



fondazione  
**TELIOS** ONLUS

fondazione per la promozione e diffusione delle energie rinnovabili, del risparmio energetico, della mobilità sostenibile



Comune di  
**GARZIGLIANA**

# L'Energia Eolica in Italia e in Piemonte.

Ing. Carlo Novarese  
[carlo.novarese@fondazionetelios.it](mailto:carlo.novarese@fondazionetelios.it)

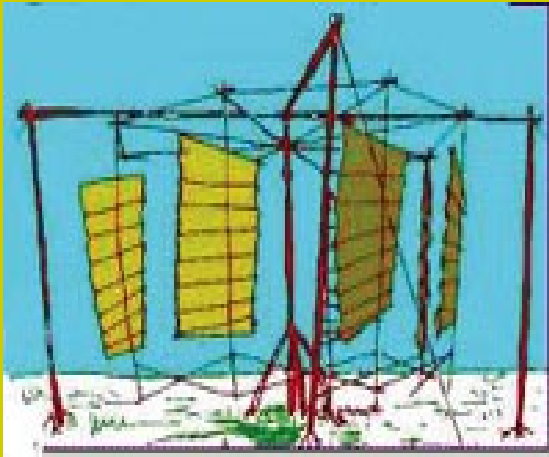


Venerdì 6 febbraio 2009

# Sommario presentazione.

- Storia dell'energia eolica.
- La tecnologia attuale
- Il vento e accenni sui modelli matematici impiegati.
- La diffusione dell'energia eolica in Italia ed Europa
- Alcuni problemi dell'energia eolica
- Progetti innovativi
- Conclusioni

# L'energia eolica: cenni storici, le origini.



Primi mulini a vento:

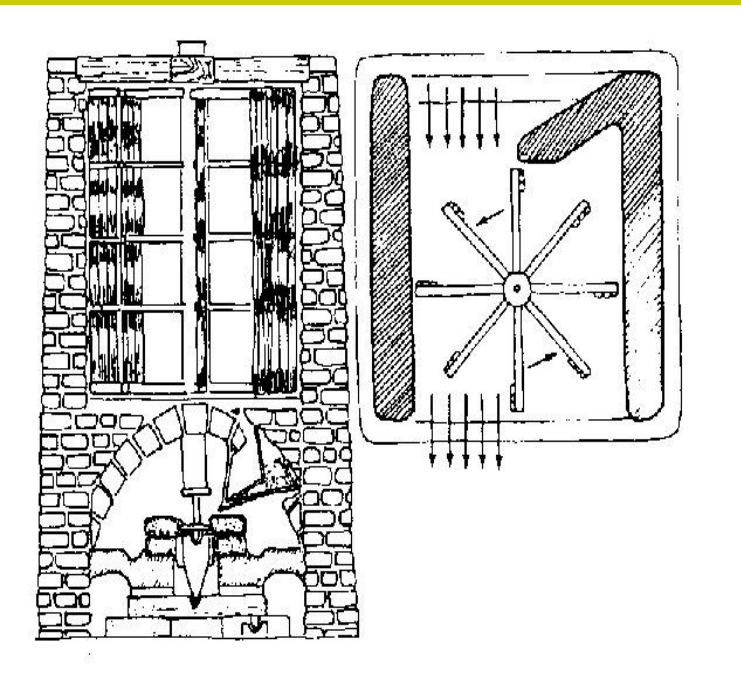
- Cina e Persia, 700 d.C (alcuni documenti parlano delle giranti a vento mesopotamiche nel 1700 a.C.).

- Ad asse verticale.

- Usati principalmente per scopi di irrigazione e macinazione.

- Il mulino a vento è costituito da una ruota, con raggi da cui si innalzano vele di tela, fissata ad un asse e mossa dalla forza del vento che le imprime un moto rotatorio.

- Bassa efficienza, potevano funzionare solo se la direzione del vento era compresa in un certo angolo.



# L'energia eolica: cenni storici, l'età media.



L'avvento in Europa:

- Germania e Olanda sono state le nazioni pioniere nell'utilizzo di questa tecnologia, nel XII secolo.
- Un tempo in Olanda erano presenti circa 10000 mulini a vento.
- Utilizzati principalmente per pompare l'acqua del mare e macinare il grano.
- Introduzione dell'asse orizzontale, del sistema di orientamento automatico, maggiore efficienza.
- Principalmente a 4 pale, realizzati in legno.



# L'energia eolica: cenni storici, l'era moderna.

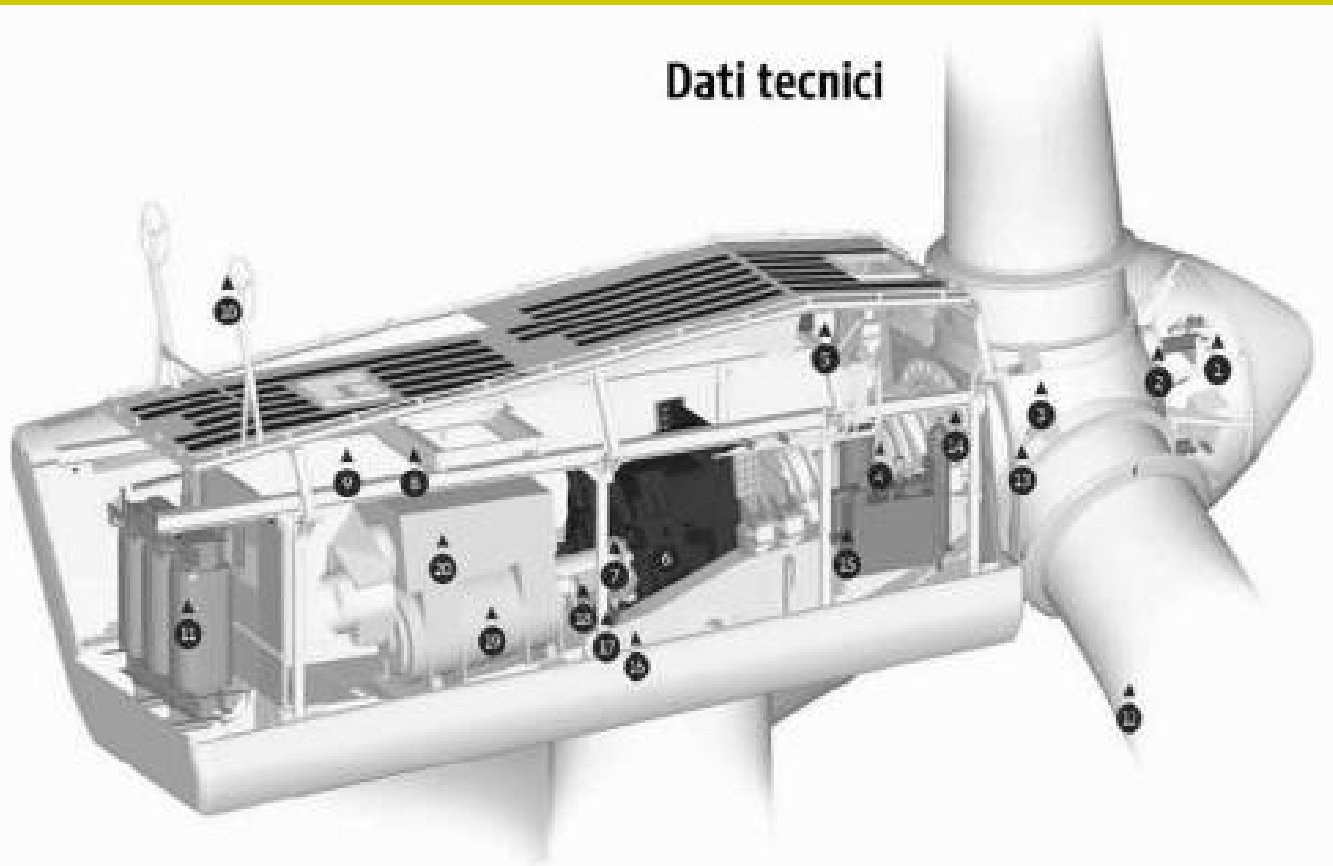


L'avvento dell'era moderna:

