

ENERGIA EOLICA DAI MULINI A VENTO AI MEGAWATT

Il petrolio è una fonte di energia destinata ad esaurirsi. Per contro, molte energie rinnovabili non sono ancora competitive in termini di costo e di continuità della loro disponibilità. Sarà Eolo il nostro dio salvatore?

DI ROBERTO VACCA

Un caratteristico aerogeneratore a tre pale di grandi dimensioni, fotografato nei pressi della cittadina di Herman nel Galles.

L'energia del vento è stata sfruttata da quasi tutti i popoli della Terra, anche i più primitivi, per dare impulso alle vele e muovere barche e navi - talora anche veicoli a ruote. I mulini a vento hanno fornito per secoli energia per macinare cereali e semi, in sostituzione di quella degli animali e degli uomini. Quando si cominciò a utilizzare l'energia del vapore e poi quella elettrica, enormemente più comode e abbondanti e man mano meno costose, i mulini a vento furono abbandonati quasi del tutto. Nell'ultimo mezzo secolo ne sono stati realizzati di molto

più grandi che in passato, sfruttando la tecnologia moderna e i controlli automatici anche computerizzati. Ricerche e sperimentazioni sono continue specie nel Nord Europa. **Un primato applicativo è detenuto dalla Danimarca ove i grandi mulini a tre pale forniscono il 13% del fabbisogno di energia elettrica del Paese.**

Il vento è una forza immane, sradica gli alberi e spacca le navi. Non si sa da dove venga. Ballard ci scrisse un libro di fantascienza "Il vento che veniva dal nulla" ("The wind that came from nowhere"). Dome-

nico Modugno lo cantò per i pescatori (*Ahi, vento che veni de lontano e si' scirocco - vento caldo, porta li pisci a chisti rriti*). Il poeta W.H. Auden ne faceva parlare un legionario Romano al Vallo di Adriano in Britannia (*Over the heather the North wind blows. I've lice in my tunic and a cold in my nose*). Il Vangelo di Giovanni (3,8) dice: *Il vento spira dove vuole e tu ne senti il fischio, ma non puoi dire da dove venga, né dove vada*. I greci chiamavano Eolo "il dio dei venti", che gonfiava le vele delle navi. Contribuirà questo dio a risolvere le crisi energetiche?



L'energia del vento è ovunque. È saltuaria: oggi molti la considerano scarsa e poco interessante. Era vitale ai tempi antichi quando c'erano solo energia animale e termica, ottenuta bruciando legno. Già 4.500 anni fa le barche sul Nilo andavano a vela verso Sud e tornavano verso il mare portate dalla corrente del fiume.

I Romani viaggiavano per tutto l'Impero sugli 80.000 km delle loro strade e sulle vie del mare: a remi o a vela. Solo più tardi il vento fu sfruttato per produrre energia, usata per macinare grano e semi, per muovere macchine utensili, per sollevare acqua, soprattutto per irrigazione, ma anche nelle saline. Pare che la tecnica dei mulini si diffuse dall'Oriente a partire dal X secolo. Il mulino che Don Chisciotte prese per un gigante apparteneva a una schiera di altri trenta o quaranta e doveva essere piuttosto grande per disarcionar-

lo. Dalle illustrazioni di Doré e dalle tavole dell'Encyclopédie di Diderot e d'Alembert, diremmo che aveva pale lunghe una decina di metri (e avrà prodotto una potenza di poche decine di kilowatt).

Il vento in certe regioni è frequente e intenso, conviene dunque di sicuro captarne l'energia? La risposta è Sì, ma c'è una difficoltà non aggirabile. Quando la velocità del vento è scarsa, l'energia che fornisce è poca. Quando la velocità è molto alta (oltre 100 chilometri all'ora), potrebbe fornire molta energia, ma le strutture che sostengono gli aeromotori e le turbine dovrebbero essere così massicce, per resistere alla sollecitazione del vento, da far crescere troppo il costo degli impianti. Occorre, allora, mettere "in bando" (parallele invece che perpendicolari al vento) ruote e pale e non sfruttare l'energia proprio

