

Collegio Geometri Provincia di Brescia
P.le Cesare Battisti, 12 – 25128 Brescia

CORSO PER CERTIFICAZIONE ENERGETICA EDIFICI

Aprile- Maggio 2010

LEZIONE 6

6d. CONTRIBUTO DELLE FONTI RINNOVABILI

Dott. Ing. Gian Battista Pasquini
Edolo (BS), via G.Marconi, 76
Tel. 0364-72655
E-mail. Str.edolo@tiscalinet.it

Collegio Geometri Provincia di Brescia

Lezione 6d

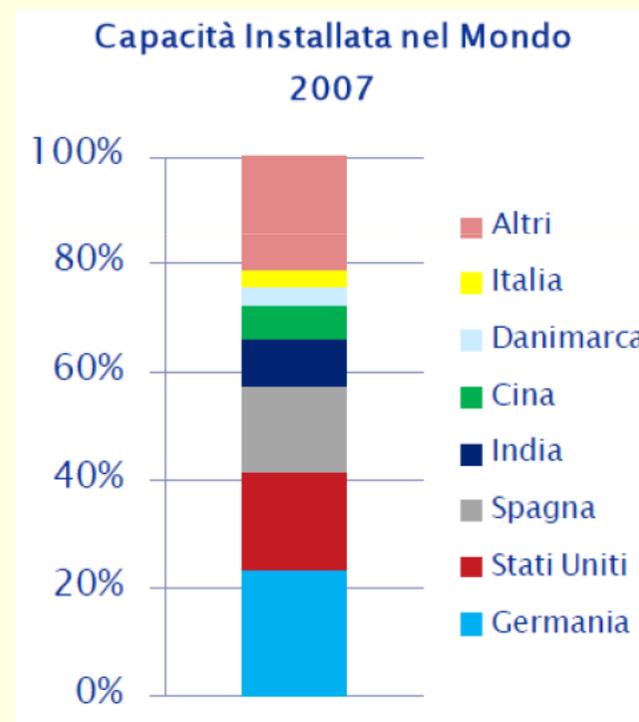
1

Indice

- Panoramica sulla normativa italiana
- Tecnologie disponibili
- Siting e analisi delle potenzialità
- Dimensionamento e analisi dei costi benefici
- Esempi di realizzazione ed integrazione in edifici

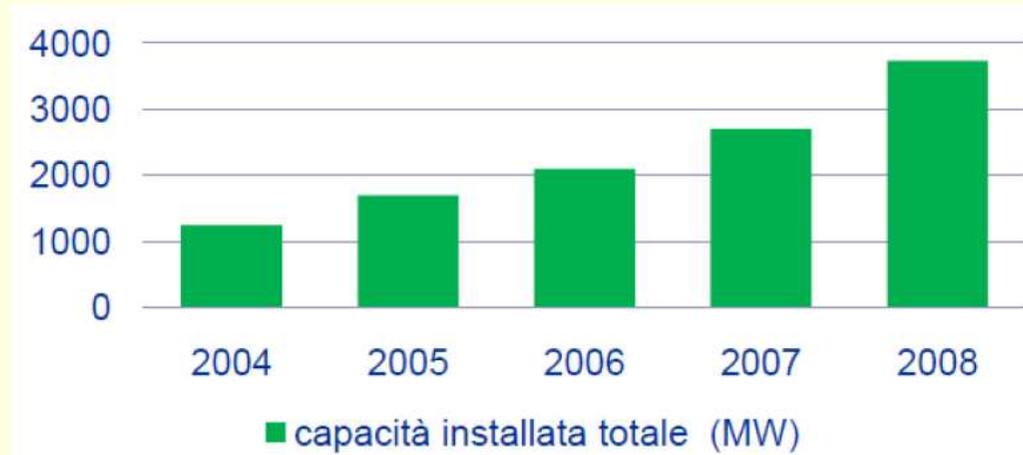
Eolico in Italia

- Italia ha il 2,9% della capacità installata nel mondo
- Solo l'1,7% dell'energia elettrica consumata in Italia è di fonte eolica:
 - Media EU-27 (3,8%)
 - Danimarca (21%)
 - Spagna (11%)
 - Germania (7%)



Eolico in Italia

- Nel 2008 le installazioni per sfruttare l'energia del vento, pari a 1.010 MW, sono cresciute di circa il 35%
- La potenza installata in Italia ha raggiunto i 3.736,47 MW e la produzione elettrica si è attestata a oltre 6 TWh



Normativa

- Gli impianti per autoconsumo possono risultare economicamente convenienti per alimentare utenze isolate in zone ventose
- Gli impianti molto più grandi riescono a sfruttare economie di scala e incentivi alla produzione di energia elettrica che ne fanno la tecnologia più competitiva rispetto alle fonti tradizionali
- Un impianto eolico fino a 20 kW beneficia dal 13 Febbraio 2006 (delibera 28/06 dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas) del regime di scambio sul posto tra l'energia prodotta dall'impianto e quella consumata attraverso la rete elettrica

Delibera 28/06 AEEG

- **Ambito di applicazione:**
 - Condizioni tecnico-economiche del servizio di scambio sul posto dell'energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza nominale non superiore a 20 kW
- **Richiesta di connessione:**
 - La richiesta di usufruire del servizio di scambio sul posto deve essere presentata all'impresa distributrice competente nell'ambito territoriale in cui è ubicato l'impianto
- **Misura dell'energia prodotta:**
 - Le apparecchiature di misura (installate e mantenute dal Gestore) devono consentire la misura dell'energia elettrica attiva immessa e prelevata nel punto di connessione