- Sul finire del 1887, l'americano Charles Brush realizzò in Ohio il primo impianto eolico per la produzione di energia elettrica.
- Nel 1891 Paul La Cour progettò e costruì la prima centrale elettrica eolica in Europa.
- Negli anni Cinquanta, il danese Johannes Juul costruì gli impianti di Vester Egesborg, la prima centrale eolica in grado di produrre corrente alternata.
- Dopo il 1973 (crisi petrolifera) è iniziato il moderno boom dell'utilizzazione dell'energia del vento con gli impianti eolici di Nibe, in Danimarca

# L'energia eolica: la tecnologia attuale.

## Dati tecnici



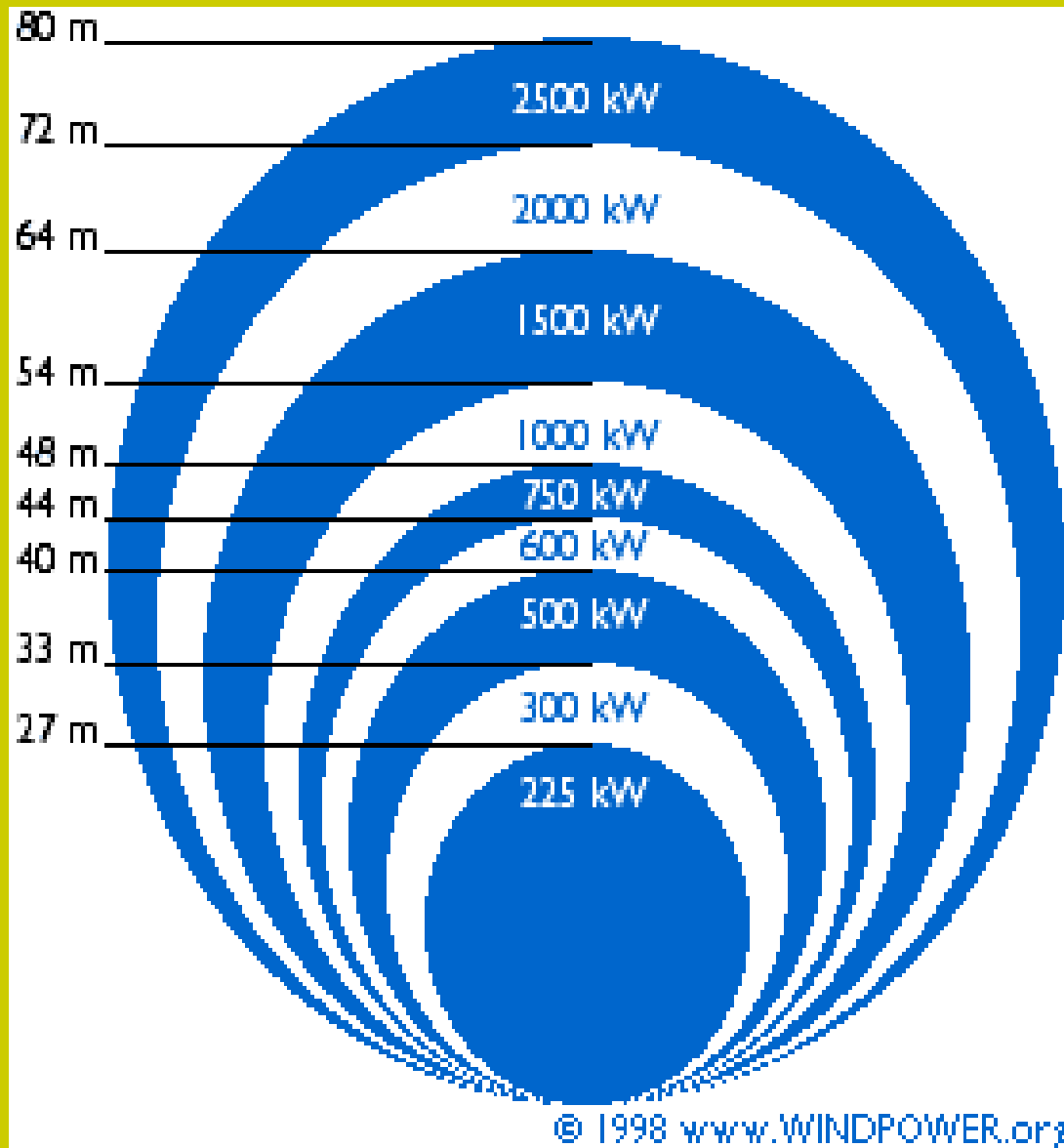
- |                                    |  |                                    |   |
|------------------------------------|--|------------------------------------|---|
| 1 Unità di controllo della pala    | 6 Moltiplicatore di giri                     | 11 Trasformatore ad alto voltaggio | 20 Telaio navicella                         |
| 2 Cilindri di attuazione del passo | 7 Freno di stazionamento                     | 12 Pala                            | 21 Motorizzatore di imbardata               |
| 3 Mezzo                            | 8 Organo di servizio                         | 13 Cuscinetto pala                 | 22 Giunto in materiale composito            |
| 4 Albero lento                     | 9 Quadro di controllo VMP (con convertitore) | 14 Sistema di bloccaggio rotore    | 23 Generatore con sistema OptiSpeed®        |
| 5 Radiatore olio                   | 10 Anemometro ad ultrasuoni                  | 15 Centralina idraulica            | 24 Sistemi di raffreddamento del generatore |

- Tecnologia di derivazione aeronautica (rotore, materiali).

- Incorporano sistemi di controllo attivi e/o passivi, sia per l'orientamento della torre che per il controllo delle pale.

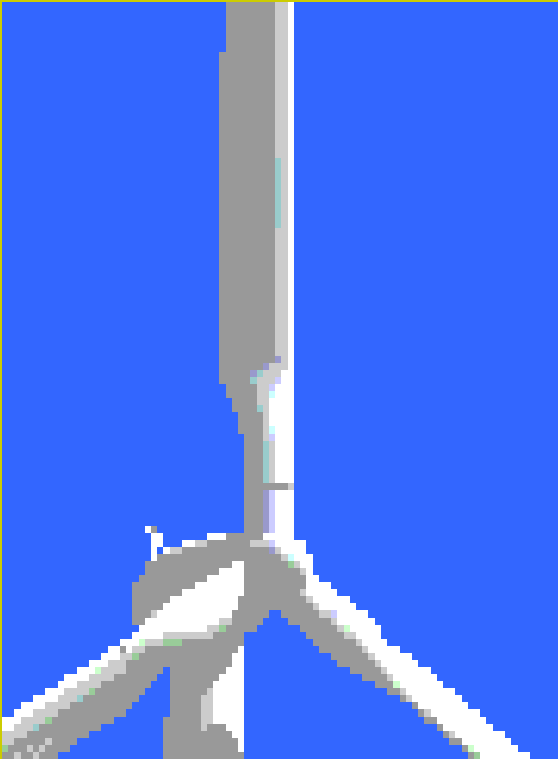
- Generano corrente alternata, che può essere immessa in rete previo uno stadio di trasformazione per aumentarne la tensione.

# L'energia eolica: la tecnologia attuale.



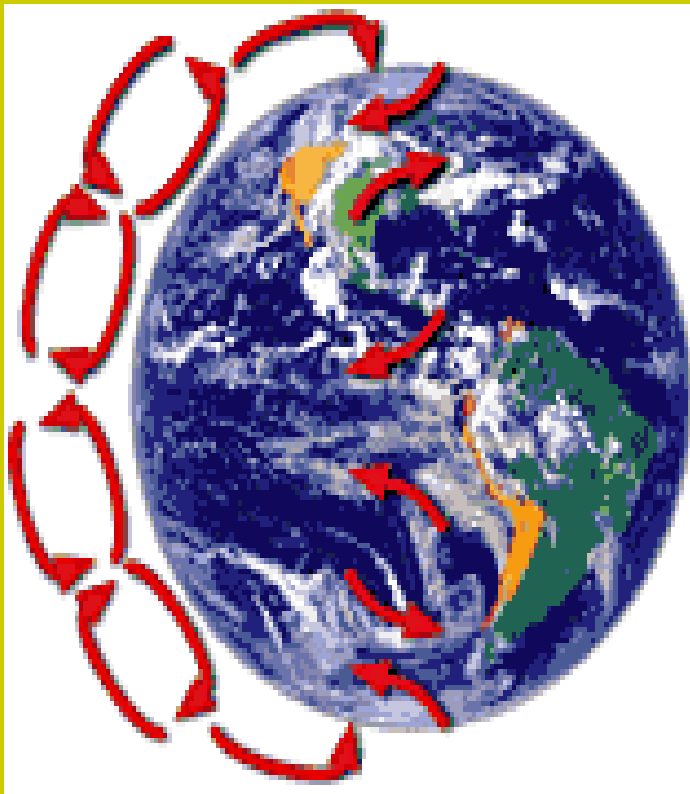
- Le dimensioni del rotore variano da alcuni metri di diametro fino a circa 80 m nei generatori più grandi.
- La potenza di un generatore eolico è funzione del diametro del rotore, varia da alcune centinaia di kW fino ad alcuni MW nei generatori più grandi.
- Il numero di pale varia da caso a caso, generalmente si preferisce ricorrere a tre pale in quanto l'efficienza è massima.

