



Le energie alternative: Energia Eolica

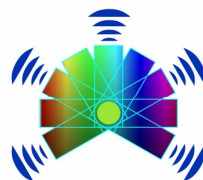
Aurelio Agliolo Gallitto

Dipartimento di Fisica

Università di Palermo



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO



L'energia del vento: un po' di storia

Ieri



Oggi



Domani



Un po' di teoria: L'equazione di Bernoulli

Energia cinetica

È l'energia che possiede un corpo di massa m che si muove con velocità v ed è uguale a

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

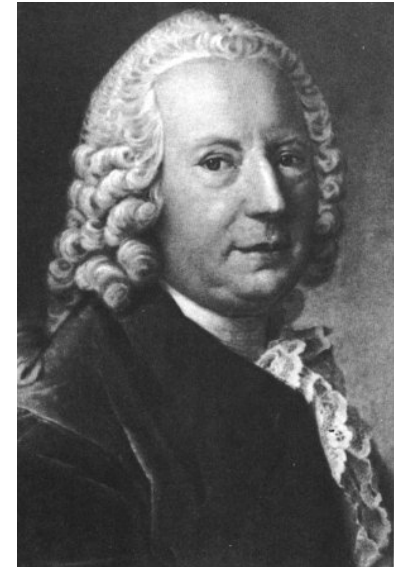
Energia cinetica per unità di volume

Nei fluidi, liquidi e gas, è conveniente parlare di energia cinetica per unità di volume

$k = K/V = \frac{1}{2} \rho v^2$ dove $\rho = m/V$ è la densità del fluido

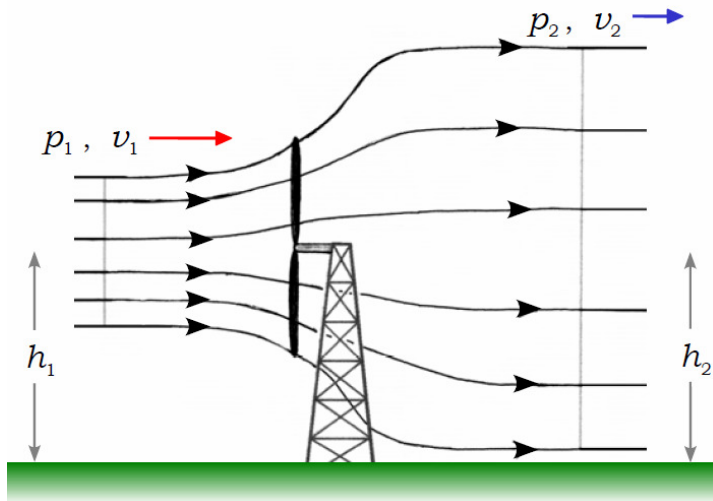
L'Eq.ne di **Bernoulli** dice che in un fluido che si muove in regime stazionario l'energia meccanica per unità di volume si conserva

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{costante}$$



Daniel Bernoulli
(1700 – 1782)

Potenza meccanica del vento



Tubo di flusso di aria che incide sulle pale del rotore

Applicando l'Eq.ne di Bernoulli, si ha

$$p_1 + 1/2 \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + 1/2 \rho v_2^2 + \rho g h_2 + k$$

L'energia che si può estrarre dal flusso di aria è

$$k = 1/2 \rho (v_1^2 - v_2^2)$$

La potenza **P** estratta dal rotore è data dal prodotto di **k** per il volume di aria che attraversa il rotore nell'unità di tempo **S v**

$$P = 1/2 S v \rho (v_1^2 - v_2^2)$$

dove **S v ρ** è la massa di aria che attraversa il rotore nell'unità di tempo.

<http://www.windpower.org/en/core.htm>

Potenza meccanica del vento (II)

La potenza meccanica fornita al rotore è $P = F v$
dove v è la velocità del vento in corrispondenza del rotore.

La forza F è data dalla variazione della quantità di moto

$$F = \frac{d}{dt}[m(v_1 - v_2)] = (v_1 - v_2) \frac{dm}{dt}$$

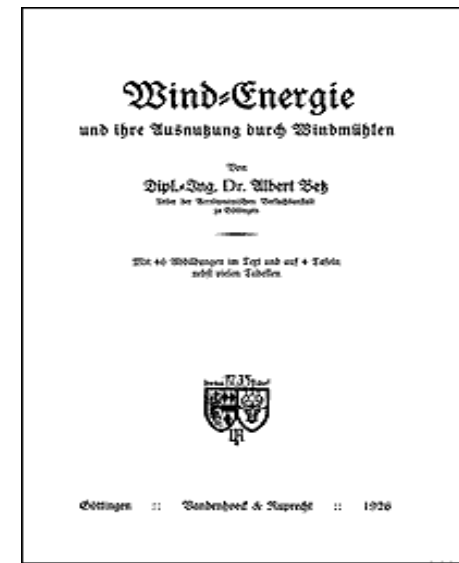
$$P = Fv = \frac{dm}{dt}(v_1 - v_2)v = \rho S v (v_1 - v_2)v = \rho S v^2 (v_1 - v_2)$$

