

**SUPSI**

Esercitazione

# Dimensionamento di una micro turbina eolica

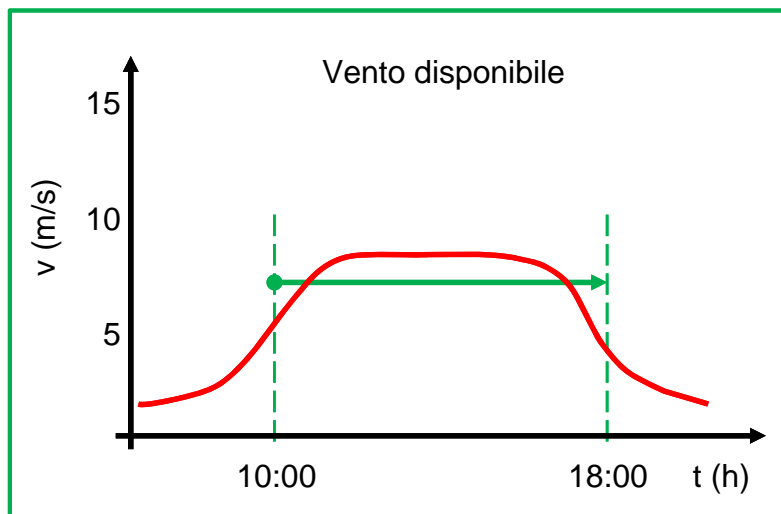
Corso: Produrre energia con il vento - DACD SUPSI

Maurizio Barbato ;  Davide Montorfano  - DTI SUPSI

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

Si stima che una casa di vacanza di montagna abbia un fabbisogno elettrico medio pari a 2 kWh/giorno e ci si propone di soddisfare questa esigenza per mezzo di una o più micro turbine eoliche.

**Nota:** fabbisogno stimato considerando: lampadine a risparmio energetico, frigorifero, TV, ventilazione di un impianto di riscaldamento a legna e cappa aspirante da cucina. Esclusi: forno, fornelli elettrici e impianti di riscaldamento elettrici.



Ipotesi semplificative :

- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$

Sono inoltre noti :

- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- p atm. a livello del mare :  $p_{\text{at}} = 1.013 \text{ bar}$
- quota dell'abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

- A) Determinare la potenza massima che potrebbe estrarre una microturbina eolica ideale avente una sezione esposta al vento pari a  $3 \text{ m}^2$ .
- B) Determinare quante turbine di tipo Savonius occorrono per soddisfare il fabbisogno. Dimensioni della girante pari a :  
 $D = 1 \text{ m}$  ;  $H = 2 \text{ m}$
- C) Determinare il diametro che dovrebbe avere una singola turbina ad asse orizzontale con tre pale per soddisfare il fabbisogno elettrico giornaliero.



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ °C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

A) Determinare la potenza massima che potrebbe estrarre una microturbina eolica ideale avente una sezione esposta al vento pari a 3 m<sup>2</sup>.

La potenza messa a disposizione dal flusso d'aria che investe la turbina è pari a :  $P_{flusso} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$

Dove la densità dell'aria può essere determinata con la legge dei gas perfetti come :

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad \Rightarrow \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{p}{R \cdot T}$$

e la pressione dell'aria a quella quota, attraverso la tabella delle proprietà dell'atmosfera standard.



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2$  kWh/giorno
- ore di vento :  $\Delta t = 8$  h
- velocità del vento :  $v = 7$  m/s
- temperatura dell'aria :  $T = 15$  °C
- pressione atm. mare : 1.013 bar
- quota abitazione :  $h = 1'500$  m.s.l.m

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

A) Determinare la potenza massima che potrebbe estrarre una microturbina eolica ideale avente una sezione esposta al vento pari a 3 m<sup>2</sup>.