# L'energia eolica: la tecnologia attuale.



- La parte più delicata di un generatore eolico è il rotore.
- Profili delle pale di derivazione aeronautica, costruite in materiali compositi in fibra di vetro.
- Dato che la distribuzione di velocità lungo la pala varia, è necessario che esse abbiano un certo svergolamento.
- Ormai tutti i rotori sono a passo variabile, ovvero possono modificare il passo delle pale e quindi l'incidenza con il vento a piacimento. Ciò permette di estrarre sempre la massima quantità di energia e di poter porre il rotore in bandiera in caso di forte vento.
- Tempo di vita minimo: 20 anni.

# Il Vento: cenni sui venti globali.



- Il vento viene generato dall'energia solare che scaldando maggiormente le masse d'aria all'equatore provoca una circolazione dell'aria negli strati alti dell'atmosfera in direzione Nord e Sud.
- Il movimento dell'aria è causata non solo dalla differenza di temperatura ma anche dalla differenza di pressione.
- Circa il 2% dell'energia solare si trasforma in energia eolica.
- A causa dell'effetto rotatorio della Terra, il vento "globale" risente delle forze di Coriolis che deviano la sua direzione a seconda dell'emisfero in cui si trova.
- Ai Poli l'aria si raffredda e ridiscende verso gli strati bassi dell'atmosfera.

# Il Vento: cenni sui venti globali.

Come accennato, le forze di Coriolis provocano una deviazione nella direzione del vento globale. A seconda della latitudine si ha:

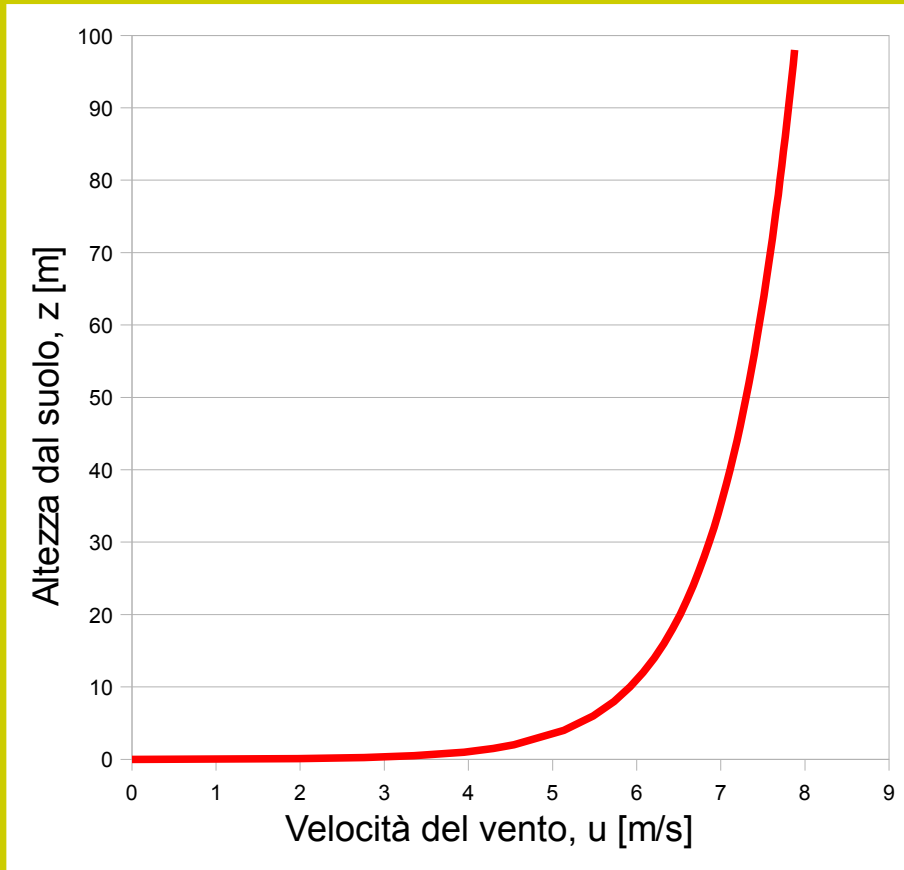
Latitudine	90-60°N	60-30°N	30-0°N	0-30°S	30-60°S	60-90°S
Direzione	NE	SO	NE	SE	NO	SE

A causa delle differenti condizioni orografiche e climatiche della Terra, i venti globali assumono un comportamento “locale” negli strati più bassi dell'atmosfera.

Per lo studio delle performances e la progettazione dei generatori eolici, i venti locali assumono maggiore interesse.

# Il Vento: cenni sui venti locali.

## Profilo verticale locale del vento



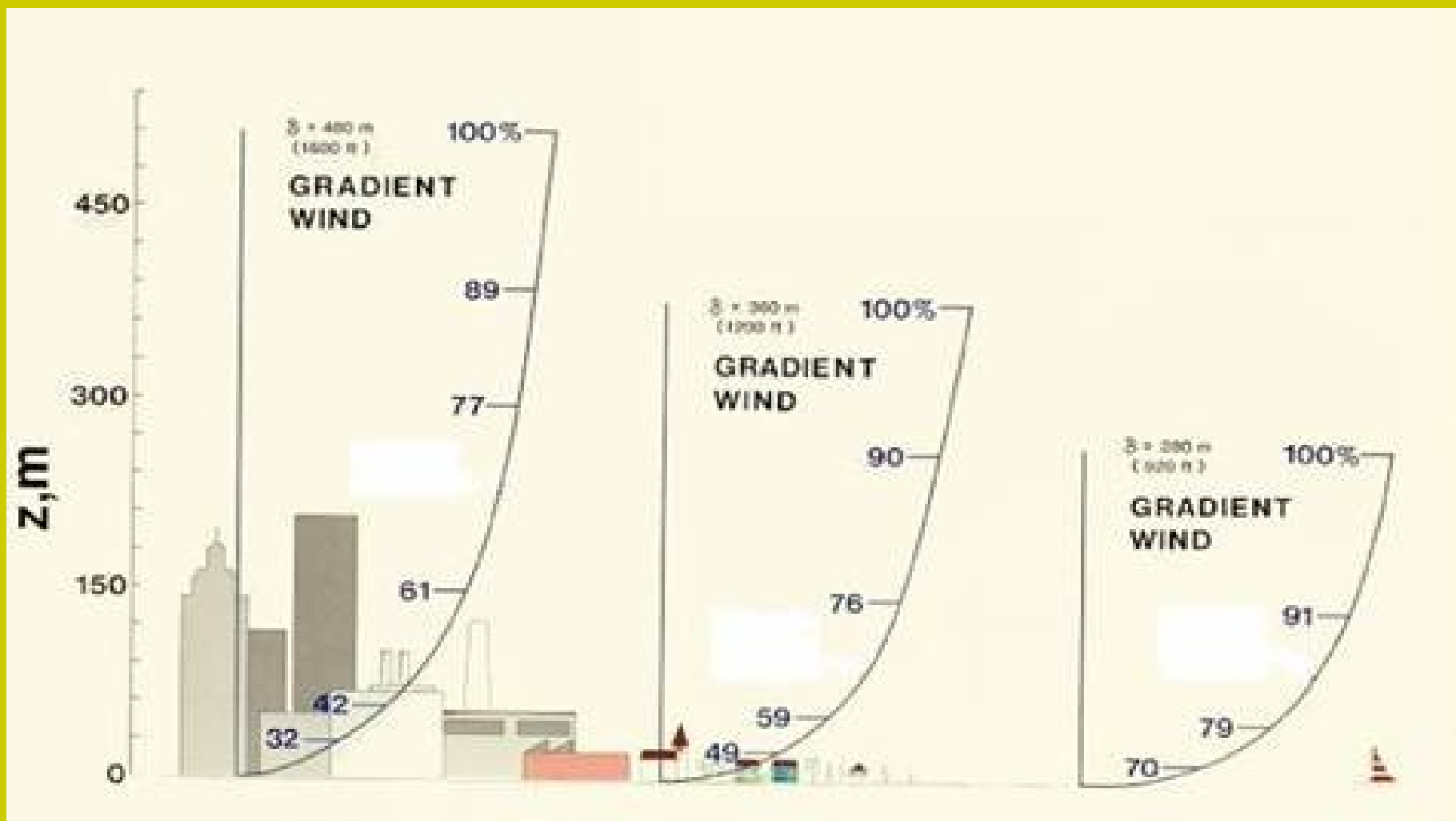
Fattori che influenzano i venti locali:

