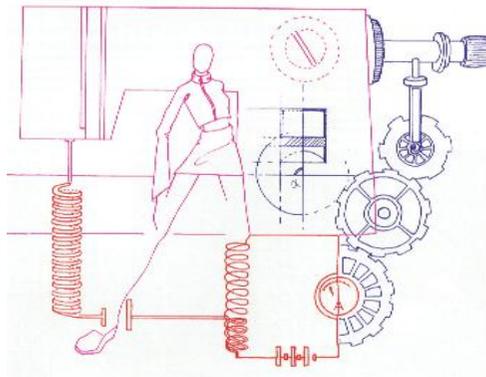


IPIA C.A. DALLA CHIESA – OMEGNA
PROGETTO ALTERNANZA SCUOLA – LAVORO
classi 4° e 5° MANUTENTORI



PRODUZIONE DI ENERGIA DA
FONTI RINNOVABILI

RISPARMIO ENERGETICO

prof. Massimo M. Bonini

SISTEMI EOLICI

ENERGIA DAL VENTO



PARLIAMO DI

- Il vento
- L'energia eolica
- Cenni storici
- Tipi di impianto
- Problematiche ambientali connesse all'eolico
- Mini e microeolico domestico

- Il termine *eolico* deriva da Eolo (in greco antico Αἴολος), il dio dei venti nella mitologia greca.



Questo disegno è stato realizzato da GIP per www.cartoonstime.com.
Non è consentito pubblicare questa immagine su altri siti internet, blog o social network.

PRESSIONE ATMOSFERICA

- **La pressione atmosferica è** la pressione presente in qualsiasi punto dell'atmosfera terrestre. Nella maggior parte dei casi il valore della pressione atmosferica è equivalente alla pressione idrostatica esercitata dal peso della colonna d'aria presente al di sopra del punto di misura.

La pressione atmosferica è influenzata dalla temperatura dell'aria. Diminuisce con l'aumentare della temperatura poiché l'atmosfera terrestre, riscaldandosi, tende a dilatarsi diventando meno densa e più leggera a parità di volume occupato. Al contrario, quando l'aria si raffredda aumenta la propria densità ed il maggiore peso della massa d'aria aumenterà la pressione atmosferica. Localmente, con tempo stabile, la pressione atmosferica varia nell'arco delle 24 ore anche a seconda delle variazioni di temperatura tra il giorno e la notte.

I valori locali della pressione, considerati a se stanti, non hanno significato di prognosi; lo hanno invece se confrontati con i valori simultaneamente rilevati nelle zone adiacenti per mettere in risalto le aree di bassa pressione (brutto tempo) o di alta pressione (bel tempo).

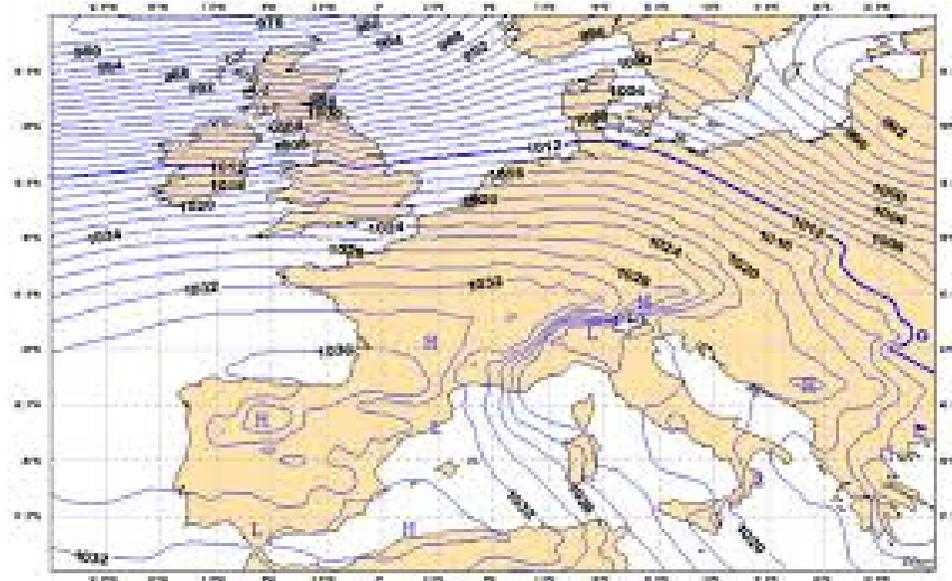
Localmente solo cambiamenti repentini dei valori di pressione (ovvero cambiamenti di pressione più rapidi rispetto a quelli relativi alla temperatura) sono indice di modifiche sostanziali delle condizioni meteorologiche.



VENTO

- In genere con tale termine si fa riferimento alle correnti aeree di tipo orizzontale, mentre per quelle verticali si usa generalmente il termine correnti convettive
- In presenza di due punti con differente pressione atmosferica si origina una forza, detta *forza di gradiente*, che agisce premendo sulla massa d'aria per tentare di ristabilire l'equilibrio.

- In genere il vento soffia parallelamente alle isobare, ma alle basse quote (meno di 600 m) è necessario tenere anche conto dell'azione dell'attrito con la superficie terrestre, che è in grado di modificare la direzione del vento di circa 10° sul mare e $15-30^\circ$ sulla terra rispetto a quella di base, rendendo il percorso dall'alta pressione alla bassa pressione più diretto.



- La velocità del vento, o meglio la sua intensità, dipende dal *gradiente barico*, cioè dalla distanza delle isobare, e si misura con uno strumento chiamato anemometro e può essere espressa in:
 - m/s metri/secondo
 - km/h chilometri/ora
 - Nodi (miglia/ora)
- L'intensità del vento aumenta in media con la quota per via della diminuzione dell'attrito con la superficie terrestre e la mancanza di ostacoli fisici quali vegetazione, edifici, colline e montagne. Il complesso dei venti e delle correnti aeree atmosferiche dà vita alla circolazione atmosferica.