6

Delibera 28/06 AEEG

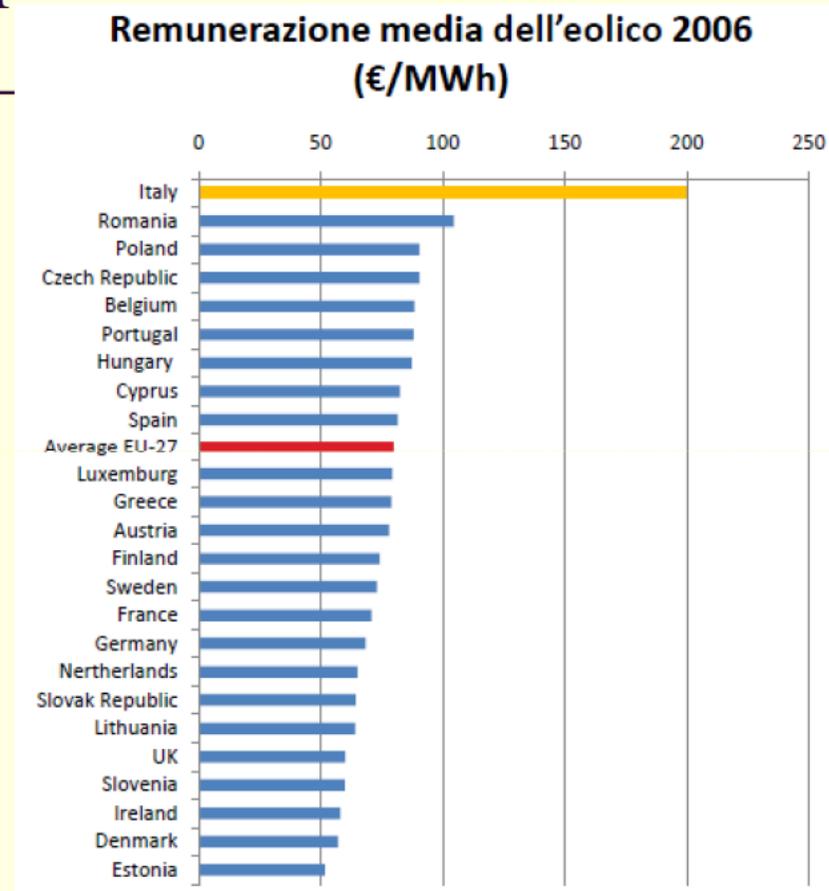
- **Misura dell'energia prodotta (scelta tra):**
 - saldo annuo: l'energia elettrica immessa e quella prelevata si compensano tra loro sulla base dell'anno, indipendentemente dalle fasce orarie in cui l'energia elettrica viene immessa e prelevata
 - saldo annuo per fasce: l'energia elettrica immessa e quella prelevata si compensano tra di loro sulla base dell'anno in ciascuna fascia oraria. Il saldo annuo per fasce può essere scelto dal Richiedente solo se l'energia elettrica immessa e quella prelevata sono entrambe misurate da misuratori atti a rilevare l'energia elettrica per ciascuna fascia oraria
- **Corrispettivi per il servizio:**
 - Il Richiedente versa al Gestore contraente un corrispettivo annuo a copertura dei costi relativi all'erogazione del servizio di scambio sul posto pari a 30 euro per punto di connessione

Remunerazioni

- Per le macchine da 20 a 200 kW il meccanismo dei CV, unitamente alla vendita dell'energia, può portare a tempi di ritorno dell'investimento interessanti
- In alternativa (Finanziaria 2008):
 - tariffa fissa omnicomprensiva a 22 c€/kWh prodotto
- Per le macchine sotto i 20 kW collegate alla rete per lo scambio sul posto (delibera AEEG 28/06) la possibilità di detrazione fiscale e/o un incentivo in conto capitale abbasserebbero notevolmente i tempi di ritorno dell'investimento

Remunerazioni

- Remunerazione in Italia è del 150% superiore alla media EU-27
 - Certificati verdi + Prezzo energia
- Elevata remunerazione compensa la ventosità inferiore



Energia eolica

- Fonte di energia rinnovabile
- Emissioni zero (in operazione)
- Combustibile gratuito:
 - A differenza di altre fonti di energia, non ha costo di combustibile
 - Impatto più rilevante dell'investimento iniziale nel costo complessivo del progetto
- La produttività dipende del vento, quindi:
 - La produzione non è controllabile, ed è variabile nel tempo
 - Deve essere combinata ad altre fonti energetiche per garantire la fornitura stabile di energia in periodi di bassa produttività (assenza di vento)

10

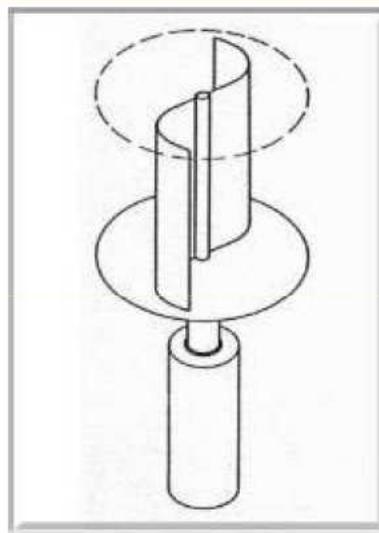
Applicazioni

- L'uso predominante dell'energia elettrica prodotta dal vento può essere di due tipi:
 - collegamento alla rete
 - alimentazione di utenze isolate
- Presenza sul mercato di macchine di potenza da pochi Watt sino a 2 kW usate preminentemente come carica batterie (che vedono tra le applicazioni più frequenti l'impiego sulle barche da diporto)

Aerogeneratori ad asse verticale



Turbina
Darrieus



Rotore
Savonius



Rotore
Windside

Aerogeneratori ad asse orizzontale



Mulino
multipala per
applicazioni
meccaniche



Turbina eolica ad
eliche di
1 kW (0,001MW)



Turbine eoliche di 3
MW

Confronto tecnologie

	Asse Verticale	Asse Orizzontale
Vantaggi	<ul style="list-style-type: none">• Orientabilità non necessaria• Funzionamento con venti a bassa e ad alta velocità	<ul style="list-style-type: none">• Elevata rotazione e efficienza• Posizionamento sopra torre garantisce vento più veloce (meno turbulento)
Svantaggi	<ul style="list-style-type: none">• Bassa velocità di rotazione e ridotta efficienza• Avviamento non spontaneo (Darrieus)• Alimentata di vento più turbulento (vicino a terra)• Sforzi meccanici elevati	<ul style="list-style-type: none">• Orientabilità necessaria• Complessità di costruzione e progettazione
Applicazioni	<ul style="list-style-type: none">• Ridotte sia per applicazione meccanica sia per la produzione di energia elettrica	<ul style="list-style-type: none">• Diffuse in tutte le applicazioni (meccanica, piccoli impianti e centrali elettriche)

Innovazioni tecnologiche

- Tra le innovazioni tecnologiche più significative si segnalano:
 - controllo di pitch
 - operatività nei regimi di bassa velocità del vento
 - riduzione del rumore
 - migliore forma della macchina, per ragioni estetiche
 - utilizzo come torre di sostegno di strutture preesistenti, come pali della luce e tralicci
 - sicurezza