- Rugosità del terreno ( $z_0$ ).
- Presenza di rilievi nelle vicinanze.
- Presenza di ostacoli rilevanti, quali boschi, centri abitati, ecc.
- Vicinanza a grandi bacini d'acqua, effetti brezza marina.
- Effetti locali di turbolenza ( $u'$ ).

Legge di Stull:  $u = (u'/k) \cdot \ln(z/z_0)$

# Il Vento: cenni sui venti locali.

Esempi di vari profili possibili a seconda del tipo di terreno:



# Cenni sulle metodologie di calcolo: teoria della quantità di moto o teoria di Betz (1).

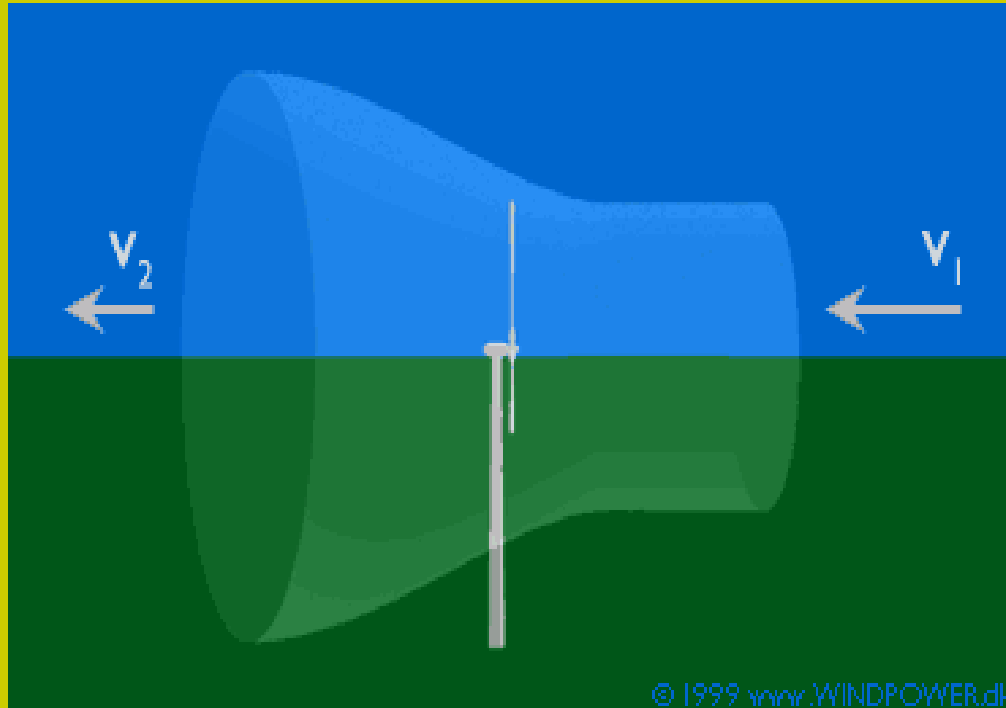
Ipotesi principali (molto restrittive):

- Fluido ideale senza viscosità.
- Flusso stazionario.
- Flusso incomprimibile (praticamente sempre verificata).
- Tubo di corrente ben definito, tanto a monte quanto a valle del rotore.

Vantaggi:

- Semplicità e tempi di calcolo molto ridotti (nell'ordine dei secondi).
- Fornisce un'idea immediata di quanta energia e potenza si possa produrre. Richiede pochi dati iniziali.

# Cenni sulle metodologie di calcolo: teoria della quantità di moto o teoria di Betz (2).



- $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V$  = velocità del flusso indisturbato a valle, nel piano del rotore e a monte rispettivamente.
- $T$  = Trazione esercitata sul rotore
- $A$  = superficie del rotore.
- $\rho$  = densità dell'aria (a livello del mare, in condizioni standard  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ ).
- $a$  = fattore di velocità indotta assiale.

$$V = V_1 * (1 - a) ; V_2 = V_1 * (1 - 2a)$$

$$T = \rho * A * V * (V_1 - V_2)$$

$$P = T * V = 2 * \rho * A * (V_2^2) * a * (1 - a)^2$$

# Cenni sulle metodologie di calcolo: teoria della quantità di moto o teoria di Betz (3).

Se si scrive la potenza di un aerogeneratore in funzione di un coefficiente di potenza,  $C_p$ :

$$P = 0.5 * \rho * A * C_p * (V^2)^3$$

$$C_p = 4 * a * (1-a)^3$$

Se si cerca il valore di  $a$  per cui il coefficiente di potenza è massimo si ottiene:

$$dC_p / da = 4 * (1-a)^3 - 8a(1-a) = 0 \rightarrow a = 1/3$$

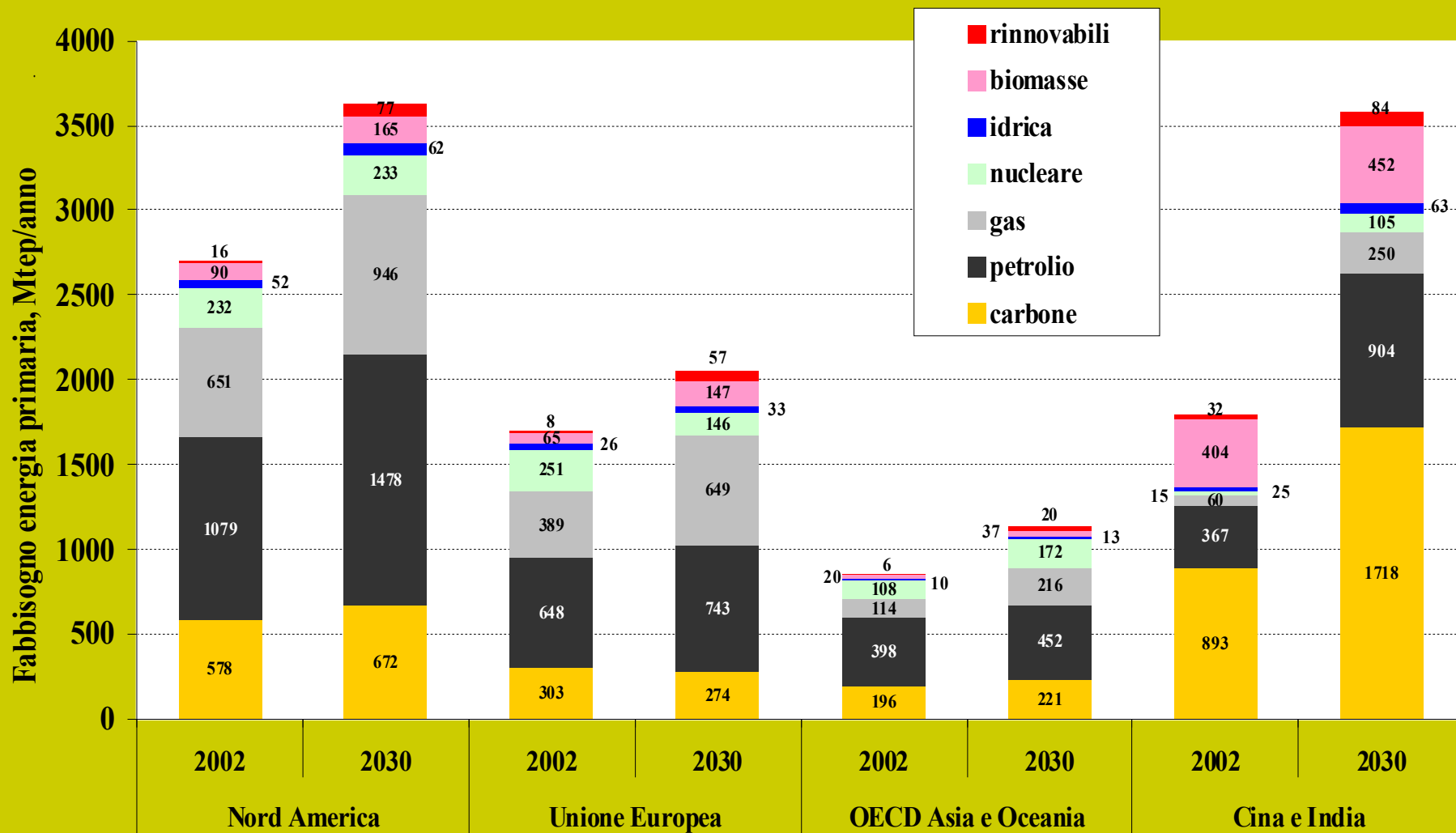
$$C_p (\max) = 4 * (1/3) * (1 - 1/3)^3 = 0.6 (\text{circa})$$