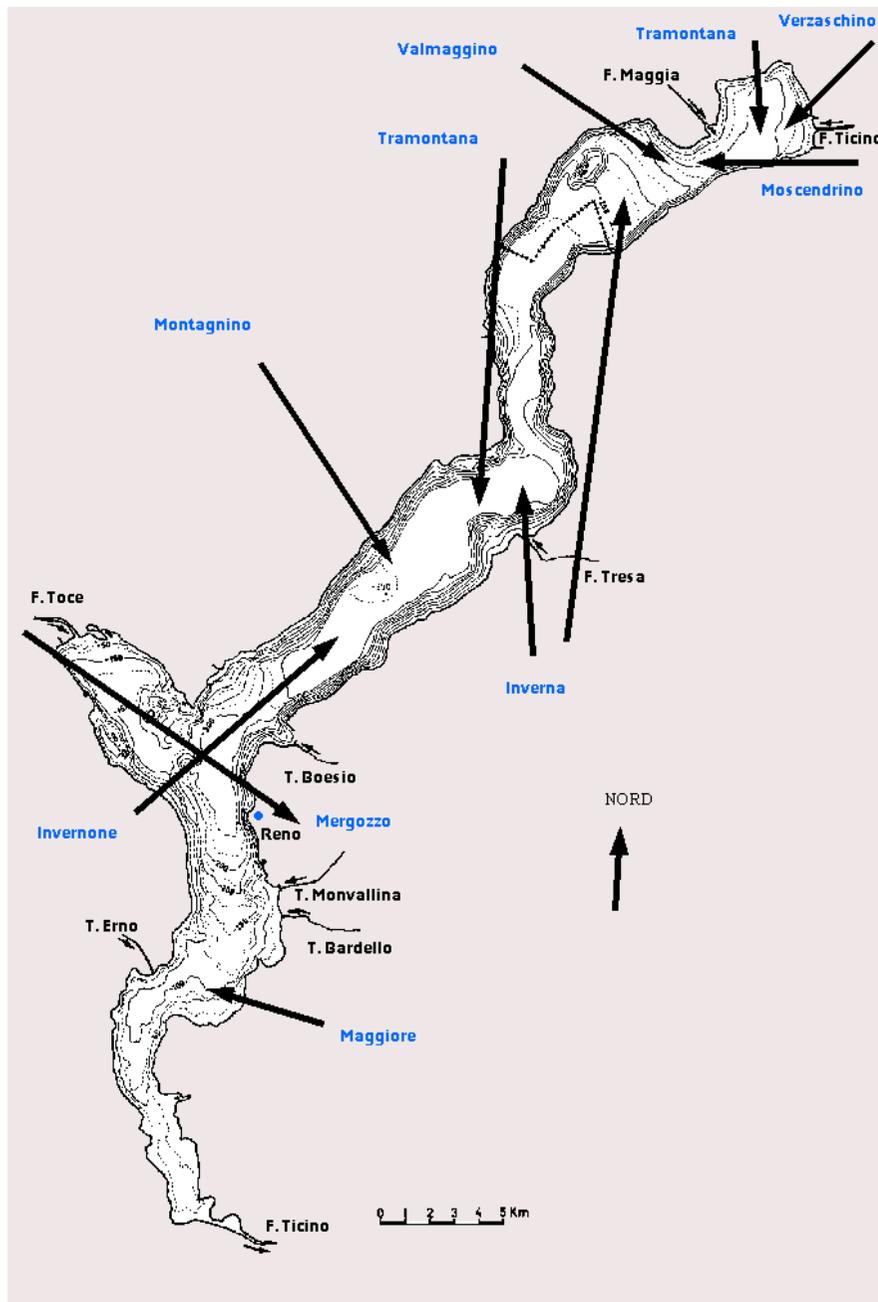
Anemometro portatile e
fisso



CLASSIFICAZIONE DEI VENTI

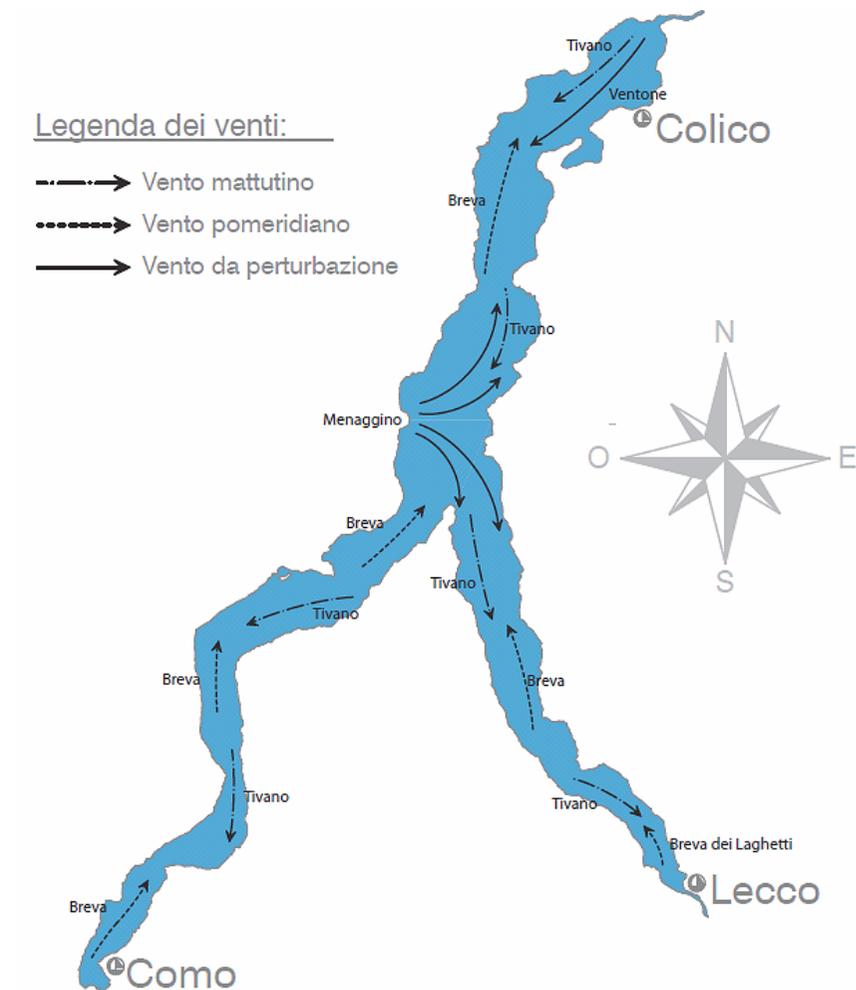
- I **venti costanti** sono quelli che soffiano tutto l'anno sempre nella stessa direzione e nello stesso senso. Tra questi vi sono gli alisei, i venti extratropicali e i venti occidentali. Gli alisei si generano nelle zone anticicloniche tropicali e convergono verso quelle equatoriali. I venti extratropicali spirano nelle fasce equatoriali dove, per effetto del riscaldamento, si formano masse ascendenti di aria calda e umida. I venti occidentali spirano tra i 35° e i 60° e da sud-ovest a nord-est nell'emisfero boreale e da nord-ovest a sud-est in quello australe.

- Si dicono **venti periodici** quelli che invertono periodicamente il loro senso. Il periodo può essere stagionale come nel caso dei monsoni o anche semplicemente diurno come nel caso delle brezze.
- Tra le brezze si riconoscono tre tipologie: brezze di mare e di terra, di lago e di riva e brezze di monte e di valle. Nelle prime due il vento soffia dalla superficie d'acqua verso terra durante il giorno e sul percorso inverso durante la notte. Le brezze di monte e di valle soffiano invece dalla valle alla montagna durante il giorno e dalla montagna alla valle durante la notte.