Attività di ricerca

- Presenza di un campo sperimentale a Trento dove sono sottoposte a verifica le prestazioni di macchine appartenenti al micro e mini-eolico:
 - Obiettivo di individuare le eventuali lacune e suggerire ai costruttori le soluzioni per rendere le macchine più affidabili e competitive
- Struttura gestita dalla locale Università (facoltà di Ingegneria)

Produttori italiani

LE SOCIETÀ ITALIANE PRESENTI NEL SETTORE E LE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLE MACCHINE DI LORO PRODUZIONE

SOCIETÀ	MODELLI	POTENZA E VELOCITÀ NOMINALE	DIAMETRO ROTORE	ALTEZZA TORRE
JONICA IMPIANTI	JIMP20 - TRIPALA	20 KW 10,5 M/S	10M	18-24M
ROPATEC (ASSE VERTICALE)	EASY VERTICAL	1 KW 14 M/S	1,8M X 1,15M	6,8M (H. TOT)
	SIMPLY VERTICAL	3 KW 15 M/S	3,3M X 2M	7,7M "
	MAXI VERTICAL	6 KW 14 M/S	4,7M X 2,5M	8,4M "
	BIG STAR VERTIC.	20 KW 14 M/S	8M X 4,3M	15,7M "
BLU MINI POWER	MAESTRALEFORZA 20	20 KW 12 M/S	8,15M	18M (12-24M)
EOLPOWER	EOL-H-5	5 KW 9 M/S	5,8M	
SALMINI	SP 8094 (BINALA)	240 W	0,83M	
	SP 2004 "	450 W	1,4M	
	TRIPALA	1,6 KW 10 M/S	3,5M	
TEROM	ATBV25	50 KW 7,8 M/S	25M	25-30M

17

Produttori italiani

- **Blu Mini Power:**
 - macchine di differenti potenze: 1, 3 e 5 kW, taglie che andrebbero a coprire un'interessante richiesta potenziale soprattutto per le più piccole utenze, che oggi sarebbe soddisfatta quasi solo da turbine di produzione estera
- **Elettromeccanica Salmini (Va):**
 - macchina da 1,6 kW
 - Impegnata solo su produzione micro-turbine eoliche per applicazioni isolate

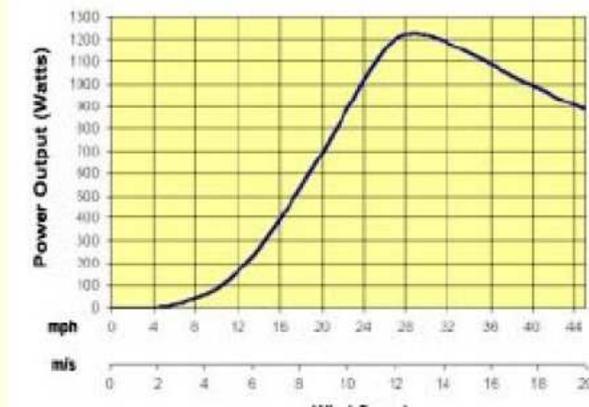
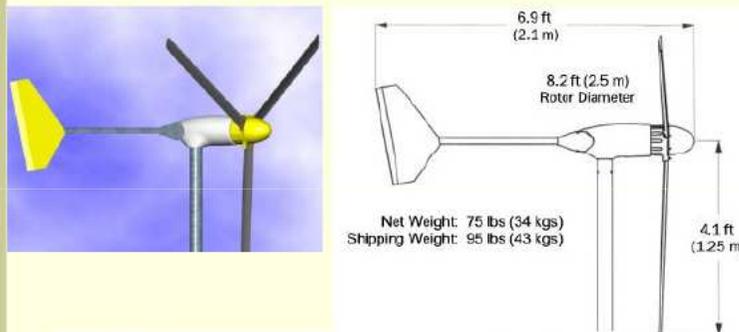
Produttori stranieri

- **Whisper:**
 - potenza va da 500W a 3200W
 - sistema di sicurezza a sbandamento laterale in alto del rotore
 - molto più efficienti a vento bassi degli altri modelli
- **AIR X 400:**
 - potenza massima di 400W ad una velocità del vento di 12,5 m/s
 - non richiede torre ma un semplice palo di sostegno
 - completo di regolatore di carica 12 o 24 o 48 V
- **Swift:**
 - Rumorosità ridotta

Micro turbine eoliche

- Asse orizzontale

Bergey 1 kW



Enflo 0,5 kW



Technical data:

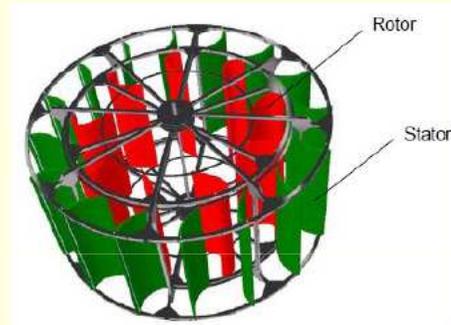
Output	
Wind turbine rating	0.5 kW
Rated speed	12.5 m/s (28 mph)
Cut-in wind speed	1.5 m/s (3.3 mph)
Cut-out wind speed	25 m/s (56 mph)
Survival wind speed	55 m/s (122 mph)
Rotor	
Diameter	0.69 m
Wind-flow area	0.38 m ²
Number of blades	5
Rated rotor speed	1200 rpm

Micro turbine eoliche

- Asse verticale



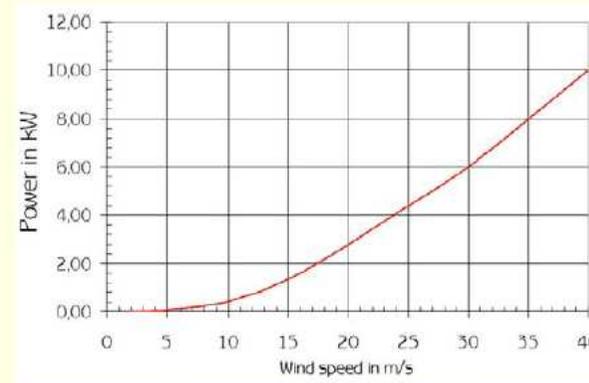
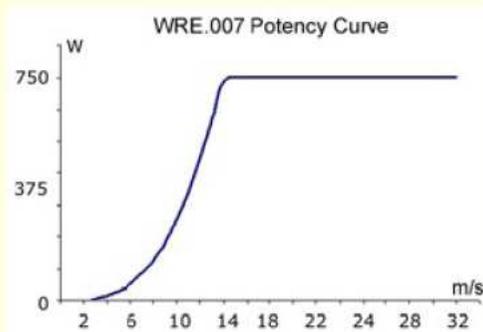
Ropatec 0,7 kW