La teoria della quantità di moto, nella sua semplicità, fornisce un importante risultato: la massima energia estraibile del vento con un aerogeneratore è circa il 60%.

# Cenni sulle metodologie di calcolo.

- Pur se efficace, la teoria della QDM risulta troppo semplificata in quanto diversi parametri di progetto e aerodinamici non rientrano nella sua trattazione.
- Esistono teorie più complesse che tengono conto di più effetti fisici, ricorrendo a meno semplificazioni e che permettono di capire come giocano importanti parametri quali il profilo delle pale, il loro numero, gli effetti di altri aerogeneratori o ostacoli nei dintorni, ecc.
- Tra le varie teorie si citano la Teoria dell'Elemento di Pala e il set di equazioni di Navier-Stokes.
- Quest'ultima permette in teoria un modellamento completo dei vari fenomeni e quindi predizioni estremamente accurate sulla resa di un aerogeneratore ma sono troppo “dispendiose” in termini di tempo (e risorse) di calcolo.

# Cenni sui consumi energetici mondiali.



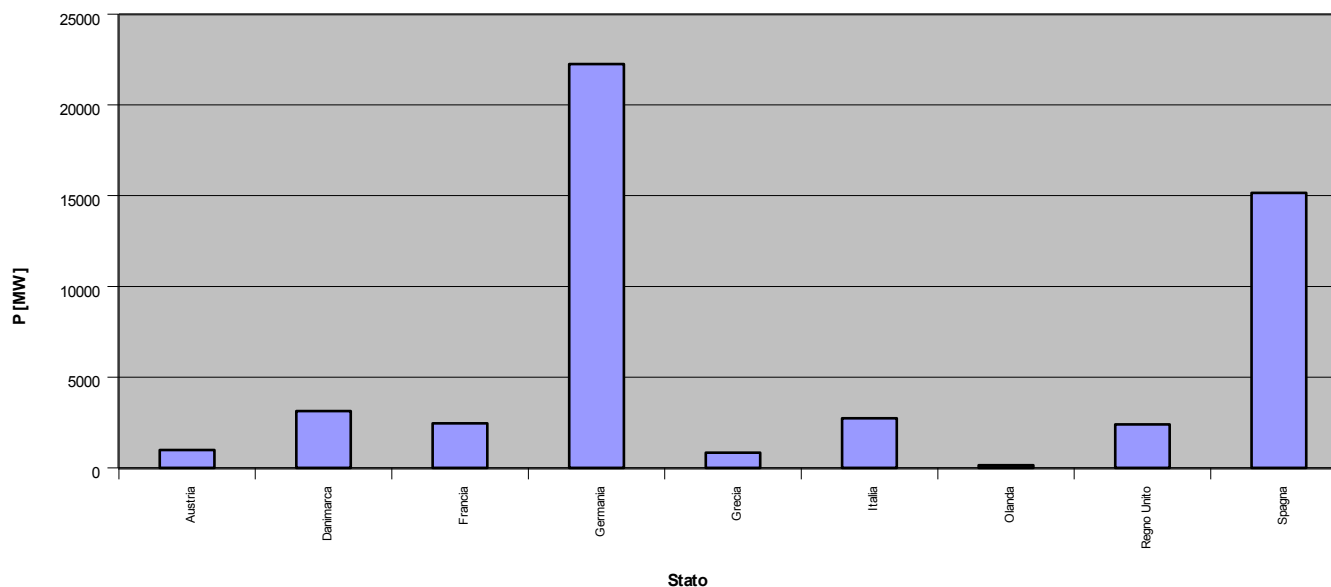
# Cenni sull'utilizzo delle energie rinnovabili in Europa.

Diffusione delle fonti rinnovabili nei Paesi dell'UE

NAZIONE	Termico* M <sup>2</sup>	Fotovoltaica** MW	Eolico*** MW
AUSTRIA	2.611.627	21,4	982
DANIMARCA	362.280	2,6	3.125
FRANCIA	615.600	32,7	2.454
GERMANIA	8.054.000	1537,2	22.247
GRECIA	3.287.200	5,4	841
ITALIA	855.230	36,1	2.726
OLANDA	318.441	51,2	1.46
REGNO UNITO	250.920	10,7	2.389
SPAGNA	702.166	57,5	15.145

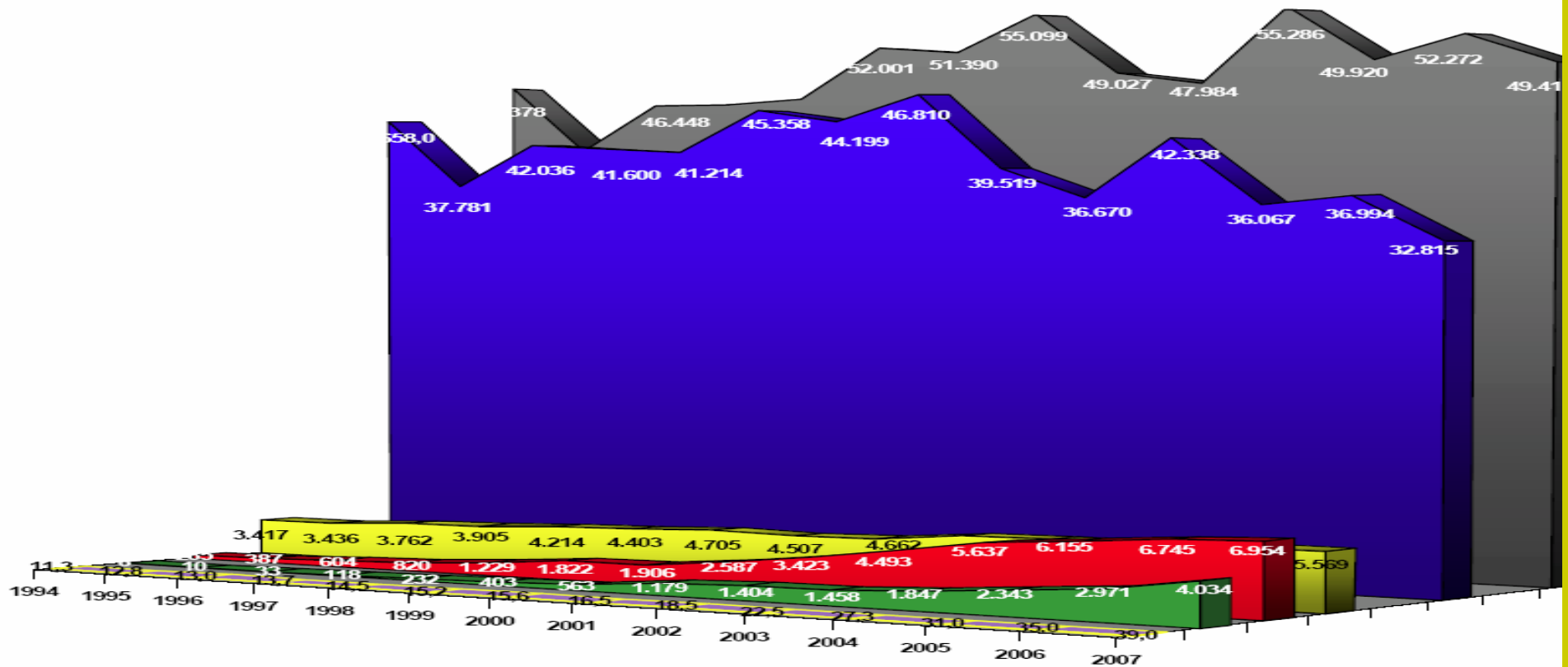
FONTE: \* Estif al 2006, \*\* Euroobserver al 2005 \*\*\* EWEA al 2007

