



Turbine eoliche: potenzialità e producibilità del mini eolico

Relatore

Prof. Ing. Martino Marini

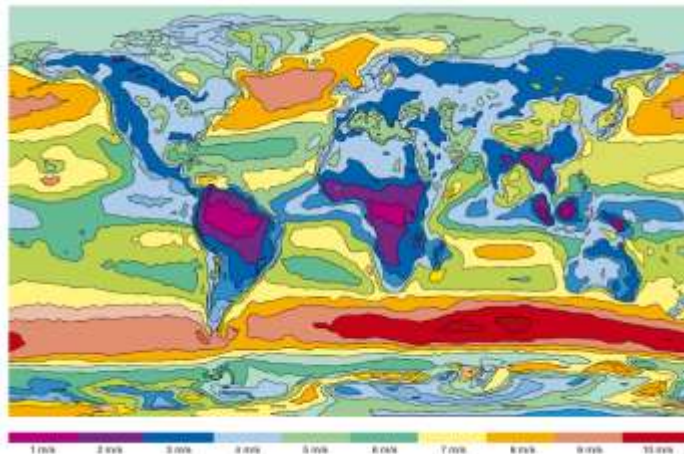


DADU, Dipartimento
di Architettura, Design e Urbanistica
Università di Sassari



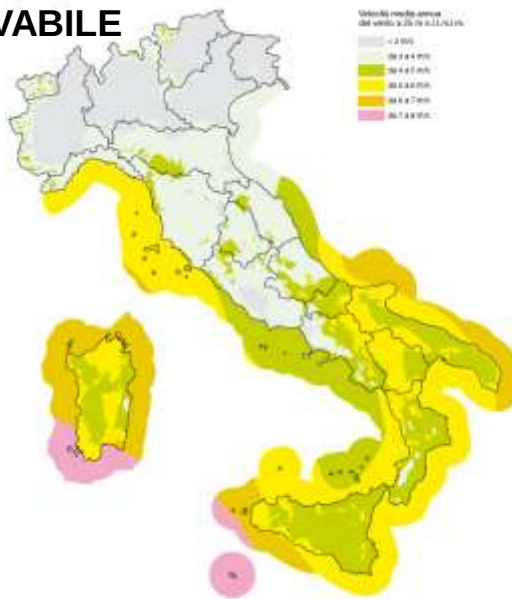
LA RISORSA RINNOVABILE EOLICA 1

- La differente insolazione a seconda della latitudine, la distribuzione delle terre e dei mari ed altri fattori macroscopici spiegano l'insorgere delle correnti ventose
- A lato una mappa del vento medio a 10 m dal suolo. Questa scala da in effetti poche indicazioni.



LA RISORSA RINNOVABILE EOLICA 2

- Più significativa la mappa della risorsa eolica per l'Italia, con particolare riferimento alla sua parte centro meridionale e alle aree marine
- E' una stima a 25 m dal suolo e conferma la buona predisposizione della Sardegna per l'Eolico.
- L'energia del vento è cinetica, legata alla velocità



POTENZA DELLA VENA FLUIDA 1

- La produzione di potenza elettrica dalle turbine eoliche avviene trasformando dapprima l'energia cinetica posseduta dal vento in energia meccanica di rotazione e poi convertendo quest'ultima in energia elettrica.
- L'energia cinetica E_c posseduta da una massa d'aria m che si muove ad una velocità v_1 costante è data da:

$$E_c = \frac{1}{2} m v_1^2$$

- La portata si può esprimere con la formula:

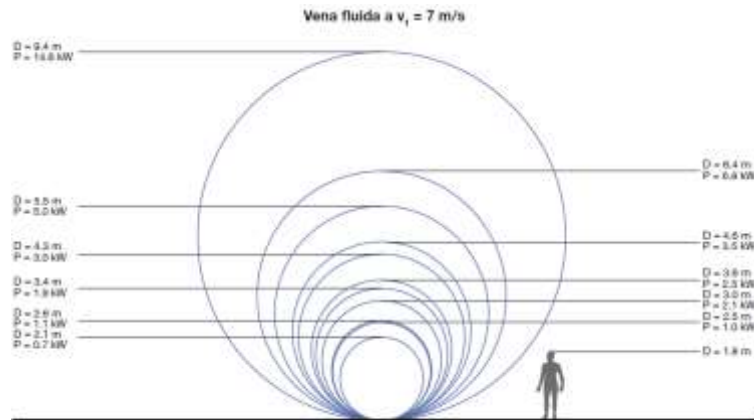
$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \rho A v_1$$

- La potenza disponibile specifica vale dunque:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

POTENZA DELLA VENA FLUIDA 2

- La potenza disponibile varia con il cubo della velocità del vento v_1 . Assumendo una densità dell'aria standard $1,225 \text{ kg/m}^3$, si arriva al diagramma indicativo della potenza disponibile in un certo tubo d flusso.

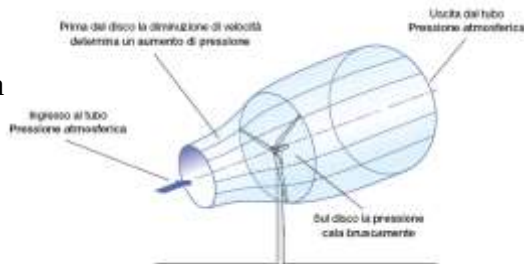


POTENZA DELLA TURBINA EOLICA

- La potenza estratta da una turbina eolica è funzione del coefficiente di potenza C_p e della potenza disponibile del vento ed è data da:

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

- C_p è un parametro che può raggiungere un massimo di $16/27$ (0,59) dipendendo dall'efficienza aerodinamica della macchina ma anche dal fatto che ci si riferisce alla vena fluida a monte e non a quella sul rotore.
- A infatti è la cosiddetta area spazzata dalle pale, il flusso che passa in essa corrisponde ad un 'area più piccola a monte essendovi un rallentamento del vento nell'attraversare la macchina

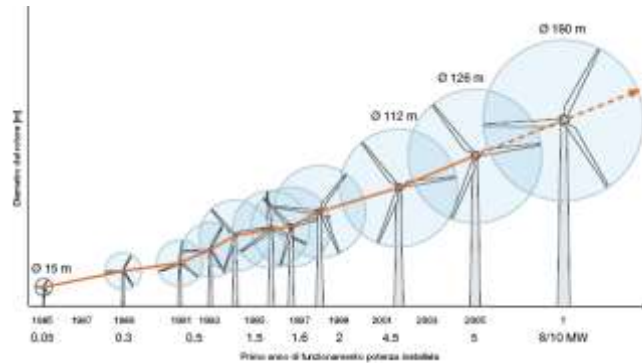


POTENZA DELL'AEROGENERATORE

- La potenza elettrica generata può essere determinata come segue:

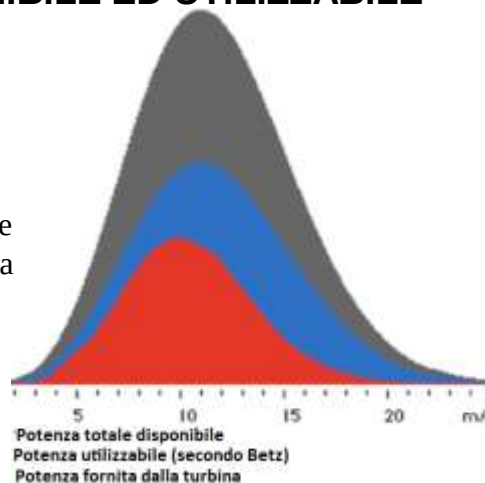
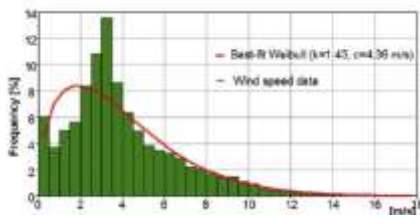
$$P_e = \eta_m \cdot \eta_e \cdot C_p \cdot \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

- Essendo η_m è il rendimento meccanico complessivo dell'albero di trasmissione tra turbina e rotore del generatore elettrico e del moltiplicatore di giri; η_e è il rendimento del generatore elettrico.



POTENZA DISPONIBILE ED UTILIZZABILE

- In una situazione reale non è possibile usufruire di tutta l'energia del vento
- La distribuzione delle frequenze influenza la quota parte sfruttata variando C_p con la velocità del vento



RAPPORTO DI RESA ENERGETICA 1

- Si può definire un rapporto di resa energetica anche per i sistemi eolici:

$$EYR = \frac{E_{out} \times L}{EE_{in+rec}}$$

- Essendo a numeratore l'energia netta prodotta annualmente e vita utile, a denominatore l'energia inglobata inizialmente e quella ricorrente (manutenzioni, riparazioni ecc...)
- Con riferimento a due turbine di grossa taglia:

Embodied energy of wind turbines (GJ)

	Wind turbine 1 (850 kW)	Wind turbine 2 (3.0 MW)
Initial embodied energy	27,158	84,237
Recurring embodied energy	2,230	7,929
Embodied energy/MW rated output	34.574	30.725

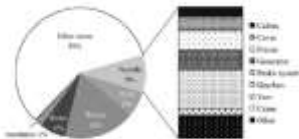


Fig. 3. Embodied energy of 3.0 MW wind turbine, by component.

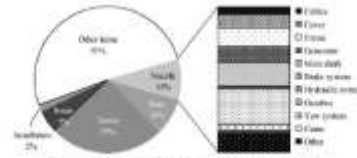


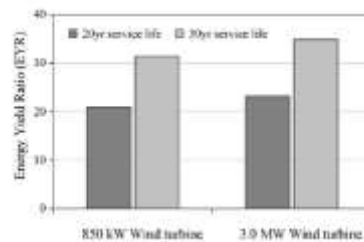
Fig. 3. Embodied energy of 850 kW wind turbine, by component.

RAPPORTO DI RESA ENERGETICA 2

- Chiaramente la durata della turbina viene ad influenzare l'EYR
- Ci sono delle differenze di una certa entità tra le due turbine 21 e 32 contro 23 e 35
- Si possono calcolare anche le emissioni di gas serra inglobate nelle due turbine.

Embodied greenhouse emissions of wind turbines (t CO₂e)

	Wind turbine 1 (850 kW)	Wind turbine 2 (3.0 MW)
Initial embodied emissions	1129	3054
Recurring embodied emissions	134	476
Embodied emissions/MW rated output	2024	1644

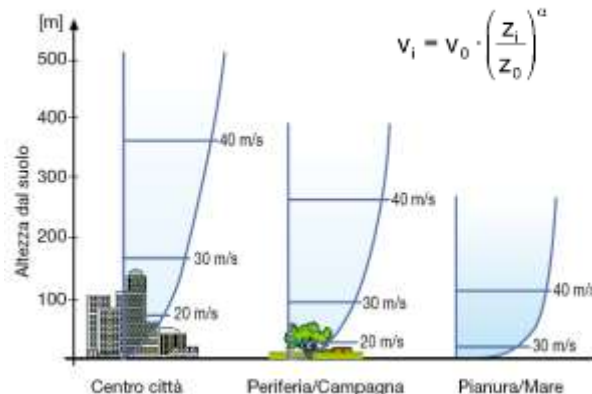


- Naturalmente alla base del calcolo ci sono delle ipotesi sulla emissione di CO₂ media degli impianti di generazione a combustibile fossile

INFLUENZA DELL'ALTEZZA DAL SUOLO

- Poiché spesso l'altezza effettiva del mozzo delle turbine che verranno installate differisce da quella a cui operano gli anemometri, è importante la determinazione delle caratteristiche di ventosità al variare dell'altezza dal terreno.