Gual 4 kW



Windside 0,7 kW

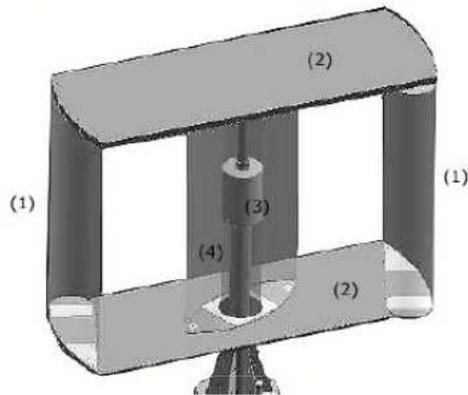


Ropatec

- La macchina è indipendente dalla direzione del vento e parte autonomamente già a una velocità di 2-3 m/s e inizia a produrre da 4 m/s
- Il rotore può garantire un'erogazione dell'energia elettrica nominale anche con velocità del vento molto elevate, tanto che diverse macchine sono state installate e testate a oltre 3.000 m d'altezza o in situazioni estreme
- Macchine silenziose: circa 46 dB a 8-10 m/s, che si riducono della metà alla distanza di 20 metri
- Costi elevati: circa 11.000 € (senza palo) per la macchina da 3 kW e poco meno di 17.000 € (con inverter) per quella da 6 kW

22

Ropatec

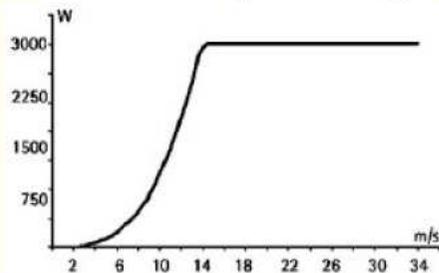


2 x ali (1)

2 x console (2)

1 x tubo interno e generatore (3)

2 x rivestimento per il nucleo (4)



Dati tecnici		
WindRotor	Potenza nominale all'asse (14 m/s)	3000 W
	Velocità di avviamento	2-3 m/s
	Velocità nominale	14 m/s
	Controllo giri/min	Auto regolato aerodinamicamente
	Giri/min. massimi (livello del mare)	100-120 con 14 m/s di vento
	Velocità vento "cut off"	nessuna
	Peso WindRotor	430 kg
	Tipo di turbina	Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)
	Diametro	3,3 m
	Superficie	7,26 m ² (3,3 m x 2,2 m)
	Trasmissione	nessuna
Freno	Non necessario	
Alternatore	Alternatore	A magneti permanenti
	Trasmissione elettrica	senza spazzole
MSP-Controller (invertitore con carica batteria incluso)	Carica batteria	48VDC
	Uscita MSP off-grid	2 x 115 VAC
	Uscita MSP on-grid	230 VAC / 50Hz o 60 Hz
Garanzia	Garanzia sul impianto	2 anni
	Garanzia della potenza nominale	15 anni
Esempio di energia prodotta* (livello del mare, Weibull K 2, altezza palo 10 m)	Vento medio annuo 5 m/s	Produzione annua 1526 kwh
	Vento medio annuo 7 m/s	Produzione annua 3804 kwh
	Vento medio annuo 9 m/s	Produzione annua 6431kwh ²³
	Vento medio annuo 11 m/s	Produzione annua 8735 kwh

Dott. Ing. Gian Battista Pasquini

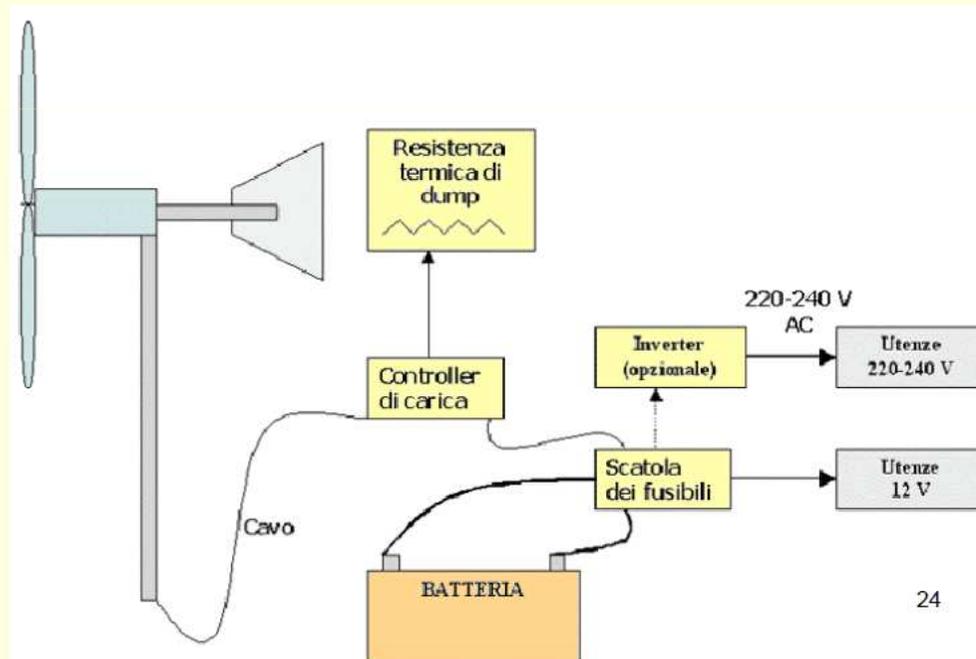
Edolo (BS), via G.Marconi, 76

Tel. 0364-72655

E-mail. Str.edolo@tiscalinet.it

Applicazione domestica

- Componenti:
 - Rotore
 - Generatore (a magneti permanente)
 - Coda a banderuola
 - Torre
 - Controllers
 - elettronici
 - Batterie