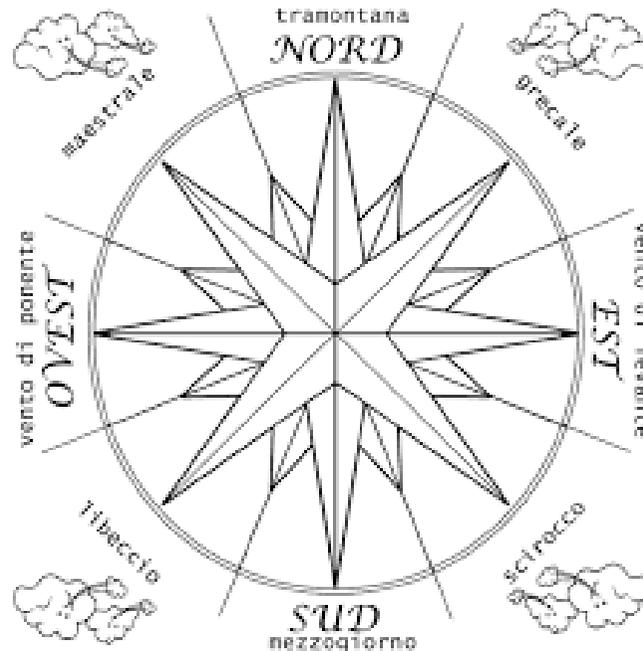


Legenda dei venti:

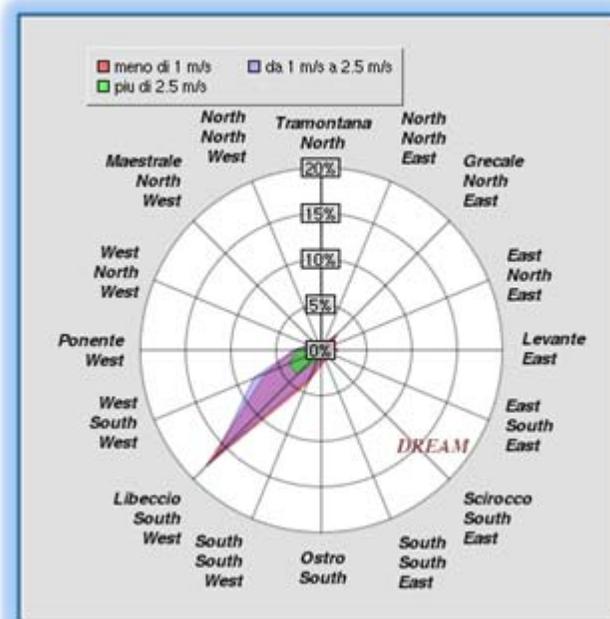
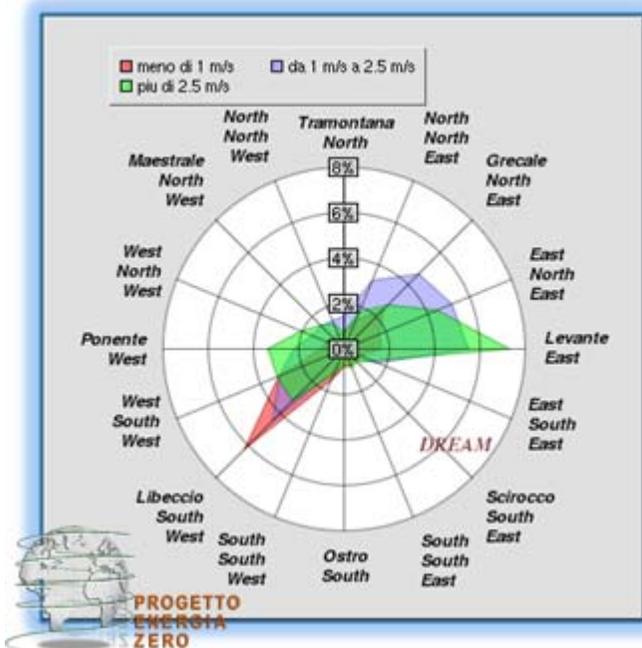
- Vento mattutino
- - - - -→ Vento pomeridiano
- Vento da perturbazione



- I **venti locali**, tipici delle zone temperate dove soffiano irregolarmente quando si vengono a creare zone cicloniche e anticicloniche sono moltissimi e spesso legati alla nomenclatura locale, a seconda delle zone in cui si generano.
- Nell'area interessata dal mar Mediterraneo si usa classificare i venti a seconda della direzione da cui provengono sulla base schematica dettata dalla Rosa dei venti.

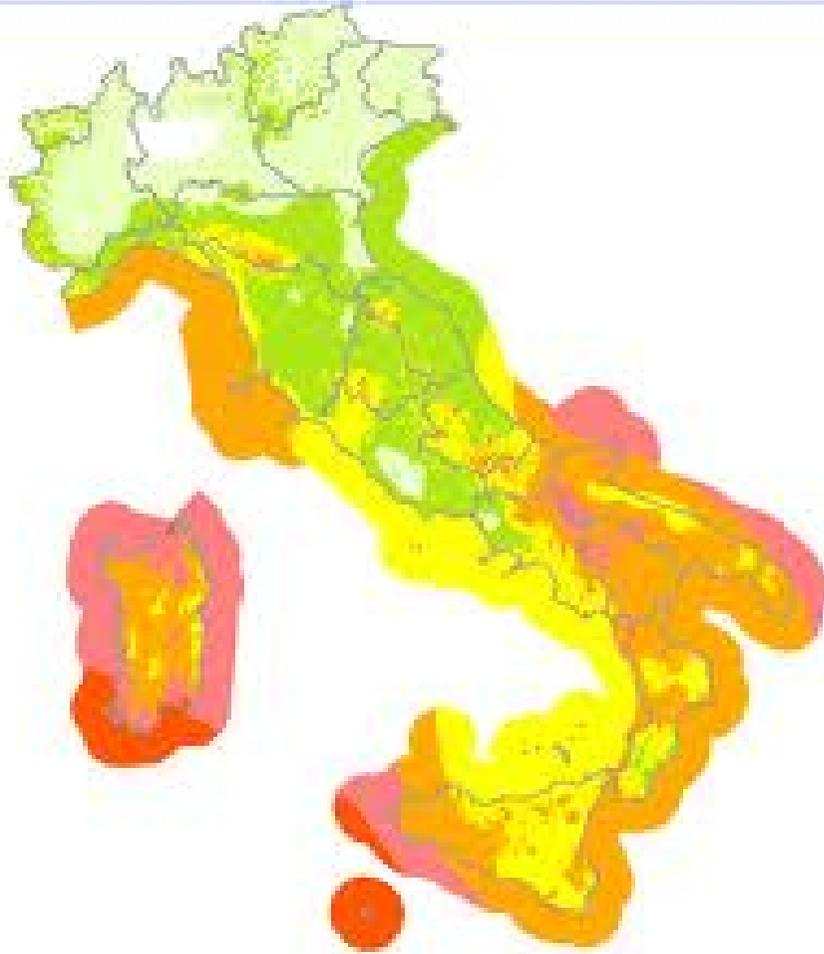


- Un'altra importante classificazione dei venti provenienti dal largo (foranei), relativa alle condizioni locali di ciascun luogo al quale ci si voglia riferire (singole città o regioni, o macro-aree ancora più estese), è la seguente:
 - " **venti regnanti**": presentano un'alta frequenza di apparizione (almeno il 50%).
 - " **venti dominanti**": sono caratterizzati da alte velocità (almeno 20 m/s).
- I venti che eventualmente presentassero contemporaneamente le due caratteristiche di alta frequenza e velocità, sono detti **prevalenti**.
- La direzione, la durata e la velocità del vento sono in generale rappresentati su diagrammi polari.



- Queste considerazioni un tempo erano valutate con grandissima attenzione e tenute in conto non solo per quanto riguarda gli aspetti della navigazione o la protezione di determinate colture agricole, ma persino nella costruzione delle città.
- Non sono rari gli esempi di interi centri storici di molte città, soprattutto costiere, che portano nella disposizione planimetrica dei loro edifici il segno indelebile di questi criteri costruttivi.
- Tipica è la disposizione urbanistica detta "*a lisca di pesce*", caratteristica dei centri storici di molte città costiere che si affacciano sull'Adriatico meridionale, da Bisceglie fino a Monopoli, tra i quali quello di Molfetta è il più rappresentativo.