- Il profilo verticale del vento, sintetizzabile con la formula a lato, è fortemente variabile a seconda del tipo di suolo



ATLANTI EOLICI

- Sono state elaborati degli atlanti che tengono conto in qualche modo di questo aspetto

- Ma scale più dettagliate sono necessarie

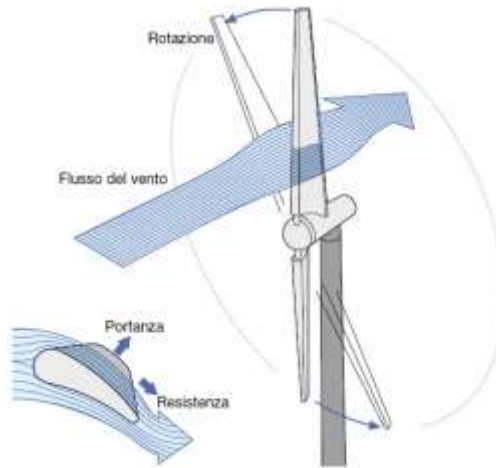


Riepilogo del vento a 50 metri sopra il livello del terreno in condizioni topografiche diffuse

Terrano ripulito	Plains	Zone costiere	Mare aperto	Colline e creste
area	area	area	area	area
< 0.5	< 250	< 7.5	< 500	< 11.5
0.5-1.0	100-250	7.5-15	500-1000	11.5-15.5
1.0-1.5	250-500	15-20	1000-2000	15.5-20
1.5-2.0	500-1000	20-25	2000-4000	20-25
2.0-2.5	1000-2000	25-30	4000-8000	25-30
2.5-3.0	2000-4000	30-35	8000-16000	30-35
3.0-3.5	4000-8000	35-40	16000-32000	35-40
3.5-4.0	8000-16000	40-45	32000-64000	40-45
4.0-4.5	16000-32000	45-50	64000-128000	45-50
4.5-5.0	32000-64000	50-55	128000-256000	50-55
5.0-5.5	64000-128000	55-60	256000-512000	55-60
5.5-6.0	128000-256000	60-65	512000-1024000	60-65
6.0-6.5	256000-512000	65-70	1024000-2048000	65-70
6.5-7.0	512000-1024000	70-75	2048000-4096000	70-75
7.0-7.5	1024000-2048000	75-80	4096000-8192000	75-80
7.5-8.0	2048000-4096000	80-85	8192000-16384000	80-85
8.0-8.5	4096000-8192000	85-90	16384000-32768000	85-90
8.5-9.0	8192000-16384000	90-95	32768000-65536000	90-95
9.0-9.5	16384000-32768000	95-100	65536000-131072000	95-100
9.5-10.0	32768000-65536000	100-105	131072000-262144000	100-105
10.0-10.5	65536000-131072000	105-110	262144000-524288000	105-110
10.5-11.0	131072000-262144000	110-115	524288000-1048576000	110-115
11.0-11.5	262144000-524288000	115-120	1048576000-2097152000	115-120
11.5-12.0	524288000-1048576000	120-125	2097152000-4194304000	120-125
12.0-12.5	1048576000-2097152000	125-130	4194304000-8388608000	125-130
12.5-13.0	2097152000-4194304000	130-135	8388608000-16777216000	130-135
13.0-13.5	4194304000-8388608000	135-140	16777216000-33554432000	135-140
13.5-14.0	8388608000-16777216000	140-145	33554432000-67108864000	140-145
14.0-14.5	16777216000-33554432000	145-150	67108864000-134217728000	145-150
14.5-15.0	33554432000-67108864000	150-155	134217728000-268435456000	150-155
15.0-15.5	67108864000-134217728000	155-160	268435456000-536870912000	155-160
15.5-16.0	134217728000-268435456000	160-165	536870912000-1073741824000	160-165
16.0-16.5	268435456000-536870912000	165-170	1073741824000-2147483648000	165-170
16.5-17.0	536870912000-1073741824000	170-175	2147483648000-4294967296000	170-175
17.0-17.5	1073741824000-2147483648000	175-180	4294967296000-8589934592000	175-180
17.5-18.0	2147483648000-4294967296000	180-185	8589934592000-17179869184000	180-185
18.0-18.5	4294967296000-8589934592000	185-190	17179869184000-34359738368000	185-190
18.5-19.0	8589934592000-17179869184000	190-195	34359738368000-68719476736000	190-195
19.0-19.5	17179869184000-34359738368000	195-200	68719476736000-137438953472000	195-200
19.5-20.0	34359738368000-68719476736000	200-205	137438953472000-274877906944000	200-205
20.0-20.5	68719476736000-137438953472000	205-210	274877906944000-549755813888000	205-210
20.5-21.0	137438953472000-274877906944000	210-215	549755813888000-1099511627776000	210-215
21.0-21.5	274877906944000-549755813888000	215-220	1099511627776000-2199023255552000	215-220
21.5-22.0	549755813888000-1099511627776000	220-225	2199023255552000-4398046511104000	220-225
22.0-22.5	1099511627776000-2199023255552000	225-230	4398046511104000-8796093022208000	225-230
22.5-23.0	2199023255552000-4398046511104000	230-235	8796093022208000-17592186044416000	230-235
23.0-23.5	4398046511104000-8796093022208000	235-240	17592186044416000-35184372088832000	235-240
23.5-24.0	8796093022208000-17592186044416000	240-245	35184372088832000-70368744177664000	240-245
24.0-24.5	17592186044416000-35184372088832000	245-250	70368744177664000-140737488355328000	245-250
24.5-25.0	35184372088832000-70368744177664000	250-255	140737488355328000-281474976710656000	250-255
25.0-25.5	70368744177664000-140737488355328000	255-260	281474976710656000-562949953421312000	255-260
25.5-26.0	140737488355328000-281474976710656000	260-265	562949953421312000-1125899906842624000	260-265
26.0-26.5	281474976710656000-562949953421312000	265-270	1125899906842624000-2251799813685248000	265-270
26.5-27.0	562949953421312000-1125899906842624000	270-275	2251799813685248000-4503599627370496000	270-275
27.0-27.5	1125899906842624000-2251799813685248000	275-280	4503599627370496000-9007199254740992000	275-280
27.5-28.0	2251799813685248000-4503599627370496000	280-285	9007199254740992000-18014398509481984000	280-285
28.0-28.5	4503599627370496000-9007199254740992000	285-290	18014398509481984000-36028797018963968000	285-290
28.5-29.0	9007199254740992000-18014398509481984000	290-295	36028797018963968000-72057594037927936000	290-295
29.0-29.5	18014398509481984000-36028797018963968000	295-300	72057594037927936000-144115188075855872000	295-300
29.5-30.0	36028797018963968000-72057594037927936000	300-305	144115188075855872000-288230376151711744000	300-305
30.0-30.5	72057594037927936000-144115188075855872000	305-310	288230376151711744000-576460752303423488000	305-310
30.5-31.0	144115188075855872000-288230376151711744000	310-315	576460752303423488000-1152921504606846976000	310-315
31.0-31.5	288230376151711744000-576460752303423488000	315-320	1152921504606846976000-2305843009213693952000	315-320
31.5-32.0	576460752303423488000-1152921504606846976000	320-325	2305843009213693952000-4611686018427387904000	320-325
32.0-32.5	1152921504606846976000-2305843009213693952000	325-330	4611686018427387904000-9223372036854775808000	325-330
32.5-33.0	2305843009213693952000-4611686018427387904000	330-335	9223372036854775808000-18446744073709551616000	330-335
33.0-33.5	4611686018427387904000-9223372036854775808000	335-340	18446744073709551616000-36893488147419103232000	335-340
33.5-34.0	9223372036854775808000-18446744073709551616000	340-345	36893488147419103232000-73786976294838206464000	340-345
34.0-34.5	18446744073709551616000-36893488147419103232000	345-350	73786976294838206464000-147573952589676412928000	345-350
34.5-35.0	36893488147419103232000-73786976294838206464000	350-355	147573952589676412928000-295147905179352825856000	350-355
35.0-35.5	73786976294838206464000-147573952589676412928000	355-360	295147905179352825856000-590295810358705651712000	355-360
35.5-36.0	147573952589676412928000-295147905179352825856000	360-365	590295810358705651712000-1180591620717411303424000	360-365
36.0-36.5	295147905179352825856000-590295810358705651712000	365-370	1180591620717411303424000-2361183241434822606848000	365-370
36.5-37.0	590295810358705651712000-1180591620717411303424000	370-375	2361183241434822606848000-4722366482869645213696000	370-375
37.0-37.5	1180591620717411303424000-2361183241434822606848000	375-380	4722366482869645213696000-9444732965739290427392000	375-380
37.5-38.0	2361183241434822606848000-4722366482869645213696000	380-385	9444732965739290427392000-18889465931478580854784000	380-385
38.0-38.5	4722366482869645213696000-9444732965739290427392000	385-390	18889465931478580854784000-37778931862957161709568000	385-390
38.5-39.0	9444732965739290427392000-18889465931478580854784000	390-395	37778931862957161709568000-75557863725914323419136000	390-395
39.0-39.5	18889465931478580854784000-37778931862957161709568000	395-400	75557863725914323419136000-151115727451828646838272000	395-400
39.5-40.0	37778931862957161709568000-75557863725914323419136000	400-405	151115727451828646838272000-302231454903657293676544000	400-405
40.0-40.5	75557863725914323419136000-151115727451828646838272000	405-410	302231454903657293676544000-604462909807314587353088000	405-410
40.5-41.0	151115727451828646838272000-302231454903657293676544000	410-415	604462909807314587353088000-1208925819614629174706176000	410-415
41.0-41.5	302231454903657293676544000-604462909807314587353088000	415-420	1208925819614629174706176000-2417851639229258349412352000	415-420
41.5-42.0	604462909807314587353088000-1208925819614629174706176000	420-425	2417851639229258349412352000-4835703278458516698824704000	420-425
42.0-42.5	1208925819614629174706176000-2417851639229258349412352000	425-430	4835703278458516698824704000-9671406556917033397649408000	425-430
42.5-43.0	2417851639229258349412352000-4835703278458516698824704000	430-435	9671406556917033397649408000-19342813113834066795298816000	430-435
43.0-43.5	4835703278458516698824704000-9671406556917033397649408000	435-440	19342813113834066795298816000-38685626227668133590597632000	435-440
43.5-44.0	9671406556917033397649408000-19342813113834066795298816000	440-445	38685626227668133590597632000-77371252455336267181195264000	440-445
44.0-44.5	19342813113834066795298816000-38685626227668133590597632000	445-450	77371252455336267181195264000-154742504910672534362390528000	445-450
44.5-45.0	38685626227668133590597632000-77371252455336267181195264000	450-455	154742504910672534362390528000-309485009821345068724781056000	450-455
45.0-45.5	77371252455336267181195264000-154742504910672534362390528000	455-460	309485009821345068724781056000-618970019642690137449562112000	455-460
45.5-46.0	154742504910672534362390528000-309485009821345068724781056000	460-465	618970019642690137449562112000-1237940039285380274899124224000	460-465
46.0-46.5	309485009821345068724781056000-618970019642690137449562112000	465-470	1237940039285380274899124224000-2475880078570760549798248448000	465-470
46.5-47.0	618970019642690137449562112000-1237940039285380274899124224000	470-475	2475880078570760549798248448000-4951760157141521099596976896000	470-475
47.0-47.5	1237940039285380274899124224000-2475880078570760549798248448000	475-480	4951760157141521099596976896000-9903520314283042199193953792000	475-480
47.5-48.0	2475880078570760549798248448000-4951760157141521099596976896000	480-485	9903520314283042199193953792000-19807040628566084398387907584000	480-485
48.0-48.5	4951760157141521099596976896000-9903520314283042199193953792000	485-490	19807040628566084398387907584000-39614081257132168796775815168000	485-490
48.5-49.0	9903520314283042199193953792000-19807040628566084398387907584000	490-495	39614081257132168796775815168000-79228162514264337593551630336000	490-495
49.0-49.5	19807040628566084398387907584000-39614081257132168796775815168000	495-500	79228162514264337593551630336000-158456325028528675187103260672000	495-500
49.5-50.0	39614081257132168796775815168000-79228162514264337593551630336000	500-505	1584563250285286751871032606720	