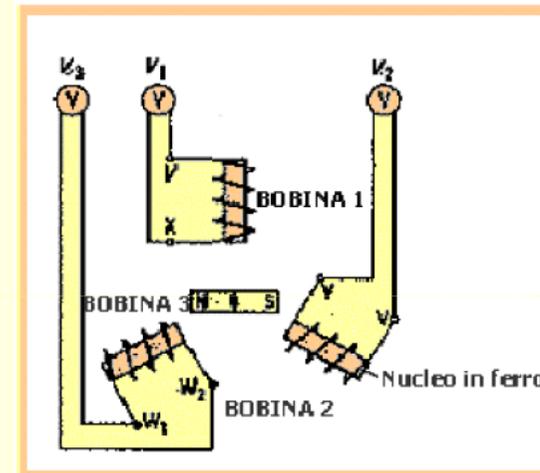


24

Applicazione domestica

- Rotore

- Il generatore a magneti permanenti (PMG) consente di estrarre la massima potenza dal rotore che gira a basse velocità conciliando la semplicità di costruzione (e quindi i bassi costi) con la migliore efficienza nel caso di utilizzo per piccoli impianti



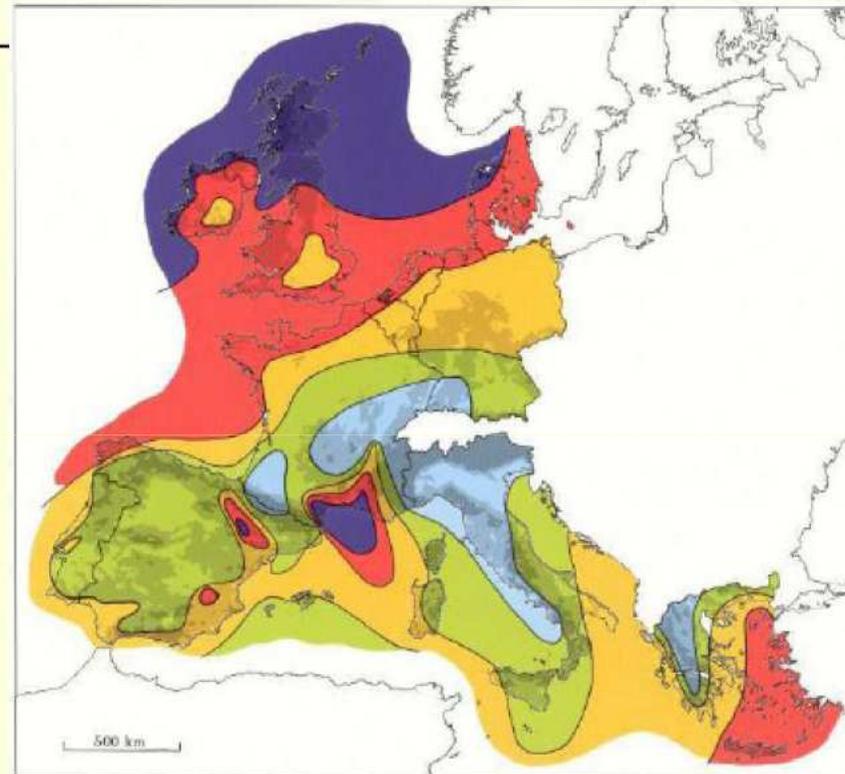
- Controllers elettronici:

- Controller di carica: se la batteria è già carica devia il flusso della corrente su degli elementi che possano disperdere energia
- Sconnessione per basso voltaggio: dispositivo che interrompe il collegamento tra l'utenza e la batteria quando il voltaggio diviene troppo basso

25

Potenziale eolico Europa

- I venti in Italia hanno un potenziale energetico inferiore rispetto alle zone più ventose del continente
- Potenziale italiano stimato in 14GW, finora 3,7GW installati



Wind resources ¹ at 50 metres above ground level for five different topographic conditions									
Sheltered terrain ²		Open plain ³		At a sea coast ⁴		Open sea ⁵		Hills and ridges ⁶	
$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}
> 6.0	> 250	> 7.5	> 600	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-600	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	2600-1200
3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0- 8.5	400- 700
< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Dott. Ing. Gian Battista Pasquini

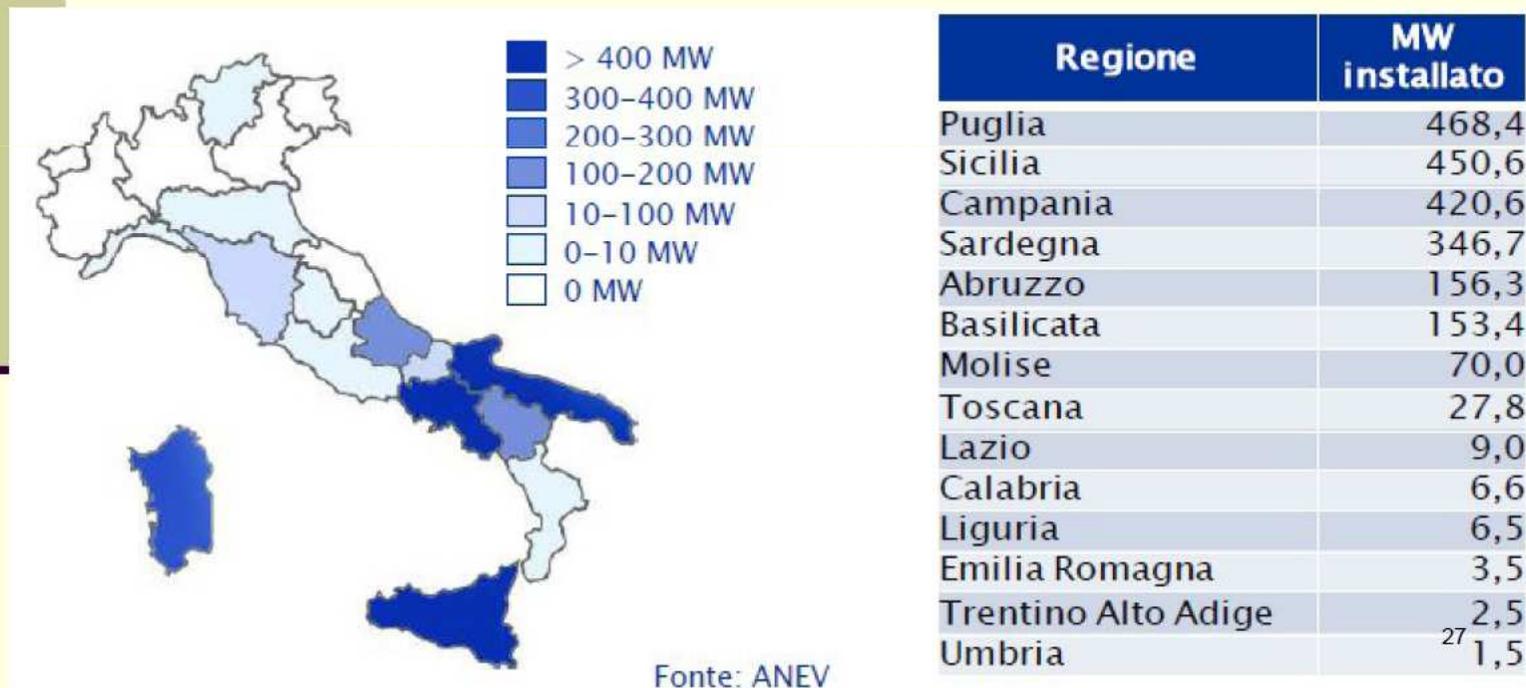
Edolo (BS), via G.Marconi, 76

Tel. 0364-72655

E-mail. Str.edolo@tiscalinet.it

Potenziale eolico Italia

- Distribuzione della potenza eolica installata (2007)