TABLE 1.2A U.S. Standard Atmosphere, 1976 SI Units

Geometric Altitude (km)	Pressure (p/p <sub>SL</sub> )	Temperature (K)	Density (ρ/p <sub>SL</sub> )	Viscosity (μ/μ <sub>SL</sub> )	Speed of Sound (m/s)
0	1.0000 E+00	288.150	1.0000 E+00	1.00000	340.29
1	8.8700 E-01	281.651	9.0748 E-01	0.98237	336.43
2	7.8461 E-01	275.154	8.2168 E-01	0.96456	332.53
3	6.9204 E-01	268.659	7.4225 E-01	0.94656	328.58
4	6.0854 E-01	262.166	6.6885 E-01	0.92836	324.59
5	5.3341 E-01	255.676	6.0117 E-01	0.90995	320.55
6	4.6600 E-01	249.187	5.3887 E-01	0.89133	316.45
7	4.0567 E-01	242.700	4.8165 E-01	0.87249	312.31
8	3.5185 E-01	236.215	4.2921 E-01	0.85343	308.11
9	3.0397 E-01	229.733	3.8128 E-01	0.83414	303.85
10	2.6153 E-01	223.252	3.3756 E-01	0.81461	299.53
11	2.2403 E-01	216.774	2.9780 E-01	0.79485	295.15
12	1.9145 E-01	216.650	2.5464 E-01	0.79447	295.07
13	1.6362 E-01	216.650	2.1763 E-01	0.79447	295.07
14	1.3985 E-01	216.650	1.8601 E-01	0.79447	295.07
15	1.1953 E-01	216.650	1.5898 E-01	0.79447	295.07



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2$  kWh/giorno
- ore di vento :  $\Delta t = 8$  h
- velocità del vento :  $v = 7$  m/s
- temperatura dell'aria :  $T = 15$  °C
- pressione atm. mare : 1.013 bar
- quota abitazione :  $h = 1'500$  m.s.l.m

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

A) Determinare la potenza massima che potrebbe estrarre una microturbina eolica ideale avente una sezione esposta al vento pari a  $3 \text{ m}^2$ .

Interpolando linearmente i coefficienti, la pressione atmosferica alla quota di  $1'500 \text{ m.s.l.m}$  risulta essere :

$$p_{1'500} = \frac{0.887 + 0.78461}{2} \cdot 1.013 = 0.847 \text{ bar} = 8.47 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

dunque la densità dell'aria: 
$$\rho_{1'500} = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{8.47 \cdot 10^4}{287 \cdot 288} = 1.025 \text{ kg} / \text{m}^3$$

e la potenza messa a disposizione dal vento :

$$P_{flusso} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{1'500} \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1.025 \cdot 3 \cdot 7^3 = 527.4 \text{ W}$$



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

A) Determinare la potenza massima che potrebbe estrarre una microturbina eolica ideale avente una sezione esposta al vento pari a  $3 \text{ m}^2$ .

In fine, per determinare la potenza massima estraibile con una turbina eolica da queste condizioni, si deve considerare il coefficiente di prestazione della girante.

La legge di Betz evidenzia come nel caso ideale il coefficiente di prestazione sia pari a :  $c_{p\text{-max}} = 0.593$

e di conseguenza :  $P_{out\text{-max}} = c_{p\text{-max}} \cdot P_{flusso} = 0.593 \cdot 527.4 = 312.7 \text{ W}$



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ °C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

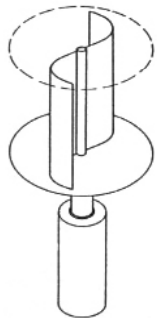
B) Determinare quante turbine di tipo Savonius occorrono per soddisfare il fabbisogno.

Dimensioni della girante pari a :  $D = 1 \text{ m}$  ;  $H = 2 \text{ m}$ .

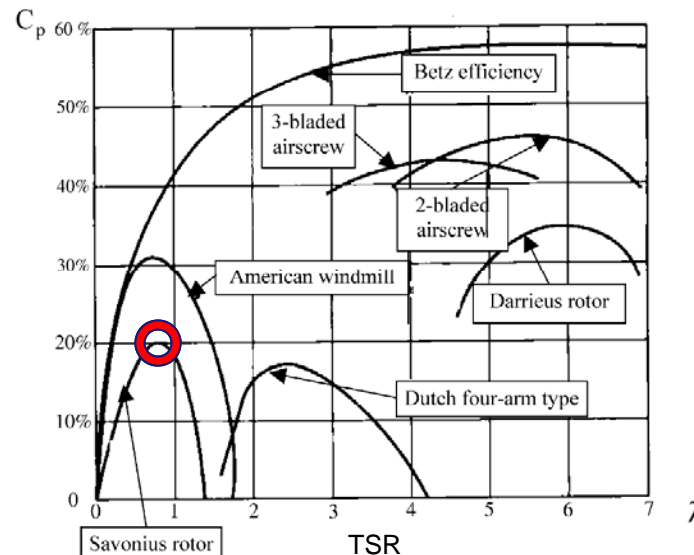
Potenza estratta dalla turbina :  $P_{out} = c_p \cdot P_{flusso}$

Coefficiente di prestazione:

$C_p = 0.2$



09/05/2011



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$



## Dimensionamento di una micro turbina eolica

B) Determinare quante turbine di tipo Savonius occorrono per soddisfare il fabbisogno.

Dimensioni della girante pari a :  $D = 1 \text{ m}$  ;  $H = 2 \text{ m}$ .