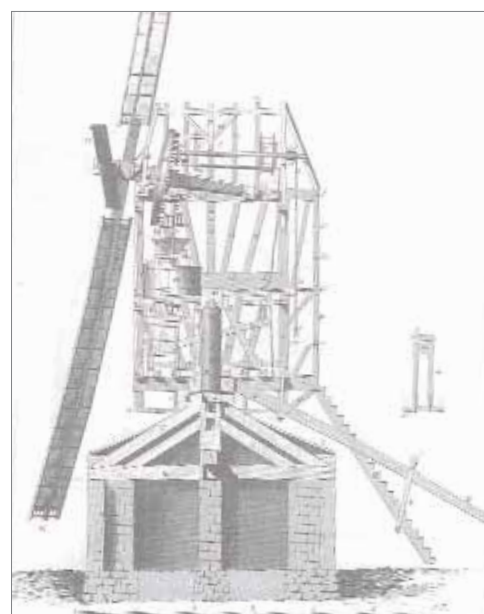
MULINI A VENTO: LA STORIA

In Olanda, nel XVII secolo, i mulini a vento fornivano energia meccanica ad ogni sorta di industrie. Le idrovore impiegate per le bonifiche adottarono soluzioni sempre più sofisticate e imponenti.

quando sarebbe più abbondante. Sono famosi (e riprodotti ovunque) i mulini olandesi (con pale formate da griglie di legno coperte di tavole o stoffa). Ebbero una diffusione maggiore di quelli delle isole greche che hanno sei o più pale simili a vele riprodotte anche nelle illustrazioni di tanti depliant turistici. Il primo documento olandese che menziona queste strutture è un atto legale del 1274 con cui il



A SINISTRA: I caratteristici mulini de La Mancha, regione spagnola famosa per le imprese del leggendario Don Chisciotte, di cui narrò Cervantes.



A DESTRA: La struttura interna di un mulino a vento, da una tavola de l'Encyclopédie di Diderot e d'Alembert, del 1762.

IL MULINO A VENTO: COME FUNZIONA

Il calcolo della potenza di un mulino a vento è simile (ma un po' più difficile) al calcolo della potenza di una turbina idraulica. Per questa, in prima approssimazione, basta misurare da che altezza scende l'acqua dal bacino alto che la contiene. Se il dislivello è di 100 m, ogni litro d'acqua che traversa la turbina fornisce in teoria 9,8 Newton (la forza corrispondente a 1 kg) per 100 metri, cioè un'energia di 980 Joule. Se la turbina è attraversata da 1.000 litri/secondo, la potenza è di 980 Joule/litro x 1.000 litri/secondo = 980.000 Joule/secondo = 980 Watt.

Fra lo spazio a monte e quello a valle del mulino a vento, invece, non c'è un dislivello di pressione. La massa d'aria in un certo istante si muove (soffia) a velocità costante. Però, dopo esser passata fra le pale, l'aria non avrà certo velocità zero. Avrà ancora una certa velocità e, quindi, una certa energia cinetica residua. La difficoltà sta proprio nel calcolarla: sarà tanto maggiore quanto meno efficiente è il progetto del mulino. Qui non entriamo in dettagli. È facile, però, valutare almeno il massimo ideale, cioè l'energia cinetica iniziale. Se la velocità V del vento è di 15 m/s (cioè di 54 km/h), un m³ d'aria che ha una massa di 1,293 kg ha un'energia cinetica:

$$E^c = mV^2/2 = 1,293 \times 225/2 = 145 \text{ Joule}$$

Se il mulino ha una ruota con superficie di 1 m², viene attraversata da 15 m³ di aria e quindi la potenza massima è:

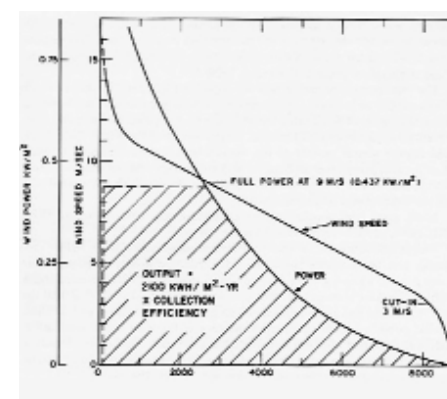
$$145 \text{ Joule/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{s} = 2.175 \text{ W} = 2,175 \text{ kW}$$

