



Lezione nr. 4 **ENERGIA DAL VENTO**

SEMINARIO DI ENERGETICA
dott. Riccardo Maistrello
ITIS G. Marconi (Verona)

lunedì 26 marzo 2012, aula 110

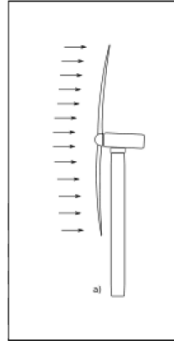
Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Nella scorsa lezione...

- Origine del vento, fattori globali e fattori locali;
- L'aria come gas perfetto;
- Potenza cinetica del vento, parametri caratteristici di un aerogeneratore, potenza estraibile, limite di Betz;
- Studio del moto di una massa d'aria con il modello del tubo di flusso;

Esercizio nr. 3 (per casa)

ESERCITAZIONE NR. 3 ENERGIA DAL VENTO



1. Un aerogeneratore sviluppa una potenza elettrica di 400 kW in presenza di un vento di 10 m/s. Si tratta di una macchina tripala. Quale sarà il diametro del disco delle pale? Evidenzia tutte le ipotesi fatte per ottenere il risultato e mostra ogni singolo passaggio di calcolo.

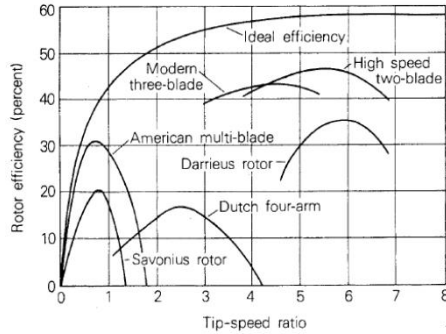
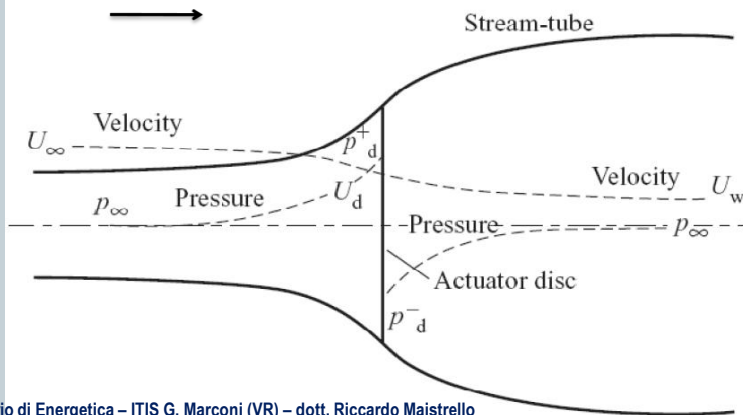


Figure 5.1.17 Typical performances of wind machines.

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Aerodinamica dell'iterazione vento-pale (cenni)

$$a = 1 - \frac{v_r}{v_1} = \frac{v_1 - v_r}{v_1} \quad C_p = \frac{\rho A_r v_1^3 2a(1-a)^2}{\frac{1}{2} \rho v_1^3 A_r} \quad P = \frac{1}{2} \rho C_p u^3 A_r$$

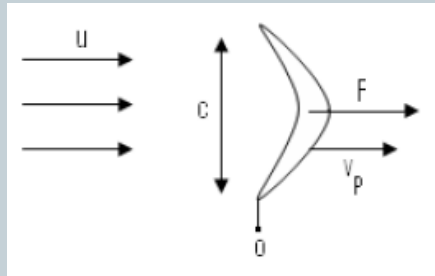


Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Figure 7.1.1 The Energy Extracting Stream-tube of a Wind

Tipologie di macchine

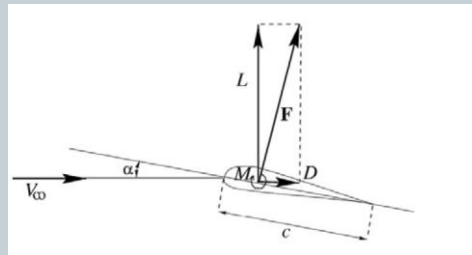
- I convertitori eolici (sistemi che convertono l'energia del vento in energia meccanica e/o elettrica) posso essere di due tipi:
- A **resistenza**: la pala si muove di moto rettilineo nella direzione della velocità del vento u . Il dispositivo attuatore ruota attorno al punto O con asse ortogonale al piano del disegno.
- La forza F è puramente resistente ed è proporzionale all'energia cinetica (relativa) vista dal profilo.



Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Tipologie di macchine

- A **portanza**: la pala ruota su un piano ortogonale alla velocità del vento, attorno ad un asse parallelo alla velocità del vento.
- Si sviluppa sulla pala una forza F che, associata ad un braccio b , crea un momento M che fa ruotare la pala intorno al mozzo.
- F è somma di due componenti, una parallela al vento, detta D (drag - attrito), ed una perpendicolare L (lift - spinta).



Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Tipologie di macchine

- Si distinguono poi in macchine:
 - Ad **asse verticale** (bassa velocità di rotazione, coppia elevata, C_p modesto, funzionano con vento da qualsiasi direzione), poco diffuse ma utili per alcuni utilizzi molto specifici;

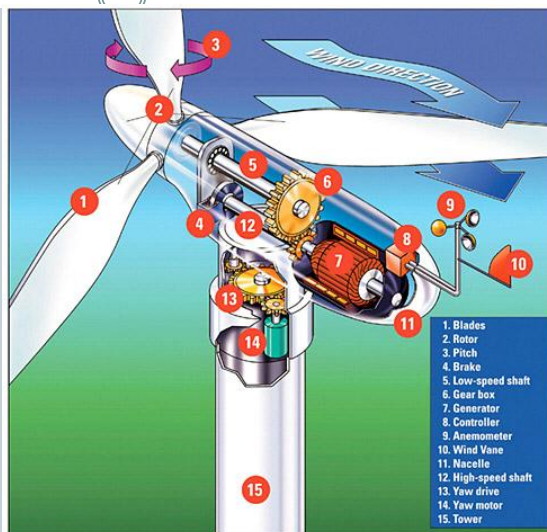


- Ad **asse orizzontale** (alte velocità rotazione, C_p elevati, necessità di orientare il disco attuatore, delicatezza della progettazione, costi molto elevati), sono diffuse in tutto il mondo e si utilizzano principalmente per la generazione elettrica.

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Componenti di un aerogeneratore

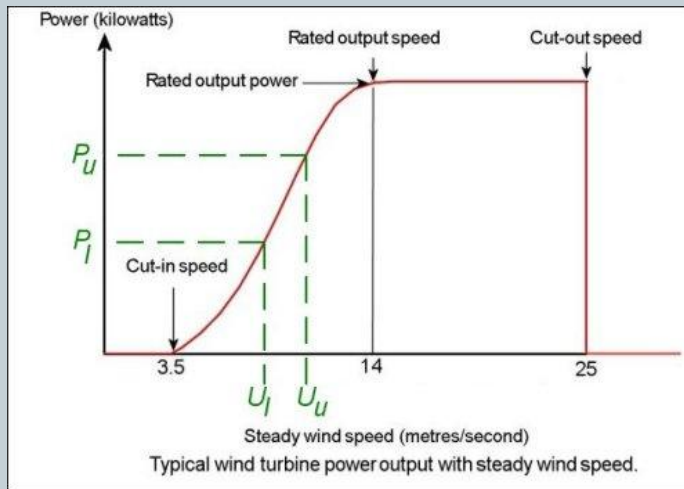
- 1) Pale
- 2) Rotore
- 3) Pinch
- 4) Freno
- 5) Albero lento
- 6) Moltiplicatore di giri
- 7) Generatore
- 8) Controllore
- 9) Anemometro
- 10) Direzione vento
- 11) Navicella
- 12) Albero veloce
- 13) Guida navicella
- 14) Motore navicella
- 15) Torre/traliccio
- 16) Trasformatore e stazione elettrica a terra



1. Blades
2. Rotor
3. Pitch
4. Brake
5. Low-speed shaft
6. Gear box
7. Generator
8. Controller
9. Anemometer
10. Wind Vane
11. Nacelle
12. High-speed shaft
13. Yaw drive
14. Yaw motor
15. Tower