ATLAEOLICO



Ventosità del territorio nazionale

ENERGIA SVILUPPATA DAL VENTO

- Energia eolica è l'energia cinetica prodotta dall'aria in movimento, e solitamente prende il nome di vento. Il totale di energia eolica che fluisce attraverso una superficie immaginaria A durante il tempo t è:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(Avt\rho)v^2 = \frac{1}{2}At\rho v^3,$$

- dove ρ è la densità dell'aria, v è la velocità del vento; Avt è il volume di aria che passa attraverso A (che è considerato perpendicolare alla direzione del vento); $Avt\rho$ è quindi la massa m che passa per l'unità di tempo. Notare che $\frac{1}{2}\rho v^2$ è l'energia cinetica dell'aria in movimento per unità di volume.

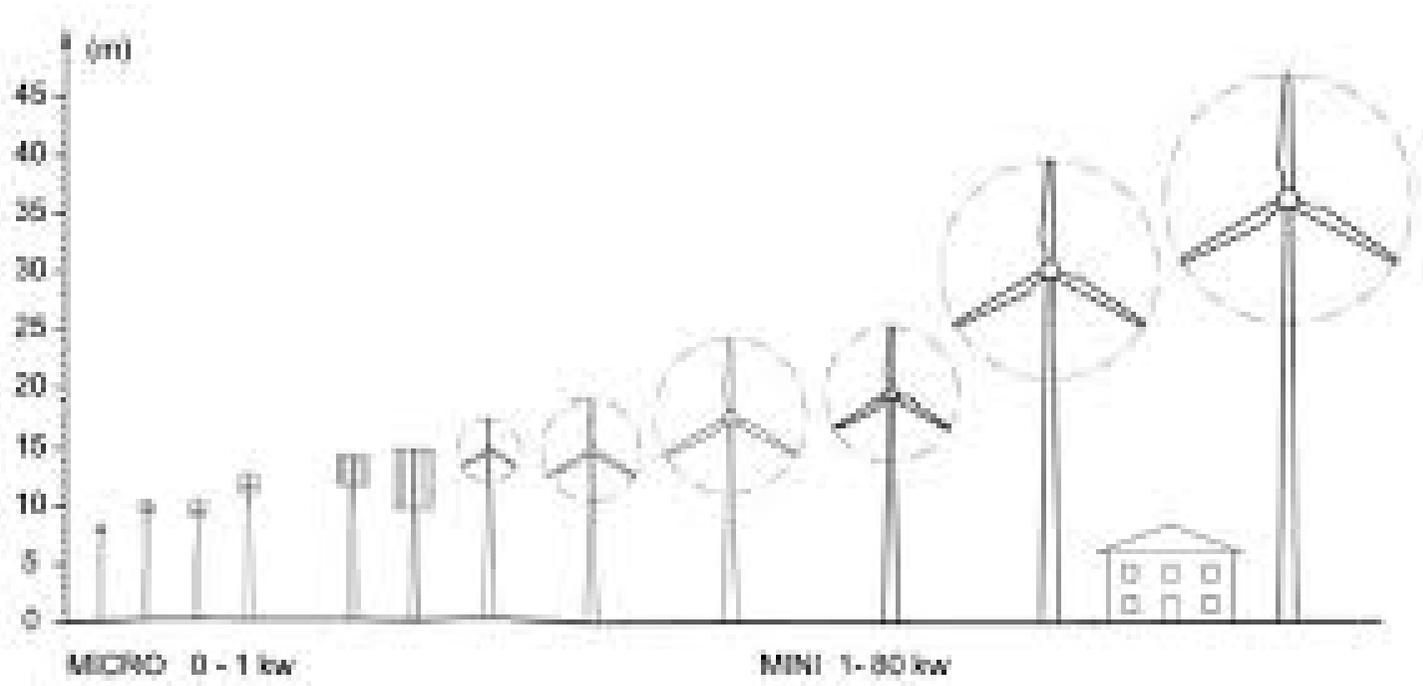


Figura 1 – Potenze e dimensioni delle turbine di piccola taglia

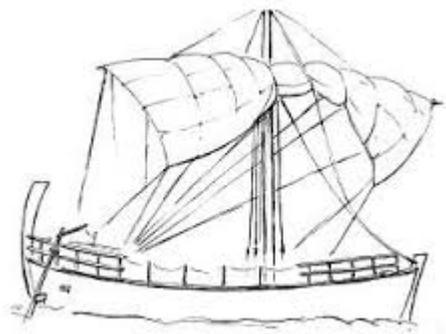
A – area delle turbine eoliche

- La potenza è l'energia per unità di tempo, per l'energia eolica incidente su A (ad esempio uguale all'area del rotore di una turbina eolica) è:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} A \rho v^3.$$

- L'energia eolica in una corrente d'aria aperta è quindi proporzionale alla terza potenza della velocità del vento: la potenza disponibile aumenta quindi di otto volte se la velocità del vento raddoppia. Turbine eoliche per la produzione di energia elettrica devono quindi essere particolarmente efficienti a una maggiore velocità del vento.
- L'energia eolica in una corrente d'aria aperta è quindi proporzionale alla terza potenza della velocità del vento: la potenza disponibile aumenta quindi di otto volte se la velocità del vento raddoppia. Le turbine eoliche per la produzione di energia elettrica devono quindi essere particolarmente efficienti a una maggiore velocità del vento.