La potenza ideale massima del mulino "1" nella figura di pag. 34 si calcola, dato che il diametro del rotore è di 100 m e la superficie è di 7.850 m², moltiplicando questa superficie per la potenza corrispondente a 1 m²: 2,175 kW/m² x 7.850 m² = 17.073 kW = 17 MW

In effetti, invece, la potenza massima ottenibile da quel mulino è di 3,6 MW. L'efficienza è tale che sfruttiamo solo il 21% dell'energia idealmente posseduta dal vento a 15 m/s.

Dato che la pressione del vento diminuisce con il quadrato della velocità e la portata è proporzionale alla velocità, se il vento spira a 9 m/s, la potenza ideale massima si riduce nella misura del rapporto fra le velocità elevato al cubo, cioè a:

$$(9/15)^3 = 0,216 \times 2,175 = 0,47 \text{ kW/m}^2$$



FULL POWER = PIENA POTENZA

A 9 m/s (0,437 kW/m²)

WIND SPEED = VELOCITÀ DEL TEMPO

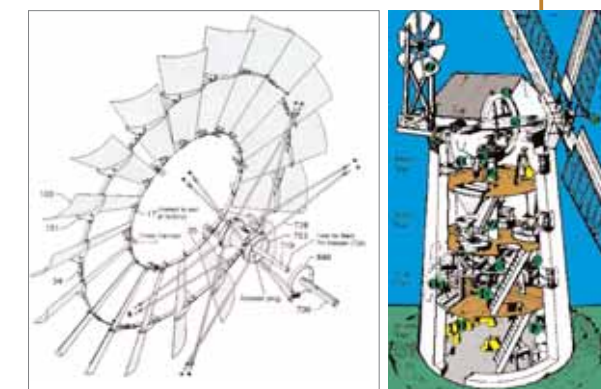
POWER = POTENZA

Scala ordinate: velocità del vento in m/s.

Scala ascisse: tempo in ore.

Per progettare impianti di generazione di energia eolica, bisogna registrare, nei siti proposti, per quanto tempo soffi il vento e a che intensità. Si calcolano così le durate del tempo in cui l'intensità del vento supera ciascuno dei valori possibili. La figura qui a lato mostra un diagramma di durata rilevato alle isole Hawaii: si vede che la velocità del vento supera i 5 m/s per circa 4.000 ore all'anno e la velocità di 10 m/s per circa 2.000 ore all'anno. In base a queste rilevazioni si calcolano la potenza e l'energia ottenibili. Così si possono impiantare calcoli e bilanci economici necessari per la progettazione. In Italia andrebbe fatta un'analisi generale producendo diagrammi di questo tipo e converrebbe incrementare

la produzione di energia eolica anche in vista della applicazione del Protocollo di Kyoto che impone di "ridurre drasticamente la produzione di anidride carbonica e altri gas serra". Finora gli impianti eolici in Italia non sono molti, ma si diffondono rapidamente specie al Sud e nelle isole.



Conte Floris V di Haarlem autorizzava certi cittadini a erigere mulini a vento. In quel periodo le Terre Basse d'Olanda erano soggette a inondazioni. Nelle campagne l'unico combustibile con cui ci si scaldava nei rigidi inverni era la torba: veniva estratta dal suolo bagnata, seccata al sole d'estate e bruciata d'inverno. Si scavava per ottenerla fino a profondità di parecchi metri, alle quali si trovava acqua. Così si creavano laghi. Gli industriosi olandesi bonificavano quei laghetti e gli altri naturali (*polder*), siti sotto il livello del mare, pompando l'acqua e gettandola in mare. Agli inizi del XV secolo cominciarono a usare colee di Archimede che prendevano energia da mulini a vento già usati per macinare il grano. Alla fine del XVI secolo l'energia dei mulini a vento era usata nei frantoi di semi oleosi, in cartiere e in segherie che lavoravano legno importato. Più tardi quell'energia alimentava macchine operatrici in ogni sorta di industrie. L'impiego per alimentare le idrovore si estese ricorrendo a soluzioni più grandi e sofisticate. Nel 1608 fu prosciugato il polder di Beemster, pro-