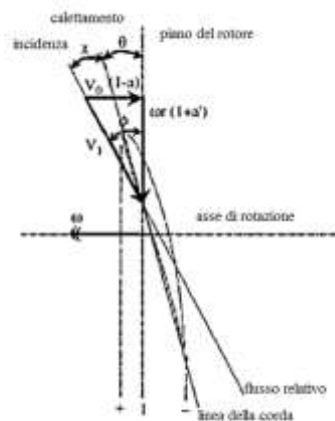
IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO 1

- Le turbine eoliche attualmente più diffuse sono quelle a portanza
- Il vento scorre su entrambe le facce della pala, che presentano profili differenti
- Si genera sulla superficie superiore (estradosso) una depressione rispetto alla pressione sull'altra faccia (intradosso)



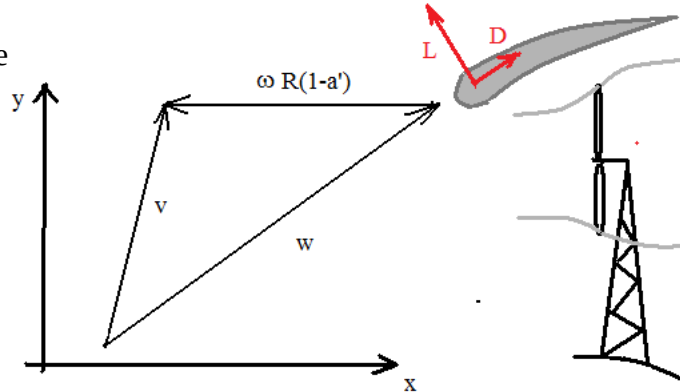
IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO 2

- In realtà il funzionamento di una pala di turbina eolica assomiglia solo a grandi linee a quello di una ala di aeroplano.
- Fondamentale è l'interazione tra sezione palare e flusso ventoso.
- Sulla sezione aerodinamica il flusso relativo agisce in relazione all'angolo di incidenza



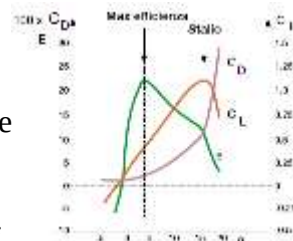
IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO 3

- Assumendo un modello monodimensionale, la corrente ventosa attiva sulla pala è dovuta alla velocità relativa w che dipende dal cosiddetto triangolo delle velocità. (ω velocità angolare di rotazione della macchina, y direzione dell'asse della turbina)
- Il vento v_1 viene frenato e deviato interagendo con il rotore.
- Sulla pala si produce una portanza L ed una resistenza D



COEFFICIENTI AERODINAMICI E PROFILI PALARI

- Le prestazioni di una sezione alare sono espresse normalmente nei termini di coefficiente di portanza C_L e di resistenza C_D
- Scomponendo le forze di portanza e resistenza rispettivamente lungo la direzione perpendicolare e parallela all'asse della turbina si ottengono:
 - la componente di *forza motrice* F_m utile ai fini della generazione di coppia all'albero principale
 - la componente di *forza assiale* F_a , che non genera coppia utile ma sollecita il sostegno del rotore



TURBINE EOLICHE AD ASSE ORIZZONTALE

- Il modello esposto si adatta ai rotori che sono contenuti approssimativamente in un piano, come le grandi macchine nelle wind farm o le piccole di forme variabili



APPLICAZIONI DELLE PICCOLE TURBINE EOLICHE

- Le macchine eoliche in realtà a seconda delle dimensioni e della configurazione hanno un regime di rotazione molto diverso.
- Inoltre possono essere destinate ad utilizzi diversi, mentre le grandi macchine sono destinate sempre a produrre energia elettrica.
- Il numero delle pale e la solidità determina il regime di rotazione. Infine per le piccole potenze l'asse di rotazione è spesso verticale anziché orizzontale

Parametri operativi delle piccole turbine eoliche

Category	W (kW)	H (m)	regime di rotazione max (giri/min)	utilizzo tipico	tipo di generatore
Micro	1	1,5	700	Electric fences, yachts	Permanent magnet (PM)
Mid-range	5	2,5	400	Remote houses	PM or induction
Mini	20+	5	200	Mini grids, remote communities	PM or induction

ASSE DI ROTAZIONE E VENTO

- Il principio di funzionamento delle turbine eoliche ad asse verticale è lo stesso di quelle ad asse orizzontale.
- Entrambe sfruttano l'azione di portanza su un profilo aerodinamico per captare l'energia del vento e trasferirla su un asse.
- In effetti però le differenze sono profonde. Nelle turbine ad asse orizzontale l'asse di rotazione della macchina è allineato con la direzione del vento. Nelle turbine Darrieus esso è ortogonale al vento.
- Queste macchine non debbono essere quindi orientate. La direzione del vento è indifferente per le turbine ad asse verticale (VAWT: vertical axis wind turbines).



DARRIEUS A PALE CURVE



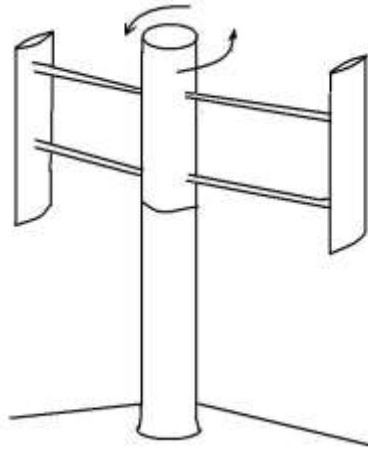
Sandia Laboratories 17-m Darrieus, rated at 60 kW in a 12.5-m/s wind.



- La configurazione originale è quella a pale di forma circa parabolica denominata “troposkein” corrispondente a quella assunta da una corda che ruoti attorno ad un asse
- In tal modo non servono le razze di supporto
- Le turbine a pale diritte ne hanno bisogno

ALTRE TURBINE DARRIEUS 1

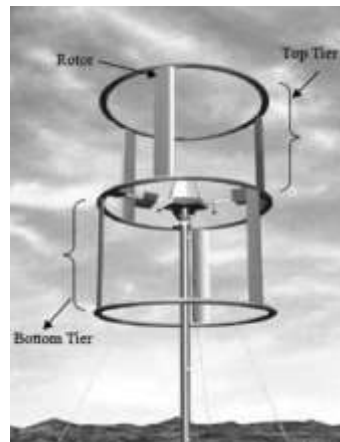
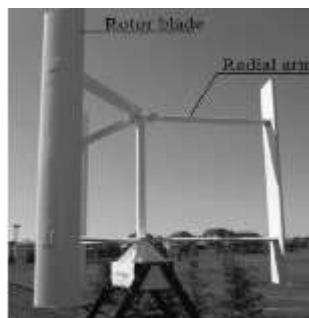
- Se le pale sono dritte, servono razze di sostegno ma la configurazione è semplicissima (turbina ad H o giromill)
- Sono state pensate anche turbine a configurazione variabile (ad ombrello ovvero con pale a V, Musgrove)
- Se con un leveraggio il calettamento viene fatto variare durante la rotazione si ha il “cyclogiro”
- E' una soluzione aerodinamicamente vantaggiosa che ha trovato poche applicazioni



GTA

ALTRE TURBINE DARRIEUS 2

- Ecco altri esempi di turbine Darrieus.
- Il funzionamento di queste macchine è intrinsecamente ciclico al contrario di quelle ad asse orizzontale.
- Il rotore è attraversato progressivamente dal vento



GTA

PRINCIPIO DI LAVORO

- Per evidenziare le specificità aerodinamiche si considera una turbina a pale diritte indefinite senza razze (bidimensionale)
- Nel sistema assoluto si presentano i triangoli delle velocità in 4 posizioni evidenziando la forte variazione dell'angolo di incidenza

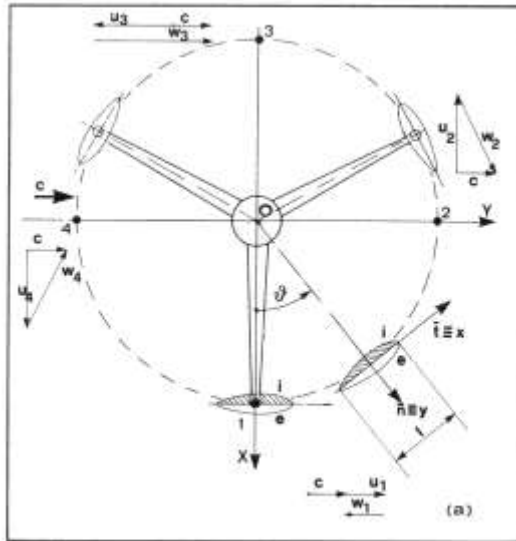


Fig. 3: a) Turbina eolica nel sistema assoluto ;

INCIDENZA CICLICA

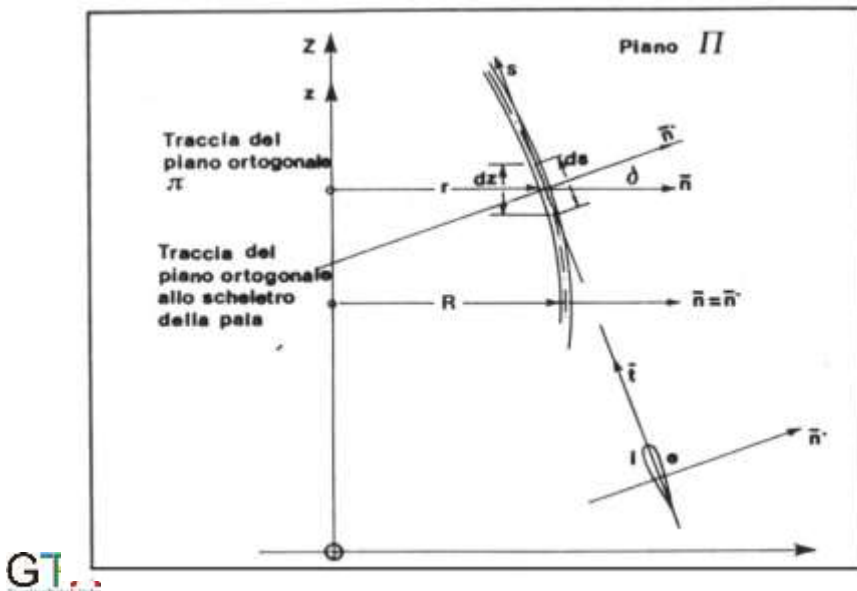
- Nelle turbine ad asse verticale si utilizzano profili simmetrici (NACA 0012, NACA 0015 ecc..) diversamente dalle turbine ad asse orizzontale.
- Inoltre durante la rotazione della pala l'angolo di incidenza varia continuamente.
- La turbina ad asse verticale funziona in condizioni di flusso relativo variabile (ciclico) anche in presenza di vento (assoluto) costante in direzione e intensità.
- Infatti l'azione aerodinamica dipende dalla velocità relativa e non da quella assoluta