CENNI STORICI



Imbarcazioni a vela



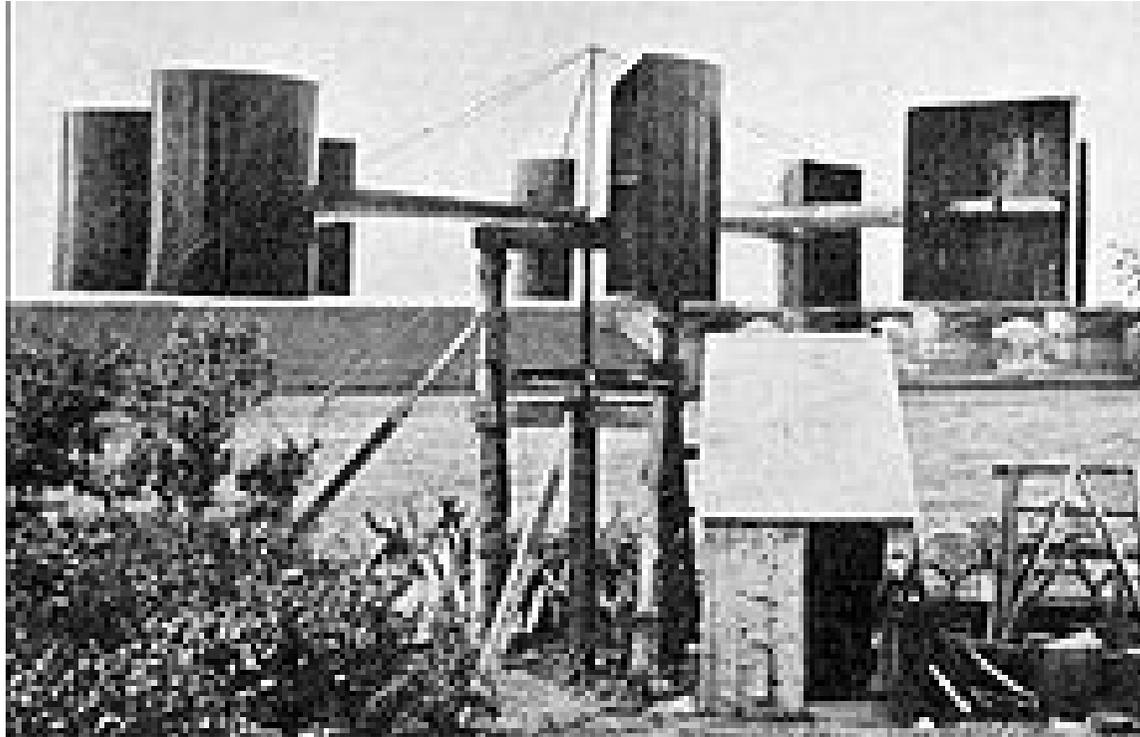
Pompa a vento



Mulini a vento



- Nel luglio 1887, un accademico scozzese, il professor James Blyth, costruì una turbina eolica nel giardino della sua casa delle vacanze a Marykirk e utilizzò l'energia elettrica prodotta per ricaricare gli accumulatori che alimentavano le luci nel suo *cottage*. I suoi esperimenti portarono, nel 1891, alla formalizzazione di un brevetto.
- Durante l'inverno del 1887-1888, l'inventore statunitense Charles F. Brush produsse energia elettrica utilizzando un generatore alimentato dal vento che fornì la sua casa e il suo laboratorio fino al 1900.
- Nel 1890, lo scienziato e inventore danese Poul la Cour, costruì turbine eoliche per produrre energia elettrica, che venne poi utilizzata per la produzione di idrogeno e ossigeno per elettrolisi. La Cour fu il primo a capire che la rotazione veloce delle turbine con un minor numero di pale del rotore era la soluzione più efficiente nella produzione di energia elettrica. Nel 1904 fondò la *Society of Wind Electricians*.



La turbina di Blyth - 1887

- Verso la metà degli anni '20, alcune aziende come la *Parris-Dunn* e la *Jacobs Wind-electric* realizzarono turbine tra gli 1 e i 3 kilowatt che trovarono una larga diffusione nelle grandi pianure dell'Ovest degli Stati Uniti. Tuttavia, a partire dagli anni 1940 la domanda sempre crescente di potenza elettrica e la diffusione di una rete di distribuzione più capillare, rese questi piccoli generatori obsoleti.

- Nel 1931 'l francese, George Darrieus, ottenne il brevetto per la turbina eolica Darrieus che utilizzava profili alari per generare la rotazione e a Yalta, in Unione Sovietica, fu installato un prototipo da 100 kW di generatore eolico orizzontale.
- Nel 1956 Johannes Juul realizzò una turbina da 200 kW a tre pale a Gedser in Danimarca. Questo progetto influenzò il design di molte turbine successive.
- Nel 1975 il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti d'America ha finanziato un progetto per sviluppare turbine eoliche a grande scala. Il progetto si è concretizzato con la realizzazione di tredici turbine sperimentali da parte della NASA che hanno aperto la strada per gran parte della tecnologia utilizzata oggi.
- Da allora, le turbine hanno aumentato notevolmente le loro dimensioni con la Enercon E-126 in grado di erogare fino a 7,5 megawatt (MW).



L'aerogeneratore **Enercon E-126** è il più grosso e potente modello di turbina a vento prodotto nel mondo fino al 2009. Viene costruito dal produttore tedesco Enercon. Con la gondola del generatore a 135 m di altezza, un diametro del rotore di 126 m e un'altezza totale di 198 m, questo mastodontico modello può generare fino a 7 MW di energia per turbina.

ENERGIA DAL VENTO

- Quella eolica è **la fonte di generazione elettrica che sta registrando il maggior successo** al mondo. Nel decennio 2000-2009 la potenza eolica installata ha conosciuto tassi di sviluppo straordinari, passando da poco più di 10.200 MW a circa **130.000 MW**. E le prospettive per il futuro sono ancor più incoraggianti: si stima infatti che le centrali eoliche raggiungeranno globalmente una potenza installata di **425.000 MW nel 2015**. (fonte Enel)

PARCHI ON SHORE e NEAR SHORE

- Si tratta dell'eolico più diffuso, anche per motivi storico-tecnologici. Le caratteristiche dell'eolico on-shore sono tipiche di impianti posizionati su località in genere distanti almeno 3 km dalla più vicina costa, tipicamente su colline, alture o comunque in zone aperte e ventose. Questi impianti coprono un range di potenze prodotte molto esteso (da 20 Kw a 20 MW) e possono essere connessi sia alla rete "pubblica", per esempio l'ENEL, sia che su una rete isolata per alimentare utilizzatori locali. Una delle configurazioni più diffuse è la "grid-connected"
- Nel caso del near-shore si tratta invece di impianti distanti meno di 3 Km dalla costa, tipicamente sull'entroterra, oppure sul mare ma con distanze che non superano i 10 km dalla costa. Il sottoinsieme che è installato sulla terraferma ha caratteristiche simili alla on-shore in termini di range di produzione (da 20 Kw a 20 MW) mentre l'insieme in ambiente marino tipicamente garantisce potenze prodotte nell'ordine dei MW in configurazione "grid-connected"

PARCHI OFF SHORE

- Con l'espressione "*eolico off-shore*" si intendono gli impianti installati ad alcune miglia dalla costa di mari o laghi, per meglio utilizzare la forte esposizione alle correnti di queste zone.
- Le turbine *offshore* galleggianti potranno essere installate anche nei siti marini molto profondi. Imitando la tecnologia delle piattaforme petrolifere, le turbine eoliche galleggianti vengono installate in mare aperto e sfruttano i venti costieri. Il progetto usa un sistema di ancoraggio a tre punti (cavi in acciaio ancorati al fondale), simile a quello utilizzato nelle piattaforme petrolifere