Potenza eolica in europa



# Cenni sull'utilizzo delle energie rinnovabili in Italia.

Andamento della produzione lorda da fonte rinnovabile in Italia dal 1994 al 2007 (GWh)



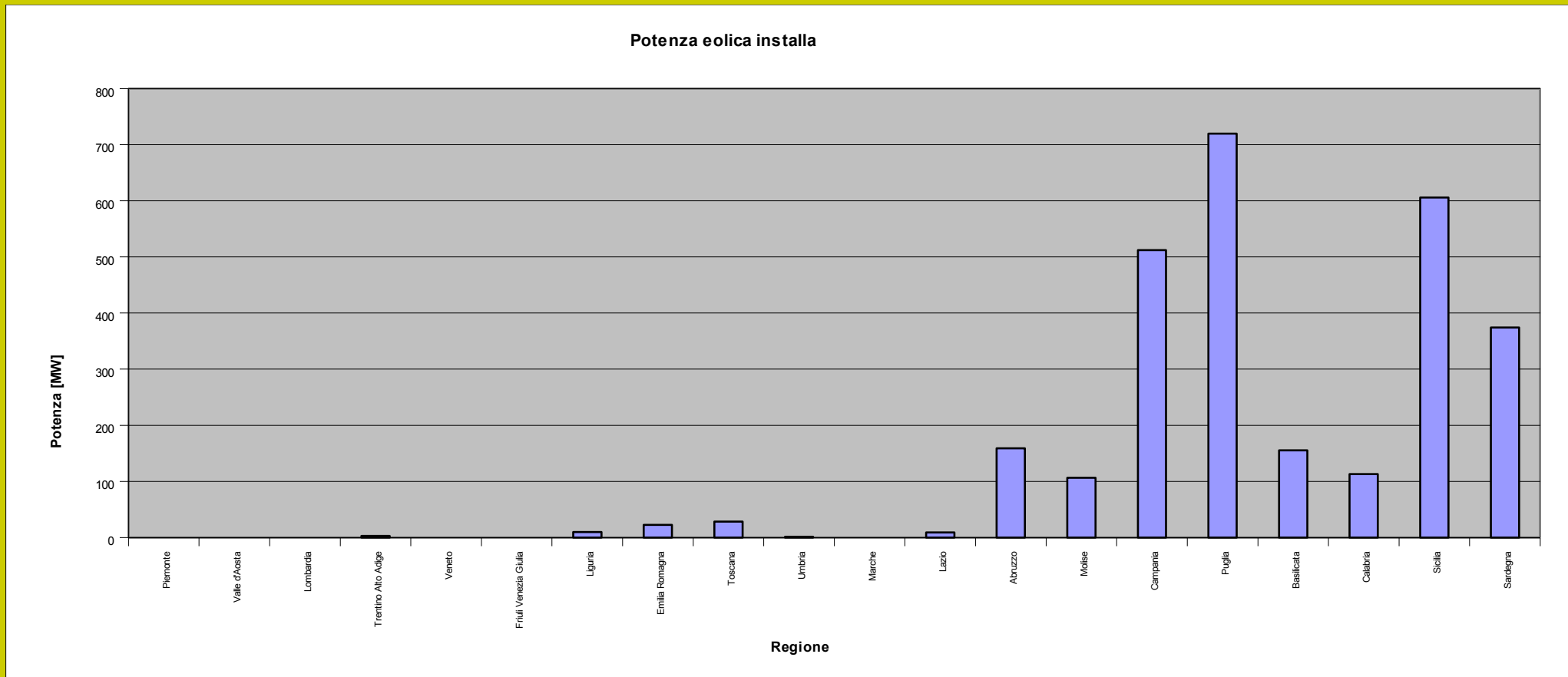
- Totale
- Idrica
- Geotermica
- Biomasse e rifiuti
- Eolica
- Solare

# Quadro delle energie rinnovabili in Italia (2008).

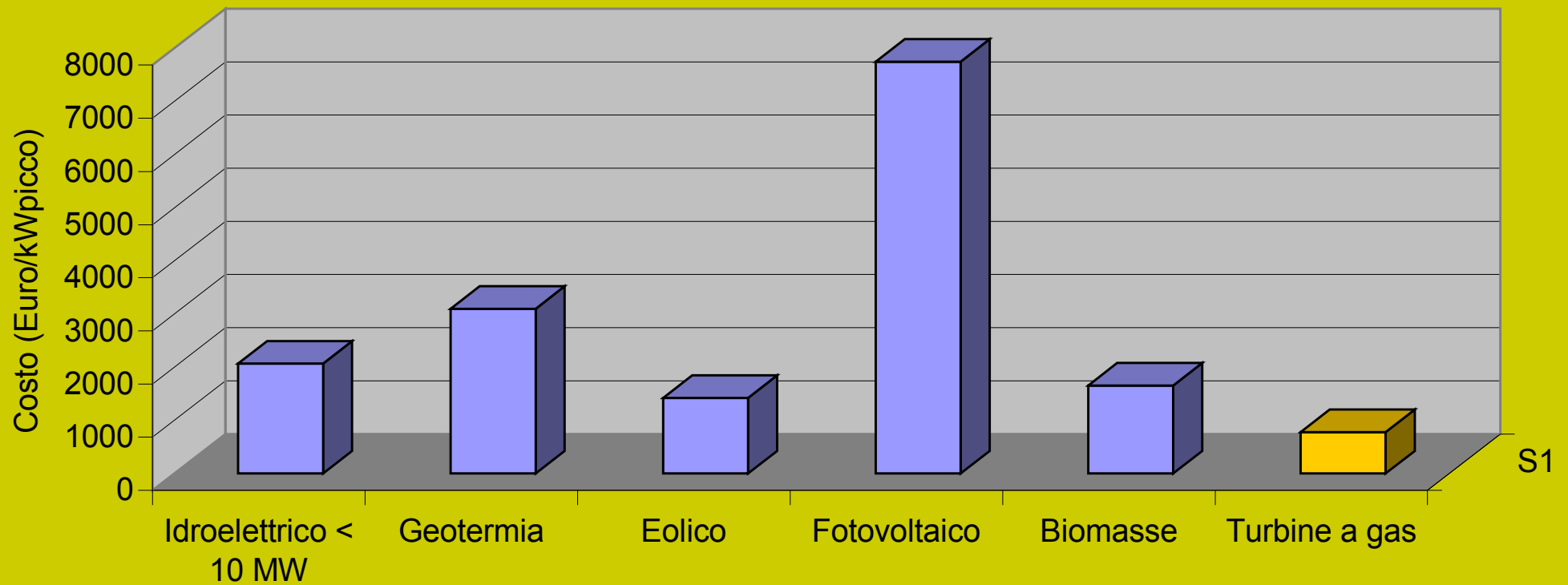
**Diffusione delle fonti rinnovabili nelle Regioni italiane**