Potenza flusso: 
$$P_{flusso} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{1500} \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1.025 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 7^3 = 351.6 \text{ W}$$

Potenza estratta: 
$$P_{out} = c_p \cdot P_{flusso} = 0.2 \cdot 351.6 = 70.3 \text{ W}$$

Energia estratta giornalmente: 
$$E_{out} = P_{out} \cdot \Delta t = 0.0703 \cdot 8 = 0.563 \text{ kWh/ giorno}$$

Numero di turbine necessarie per soddisfare il fabbisogno giornaliero :

$$N^{\circ}_{turbine} = \frac{\text{Fabbisogno giornaliero}}{\text{Energia estratta}} = \frac{2}{0.563} = 3.6 \Rightarrow 4 \text{ turbine}$$



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

B) Determinare quante turbine di tipo Savonius occorrono per soddisfare il fabbisogno.

Dimensioni della girante pari a :  $D = 1 \text{ m}$  ;  $H = 2 \text{ m}$ .



Windstream Technologies.



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ °C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

C) Determinare il diametro che dovrebbe avere una singola turbina ad asse orizzontale con tre pale per soddisfare il fabbisogno elettrico giornaliero.

La potenza che questa turbina deve riuscire ad estrarre dal vento è :

$$E_{out} = P_{out} \cdot \Delta t \Rightarrow P_{out} = \frac{E_{out}}{\Delta t} = \frac{2 \text{ kWh}}{8 \text{ h}} = 0.25 \text{ kW}$$

Per estrarre tale potenza essa deve essere investita da :

$$P_{out} = c_p \cdot P_{flusso} \Rightarrow P_{flusso} = \frac{P_{out}}{c_p}$$



09/05/2011



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ °C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

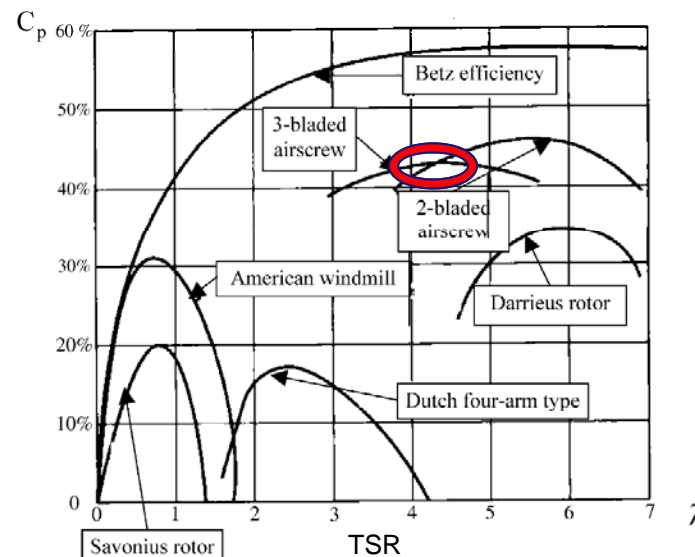
C) Determinare il diametro che dovrebbe avere una singola turbina ad asse orizzontale con tre pale per soddisfare il fabbisogno elettrico giornaliero.

Coefficiente di prestazione:

$$C_p = 0.42$$



09/05/2011



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$

## Dimensionamento di una micro turbina eolica

C) Determinare il diametro che dovrebbe avere una singola turbina ad asse orizzontale con tre pale per soddisfare il fabbisogno elettrico giornaliero.

Per estrarre tale potenza la turbina deve essere dunque investita da :

$$P_{flusso} = \frac{P_{out}}{c_p} = \frac{0.25}{0.42} = 0.595 \text{ kW}$$

La superficie investita dal vento dovrà quindi essere :

$$P_{flusso} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{1'500} \cdot A \cdot v^3 \Rightarrow A = \frac{P_{flusso} \cdot 2}{\rho_{1'500} \cdot v^3} = \frac{595 \cdot 2}{1.025 \cdot 7^3} = 3.4 \text{ m}^2$$

La girante dovrà di conseguenza avere un diametro di :

$$A = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{3.4 \cdot 4}{\pi}} = 2.1 \text{ m}$$



Sono noti:

- fabbisogno :  $E_{el} = 2 \text{ kWh/giorno}$
- ore di vento :  $\Delta t = 8 \text{ h}$
- velocità del vento :  $v = 7 \text{ m/s}$
- temperatura dell'aria :  $T = 15 \text{ °C}$
- pressione atm. mare :  $1.013 \text{ bar}$
- quota abitazione :  $h = 1'500 \text{ m.s.l.m}$