PALE DI SCHELETRO CURVO

- La figura già vista è sufficiente per le turbine Darrieus a pale verticali diritte. Più in generale se la normale all'asse della pala presenta un angolo δ rispetto alla direzione orizzontale
- L'azione aerodinamica è prodotta dalla sola componente normale alla pala (valore efficace).
- Quindi nel caso di pale verticali $\delta=0$ e la componente efficace è direttamente quella orizzontale da moltiplicare per $\cos(0)=1$.
- In generale invece occorre moltiplicare per $\cos\delta < 1$ ed una parte della corrente non agisce aerodinamicamente scaricandosi lungo l'asse della pala stessa. L'azione è sul piano di traccia n' anziché sul piano di traccia n



AZIONE EFFICACE



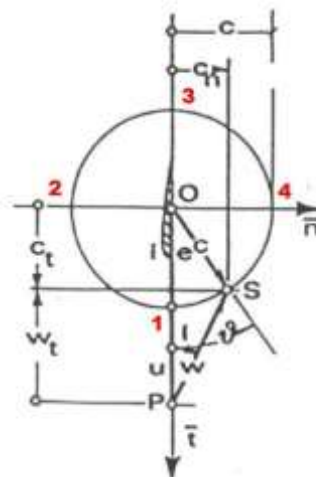
TRIANGOLO DELLE VELOCITA'

- Il triangolo delle velocità sulla pala, tipico dello studio delle macchine, viene analizzato considerando le configurazioni che assume durante la rotazione di una delle pale .
- Esso è formato dalla velocità assoluta c del vento, assunta costante in tutti i punti, dalla velocità di trascinamento u , anch'essa supposta costante, e dalla conseguente velocità relativa w .
- Vale la relazione vettoriale generale $\underline{c} = \underline{u} + \underline{w}$.
- Dal punto di vista relativo è come se la velocità assoluta c ruotasse attorno alla pala. Il punto di vista relativo è molto utile e può essere verificato confrontando i triangoli delle velocità nei punti cardinali nel sistema assoluto



SISTEMA RELATIVO

- Nel sistema relativo è come se il vento ruotasse attorno alla pala con verso opposto a quello di rotazione della pala stessa nel sistema assoluto
- La pala ruotava in senso antiorario ed il vento in senso orario
- In 2 il vento è come se arrivasse dalla faccia interna della pala



AZIONE AERODINAMICA 1

- Essendo θ l'angolo di rotazione valgono evidentemente le seguenti relazioni:

$$w_n = c_n = c \sin \theta$$

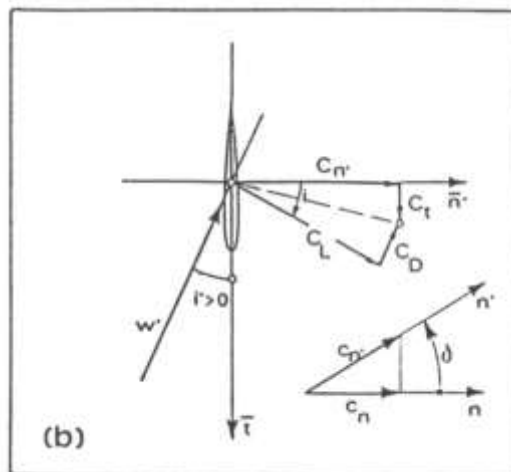
$$w_t = c \cos \theta - u$$

- n e t sono i versori indicati nel sistema assoluto ed in quello relativo.
- L'azione aerodinamica sulla sezione di pala può essere scomposta in una azione in direzione t che muove la pala ed in una azione secondo n che sollecita le razze.
- I coefficienti di azione tangenziale C_t e normale C_n sono le forze relative adimensionalizzate con la pressione dinamica



AZIONE AERODINAMICA 2

- La portanza L e la resistenza D sono normali e parallele alla velocità relativa w .
- In figura è mostrato il legame geometrico tra le azioni normale - tangenziale e portanza - resistenza cioè tra i relativi coefficienti
- L'incidenza è positiva sul lato interno della pala



RAPPORTO SPECIFICO DI VELOCITA'

- Essendo la componente efficace quella normale diretta secondo n' , possiamo scrivere:

$$w' = w_t \bar{t} + w_n \bar{n}' = (c \cos \vartheta - u) \bar{t} + c \sin \vartheta \cos \delta \bar{n}'$$

- Introducendo il rapporto specifico di velocità $\Lambda = u/c$ la velocità relativa efficace vale:

$$w' = c \sqrt{(\Lambda - \cos \vartheta)^2 + (\sin \vartheta \cos \delta)^2}$$

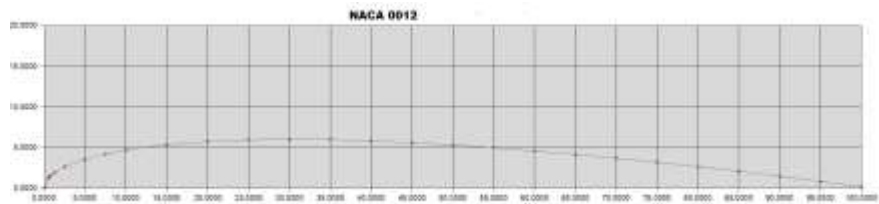
- L'angolo di incidenza, d'altra parte vale, sempre in base al triangolo di velocità:

$$\tan(i') = \frac{c_{n'}}{w_t} = \frac{\sin \vartheta \cos \delta}{\Lambda - \cos \vartheta}$$



PROFILI SIMMETRICI

- I profili delle pale debbono essere simmetrici essendo le incidenze egualmente positive e negative durante una rivoluzione della pala
- Un profilo frequentemente adottato è il NACA 0012 di cui si riporta un disegno nella classica forma percentuale



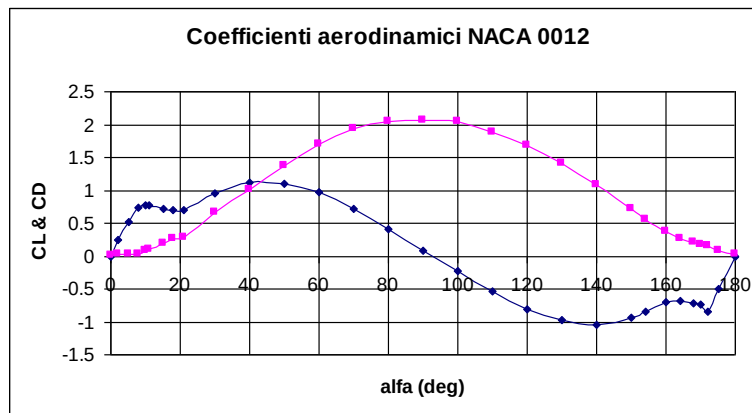
CURVE DEL PROFILO 1

- Gli angoli di incidenza, nelle diverse condizioni di funzionamento possono essere anche molto grandi cioè tali che il profilo aerodinamico non si comporta più come tale.
- E' opportuno quindi considerare la caratteristica completa del profilo che deve essere simmetrico perché il flusso relativo arriva sia da un lato che dall'altro.
- In realtà C_L e C_D dipendono dal numero di Reynolds oltre che dall'angolo di incidenza specialmente nella zona, di grande importanza, prossima allo stallo
- Comunque le curve danno un'idea dell'andamento dei coefficienti aerodinamici.



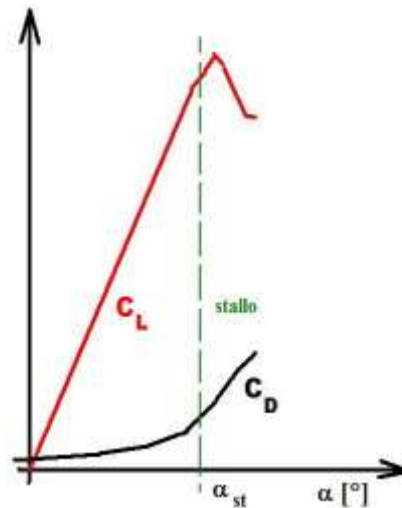
CURVE DEL PROFILO 2

- Il profilo NACA 0012 è frequentemente adottato. Oltre 30° di incidenza l'azione aerodinamica è essenzialmente dissipativa e la resistenza prevale decisamente sulla portanza



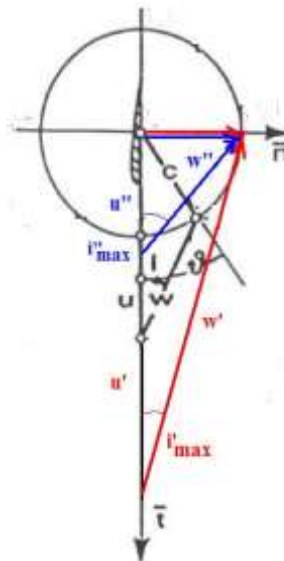
STALLO E FUNZIONAMENTO

- Il coefficiente di portanza cresce linearmente dall'origine fino allo stallo
- Il coefficiente di resistenza è piccolo ma non nullo nell'origine e cresce bruscamente allo stallo
- Oltre α_{st} il funzionamento è dissipativo e ciò si verifica ciclicamente per bassi valori di λ



ANGOLO D'INCIDENZA MASSIMO

- L'angolo di incidenza massimo è tanto maggiore quanto maggiore è u rispetto alla velocità c
- Per questo il Darrieus non è autoavviante e solo per elevati λ non si verifica lo stallo
- Si nota anche che una variazione ciclica del calettamento consente di controllare gli angoli di incidenza ed il funzionamento



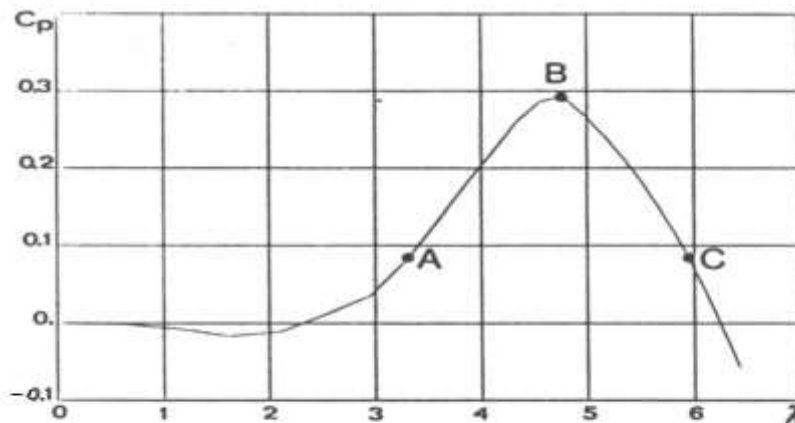
MODELLI DI CALCOLO DELLE TURBINE EOLICHE TANGENZIALI

- Consideriamo ora l'applicazione di un modello, in base ai quali è stato sviluppato un codice di calcolo
- Si tratta del modello del disco attuatore monodimensionale (Momentum Model)
- A livelli crescenti di complessità e accuratezza il modello delle vorticità ed i calcoli alle differenze finite per risolvere le equazioni complete del flusso
- E' probabilmente il più semplice per lo studio delle prestazioni di una turbina Darrieus.