Dott. Ing. Gian Battista Pasquini

Edolo (BS), via G.Marconi, 76

Tel. 0364-72655

E-mail. Str.edolo@tiscalinet.it

Siting

- Valutazione del sito tramite caratterizzazione anemometrica (campagna anemologica):

- Strumentazione
- Tempistica



- Approssimazione statistica delle distribuzioni reali della velocità del vento (Weibull):

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{u}{c} \right)^k \right]$$

$$(k > 0, u > 0, c > 1)$$

28

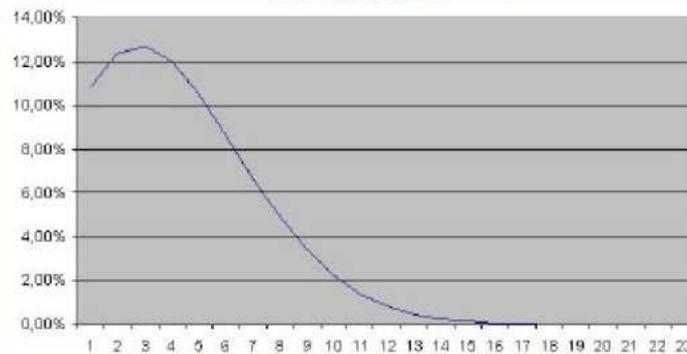
Distribuzione di Weibull

- Per stimare la produzione della turbina servono la velocità media ed il fattore k . Per facilitare il calcolo, è possibile assumere dei fattori Weibull k per diverse situazioni geografiche

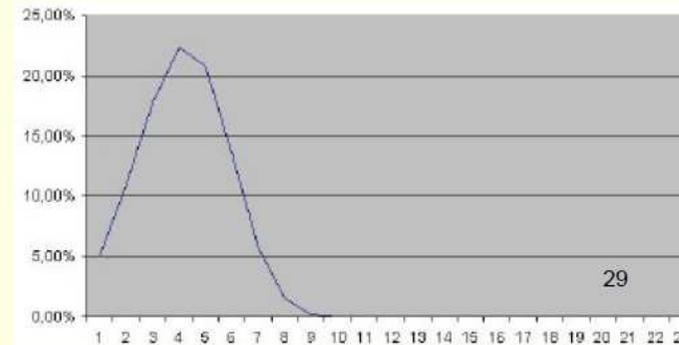
2 - per zone con venti molto variabili – montagna
2,5 - per zone con venti variabili – collina
3 - per zone con vento abbastanza regolari -campagna aperta
3,5 - per zone con venti regolari - zone costiere
4 - per zone con venti molto regolari - isole

- Esempio di due distribuzioni di Weibull (vento medio annuo di 6 m/s per entrambi)

Weibull $k = 2$



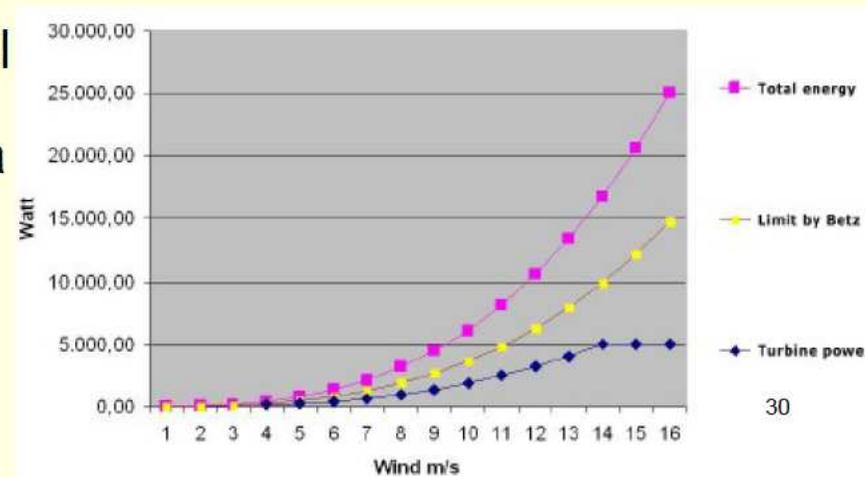
Weibull $k = 4$



Legge di Betz

- Una turbina eolica ideale rallenta il vento di un fattore $2/3$ rispetto alla velocità a monte della turbina
- Betz: si può convertire meno di $16/27$ (59%) dell'energia cinetica del vento in energia meccanica usando una turbina eolica

$$P_w = \rho A u^3 / 2$$



Procedura di calcolo produzione energia

INPUT		RISULTATI	
Velocità media (m/s)	4,6	Velocità media al mozzo (m/s)	4,60
Weibull K	2	Coefficiente densità aria	-0,1377
Altitudine sito (m)	1500	Output potenza media (W)	146,94
Coefficiente rugosità terreno	0,2	Output energia giornaliera (kWh)	3,53
Altezza anemometro (m)	10	Output energia mensile (kWh)	107,27
Altezza torre (m)	10	Output energia annuale (kWh)	1287,19
Fattore di turbolenza	0,02	Tempo funzionamento	0,79
Margine di sicurezza	0		

NOTE	
Velocità media (m/s)	Velocità media annuale di un sito
Weibull K	K = 2 per zone interne e K = 3 per zone costiere
Margine di sicurezza	Per essere sicuri di soddisfare i carichi: 0,05 per utenze isolate con back-up power fra 0,15 e 0,25 per applicazioni con telecomunicazioni fra 0,2 e 0,4 per carichi ad alta priorità senza back-up power
Fattore di turbolenza	Valore compreso fra 0 e 0,05; varia anche con la dimensione della turbina considerata
Coefficiente rugosità terreno	Valore medio = 0,18; per terreno estremamente rugoso = 0,22; per spazi aperti (mare) = 0,11; varia anche con la dimensione della turbina considerata