<b>REGIONE</b>	<b>Idroelettrici &lt;3 MW</b>	<b>Eolici MW</b>	<b>Solari (FV) MW</b>	<b>Geotermici MW</b>	<b>Biomasse MW</b>
Piemonte	9,7	-	6,45	0,3	47,2
Valle D'Aosta	3,0	-	0,08	-	-
Lombardia	14,8	0,0	10,3	2,3	112,4
Trentino Alto Adige	10,7	2,6	10,8	0,3	10,5
Veneto	6,9	0,0	7,9	-	25,7
Friuli Venezia Giulia	3,9	-	2,5	-	0,4
Liguria	1,3	9,8	8,1	-	11,9
Emilia Romagna	9,3	22,6	9,5	14,7	36,2
Toscana	1,0	28,3	6,1	735,2	25,7
Umbria	0,5	1,5	4,2	-	-
Marche	5,4	-	2,7	0,02	0,2
Lazio	2,4	9,0	5,5	40	-
Abruzzo	0,2	158,8	1,2	-	-
Molise	3,7	106,4	0,1	-	48,1
Campania	-	512,1	2,5	-	5,00
Puglia	-	719,6	2,5	-	49,2
Basilicata	0,1	155,4	1,1	-	-
Calabria	0,1	113,1	4,6	-	133,0
Sicilia	-	605,8	4,2	-	17,00
Sardegna	-	374,4	2,8	-	-
<b>ITALIA</b>	<b>73,0</b>	<b>2819,4</b>	<b>104,0</b>	<b>792,9</b>	<b>522,5</b>

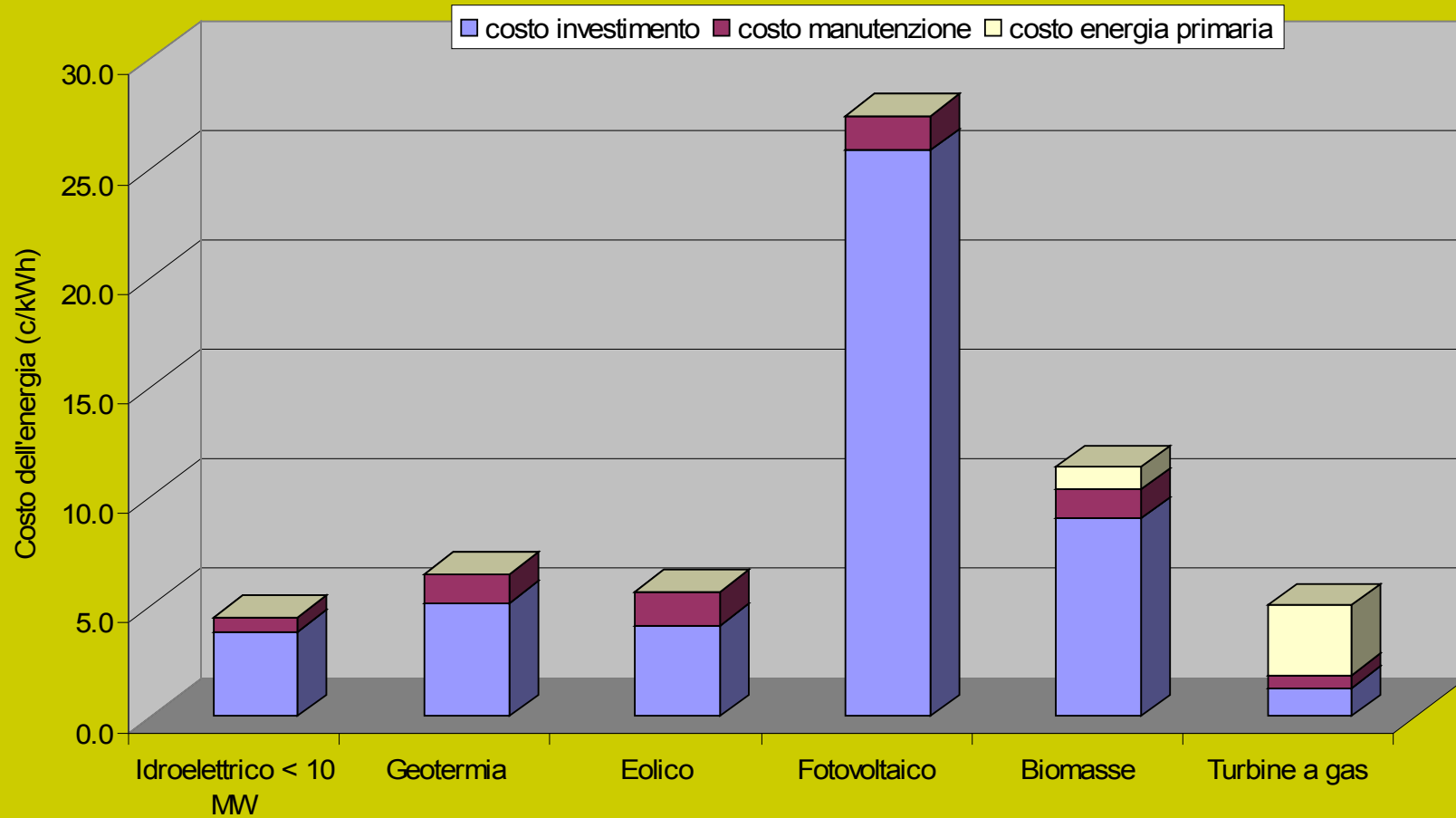
# Potenza eolica installata in Italia (2008).



# Raffronto tra i costi di produzione per varie tecnologie.



# Raffronto tra i costi di produzione per varie tecnologie.



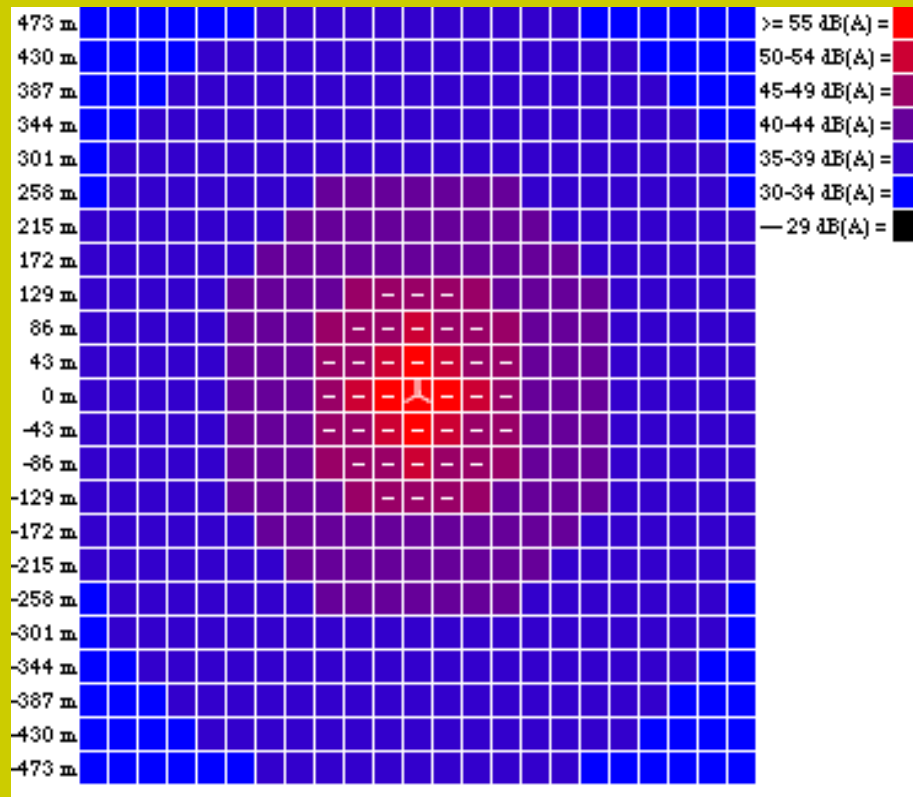
# Alcune problematiche: l'impatto ambientale



Grandi differenze?