CURVA CARATTERISTICA

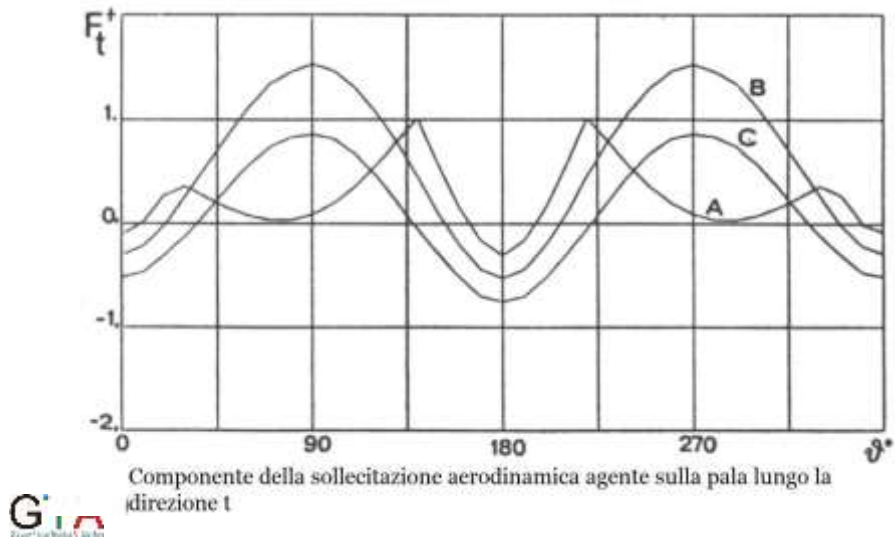
- La curva caratteristica è nulla o negativa per i bassi valori di $\lambda = u/v_{\text{vento}}$



Curva caratteristica di una turbina con solidità pari a 0,2. I punti A, B e C indicano le condizioni operative analizzate

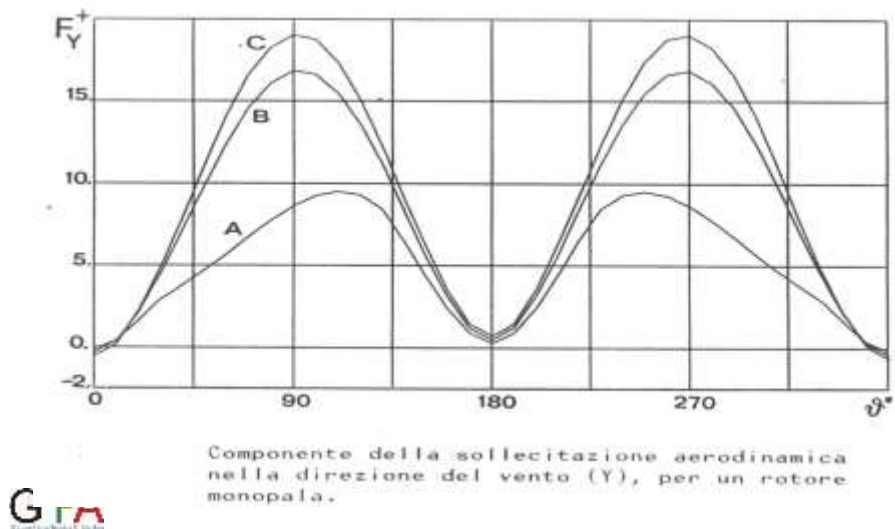


AZIONE TANGENZIALE (1 PALA)



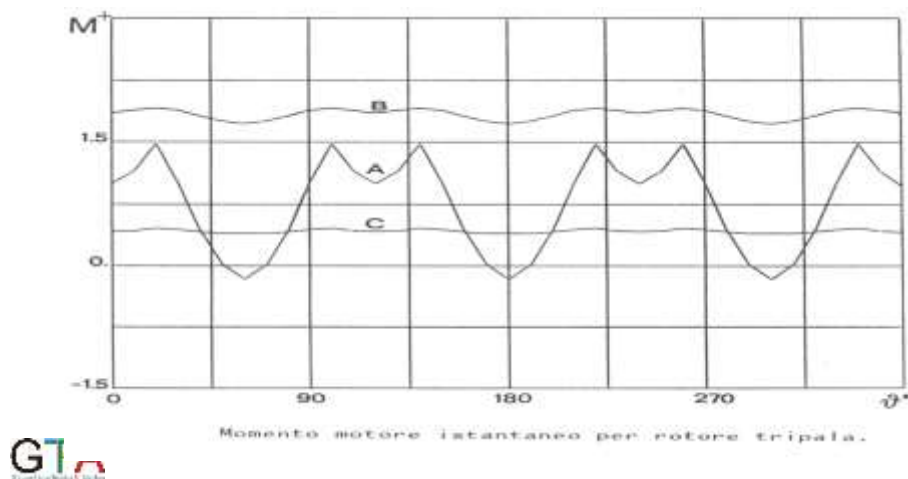
SOLLECITAZIONE SUL PILONE

- Le sollecitazioni cicliche sono forti.

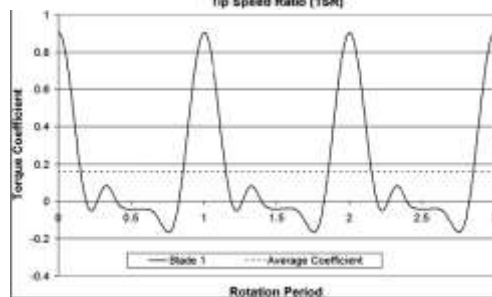
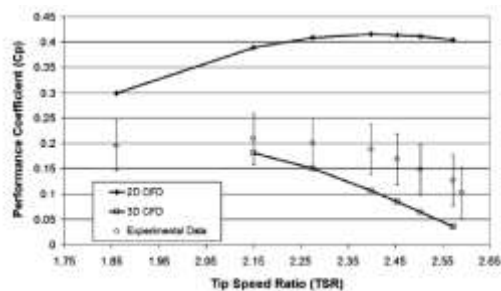


COPPIA MOTRICE DAL VENTO

- Con tre pale le fluttuazioni della coppia sono ridotte specie vicino alle condizioni ottimali



MISURE SU PICCOLE MACCHINE AD ASSE VERTICALE



- Le dimensioni della macchina sono 0,3 m di raggio, 0,4 m di altezza, NACA 0022 di profilo
- Le simulazioni devono essere tridimensionali per ottenere previsioni significative



CARATTERISTICHE DELLE TURBINE DARRIEUS 1

- efficienza ridotta rispetto alla turbine ad asse orizzontale,
- adattabilità alla variazione di direzione del vento; efficace per venti con componente verticale della velocità rilevante (siti su pendii o per installazione sui tetti degli edifici “effetto spigolo”);
- necessità di un adeguato controllo della velocità per mantenere l’efficienza entro valori accettabili;
- impossibilità di ridurre la superficie aerodinamica in caso di velocità superiore a quella nominale a causa delle pale fisse;

CARATTERISTICHE DELLE TURBINE DARRIEUS 2

- necessità di un dispositivo meccanico frenante per la fermata;
- necessità di una struttura non eccessivamente robusta per resistere a venti estremi (data la minore superficie delle pale esposta al vento rispetto alla turbina Savonius);
- utilizzabile per applicazioni di grande potenza:
- poco rumorosa e con vibrazioni limitate alle fondazioni, adatta quindi per installazioni sugli edifici;
- in grado di operare anche con venti turbolenti; moltiplicatore di giri e generatore elettrico possono essere posizionati a livello del suolo;
- elevate fluttuazioni della coppia meccanica motrice.

TURBINE DARRIEUS CON PALE ELICOIDALI

- Per ridurre le inevitabili vibrazioni dovute alla variazione dell'angolo di incidenza tra 20° e -20° che inducono sollecitazioni meccaniche due volte per giro la turbina Turby, ed altre macchine commercializzate da qualche anno, è realizzata con tre pale di forma elicoidale.
- In tal modo l'incidenza sui diversi tratti della stessa pala è diversa ed si ha una variazione graduale delle sollecitazioni
- La macchina resta non autoavviante ma questo problema è risolto dal sistema di controllo che d'altronde non deve orientare la macchina



TURBY

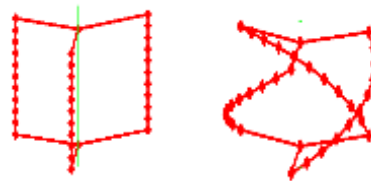
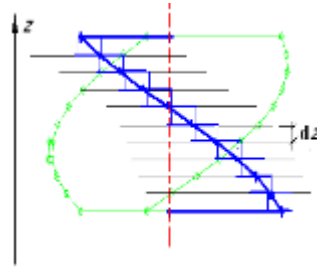


- Questa macchina ha una potenza nominale di 2,5 kW con un costo attorno a 6000 €



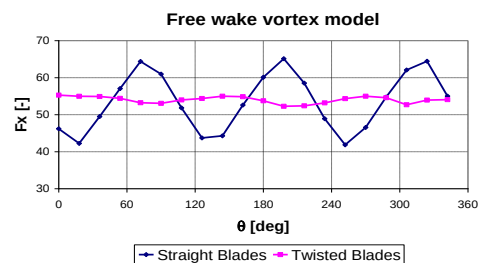
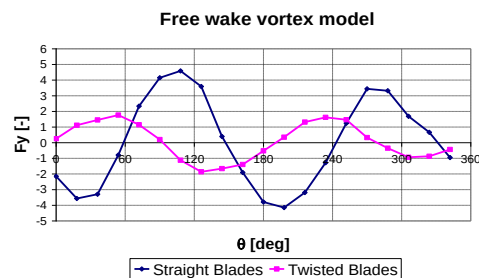
CALCOLI E CONFRONTI 1

- Sono stati effettuati dei confronti tra le prestazioni e le sollecitazioni subite da rotori a pale diritte ed a pale elicoidali
- Il calcolo è stato effettuato congiuntamente da Uniss e Unige
- Le prestazioni sono analoghe ma le sollecitazioni come prevedibile cambiano
- Si complica la geometria che non è più semplice



CALCOLI E CONFRONTI 2

- Con il modello di calcolo delle vorticità si è verificato che la sollecitazione sul pilone nella direzione x del vento riduce la sua fluttuazione
- Anche la sollecitazione trasversale, a parità di media nulla, riduce decisamente l'ampiezza dei cicli



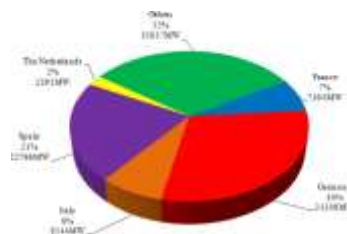
GRANDE E PICCOLO EOLICO

- La produzione di energia elettrica dal vento • genericamente associata all'immagine di siti eolici sui crinali o in mare aperto, laddove vi sono le migliori condizioni climatiche, orografiche e ambientali per uno sfruttamento della risorsa vento a fini industriali (produzione di energia elettrica per la vendita).
- Però molto spesso, passeggiando per i porti, si notano imbarcazioni dotate di piccoli generatori eolici, del diametro non superiore a 1 metro, che vengono impiegati per caricare le batterie a motore fermo.
- Questi sistemi sono in grado di alimentare grazie al vento le piccole utenze di bordo (frigorifero, quadro di controllo, luci, etc.) inserendosi perfettamente nel contesto in cui sono installate.

CRESCITA EOLICO

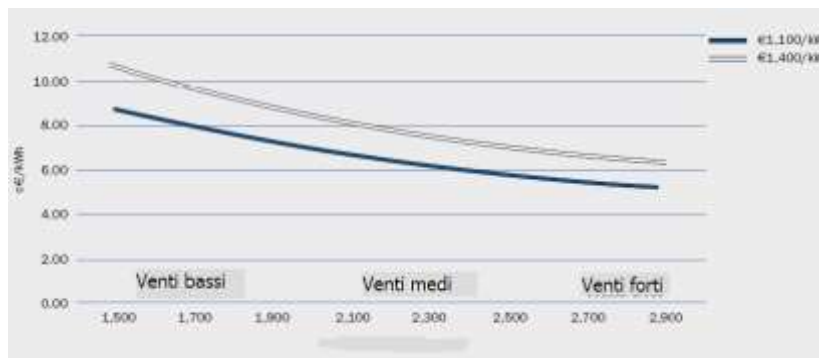
- L'energia eolica si sta imponendo sul mercato mondiale e sul mercato europeo come la più importante fonte rinnovabile dopo l'idroelettrico.
- La tabella dell' EWEA (European Wind Energy Association) evidenzia l'importanza del settore che copre il 3,8% del fabbisogno elettrico europeo e la crescita a due cifre in quasi tutti i paesi. Alla fine del 2012 l'Italia gioca un ruolo importante.