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Caratteristica della macchina (vedi dispensa)



Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Parco eolico

- Un parco eolico o wind farm (fattoria del vento) è un insieme di aerogeneratori (torri o pale eoliche) localizzati in un territorio delimitato e interconnessi tra loro, che producono energia elettrica sfruttando la forza del vento. La generazione di energia elettrica varia in funzione del vento e della capacità generativa degli aerogeneratori.
- Per accertare che un sito sia adatto all'installazione di aerogeneratori è necessario procedere alla misurazione della velocità del vento e della direzione, in modo costante (anche ogni minuto) e per un periodo di almeno un anno (minimo!).
- È fondamentale inoltre acquisire il maggior numero di dati meteorologici disponibili, anche dalle stazioni vicine.

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Parco eolico



Nella realizzazione di un parco eolico occorre tenere in considerazione questi effetti:

- **Rugosità del terreno:** meno piano e senza ostacoli è il terreno, più il vento è frenato e meno energia dà alla turbina (classi di rugosità).
- **Effetto collina:** colline morbide, con pendici poco ripide, sono ottimi corridoi per accelerare il vento verso la sommità (dove posso installare gli aerogeneratori).
- **Ostacoli:** hanno un impatto enorme sul vento e vanno opportunamente rimossi o considerati nei calcoli.
- In un parco eolico (molte turbine) **ogni aerogeneratore interferisce con gli altri** (sono ostacoli enormi): vanno rispettate opportune geometrie.

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Effetto di un ostacolo sul vento

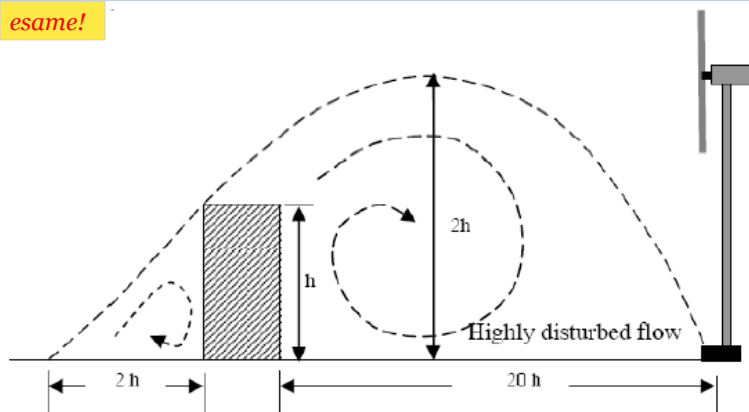


Figure 6.4. 4 Turbulence created by an obstruction

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Effetto collina

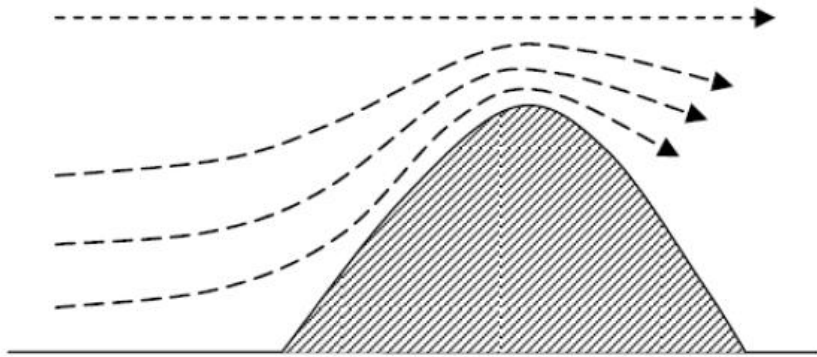


Figure 6.4. 5 The acceleration effect over ridges

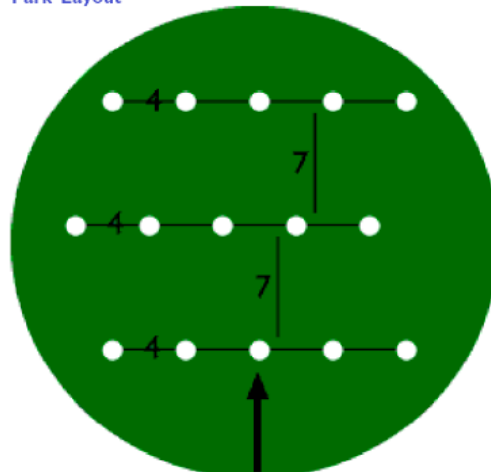
esame!