Una grande onda oceanica tipica delle isole Hawaii, paradiso dei surfisti, dimostra la grande energia del vento.

fondo 3 metri, impiegando 26 mulini. Nel 1631 toccò a quello di Alkmaar utilizzando 51 mulini che tutti insieme tiravano su ogni minuto 1.000 metri cubi d'acqua: l'equivalente di una ventina di grosse autocisterne.

La familiarità degli olandesi con il vento li portò anche a costruire carrozze a vela. Una di queste fu ideata dal matematico e fisico Simone Stevin: nel 1600 la mise a disposizione del principe Maurizio per una gita sulla spiaggia di Scheveningen. Un ottimo libro illustrato su storia e struttura dei mulini olandesi,

"The Dutch Windmill" di Frederick Stokhuizen, si scarica gratuitamente da <http://webserv.nhl.nl/~smits/windmill.htm>.

In Olanda, nel 1850, c'erano circa 9.000 mulini. Funzionavano per velocità del vento comprese fra 6 e 12 metri al secondo e avevano una potenza di alcune decine di kilowatt ciascuno. Con l'avvento delle macchine a vapore e poi di quelle elettriche, nel secolo scorso, il loro numero diminuì. Attualmente sono ancora in funzione poche centinaia di unità di modello tradizionale, che costituiscono attrazioni turistiche. Intanto, però, l'evoluzione della tec-



A SINISTRA: I tradizionali mulini a vento olandesi in passato sono stati impiegati con successo in gran numero, soprattutto per azionare le pompe che hanno liberato dall'acqua ampie aree del territorio.

A DESTRA: Il sistema velico di una grande nave prevede numerosi teli ed elementi di sostegno, studiati per convertire l'energia del vento in moto del veliero.

nica e la preferenza accordata da alcuni alle fonti di energia rinnovabili stanno portando a una rinasci-

ta dei mulini a vento.

Alla metà del secolo scorso se ne costruirono con due pale sole e altri

ad asse verticale con due lunghe pale flessibili. Un *breakthrough* (una innovazione dirompente)

EOLICO FUTURIBILE

È possibile costruire un mulino a vento alto 3 chilometri? Ogni persona di buon senso risponderebbe: NO! Ma questo concetto è stato brevettato da un fisico olandese con credenziali ineccepibili. Non gli daremo ragione sulla parola, ma stiamolo a sentire. È Wubbo J. Ockels, olandese, nato nel 1946, laureatosi in fisica nel 1978. Ha fatto ricerche su acceleratori di particelle. È membro della Società Americana di Fisica e della Associazione di Fisica Europea. Nel 1978 fu selezionato dalla Agenzia Spaziale Europea (ESA) per essere addestrato al Centro NASA di Houston, per la missione Spacelab 1.

Il Dr. Ockels nel Novembre 1985 viaggiò nello spazio per 4 milioni di chilometri (110 orbite terrestri) con la missione STS-61A Challenger, in cui furono eseguiti 75 esperimenti di fisiologia, scienza dei materiali, biologia, navigazione.

Quando era ragazzo Wubbo costruiva aquiloni che faceva volare molto in alto. Questa passione non lo ha abbandonato anche quando imparò la fisica, l'aerodinamica e le caratteristiche dell'atmosfera ad alta quota. Dato che la velocità del vento ad alta quota è stabilmente più alta che in basso, ha pensato di realizzare una collana di aquiloni rigidi collegati con un grosso cavo. Chiamò il sistema "laddermill", cioè "mulino a scala a pioli".