Country/year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2010	rate %	wind/total
Austria	77	94	140	413	696	810	965	882	1200	16,5%	3,3%
Belgium	13	12	31	68	86	167	184	287	300	35,4%	8,7%
Belgium				10	10	38	70	200	200	51,4%	3,2%
Czech Rep.			3	8	17	28	54	116	230	46,8%	3,4%
Denmark	2417	3489	3889	1116	1118	1128	1139	1525	4150	4,3%	12,2%
Finland	19	39	41	52	82	82	86	110	230	15,1%	3,3%
France	68	63	148	237	190	797	1567	1454	1500	65,2%	3,2%
Germany	6113	8754	11964	14859	18659	18415	20623	33547	33624	6,4%	7,3%
Greece	189	212	387	183	475	573	548	871	1390	17,9%	3,2%
Ireland	118	124	127	193	329	496	548	893	1206	23,5%	8,4%
Italy	427	482	798	895	1368	1753	3133	2728	4908	19,5%	6,3%
Netherlands	448	488	691	750	1079	1219	1338	1748	3000	15,7%	3,4%
Poland	188	131	191	388	525	1027	1716	2550	3500	31,2%	8,2%
Spain	2233	3337	4823	6583	8284	10828	11823	15043	20090	13,4%	11,8%
Sweden	230	263	349	389	442	510	571	788	1885	20,9%	3,2%
UK	468	474	557	667	994	1332	1982	2389	3115	28,1%	3,8%
TOTAL	12877	17588	23684	28479	34237	46384	47795	54811	78350	12,6%	3,8%



COSTO DEL KWH EOLICO

- Il vero punto di forza dell'eolico sta nella competitività economica come si evidenzia dalle due figure (EWEA)
- Il costo per kWh, a seconda del prezzo del kW installato (tra 1200 e 1400 €) e al variare della ventosità della zona va da 5 a 10 centesimi di euro.



RIPARTIZIONE DEI COSTI

- Una ripartizione indicativa tra diversi componenti del costo di un impianto eolico sopra il MW fornisce il valore globale di 1227 € per kW installato.

	INVESTMENT (€1,000/MW)	SHARE OF TOTAL COST %
Turbine (ex works)	928	75.6
Grid connection	109	8.9
Foundation	80	6.5
Land rent	48	3.9
Electric installation	18	1.5
Consultancy	15	1.2
Financial costs	15	1.2
Road construction	11	0.9
Control systems	4	0.3
TOTAL	1,227	100

- I limiti dell'energia eolica stanno nelle grandi dimensioni che servono per realizzare economie di scala e raggiungere i criteri di economicità richiesti dal mercato. Questo implica ovviamente un impatto ambientale elevato

AUMENTO DELLA TAGLIA

- Nonostante questi limiti l'economia di scala e l'interesse dei grandi produttori ha spostato il mercato verso i grandi impianti e il grafico qui sotto illustra questo fenomeno.



NICCHIE DI MERCATO

- In Italia la legge del gennaio 2009 limita la tendenza al gigantismo e promuove il mini e microeolico con crediti verdi ai piccoli impianti.
- Il vento è una sorgente di energia distribuita ed è in effetti interessante poter utilizzare sistemi piccoli e distribuiti.
- Esistono oggi due nicchie di mercato
 - range 100 kW -1 MW. Pochi sistemi sono stati prodotti in questo range per il fatto che la pala si presenta comunque con forte impatto ambientale e non si realizzano le economie di scala raggiungibili con il MW e oltre
 - range 0.5 – 100 kW. Questa zona, che si definisce microeolico, si candida per piccole utenze, anche domestiche, e si propone con una grande varietà di modelli e soluzioni.

PROBLEMI DEL MICROEOLICO

- Per il microeolico, con un potenziale di espansione notevolissimo, ci sono da risolvere alcuni problemi basilari:
 - a) la turbina eolica è un dispositivo meccanico rotante che viene visto, giustamente, come un oggetto potenzialmente pericoloso. Ci sono quindi resistenze psicologiche che possono essere in parte risolte dall'utilizzo di turbine eoliche ad asse verticale.
 - b) La pala eolica deve essere utilizzata alla massima distanza dal suolo possibile perché il vento aumenta rapidamente con la quota. Bisogna quindi trovare adeguati supporti, che possono essere invasivi per le strutture abitative.
 - c) I costi sono più alti e le efficienze ridotte ma a questo si può rimediare con uno studio accurato dei materiali e con disegni innovativi delle pale e con controllo attivo del sistema.

PICCOLI SISTEMI 1

- Microsistemi (della potenza di qualche kW per cui non esistono vincoli di installazione, se non precauzione in luoghi di elevatissimo pregio) sono in grado di produrre energia elettrica allo stesso modo, per continuità e potenza di picco, dei generatori fotovoltaici (PV).
-
- E' opportuno pensare a micro-sistemi eolici per produrre energia elettrica su piccola scala in modo sostenibile e compatibile con l'ambiente, magari accoppiati a Pannelli Fotovoltaici.
- Le Pubbliche Amministrazioni e i professionisti assumono un ruolo importante nel processo di impiego di queste opportunità: i responsabili dell'impostazione delle linee guida in tema di energia, ambiente e territorio possono favorire la diffusione nel territorio di piccoli impianti da Fonti Energetiche Rinnovabili.

PICCOLI SISTEMI 2

- Attraverso gli strumenti della programmazione, della facilitazione dell'iter autorizzativi, dello stanziamento di fondi, dell'adesione a progetti e iniziative programmatiche su base locale (Campaign for Take-Off : Iniziative per lo Sviluppo)
- Dall'altro lato i professionisti hanno i compiti di individuare quali potenzialità offra il territorio, studiare come integrare questi sistemi nell'ambiente tipico locale, definire progetti-pilota che concorrano alla definizione e diffusione di uno standard applicabile su base locale.

APPLICAZIONI DEL MICROEOLICO 1

- In Italia esistono zone isolate dal punto di vista energetico poiché non risulta economicamente conveniente portare fino ad esse la rete elettrica; pur se in esigua misura esistono quindi utenze civili private o infrastrutture turistiche (agriturismi, fattorie, campeggi, rifugi, utenze domestiche isolate in montagna, al mare o su isole) non collegate alla rete. In questo caso sono utilizzabili aerogeneratori di piccola taglia in combinazione con sistemi di accumulo (batterie) e sistemi ibridi (con pannelli fotovoltaici e generatori diesel).
- Altre applicazioni sono legate all'alimentazione di sistemi di telecomunicazione (ripetitori, antenne di telefonia mobile installate a distanza dalla rete elettrica).
- Sistemi di pompaggio e drenaggio: siti da bonificare

APPLICAZIONI DEL MICROEOLICO 2

- Utenze di illuminazione pubblica: strade, viadotti, gallerie, fari, piattaforme, impianti semaforici, ecc.
- Alimentazione di utenze isolate all'interno di aree naturali protette: il Protocollo di Intesa tra ENEL, Legambiente, Federparchi e il Ministero dell'Ambiente, siglato nel febbraio 2001, ha previsto che i crescenti fabbisogni energetici all'interno dei parchi dovuti al turismo ed al ripopolamento delle zone limitrofe possano essere soddisfatti attraverso applicazioni di FER (Fonti Energetiche Rinnovabili) di piccola taglia.

PICCOLE MACCHINE AD ASSE VERTICALE 1

- Limitandoci all'asse verticale il mercato offre varie soluzioni



- Si tratta del Giromill, del Savonius e della turbina Gorlov. La prima e la terza possono essere viste come evoluzioni della turbina Darrieus.

PICCOLE MACCHINE AD ASSE VERTICALE 2

- La combinazione Darrieus-Savonius per superare i problemi di autoavviamento della seconda



- Uno dei limiti del microeolico sta nella bassa “efficienza” delle turbine usate. Il Savonius parte con venti anche modesti (1-2 m/s) ma ha una “efficienza” inferiore al 20% mentre Darrieus ha una “efficienza” migliore (intorno al 25%) ma opera solo con venti superiori ai 5 m/s.

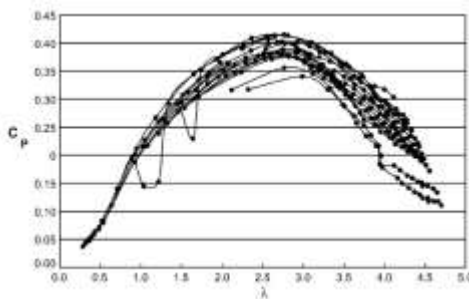
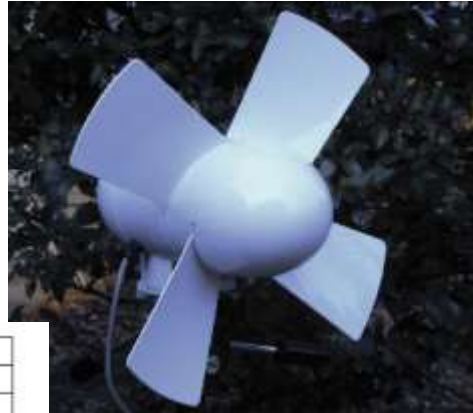
PICCOLE MACCHINE AD ASSE VERTICALE 3

- Sono stati proposti sistemi basati sul concetto di pala elicoidale (ad es. un brevetto 2001 statunitense di Gorlov) che sembrano candidati ideali per installazioni di bassa potenza.
- Si propongono all’attenzione per le seguenti caratteristiche:
 - a) Alta efficienza (circa 30%)
 - b) Leggerezza
 - c) Estetica pregevole



PICCOLE MACCHINE AD ASSE ORIZZONTALE

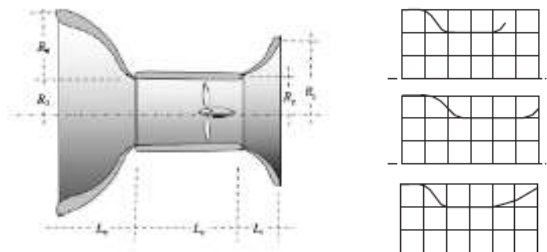
- La turbina $\mu F500$ ha una solidità piuttosto elevata e velocità di rotazione basse
- E' stata provata in galleria del vento
- In questo caso le prestazioni sono buone



- E' un esempio di configurazione decisamente diversa dalle grosse macchine

CONFIGURAZIONI CON DIFFUSORE 1

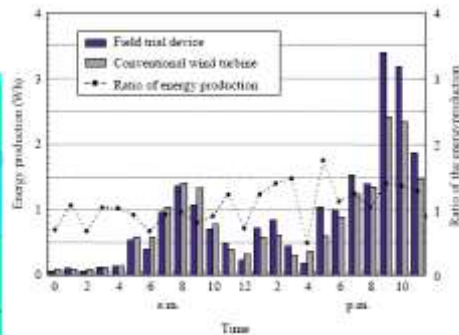
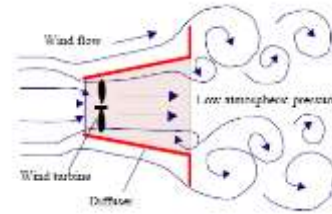
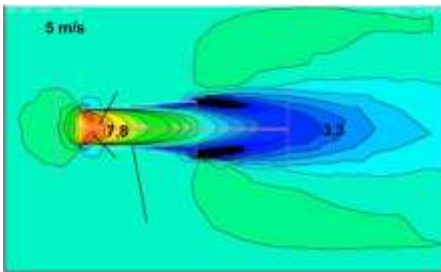
- Una possibilità recentemente oggetto di studio sia teorico sia sperimentale consiste nell'utilizzo di un condotto convergente-divergente in cui intubare la macchina



- L'intubamento funziona bene permettendo di ottenere fino a 2,2 volte la potenza senza tale attrezzatura.
- Questo incremento è stato ottenuto però in galleria del vento. Sul campo la fluodinamica è complessa.