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Layout di un parco eolico



Park Layout



esame!

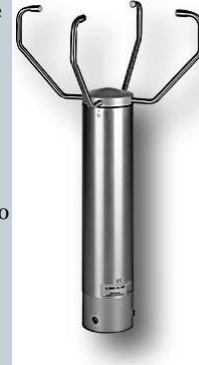
Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Anemometri



- 3-4 coppie di uguale geometria
- Asse rotante centrale
- Drag device (disp. a resistenza)
- Accelerazione rapida con l'aumento del vento, decelerazione lenta con la scomparsa del vento (inerzia delle parti rotanti)
- Non adatto a misurare raffiche e turbolenze
- Siccome l'attrito (Cd) dipende dalla densità dell'aria, al variare di questa varia l'accuratezza dello strumento

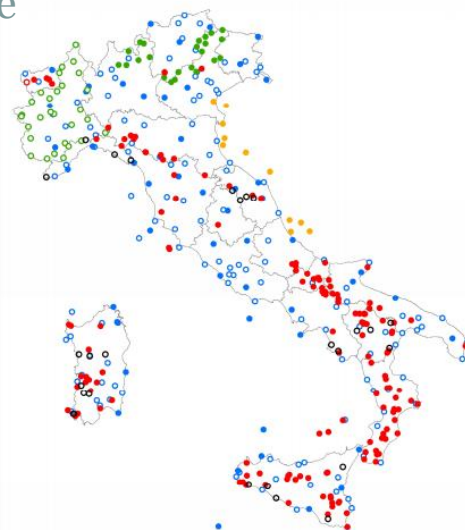
- il vento è misurato attraverso la variazione di velocità di un'onda sonora (suono = vibrazione nell'aria)
- il segnale acustico viaggia da un emettitore al suo ricevitore, rallentato o accelerato dal vento
- ottimo per misurare venti tra 0 e 65 m/s ma molto costoso
- necessitano di manutenzione (polvere, escrementi di uccelli etc.) possono causare il fuori servizio dello strumento



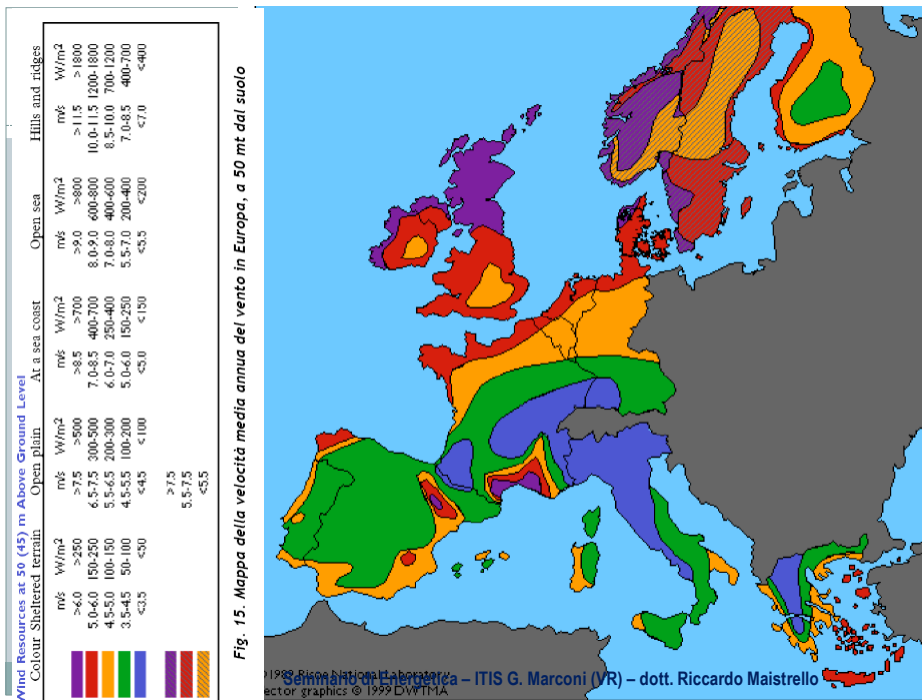
Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Stazioni anemometriche Italia