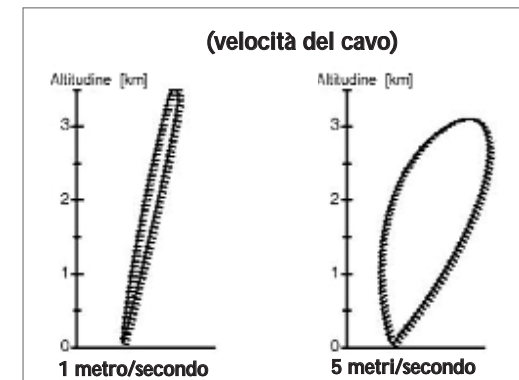
Il cavo, a terra, è avvolto attorno a un albero orizzontale, quindi si svolge verso l'alto. Gli aquiloni collegati alla parte ascendente del cavo ricevono dal vento una spinta verso l'alto. Quando un aquilone arriva al culmine, cambia angolo di inclinazione e la spinta diminuisce. Gli aquiloni che scendono sostengono appena il peso proprio e quello del ramo discendente del cavo. L'albero attorno al quale scorre il cavo gira e trasmette a un alternatore l'energia dovuta alle spinte sugli aquiloni. Ockels sostiene che con un cavo che arrivi fino a 3 chilometri di quota si può generare una potenza di 100 megawatt.

La forma che prende il lungo anello di cavo varia a seconda della velocità raggiunta dal cavo, come illustrato in figura. Il progetto prevede accorgimenti particolari per evitare che i due rami del cavo interferiscano fra loro. Naturalmente il sistema andrebbe installato in una zona in cui non accada mai che volino aeroplani - ma si può essere sicuri che non ne arrivino? Accade ogni tanto che qualche velivolo abbandoni la rotta prevista a causa di errori di navigazione o di uragani.

Sebbene il progetto appaia incredibilmente audace, complesso e rischioso, i calcoli di Ockels sono giusti: li ha pubblicati nel 2000 insieme ad alcuni professori dell'Università di Tecnologia di Delft. Finora non è stato costruito un modello del laddermill. Non avrebbe senso realizzarne uno piccolo, dato che il progetto ha la sua ragione d'essere nel fatto che la velocità del vento è molto più alta a quote di alcuni chilometri.

Il risultato è inaspettato. Infatti sappiamo che ad alta quota la densità dell'aria diminuisce molto (vedi tabella). Questa circostanza è più che bilanciata dall'aumento della velocità con la quota e dal fatto che la potenza cresce con il quadrato della velocità.

Soltanto le prove pratiche ci potrebbero convincere che i laddermill si possano davvero usare in pratica. Ockels dice che si potrebbero realizzare anche alti fino a 9 chilometri. Anche se avesse ragione, notiamo, però, che i 100 megawatt a cui mira potrebbero essere prodotti più facilmente con 50 aeromotori da 2 megawatt come quelli già in uso da vari anni, o 20 da 5 MW di tipo recente.

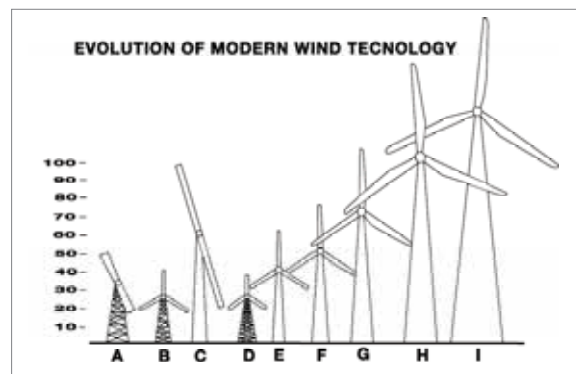


| Quota - km | 0 | 3 | 5 | 9 |
|---------------------------|-------|------|-----|------|
| Densità kg/m ³ | 1,293 | 0,89 | 0,7 | 0,42 |



Lo sviluppo di generatori eolici di potenza crescente e la ricerca di costi di produzione dell'energia più contenuti spingono verso la realizzazione di "mulini" sempre più grandi.

| | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Altezza | 34 | 25 | 60 | 25 | 40 | 50 | 70 | 100 | 124 |
| Diam.(m) | 53 | 24 | 97 | 15 | 31 | 48 | 66 | 100 | 112 |
| kW | 1250 | 200 | 3200 | 65 | 300 | 750 | 1800 | 3600 | 4500 |
| Anno | 1941 | 1957 | 1987 | 1984 | 1991 | 1997 | 1999 | 2003 | 2003 |
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |



emerse nel 1977 in Danimarca. È una storia unica: un gruppo di contestatori che non produce solo documenti ideologici, ma anche una innovazione tecnologica all'avanguardia - e di notevole utilità. C'era stata da poco la crisi petrolifera del 1973. L'energia costava cara. L'industria danese si orientava verso le centrali nucleari. Allora entrò in azione Tvind, un gruppo radicale, ambientalista, con tendenze maoiste, col suo guru Amdi Petersen (sulla storia del quale vedi il riquadro nella pagina a fronte). Andarono in autobus fino al Nepal per ispirarsi alla pretesa saggezza dei santoni locali. Organizzarono scioperi in Ecuador, aiutarono i rivoluzionari in Mozambico e fondarono 32 scuole a Tvind. Inizialmente il governo danese sovvenzionò i "Maestri di Tvind", poi il

loro estremismo crebbe troppo e gli tagliarono ogni sussidio. La gente di Tvind, come molti ambientalisti, era anti-nucleare. Non si limitarono, però, a fare marce e organizzare campagne per sensibilizzare il pubblico riguardo i rischi delle scorie nucleari. La tragedia di Chernobyl doveva verificarsi un decennio più tardi. Così chi era contrario all'energia nucleare non veniva molto ascoltato negli anni '70. I "Maestri di Tvind", ma soprattutto i volontari diretti da Allan Foighel, con alcuni accademici e ingegneri, idearono un'alternativa al nucleare, Tvindkraft, l'energia rinnovabile di Tvind. Progettarono e realizzarono in soli tre anni un mulino a 3 pale che sfruttasse il vento intenso dello Jutland occidentale. Le innovazioni introdotte erano: pale orientabili con ottimo

profilo aerodinamico; un regolatore in modo che la velocità del rotore cambiasse poco al variare di quella del vento; un sofisticato controllo computerizzato; un convertitore di frequenza (realizzato dal Prof. U. Krabbe dell'Università Tecnica Danese DTH).

Nel 1978 misero in funzione il mulino a vento più grande del mondo: produceva 2 Megawatt di energia elettrica e funziona ancora. Nei primi mesi di funzionamento vennero migliaia di visitatori ad ammirarlo.

Uno dei problemi più seri era costruire le pale - e fu decisivo l'aiuto del professore di aerodinamica Ulrich Hütter di Stoccarda. Negli anni seguenti l'industria danese (in particolare Vestas) divenne molto attiva nel settore. Ha ora un'ottima posizione - i mulini a vento sono al



A SINISTRA: L'energia del vento, un sottoprodotto dell'irraggiamento solare, può costituire un valido aiuto alla riduzione della dipendenza dalle inquinanti centrali termoelettriche a petrolio.

A DESTRA: Una caratteristica ventola a diciotto pale, molto usata in passato anche nelle campagne italiane per azionare pompe da irrigazione.

LA ROMANZESCA STORIA DEL GURU DI TVIND: MOGENS AMDI PETERSEN

Nel 1962 Mogens Amdi Petersen era un maestro di scuola con gli occhiali, alto 1 metro e 95. Pare che gli fu tolto l'incarico perché aveva i capelli troppo lunghi. Nel 1970 fondò il Necessary Teachers Training College (Collegio per la Formazione Necessaria dei Maestri) presso la fattoria di Tvind vicino a Ulfborg, Danimarca. "Tvind" in danese antico vuol dire "gemello", ma "vind" vuol dire "vento". Qualche anno dopo il Gruppo dei Maestri aveva fondato 32 scuole e creato un Fondo Umanitario. Insegnavano a disabili e organizzavano volontari per interventi culturali e umanitari in Malawi, Zimbabwe, Kenya, Angola stabilendo buoni rapporti con alcuni governanti locali.