CONFIGURAZIONI CON DIFFUSORE 2

- La configurazione con il solo diffusore consente talvolta di ottenere di incremento di potenza notevoli (1,7), spesso no.
- Il diffusore è efficace nei siti dove il vento è tendenzialmente costante in direzione, ponendo il diffusore naturalmente secondo tale direzione

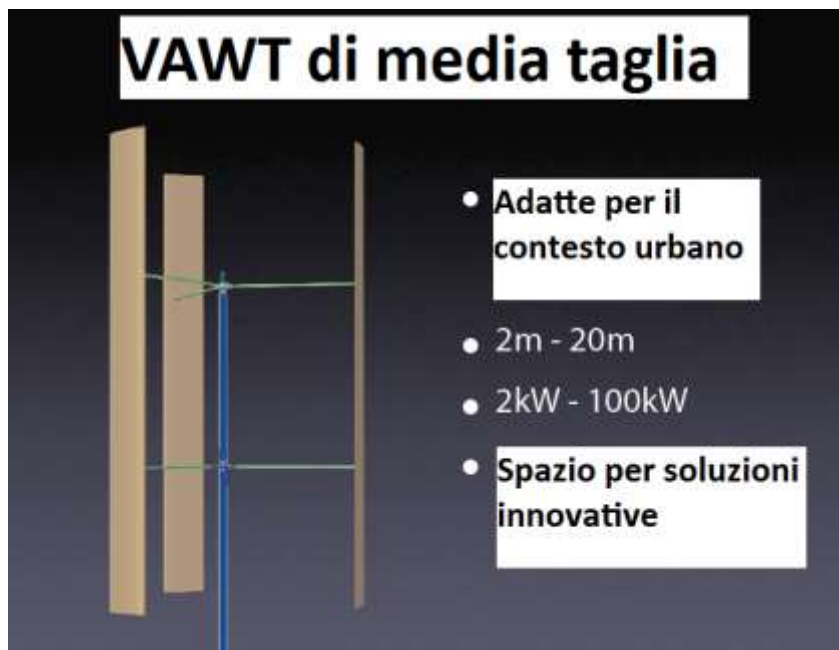


STRUTTURE SFRUTTABILI

- L' utilizzo di piccoli generatori eolici ad asse verticale può essere integrato a pali preesistenti
- E' possibile sfruttare potenzialmente i pali della luce attualmente in uso. Una sostituzione del palo può essere necessaria ma il punto essenziale sta nello sfruttare siti e strutture già predisposti.
- Di tutte le strutture esistenti (pali elettrici, tralicci, antenne, tetti di condomini) i pali della luce sembrano le strutture più adatte.
- Anche i tetti di case alte possono essere sfruttati con generatori eolici verticali utilizzando pali di lunghezza modesta 3-4 metri per rendere sicuro l'accesso al tetto.

WIND FARM URBANE

- Design innovativo: è essenziale scegliere delle soluzioni e sviluppare dei design tali da rendere non solo accettabile ma al limite appetibile la soluzione proposta.
- Occorre un accordo con gli enti locali per la gestione delle wind factories distribuite. I comuni piccoli e grandi italiani si trovano a gestire parchi di illuminazione di grandissime dimensioni.
- Il parco di Torino consta per esempio di 79.000 punti luce, quello di Genova di 50.000. Il numero di riferimento che si utilizza è di un punto luce ogni dieci abitanti.



VAWT di media taglia



- Adatte per il contesto urbano
- 2m - 20m
- 2kW - 100kW
- Spazio per soluzioni innovative

TURBINE URBANE



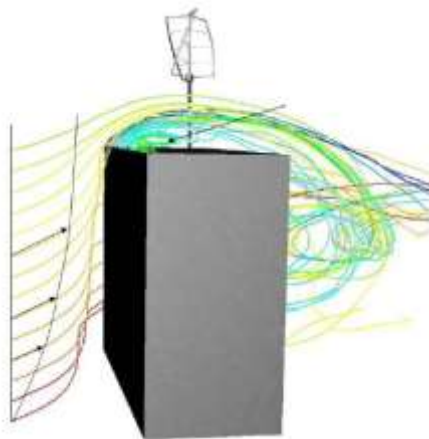
- Esempio di installazione urbana a Monaco di Baviera





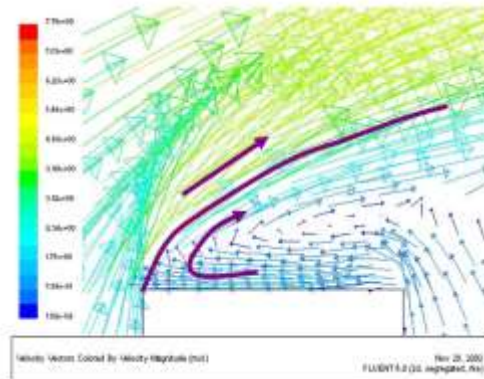
FLUSSI VENTOSI URBANI 1

- Come il vento passa attraverso gli edifici ed altri ostacoli nelle vicinanze degli edifici il flusso viene distorto ed aumenta considerevolmente la sua turbolenza
- Nelle figure (source: TU Delft) si visualizza il flusso ventoso sopra un edificio.
- La turbina dovrebbe essere piazzata a centro tetto dove il vento è più forte e la turbina è fuori dalle aree turbolente



FLUSSI VENTOSI URBANI 2

- Le frecce corte e il colore blu indicano venti deboli.
- Le frecce lunghe indicano i venti forti e col rosso sono indicati i venti massimi quasi immuni da deviazioni
- Questo esempio di calcolo fa vedere la complessità del flusso in situazioni di questo tipo

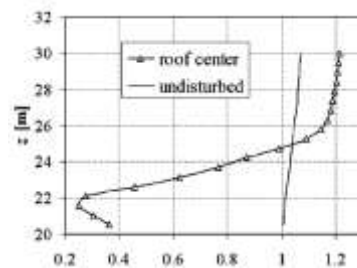
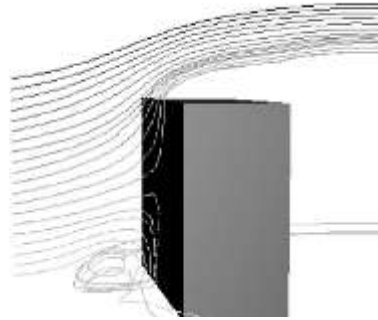


VAWT E HAWT CON FLUSSI SBIECHI

- Dal momento che la corrente ventosa su un tetto non è orizzontale le turbine eoliche su un tetto operano con un flusso sbieco. Per questa ragione è stato effettuato uno studio del comportamento di una turbina Darrieus ad H con flusso sbieco
- Le misure hanno mostrato che la turbina Darrieus ad H fornisce una potenza superiore per flussi sbiechi. Le misure sono state confrontate con un modello basato sul disco attuatore e l'elemento di pala che ha previsto ugualmente un aumento della potenza estratta.
- Le turbine ad asse orizzontale invece danno una potenza minore e per questo le VAWT in flussi complessi sono da preferire

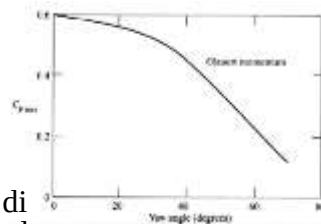
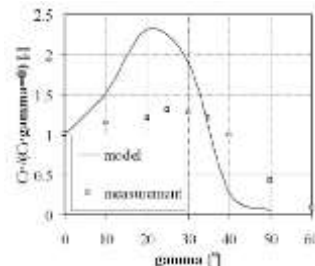
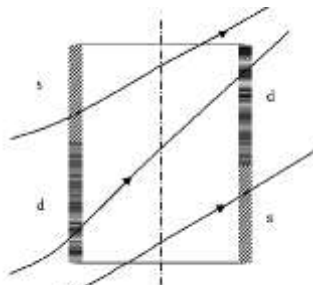
MISURE E MODELLI DI CALCOLO

- Sono state fatte delle misure in galleria del vento e dei calcoli con un modello semplificato
- Si noti come il flusso è molto impoverito sul tetto.
- L'accordo tra misure e modellizzazione non è soddisfacente ma l'andamento generale è previsto
- Il modello in effetti può cogliere gli effetti globali più che i dettagli



PRESTAZIONI CON FLUSSI SBIECHI

- In effetti poi l'angolo γ è da intendersi medio dell'attraversamento.
- Comunque si ha in ogni caso un certo incremento per angoli non troppo grandi



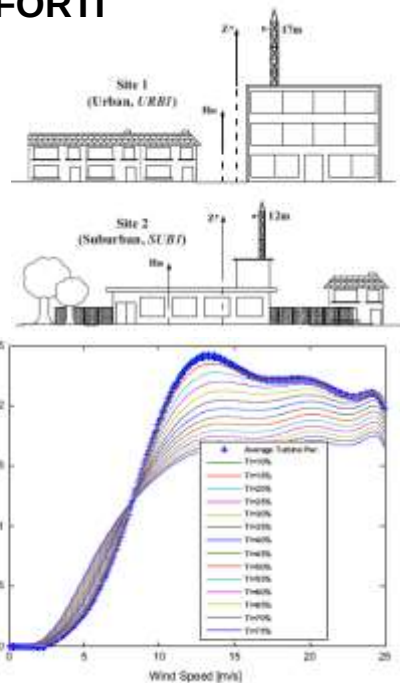
- Al contrario, secondo la classica teoria di Glauert, il C_p massimo in una HAWT cala

PRESTAZIONI CON FORTI TURBOLENZE

- In un contesto urbano la turbolenza gioca un ruolo fondamentale.