Procedura di calcolo produzione energia

CALCOLI PERFORMANCE			
Velocità vento (m/s)	Potenza nominale (W)	Distribuzione della frequenza	Output potenza (W)
1	0,0	0,0721	0,00
2	1,7	0,1289	0,22
3	18,6	0,1604	2,98
4	50,7	0,1645	8,34
5	105,6	0,1468	15,51
6	194,4	0,1167	22,69
7	316,9	0,0837	26,53
8	447,9	0,0546	24,44
9	591,5	0,0325	19,22
10	676,0	0,0177	11,98
11	904,2	0,0089	8,03
12	1014,1	0,0041	4,15
13	1039,4	0,0017	1,81
14	1014,1	0,0007	0,69
15	971,8	0,0002	0,24
16	925,3	0,0001	0,08
17	878,9	0,0000	0,02
18	836,6	0,0000	0,01
19	794,4	0,0000	0,00
20	752,1	0,0000	0,00
Bergey BWC XL.1 (1 kW)		TOTALE POTENZA (W)	146,94

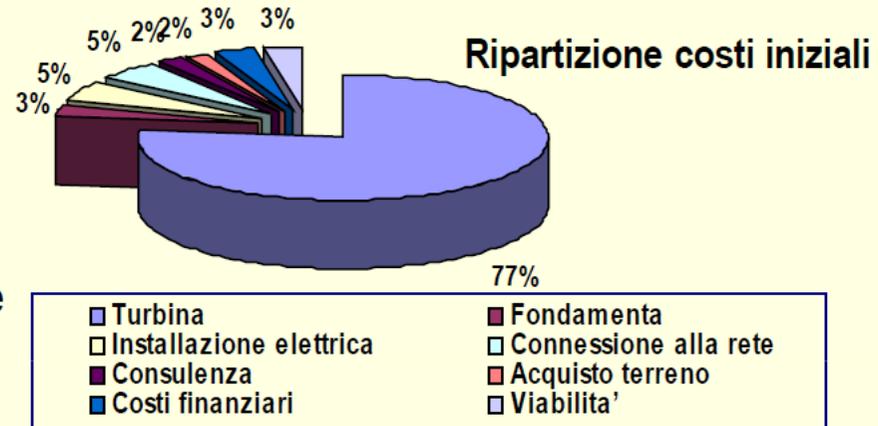
32

Analisi dei costi

- Costi di investimento:

- Fasi di installazione ed avvio dell'impianto

- Compresi fra 850 €/kW e 1290 €/kW



- Costi di esercizio e manutenzione:

Incidenza sul costo di produzione [€/kWh]		
Anni 1 – 5	Anni 6 – 10	Anni 11 – 20
0,007	0,009	0,014
Percentuale rispetto al costo di investimento		
Anni 1 – 2	Anni 3 – 10	Anni 11 – 20
1%	2%	4%

Fattori di influenza:

- Taglia e localizzazione dell'impianto
- Età della turbina

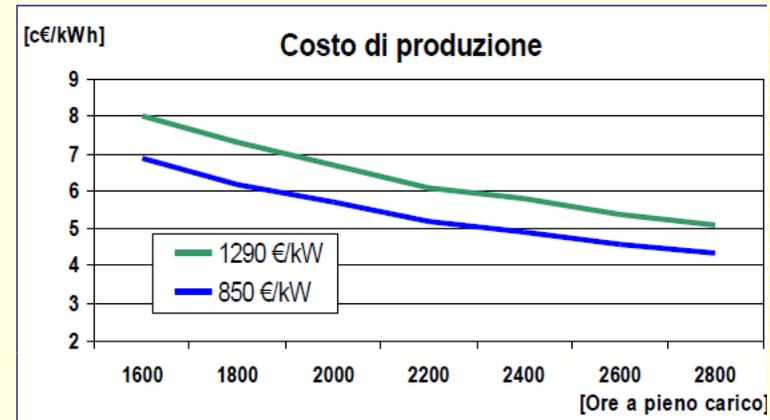
33

Analisi dei costi

- Costi di produzione:
 - Formule per la stima del costo di produzione (IEA)

$$C_{kWh} = \frac{I}{a \cdot AEO} + \frac{O \& M}{AEO}$$

- a = fattore di annualità
- I = costo dell'investimento iniziale [€]
- O&M = costi di manutenzione e funzionamento [€]
- AEO = produzione elettrica annuale [kWh]



- Costi di dismissione:
 - Affrontati al termine del ciclo di vita dell'impianto (20 anni)
 - Compresi fra 12 €/kW e 100 €/kW

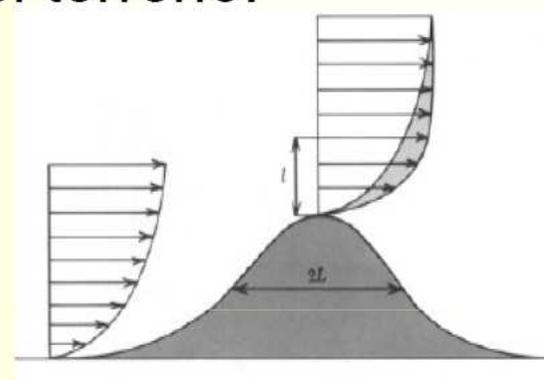
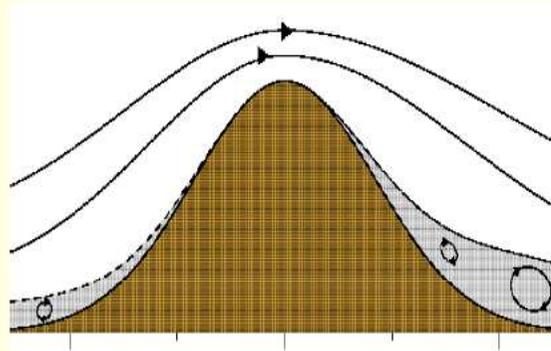
34