On shore

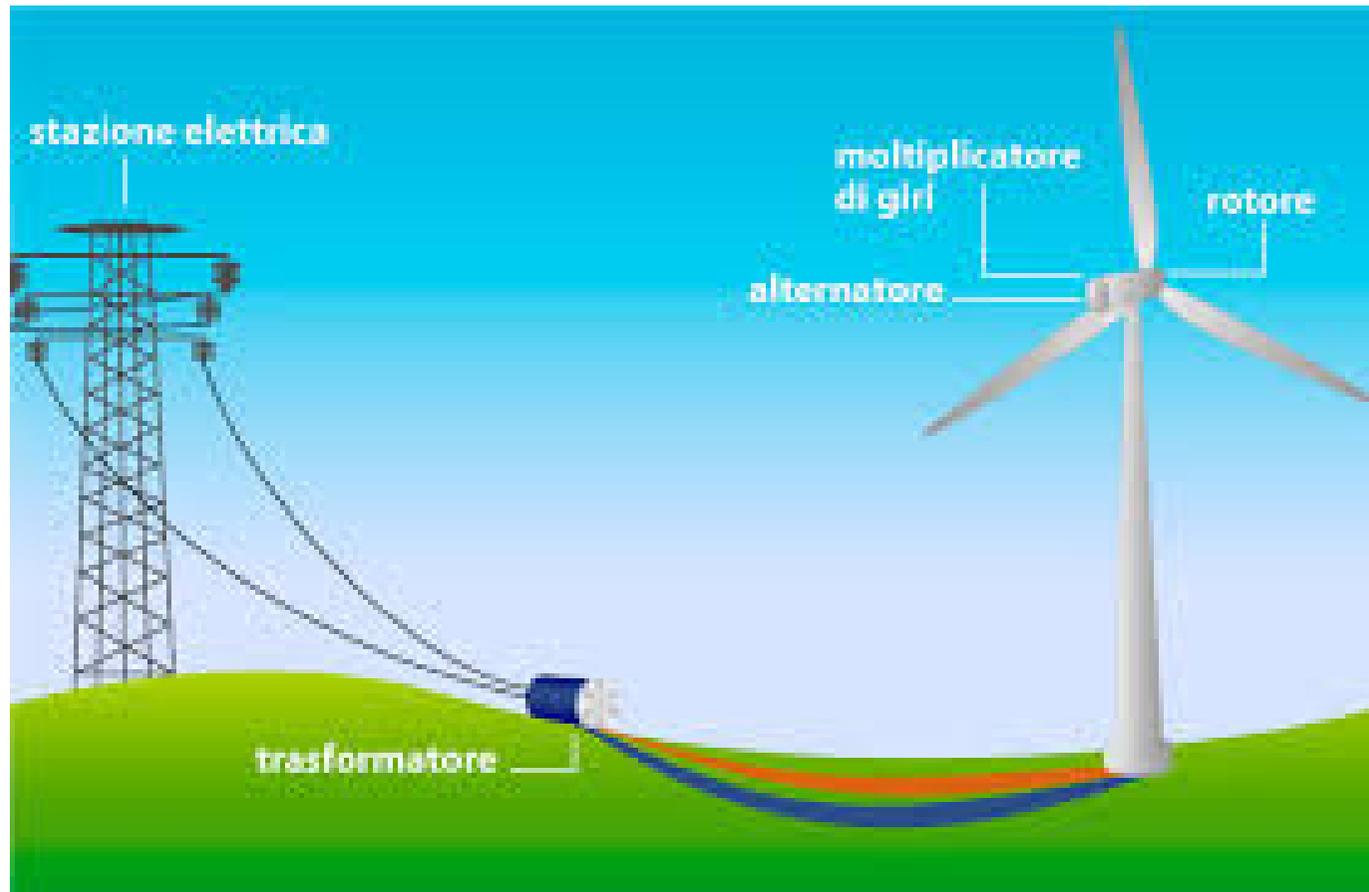


Off shore

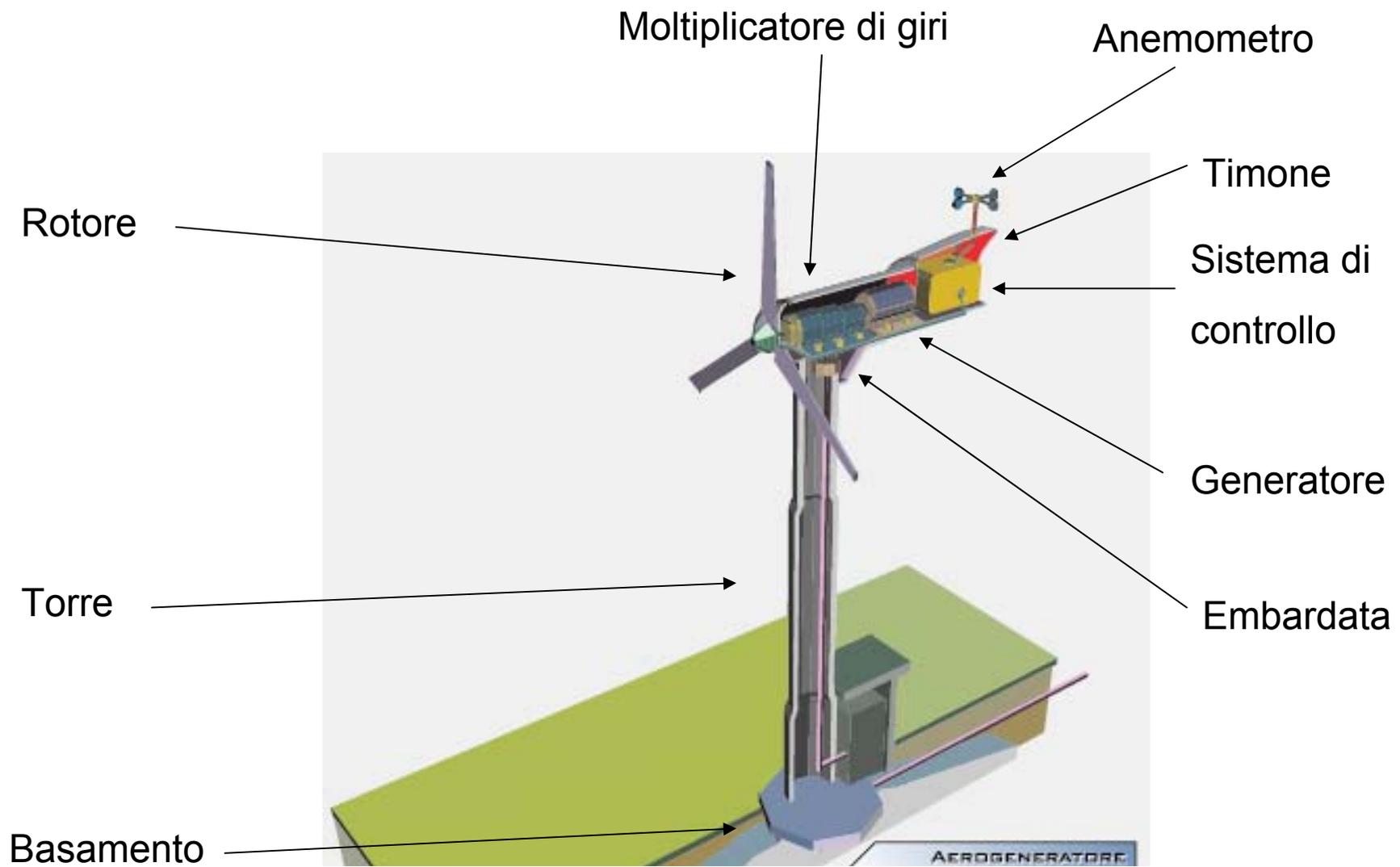


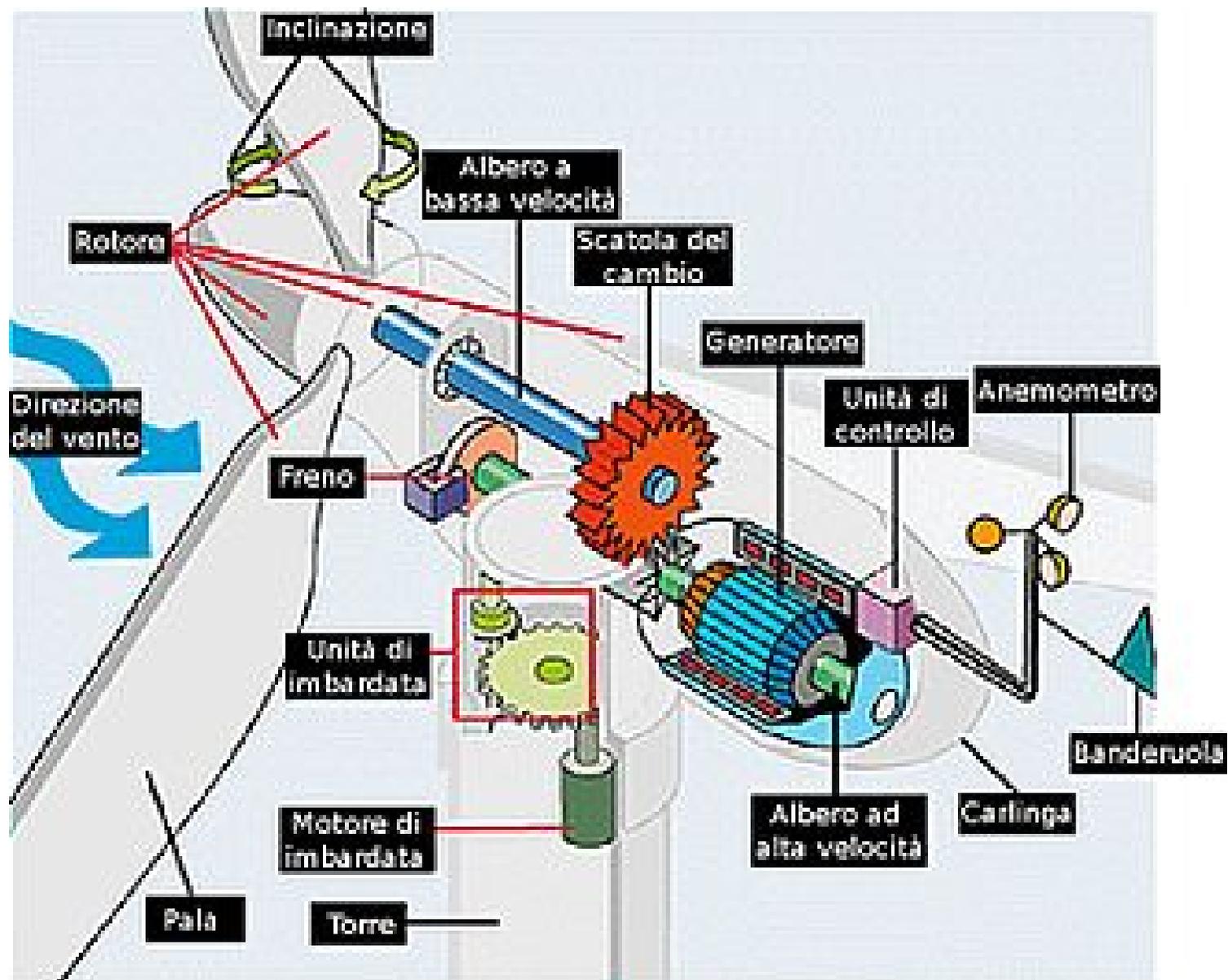
Near shore

AEROGENERATORI ad asse orizzontale



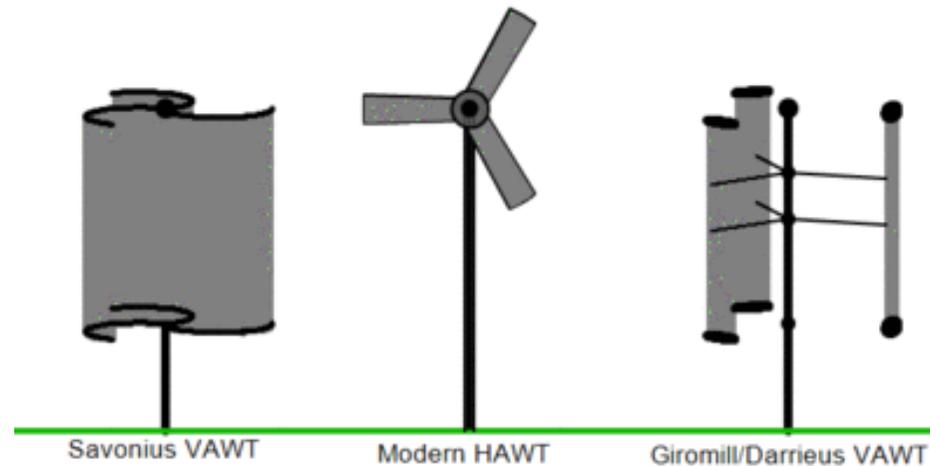
- La tipica configurazione di un aerogeneratore è costituita da una struttura metallica di sostegno del tipo a traliccio o tubolare che porta alla sua sommità la gondola o navicella; nella gondola sono contenuti l'albero di trasmissione lento, il moltiplicatore di giri, l'albero veloce, il generatore elettrico e i dispositivi ausiliari. All'estremità dell'albero lento e all'esterno della gondola fissato il rotore, costituito da un mozzo, sul quale sono montate le pale. L'aerogeneratore funziona già con un vento di circa 3 m/s (10 km/h) e raggiunge la massima potenza quando arriva a circa 17 m/s (50÷60 km/h).





- Esistono anche generatori a pale mobili che seguono l'inclinazione del vento, mantenendo costante la quantità di elettricità prodotta dall'aerogeneratore, e a doppia elica, per raddoppiare la potenza elettrica prodotta. I generatori eolici possono essere silenziosi; il problema principale è la dimensione delle pale e la mancanza di generatori a micropale non visibili a occhio nudo che risolverebbero l'impatto negativo sul paesaggio.