A Tvind si costituì il Gruppo del Mulino: fu un gran successo. Progettò e costruì il mulino a vento più grande del mondo, completato nel 1978. Partì così un'ondata tecnologica che mise la Danimarca all'avanguardia, come abbiamo già visto. Poi i cammini si biforcarono. Allan Foighel e i suoi tecnici si staccarono da Petersen. Continuarono a studiare e sperimentare l'energia eolica: costituirono una rispettabile Fondazione per il Supporto di Scopi Umanitari, per la Promozione della Ricerca e la Protezione dell'Ambiente (vedi www.fonden.org).

Attualmente progettano un mulino a vento gigante da 10 MW.

Petersen e altri iniziarono attività in Inghilterra e in USA. Le loro organizzazioni Planet Aid e Humana raccoglievano vestiti usati dati in beneficenza e dicevano che li avrebbero rivenduti usando il ricavato per iniziative benefiche. Pare che non fosse così. I giovani volontari che lavoravano per loro erano sfruttati al massimo, non erano pagati ed erano sottoposti a lavaggio del cervello. Petersen si presentava come un dio - più che un guru. Lui e alcuni intimi tenevano i soldi per sé e compravano yacht, case e automobili di lusso. Amdi si trasferì in California, poi in Florida nell'isola Fisher, ritrovo esclusivo di ricconi. Alcuni britannici sospettosi cominciarono a indagare su Petersen. Aggiornano ancora in rete il sito www.tvindalert.com/about/amdi.htm ove analizzano le accuse fatte ad Amdi di aver sottratto 25 milioni di dollari, mai giunti ai presunti beneficiari, e raccontano le sue vicende giudiziarie. Petersen fu arrestato a Los Angeles nel 2002 ed estradato in Danimarca ove è in corso un intricato processo davanti al tribunale di Aarhus. Anche gli individui più spregiudicati e cagliostreschi talora fanno qualche cosa di interessante e meritorio.



Lo storico aerogeneratore progettato dalla comunità di Tvind. Nel 1978, quando fu installato, era il più grande del mondo.

secondo posto fra le esportazioni danesi. (Un'interessante intervista con Allan Foighel si trova su www.ewe.com/03publications/WindDirection1978.htm). La figura e la tabella in alto a pagina 34 danno un'idea dello sviluppo di questa tecnologia (produzioni di serie): dai mulini con rotore del diametro di 24 metri e potenza di 200 kW nel 1957 ai giganti con pale di oltre 50 metri e potenza di

4500 kW.

(La figura si può scaricare da www.yek.yk.ca/wind/presentation/windDiesel%20session%204/html). Sono attivi costruttori in USA, Giappone, Australia. **In Italia vengono prodotti piccoli impianti. Nella prima metà del secolo scorso, a Grosseto, la Vivarelli produceva aeromotori che davano energia a pompe per irrigazione.** Erano strutture con una ventina di

pale in lamiera disposte radialmente su di una ruota di diametro fino a 6 metri. Costellavano la campagna romana e la Maremma. Furono installati anche in Libia e in Somalia. A lato della Laguna di Orbetello si vede ancora la struttura priva di pale di un mulino: ultimo rimasto di una quindicina che servivano a macinare il grano per la guarnigione del castello e che rimasero in funzione fino al XVIII secolo.

AEROMOTORI PER FAMIGLIA

Il costo per kW dei piccoli impianti è ancora alto. Ma è senza dubbio gratificante alimentare la nostra stufaelettrica con l'energia del vento che spira all'esterno.

Dopo aver riflettuto su queste innovazioni realistiche, e su quelle che sembrano fantascientifiche, descritte nel riquadro intitolato "Eolico futuribile", dobbiamo pensare che non ci riguarderanno concretamente finché non ci saranno progressi nuovi? Non proprio: ci sono anche applicazioni adatte a singole case isolate o appartamenti. Troverete offerte da varie fonti cercando su Internet con un