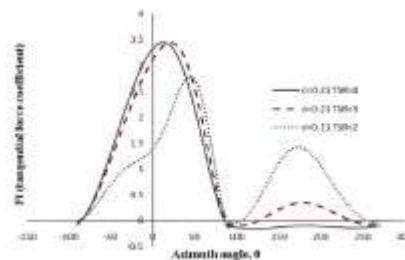
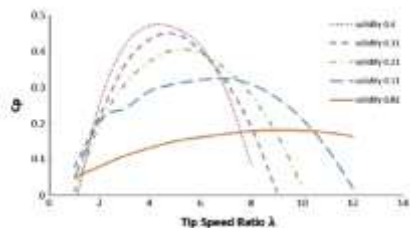
$$TI = \frac{\sigma_u}{u}$$

- La turbina ad asse orizzontale da 2,7 kW Skystream 3.7 è stata modellizzata con una curva caratteristica che dipende dalla turbolenza
- Inoltre sono stati considerati un contesto urbano e suburbano per la sua installazione.
- Le simulazioni hanno dato risultati interessanti



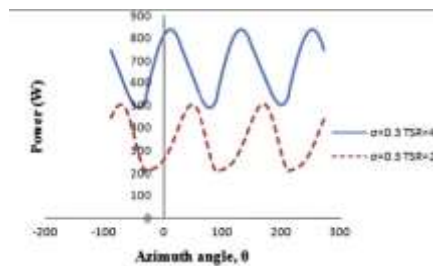
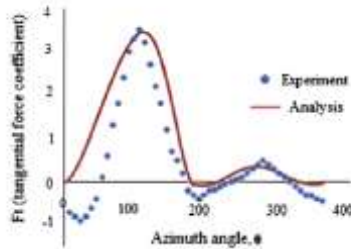
STUDI SU DARRIEUS AD H 1

- Le turbine Darrieus ad H hanno una geometria semplice ma una aerodinamica complicata (campagna di misure presso PoliMi)
- Ad esempio l'andamento della curva caratteristica su piccole macchine (solidità=\$Nc/R\$) come pure la variazione della forza tangenziale



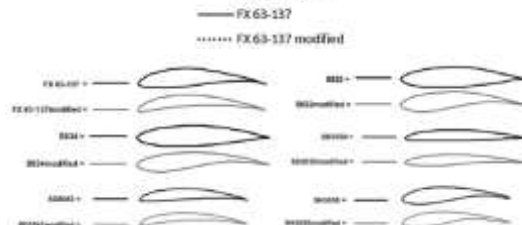
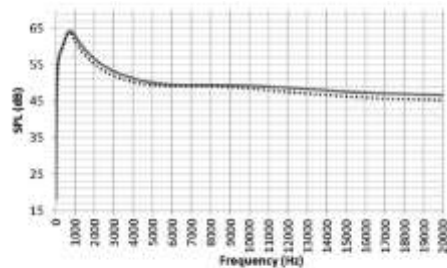
STUDI SU DARRIEUS AD H 2

- Il confronto teorico-sperimentale sulla forza tangenziale (solidità = 0.15, $\lambda = 5$) è soddisfacente
- La potenza prodotta è fluttuante anche su un rotore tripala, calcolata con un modello di calcolo relativamente accurato



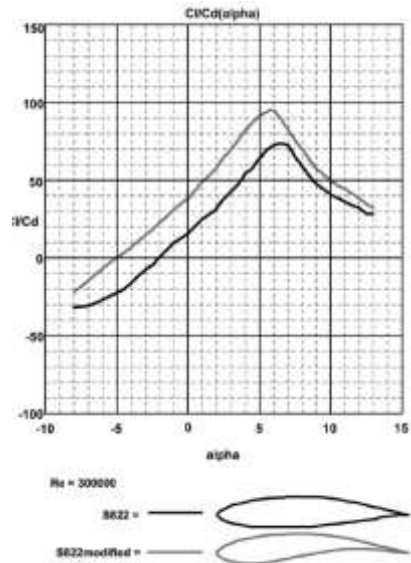
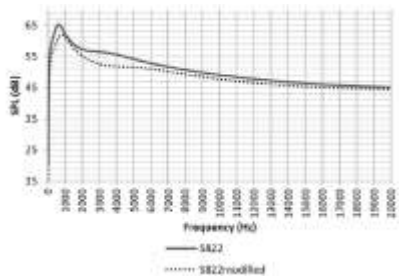
RUMORE E PROFILI PALARI 1

- Il rumore è un aspetto decisamente rilevante per le piccole installazioni
- Il rumore di origine aerodinamica è quello essenziale e può essere ridotto con un ridisegno delle sezioni palari



RUMORE E PROFILI PALARI 2

- Si possono migliorare a seguito di studi aerodinamici sia le prestazioni aerodinamiche sia quelle acustiche



MICROTURBINE E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA 1

- Impianti microeolici in edifici di nuova costruzione e in interventi di riqualificazione energetica



MICROTURBINE E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA 2

- Possibile realizzazione di un impianto da 25 kW che sfrutta la palinatura di un parcheggio : a) 50 pali con turbine da 0.5 kW, b) Studio delle tecniche per irrobustire il palo di supporto e sua eventuale sostituzione, c) Generatore accoppiato coassialmente alla pala eolica, d) Inverter posizionato alla base del palo e) Cablaggi che sfruttano le canaline preesistenti, f) Monitoraggio e controllo distribuito e wireless

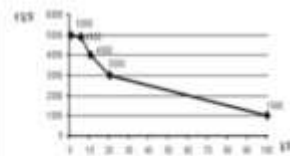
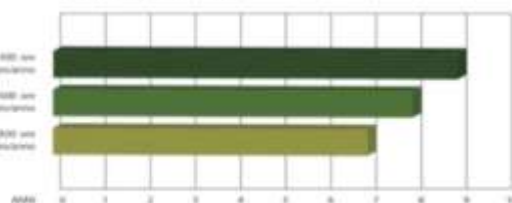


COSTI ED INCENTIVI PER UN IMPIANTO MINIEOLICO IN ITALIA

-Il D.M. del 18/12/2008 prevede un incentivo per gli impianti mini eolici connessi alla rete elettrica con potenza compresa tra 1 e 200 kW . L' incentivo, di € 0,30 per ogni kWh immesso in rete ha la durata di 15 anni ed è erogato dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE).

-un sistema mini eolico, con potenza compresa fra 5 kW e 20 kW, ha un costo previsto (rif. ENEL) compreso fra 5.000 e 3.000 Euro per kW installato, IVA esclusa

Tempi di ritorno (anni attualizzati)



Guida ai mini eolici ENEL

ASPETTI LEGISLATIVI 1

- In relazione all'impiego di aerogeneratori in edilizia, è un riferimento quanto contenuto nell'art. 11 del D.Lgs. 30 maggio 2008, n.115 - *Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE* (Gazzetta ufficiale 3 Luglio 2008, n. 154).
- E' una disposizione normativa a livello nazionale relativa all'installazione di aerogeneratori di piccola taglia in edilizia (in particolare, microeolico); risulta significativa in quanto si introduce all'interno delle misure per la semplificazione autorizzativa.
- Esistono poi numerose normative regionali abbastanza differenziate nelle diverse parti d'Italia

ASPETTI LEGISLATIVI 2

- Fatto salvo quanto previsto dall'articolo 26, comma 1, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, e successive modificazioni, gli interventi di incremento dell'efficienza energetica che prevedano l'installazione di singoli generatori eolici con altezza complessiva non superiore a 1,5 metri e diametro non superiore a 1 metro, nonché di impianti solari termici o fotovoltaici aderenti o integrati nei tetti degli edifici con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda e i cui componenti non modificano la sagoma degli edifici stessi, sono considerati interventi di manutenzione ordinaria e non sono soggetti alla disciplina della denuncia di inizio attività di cui agli articoli 22 e 23 del testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, e successive modificazioni, qualora la superficie dell'impianto non sia superiore a quella del tetto stesso. Ecc....

ASPETTI LEGISLATIVI 3

- La Legge n° 244 del 24/12/07 (Finanziaria 2008 – art. 2 comma 145) ha introdotto un innovativo sistema incentivante che riconosce per la durata di 15 anni una tariffa onnicomprensiva di 30 eurocent/kWh per la produzione di energia da fonte eolica fino a 200 kW di potenza installata
- Qualora si voglia intraprendere un'iniziativa nel campo dell'eolico di piccola taglia si consiglia di prendere in considerazione con particolare attenzione la legislazione vigente a livello regionale e provinciale.
- Gli Enti Locali infatti rivestono oggi un ruolo determinante in campo energetico, ed in particolare nella promozione delle fonti rinnovabili a livello locale.

EOLICO E V.I.A. 1

- In Italia *gli impianti industriali per la produzione di energia mediante lo sfruttamento del vento sono da assoggettare a verifica di esclusione dalla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale* attraverso la verifica della vigente normativa a livello regionale.
- La Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.) •uno strumento di supporto alle decisioni. Si esplica attraverso una procedura amministrativa finalizzata a valutare la compatibilità ambientale di un'opera in progetto, attraverso un'analisi degli effetti che l'opera stessa esercita sulle componenti ambientali e socio-economiche interessate. La V.I.A. dovrebbe inoltre individuare gli interventi per mitigare e compensare eventuali impatti.

EOLICO E V.I.A. 2

- Con l'Atto di indirizzo D.P.R. 12.4.1996 l'Italia ha a sua volta delegato le Regioni e le Province Autonome a disciplinare i contenuti e la procedura di V.I.A. per le opere dell'Allegato II. In particolare le tipologie progettuali sono suddivise in due categorie: opere da assoggettare a V.I.A. regionale (Allegato A), ed opere da assoggettare a verifica di esclusione dalla procedura di V.I.A. (Allegato B). Gli impianti eolici sono inseriti in Allegato B.
- Nell'individuazione delle forme di incentivazione di un impianto micro-eolico occorre quindi fare riferimento a due diversi regimi, cui tra l'altro corrispondono differenti finalità e benefici.
 - Impianti micro-eolici di potenza nominale inferiore a 20 kW
 - Impianti micro-eolici di potenza nominale superiore a 20 kW fino a 100 kW

IMPIANTI MICRO-EOLICI FINO A 20 KW

- Sono impianti destinati al solo autoconsumo; non sono considerate officine elettriche e conseguentemente non hanno diritto alla vendita dell'energia prodotta.
- Incentivo: non esiste imposizione fiscale ai sensi della L. 133/99; non è infatti necessaria denuncia all'U.T.F. (Ufficio Tecnico di Finanza) in quanto non considerate officine elettriche.
- Gli impianti tra 20 e 100 kW sono in grado di autoconsumare l'energia prodotta, tutta o in parte, ma anche di venderne le eccedenze. Sono considerati Officine Elettriche e quindi • richiesta denuncia all'U.T.F., con la conseguente imposizione fiscale.

IMPIANTI MICRO-EOLICO DA 20 A 100 KW

- Gli incentivi sono relativi al prezzo di vendita dell'energia ed ai sussidi in conto esercizio e sono uguali a quelli di cui godono anche gli impianti di taglia maggiore, e cioè
 - Priorità di dispacciamento in quanto impianti da Fonti Energetiche Rinnovabili.
 - Possibilità di ottenimento e relativa vendita dei Certificati Verdi per i primi otto anni di esercizio dell'impianto, qualora la produzione di energia elettrica annua superi i 50 MWh (Ogni CV ha il valore di 100 MWh, ma viene concesso dal GRTN adottando il criterio commerciale di arrotondamento).
 - Possibilità di ottenimento e relativa vendita dei Certificati RECS, del valore ciascuno di 1 MWh di energia prodotta.

ANALISI DELLE AUTORIZZAZIONI RICHIESTE 1

- Le principali pratiche di tipo autorizzativo da espletare per gli impianti oltre i 20 kW di potenza o che comunque determinino un sostanziale impatto sull'ambiente in cui sono inseriti
 - Concessione dell'uso dei suoli (rilasciata dal Comune e Regione).
 - Concessione edilizia (Comune, Regione)
 - Nulla Osta paesaggistico (Regione, Soprintendenza beni culturali e ambientali, Ministero beni culturali e ambientali)
 - Nulla Osta idrogeologico (Corpo Forestale dello stato, Corpo delle Miniere)
 - Nulla Osta sismico (Ufficio sismico regionale)
 - Nulla Osta militare (Comando regione militare, Regione)

ANALISI DELLE AUTORIZZAZIONI RICHIESTE 2

- Ultimato l'impianto si dovrà procedere a:
 - Istruzione della pratica di denuncia per apertura di officina elettrica. La licenza UTF contiene le dichiarazioni bimestrali dell'energia prodotta ai fini della corresponsione delle relative imposte.
 - Certificato di Collaudo dell'opera
- La realizzazione di un impianto di potenza inferiore a 20 kW, in sostanza non richiede particolari autorizzazioni. Tuttavia • preferibile chiedere informazioni ai costruttori di micro-aerogeneratori o ai professionisti del luogo che conoscono per esperienza le effettive realtà locali