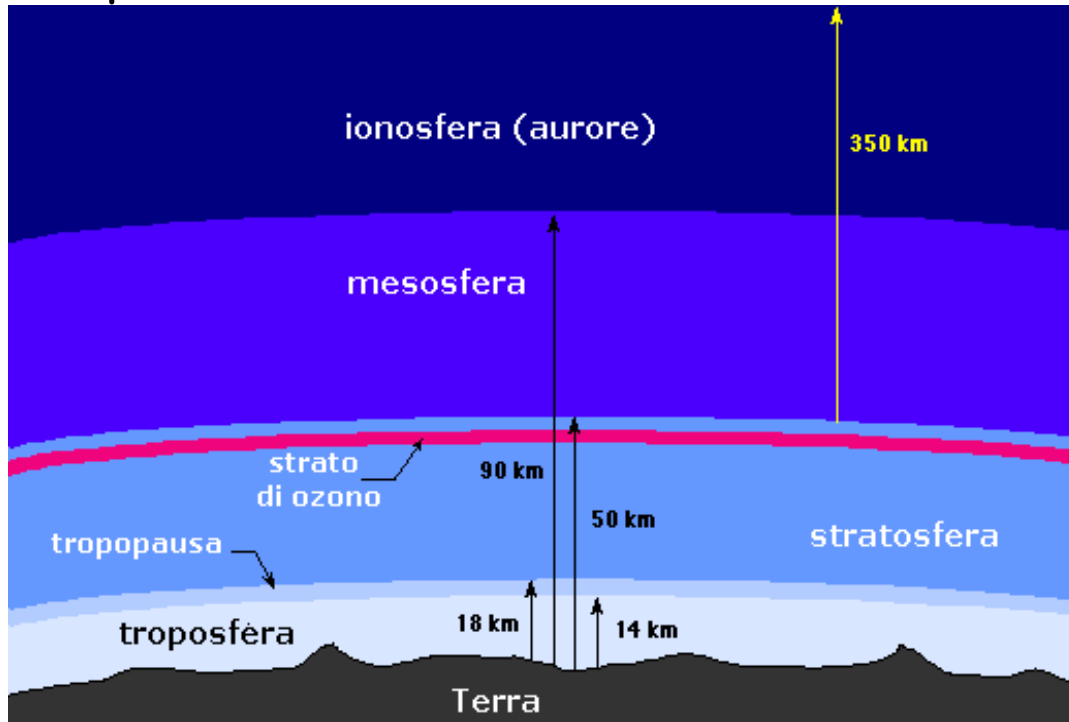


$$F_{\perp} = 0$$

La Pressione Atmosferica

L'atmosfera

L'aria forma attorno alla Terra uno strato gassoso chiamato **atmosfera**, spesso qualche centinaio di chilometri. Essendo attirata verso il basso dal proprio peso, l'aria esercita sulla superficie terrestre una certa pressione: con l'aumentare della quota rispetto il livello del mare la pressione atmosferica decresce in quanto diminuisce lo spessore di atmosfera sovrastante.



Come per una colonna d'acqua, infatti, anche la pressione di una colonna d'aria diminuisce con l'altezza se ci si muove verso l'alto partendo dalla superficie terrestre.

La pressione atmosferica dipende da:

- Altitudine;
- Latitudine;
- Temperatura;
- Umidità.

La Pressione Atmosferica

Le unità di misura

La pressione atmosferica normale o standard è quella misurata alla latitudine di 45° , al livello del mare e ad una temperatura di 15°C , che corrisponde ad una colonna di mercurio di 760 mm.

Nelle altre unità di misura corrisponde a:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ torr (o mmHg)} = 101325 \text{ Pa} \approx 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$101325 \text{ Pa} = 1013,25 \text{ hPa} = 1013,25 \text{ mbar}$$

Unità pratica	Trasformazioni in unità SI
bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
millibar	$1 \text{ mbar} = 10^{-3} \text{ bar} = 10^2 \text{ Pa}$
atmosfera	$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
torricelli	$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm}_{\text{Hg}} = 133,3 \text{ Pa}$ $1 \text{ atm} = 760 \text{ mm}_{\text{Hg}} = 760 \text{ torr} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Bibliografia & Sitografia

- Mirri L- Parente M., Fisica ambientale - Energie alternative e rinnovabili, Zanichelli
- <http://spazioinwind.libero.it/binophone/Meteorologia%20&%20Oceanografia/Venti.pdf>
- <http://www.ecoage.it/eolico-introduzione.htm>
- <http://www.greenstyle.it/storie/eolico>
- www.fermi.mo.it/download/energia.ppt
- <http://www.ecoage.it/vento.htm>
- <http://www.meteomarta.altervista.org/portale/brezza-di-mare-e-di-terra>
- http://159.213.57.103/lamma-webgis/pdf/Generalita_sull%27energia_eolica.pdf
- https://www.arpae.it/cms3/documenti/simc/2012/scala_beaufort_del_vento.pdf
- <http://www.roversatometeo.it/index.php/i-venti/classificazione-del-vento-e-scala-beaufort>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_standard_internazionale_ICAO
- http://www.nextville.it/Funzionamento_e_prestazioni/522/Il_generatore_eolico
- http://www.nextville.it/Tecnologie_rinnovabili/311/Eolico
- <http://atlanteeolico.rse-web.it/>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Energia_eolica_in_Italia
- <http://www.qualenergia.it/articoli/20170616-eolico-shore-parte-la-realizzazione-del-primo-parco-italia>
- <https://windeurope.org/>
- <http://www.qualenergia.it/>
- <http://www.e2ienergiespeciali.it/impianti>

Crediti Immagini

- <http://www.ecoage.it/data/ecoage/vento-bassa-alta-pressione-ecoage.gif>
- <http://www.ecoage.it/data/ecoage/vento-alta-bassa-pressione.gif>
- <http://www.youmath.it/images/stories/AAArisposte/17-18/rosa-dei-venti.png>
- <https://reformaminera.files.wordpress.com/2009/11/energia-eolica.jpg?w=570>
- https://http2.mlstatic.com/S_518115-MLV25161194025_112016-O.jpg
- <https://it.wikipedia.org/wiki/File:ProfiloalareAC.gif>
- <http://www.firstrule.pt/imagens/picture28.jpg>
- <https://windeurope.org/wp-content/uploads/images/about-wind/dailywind/daily-wind-first-half-2017.jpg>
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Foundations_NREL.jpg
- http://www.e2ienergiespeciali.it/wp-content/uploads/San_Giorgio.jpg
- http://www.e2ienergiespeciali.it/wp-content/uploads/Lucito_01.jpg
- http://retemeteviterbo.altervista.org/brezza_di_mare.gif
- http://www.meteoostia.it/immagini/Meteorologia/brezza_di_terra.gif
- Mirri L- Parente M., Fisica ambientale - Energie alternative e rinnovabili, Zanichelli