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello



- Stazioni di misura data base anemologico
- ENELUCESI
 - ENEA
 - Servizi Meteorologici Aeronautica Militare
 - Reti regionali
 - Altre



Conclusioni

- L'Italia può contare, specie nelle zone mediterranee meridionali e nelle isole, su **venti di buona intensità**, quali il maestrale, la tramontana, lo scirocco e il libeccio; la producibilità (numero di ore equivalenti di funzionamento alla potenza nominale dell'aerogeneratore) supera però le 2'000 ore in poche aree.
- il **potenziale** eolico sfruttabile al 2020 è pari a circa 12.000 MW (terraferma + offshore), con una produzione di energia elettrica di circa 22.6 TWh (circa **1'850 h di producibilità media**);
- le regioni più interessanti sono quelle del Sud, in particolare Campania, Puglia, Molise, Sicilia e Sardegna;
- Costo impianto chiavi in mano: 1'000-1'200 €/kW (Europa), **1'500-1'600 (Italia)**;
- Costo annuale di esercizio e manutenzione = 3% Investimento iniziale
- In Italia, in un sito con una producibilità annua di 2000 ore equivalenti alla potenza nominale, con tasso di sconto pari al 6% e costo di impianto pari a 1600 €/kW, **il costo di produzione dell'energia può essere stimato intorno a 8.5 c€/kWh**

Seminario di Energetica - ITIS G. Marconi (VR) - dott. Riccardo Maistrolo

Impatto ambientale

- Occupazione del suolo ed impatto visivo
- Rumorosità
- Morte dei volatili e modifica delle rotte migratorie

eólica

Entre seis y dieciocho millones de aves muertas cada año

NOTIZIE - MOLISE

SAN GIULIANO DI PUGLIA

04/12/2011, 05:30

Un coro di «no» alle pale eoliche lungo il tratturo

SAN GIULIANO DI PUGLIA Eolico in Molise: il deputato molisano Sabrina De Camillis sollecita Ministro per i Beni culturali a rispondere ad una sua interrogazione parlamentare su sito archeologico di Altia.

«No» della Regione a dieci pale eoliche

22/12/11

Puglia
LA GAZZETTA DEL MEZZOGIORNO.it

SARZANA

LA NAZIONE

Parco eolico, la guerra arriva al Tar Ambientalisti schierati contro le pale

Impugnato l'atto che dà il via libera al progetto [Commenti](#)

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Attualità

ambientenergia

Articolo del numero di Gennaio 2012

Buttati al vento!

- Investiamo nell'eolico 3,5 miliardi ma la rete non regge e una pala su cinque deve essere fermata.
- Il Gestore ferma le pale ma deve pagare la mancata produzione: è come chiamare un taxi e pagarlo per stare fermo nel parcheggio...

-La rete AT (alta tensione > 300 kV) è più sviluppata nell'industrializzato Nord Italia ma la potenza più consistente viene prodotta nel ventoso Sud e nelle Isole. Occorrerebbe costruire nuovi elettrodotti (linee aree AT) ma l'opposizione di comunità locali e ambientalisti è troppo forte, ci vorranno anni/decenni.

- Inoltre Terna tratta con diffidenza fonti di energia volatili e variabili come quella del vento più difficili da gestire.

Seminario di Energetica – ITIS G. Marconi (VR) – dott. Riccardo Maistrello

Istruzioni per lo studio personale



- Studiare le slide viste in classe;
- Leggere con attenzione la dispensa sull'energia eolica.

Per ogni dubbio/domanda/segnalazione:
riccardomaistrello@gmail.com

Fonti



- *“L'energia eolica”, prof. G. Zollino, Università di Padova;*
- *“Wind energy systems”, prof. G. Pavesi, Università di Padova.*