$$P = \kappa S v = \frac{1}{2} \rho S v (v_1^2 - v_2^2)$$

Uguagliando le due Eq.ni per la potenza, otteniamo

$$\frac{1}{2} \rho S v (v_1^2 - v_2^2) = \rho S v^2 (v_1 - v_2)$$

quindi semplificando si ha $v = (v_1 + v_2)/2$



Leistung, welche wir mit einem Windrade von D m Durchmesser bei einer Windgeschwindigkeit v m/sek dem Winde entziehen können, ist demnach

$$L_{\max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho}{2} v^3 \cdot \frac{D^2 \pi}{4} \text{ mkg/sek}$$

Potenza meccanica del vento (III)

Da questa analisi si ottiene che la velocità dell'aria in corrispondenza del rotore è sempre il valore medio tra la velocità dell'aria incidente e quella dell'aria in uscita. Questo risultato è noto come *legge di Betz*. Da calcoli più complessi, risulta che si ha il massimo trasferimento di energia dall'aria al rotore quando $v_2 = v_1/3$. Pertanto, la potenza che si può estrarre dal vento risulta essere la seguente

$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho S v_1^3 = \frac{16}{27} P_{max} \approx 0.59 P_{max}, \quad P_{max} = \frac{1}{2} \rho S v_1^3.$$

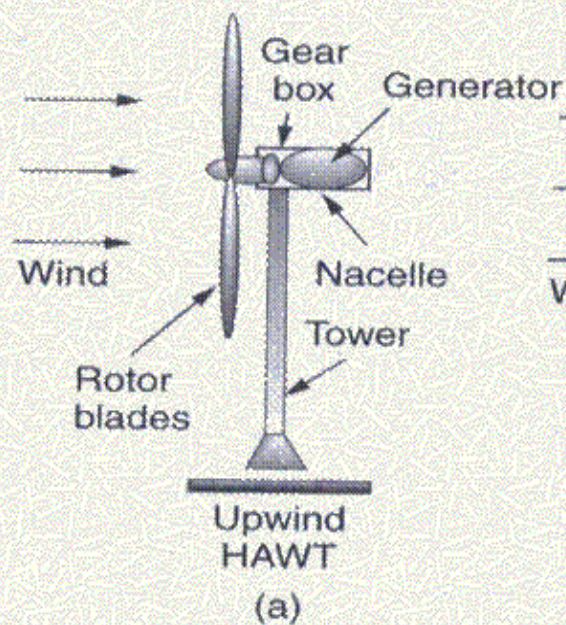
la condizione ottimale si ottiene per $v_2 = v_1/3$.

Tenendo presente tutte le considerazioni fatte, concludiamo che la potenza elettrica sviluppata da una macchina eolica avente efficienza η , in presenza di un vento di velocità v_1 , sarà data da

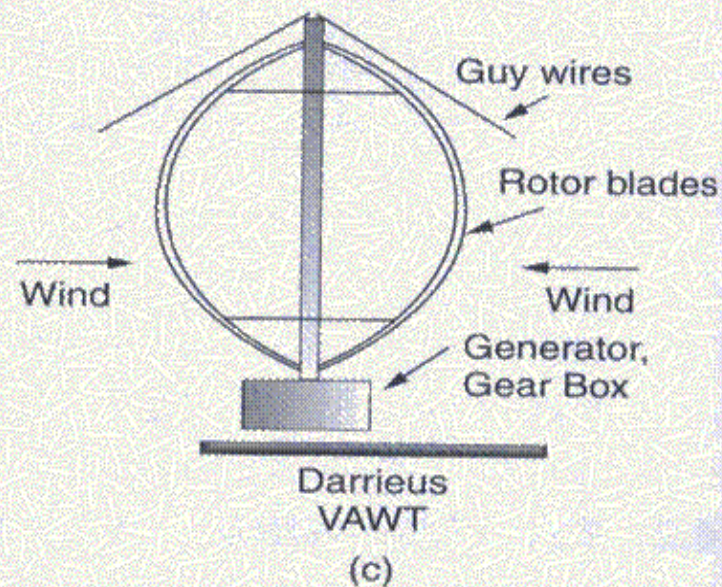
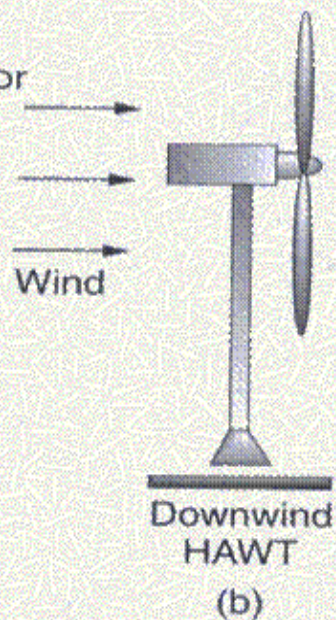
$$P_e \approx \eta P_{max}. \quad \text{Per i moderni aerogeneratori } \eta \text{ è circa } 0.24 - 0.28.$$