- I giri al minuto del rotore dell'aerogeneratore sono molto variabili, come lo è la velocità del vento; in genere si utilizzano delle scatole d'ingranaggi (planetari) per aumentare e rendere costante la velocità del rotore del generatore e per permettere un avvio più facile con venti deboli.

AEROGENERATORI ad asse verticale



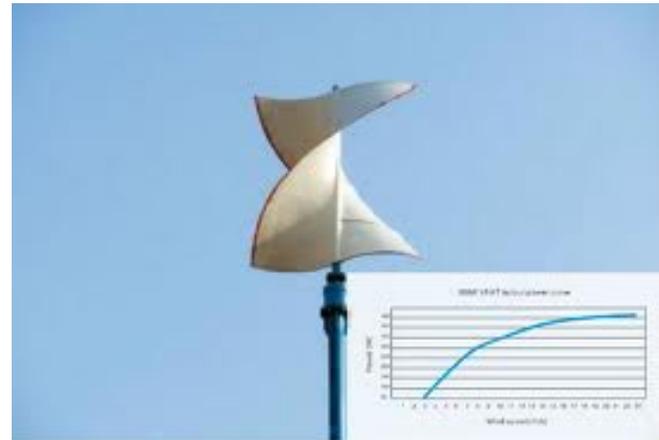
- Le turbine ad asse verticale hanno il pregio di un ingombro ridotto, una minor rumorosità e soprattutto di funzionare indipendentemente dalla direzione di provenienza del vento

- Un generatore eolico ad asse di rotazione verticale al suolo (VAWT, in inglese *Vertical Axis Wind Turbines*) è un tipo di macchina eolica contraddistinta da una ridotta quantità di parti mobili nella sua struttura, il che le conferisce un'alta resistenza alle forti raffiche di vento e la possibilità di sfruttare qualsiasi direzione del vento senza doversi orientare di continuo. È una macchina molto versatile, adatta sia all'uso domestico che alla produzione centralizzata di energia elettrica nell'ordine del megawatt (una sola turbina soddisfa il fabbisogno elettrico mediamente di circa 1000 case).