Ritorno economico

Anno	Invest.	CV	Risparmi	Costi manutenzione	Flussi cassa	Flussi cassa att.	Sommatoria
0	2800	0	0	0,00	-2800	-2800	-2800
1		115,85	231,69	9,01	338,53	322,41	-2477,59
2		115,85	231,69	9,01	338,53	307,06	-2170,53
3		115,85	231,69	9,01	338,53	292,43	-1878,10
4		115,85	231,69	9,01	338,53	278,51	-1599,59
5		115,85	231,69	9,01	338,53	265,25	-1334,34
6		115,85	231,69	11,58	335,96	250,70	-1083,65
7		115,85	231,69	11,58	335,96	238,76	-844,89
8		115,85	231,69	11,58	335,96	227,39	-617,50
9		115,85	231,69	11,58	335,96	216,56	-400,94
10		115,85	231,69	11,58	335,96	206,25	-194,69
11		115,85	231,69	18,02	329,52	192,66	-2,03
12		115,85	231,69	18,02	329,52	183,49	181,46
13		115,85	231,69	18,02	329,52	174,75	356,21
14		115,85	231,69	18,02	329,52	166,43	522,64
15		115,85	231,69	18,02	329,52	158,50	681,14
16		0,00	231,69	18,02	213,67	97,89	779,03
17		0,00	231,69	18,02	213,67	93,22	872,25
18		0,00	231,69	18,02	213,67	88,79	961,04
19		0,00	231,69	18,02	213,67	84,56	1045,60
20		0,00	231,69	18,02	213,67	80,53	1126,13

Installazioni in quota

- Complessità orografica del terreno:

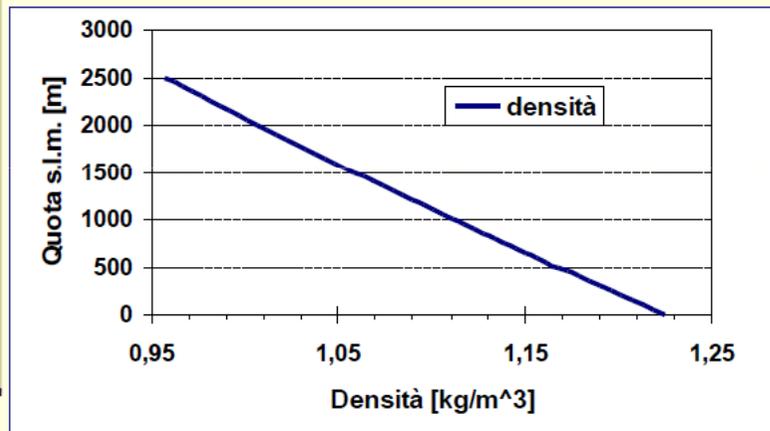


- Condizioni atmosferiche avverse:
 - Formazione di ghiaccio
 - Elevata probabilità di fulminazione



Installazioni in quota

- Diminuzione della densità dell'aria:



- Modifica del profilo logaritmico verticale di velocità:

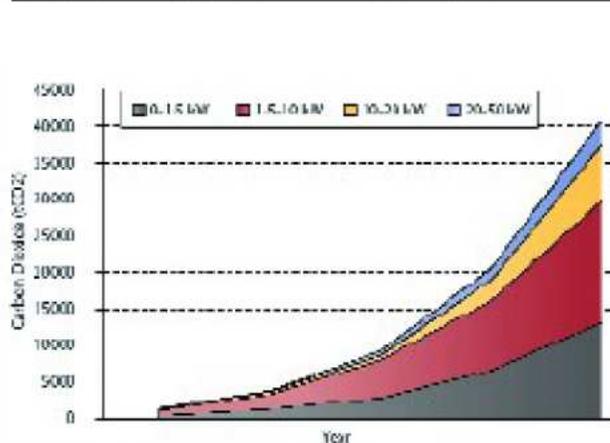
$$\frac{U(z_1)}{U(z_2)} = \frac{\ln(z_1/z_0)}{\ln(z_2/z_0)}$$

$$P_w = \rho A u^3 / 2$$

Effetti ambientali

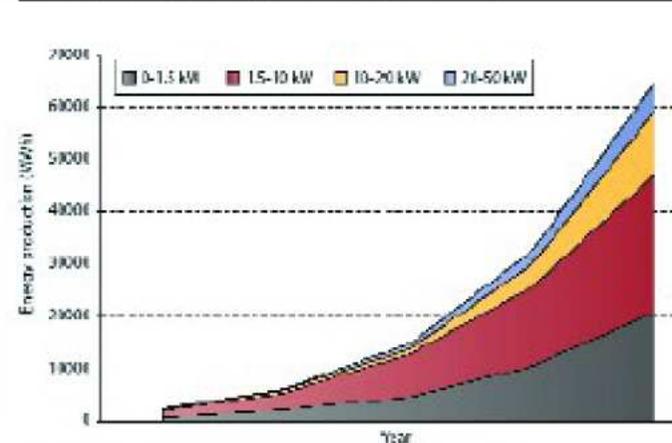
- Riduzione delle emissioni di CO₂:
 - Direttamente proporzionale all'energia prodotta
 - Coefficiente italiano pari a 0,49 kgCO₂/kWh

Annual CO₂ abatement by UK small wind systems



Unit size	2005	2006	2007	2008	2009
0-1.5 kW	478.22	1578.95	2898.24	6827.59	15997.58
1.5-10 kW	727.87	2006.49	5179.05	9457.68	16815.72
10-20 kW	183.14	166.18	619.85	2189.10	2599.21
20-50 kW	985.1	131.18	591.69	1544.97	3385.29

Annual UK small wind systems energy production



Unit size	2005	2006	2007	2008	2009
0-1.5kW	755.11	2186.49	4595.49	15508.49	20768.30
1.5-10 kW	1154.15	5171.99	8212.85	14995.24	26167.58
10-20 kW	298.29	589.79	962.87	4422.92	12017.84
20-50 kW	156.36	208.48	938.15	2449.24	5368.56

38

Turbine asse orizzontale



Turbine asse verticale



Dott. Ing. Gian Battista Pasquini

Edolo (BS), via G.Marconi, 76

Tel. 0364-72655

E-mail. Str.edolo@tiscalinet.it

Conclusioni

- Operatori del settore in grado di offrire un servizio chiavi in mano, comprensivo del supporto per affrontare l'iter autorizzativo
- Dal lato dell'offerta operatori investano maggiormente in ricerca e sviluppo per ottenere elevati standard di affidabilità delle macchine e per realizzare turbine adatte ai territori e ai regimi di vento in cui poi verranno collocate
- Per una crescita del mercato, infine, produttori e sviluppatori dovrebbero intraprendere una decisa azione di marketing