Si ha il massimo rendimento quando la velocità del vento va da 40 a 50 km/h

Classificazione delle turbine eoliche

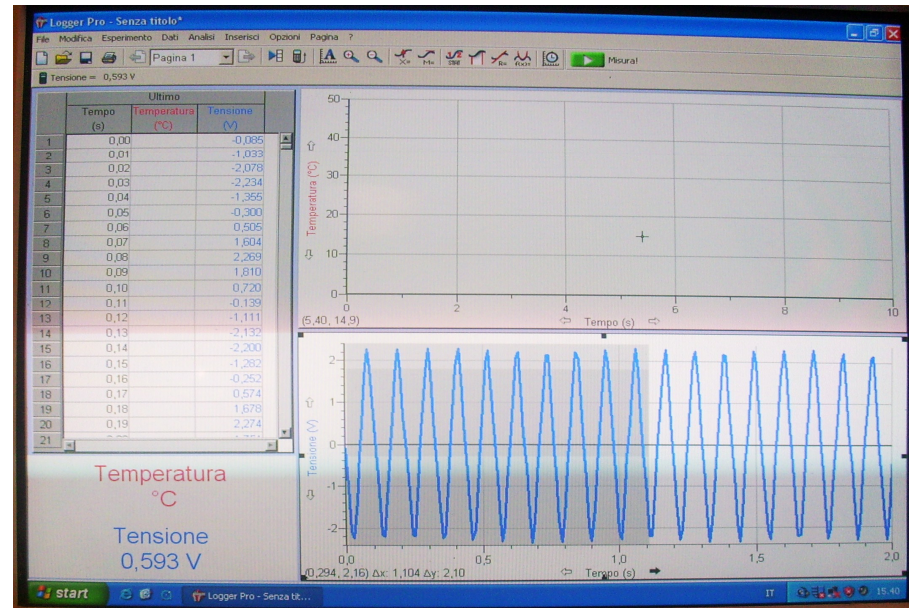


Asse orizzontale



Asse verticale

Energia Eolica: Esperimento in Laboratorio



Esperienza di conversione dell'energia eolica in energia elettrica:
apparato sperimentale e rappresentazione grafica dei dati.

Risorse su internet

Portale PLS – Fisica

<http://portale.unipa.it/progetti/laureescientifiche/>



<http://www.windpower.org/en/core.htm>



<http://greenme.it>



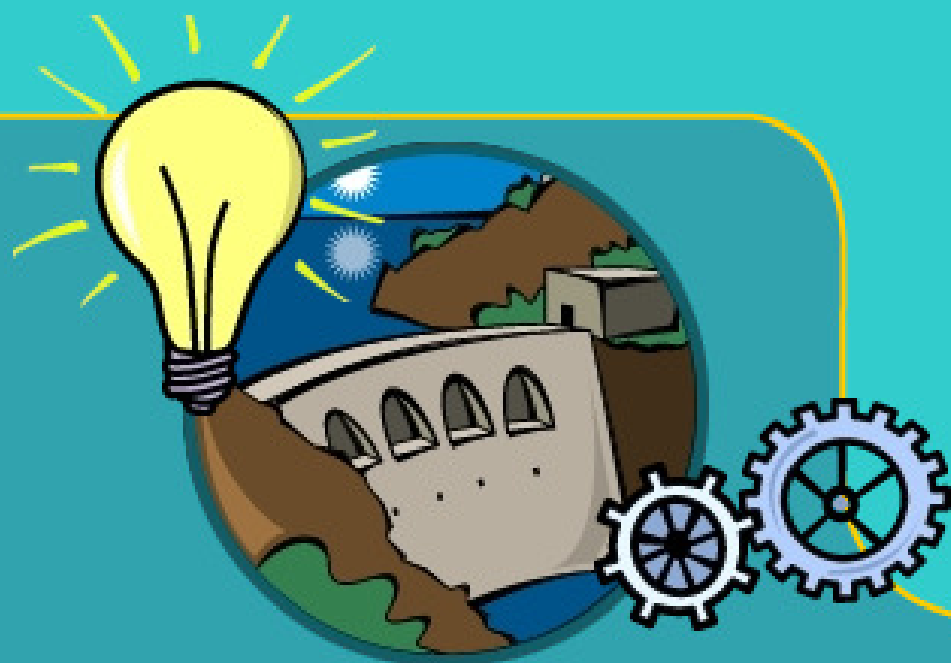
*Ministero dell'Istruzione
dell'Università e della Ricerca*



Istituto Nazionale per la Fisica della Materia

PROGETTO FORMATIVO MULTIMEDIALE PER LA SCUOLA DELL'OBBLIGO:

La conquista dell'*ENERGIA*



Responsabile scientifico
Roberto Fieschi

Commisione di verifica
Mario Fierli
Giuseppe Marucci
Angela Palamone
Giuseppe Ciri
Maria Grazia Dondi