MINI E MICRO EOLICO

- Si tratta di impianti di piccola taglia, adatti ad un uso domestico o per integrare il consumo elettrico di piccole attività economiche tipicamente in modalità *stand-alone*, cioè sotto forma di singoli generatori, connesse poi alla rete elettrica (con contributo alla cosiddetta generazione distribuita) o ad impianti di accumulazione.



- Di solito questi impianti sono costituiti da aerogeneratori del tipo ad asse orizzontale con diametro del rotore da 3 a 20 metri e altezza del mozzo da 10 a 20 metri.
- Per minieolico si intendono impianti con una potenza nominale fra 20 kW e 200 kW, mentre per microeolico si intendono impianti con potenze nominali inferiori ai 20 kW.
- Per questi impianti di piccole dimensioni il prezzo di installazione risulta più elevato, attestandosi attorno ai 1500-3000 euro per kW installato, in quanto il mercato di questo tipo di impianti è ancora poco sviluppato; tra le cause le normative che, a differenza degli impianti fotovoltaici, in quasi tutta Europa non ne sostengono la diffusione. Questi impianti possono sfruttare le specifiche condizioni del sito in cui si realizza l'installazione. Sono impianti adattabili, che riescono a sfruttare sia venti deboli che forti e che riescono ad intercettare le raffiche improvvise.



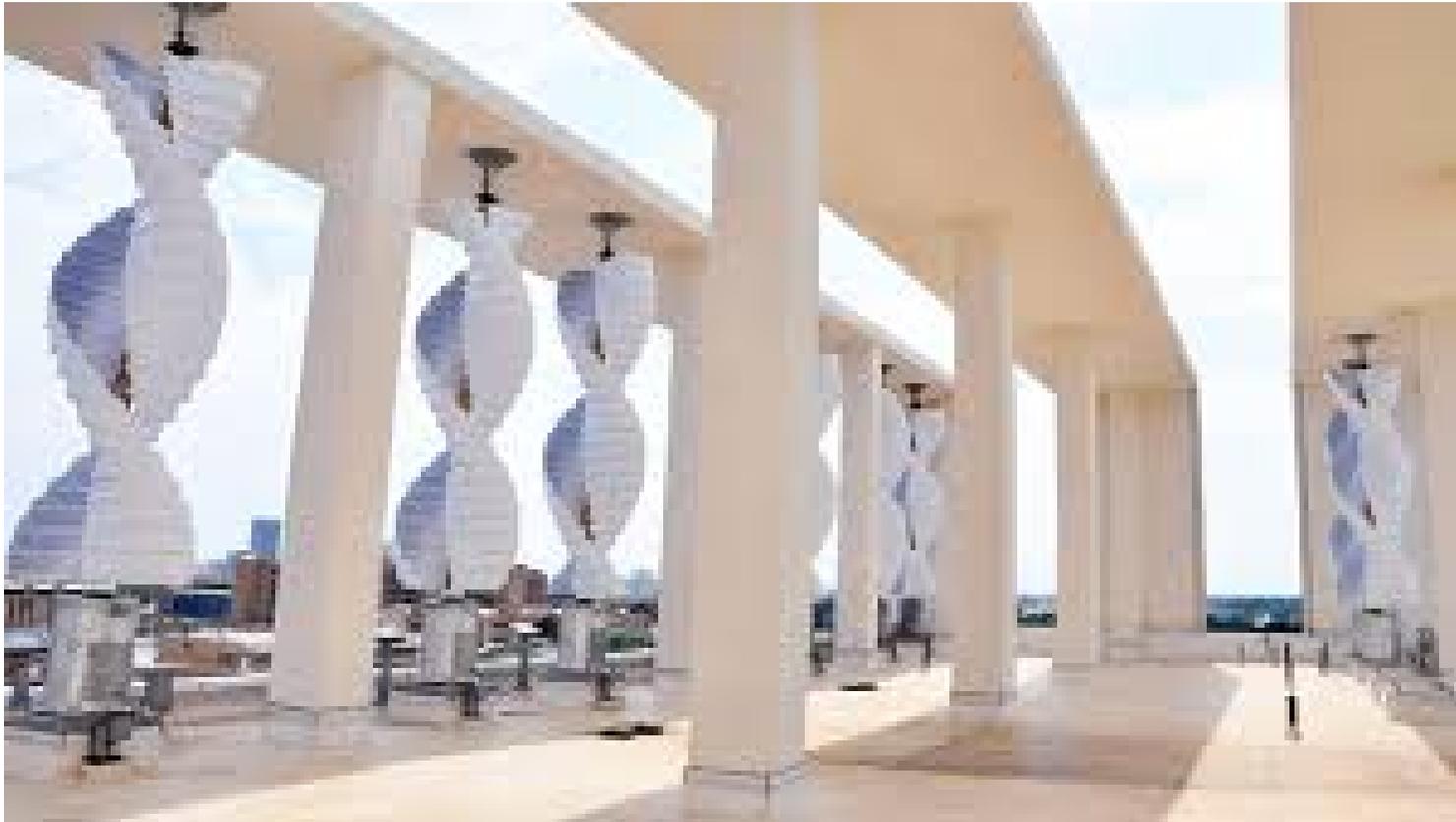
Micro eolico domestico



Integrazione tra micro eolico e fotovoltaico

EOLICO STRADALE

- Si tratta di un sistema, per ora a livello sperimentale, che prevede l'installazione di una serie di piccole turbine ad asse verticale ai bordi di autostrade e strade di grande traffico.
- Viene sfruttato il movimento d'aria provocato dagli autoveicoli in circolazione, soprattutto dai grandi autotreni.



ASPETTI AMBIENTALI

L'eolico, pur rappresentando una fonte energetica perfettamente rinnovabile, presenta una serie di problemi che occorre considerare attentamente in fase di ideazione e progettazione degli impianti

- Questioni paesaggistiche
- Questioni geologiche
- Questioni biologiche
 - Interferenza con l'avifauna e i chirotteri
- Questioni antropiche

PROBLEMI DI COLLEGAMENTO ELETTRICO

- Gli incentivi economici messi in campo negli ultimi anni dall'Unione Europea e dai singoli stati membri (Certificati verdi) hanno spinto molti operatori economici a realizzare grandi impianti di produzione senza tener conto delle esigenze di collegamento alla rete elettrica nazionale.
- In pratica questi grandi parchi eolici si vengono a trovare in zone dove le linee di trasporto non sono in grado di assorbire la potenza prodotta o, addirittura, non esistono affatto.

- Ecco quindi che l'impianto di produzione non è in grado di funzionare, quantunque il costruttore abbia percepito in ogni caso gli aiuti economici previsti.
- Il problema è analogo a quello che si pone con i grandi parchi fotovoltaici. Si potrebbe risolvere costruendo impianti di piccola potenza distribuiti in tutti i territori già antropizzati e quindi dotati delle necessarie infrastrutture secondarie.