# Rumore di fondo e shadow casting

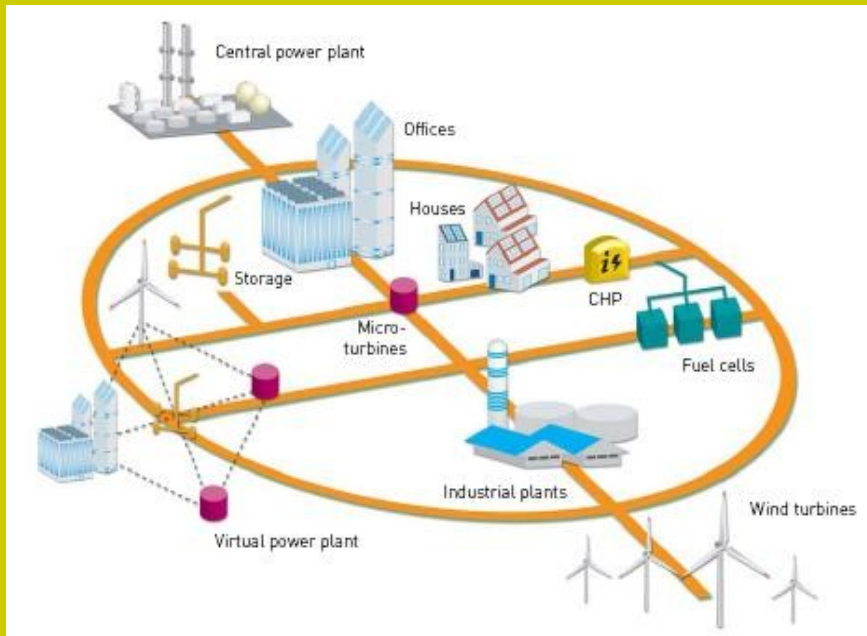


- Gli aerogeneratori producono un notevole rumore di fondo che va diminuendo con la distanza. Oltre i 500-600 metri tale rumore cessa di essere fastidioso.



- Il problema delle ombre variabili create dal movimento delle pale risulta essere molto fastidioso per animali e persone (soprattutto nel Nord Europa).

# Alcune problematiche: Smart Grid.



- L'attuale rete elettrica è ha struttura “piramidale”: centrali di produzione molto grandi producono l'energia necessaria per le varie utenze.

- Il diffondersi delle fonti rinnovabili fa sì che le utenze passino da “passive” ad “attive”. I flussi energetici diventano bidirezionali.



- L'attuale rete non è preparata a questa nuova situazione: occorre trasformarla in una rete intelligente (“smart grid”). La nuova rete non è più piramidale ma formata da molte isole tra loro interfacciate.

# Life Cycle Assessment (LCA)

Quanto tempo serve per recuperare l'energia “spesa” per produrre l'aerogeneratore?

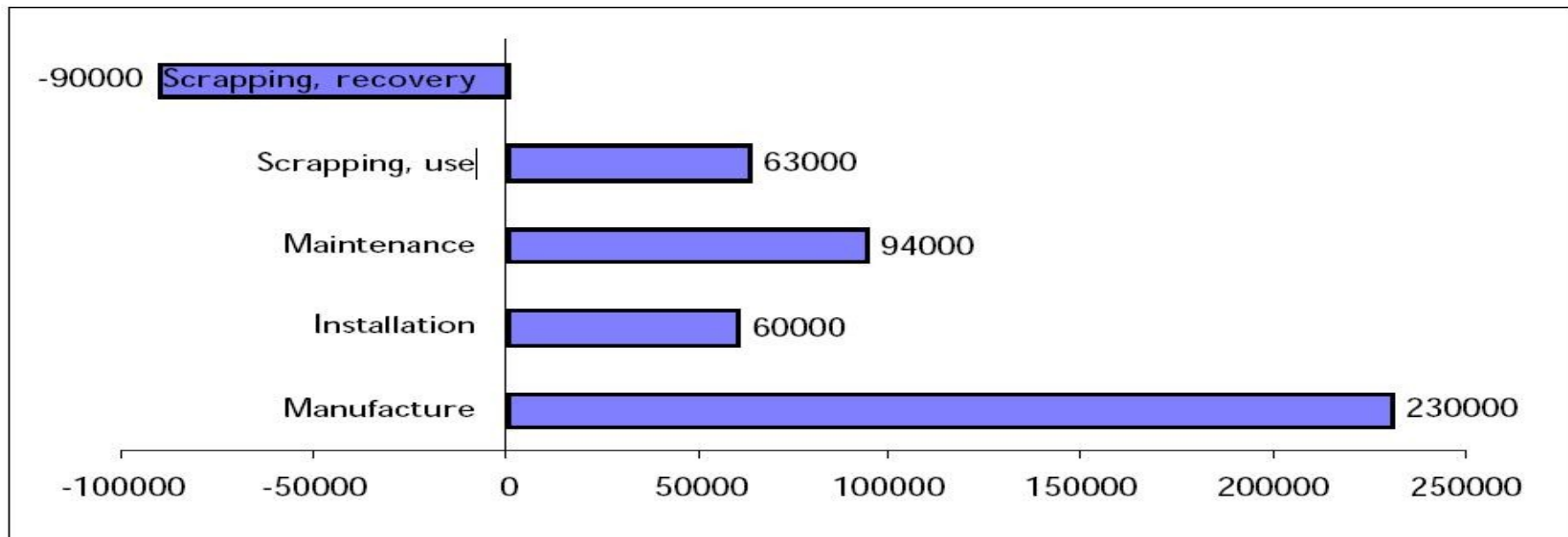


Figure 1. Energy use recalculated to kWh electricity (net energy use)

Nel caso di un generatore eolico da 600 kW, circa 4-5 mesi (nell'immagine). Generatori più grandi hanno tempi simili.

# Carta del vento nel pinerolese



Venerdì 6 febbraio 2009

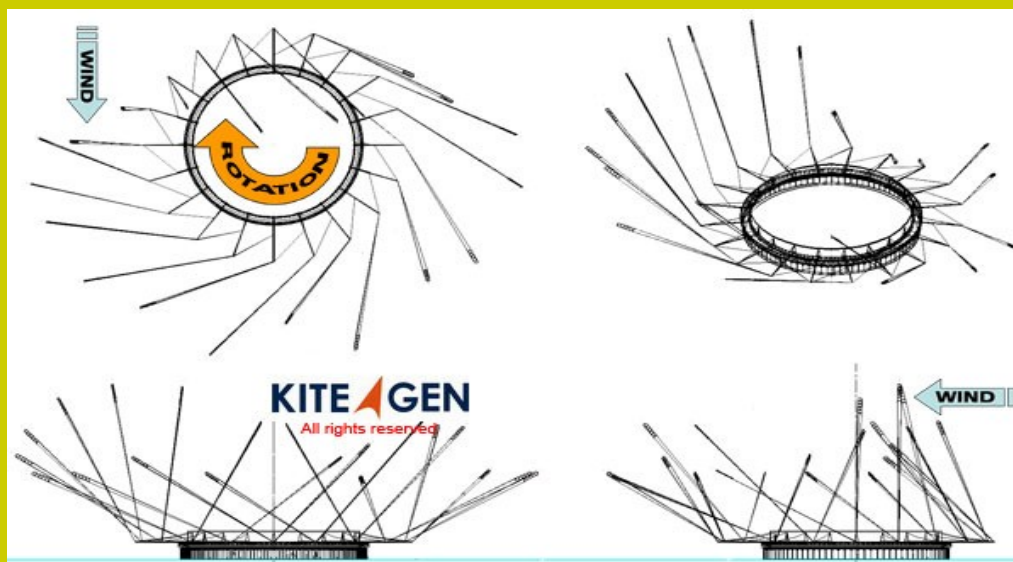
# Un progetto innovativo: Kite Gen



- Prototipo già esistente e funzionante.

- Realizzato da Kite Gen Research, in collaborazione con il Politecnico di Milano e il Politecnico di Torino.

- Gli “aquiloni” sono in grado di catturare l'energia eolica fino a 800 m di altezza.



- Il prototipo per ora non sfrutta il concetto di girante a terra ma è dotato di un singolo aquilone collegato ad un generatore.

- Notevoli potenzialità.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE.

Venerdì 6 febbraio 2009