POTENZE EOLICHE INSTALLATE ALLA FINE DEL 2004

(Fonte EWEA European Wind Energy Association, www.ewea.org)

| | |
|-----------------|-----------|
| Germania | 16.629 MW |
| Spagna | 8.263 |
| Danimarca | 3.117 |
| Italia | 1.125 |
| Olanda | 1.078 |
| Regno Unito | 888 |
| Finlandia | 822 |
| Austria | 606 |
| Portogallo | 522 |
| Grecia | 465 |
| Svezia | 442 |
| Francia | 386 |
| Irlanda | 339 |
| Norvegia | 160 |
| Belgio | 95 |
| Polonia | 63 |
| Lussemburgo | 35 |
| Lettonia | 26 |
| Turchia | 20 |
| Repubblica Ceca | 17 |
| Svizzera | 9 |
| Lituania | 7 |
| Croazia | 6 |
| Ungheria | 6 |
| Estonia | 6 |
| Cipro | 1 |
| Romania | 1 |
| Bulgaria | 1 |

buon motore di ricerca sotto "aerogeneratori". Certo, i costi di installazione sono molto più alti che nel caso dei grossi impianti già descritti: per potenze intorno a 1 kW si arriva anche a 10.000 euro/kW. Questo investimento lo ripagheremmo in 60.000 ore di funzionamento. Se l'uso è di 3.000 ore all'anno dovremmo aspettare 20 anni. Per potenze sui 10 kW il costo scende a 3.000 euro/kW (che ripagheremmo in 18.000 ore - circa 6 anni). Ma questi conti sono ottimistici: l'impianto non funziona sempre a potenza massima, quindi l'ammortamento in realtà durerebbe parecchio di più. Ci consoleremo pensando al gusto che dà apprezzare che più forte (entro certi limiti! fino a 90 km/h) spira il vento freddo e maggiore è la potenza trasmessa alla stufa elettrica che ci scalda la casa.

IMPATTI ECONOMICI E AMBIENTALI

L'eolico ha grandi potenzialità di sviluppo, ma l'ammortamento su tempi lunghi e il particolare impatto ambientale offrono il fianco a molte critiche.

Il costo di un aeromotore di grandi dimensioni (2 megawatt e oltre) è sui 1.000 euro per ogni kilowatt di potenza installata. In Danimarca sono in corso studi che mirerebbero a ridurlo di molto, ma il successo sembra improbabile... Già oggi questo costo non è troppo diverso da quelli di centrali tradizionali



La tedesca Repower ha realizzato un aeromotore da 5 GW. Il diametro delle pale è di 126 metri: a Marzo 2005 aveva già prodotto oltre 1 milione di kWh. In foto sono visibili alcune persone, in piedi, sul corpo del generatore.

idroelectriche o termoelettriche. I generatori eolici sono sfavoriti perché in molte zone è raro che funzionino più di 2.000 ore/anno. Quando il vento è scarso producono potenza inferiore; se è troppo intenso, come già accennato, vanno fermati per evitare danni.

Un aeromotore da 2 Megawatt che funzioni per 1.500 ore all'anno, produce 3.000 Megawattora, che in bolletta pagheremmo 480.000 euro e che si potrebbero produrre bruciando 900 tonnellate di carbone. L'impianto costa 2 milioni di euro (1.000 euro/kW) e dovrebbe ammortizzarsi in una decina di anni (tenendo conto delle spese di manutenzione e gestione). **Un buon affare e un passo verso la riduzione della estrema dipendenza che l'Italia ha dal petrolio.** In Danimarca, nel 2004, erano installati 6.000 aeromotori che producevano 4.700 GWh di energia elettrica all'anno, cioè il 13% dei 36.350 Gigawattora prodotti nel Paese. In Italia, nel 2002, abbiamo prodotto 262.000 Gigawattora elettrici (81,2% termoelettrici, 16,6% idroelettrici, 1,6% geotermici, 0,5% eolici). La tabella qui a lato riporta le potenze di origine eolica installate in Europa alla fine del 2004. Ci sarebbe ampio spazio per valorizzare il settore, riducendo le emissioni gassose degli impianti termoelettrici. Per queste ragioni la maggioranza degli ambientalisti è favorevole all'energia eolica. Non mancano, però, gli oppositori che criticano il rumore eccessivo e le scarse doti estetiche degli aeromotori.