

# Dossier

**Franco Pecchio**

*Franco Pecchio, Fondazione ENI Enrico Mattei*

**L'**energia eolica ha avuto uno sviluppo molto simile a quello dell'energia idroelettrica. Nell'antichità infatti era già presente lo sfruttamento meccanico dell'energia cinetica delle masse d'aria. Solo successivamente alla fine dell' '800 si è avuto il passaggio da potenza meccanica a generatore di corrente elettrica con il collegamento ad una dinamo. Per la precisione si deve all'americano Charles F. Brush l'invenzione del primo aerogeneratore da 12 kW nel 1898. La macchina era relativamente semplice con un rotore di 17 metri di diametro costituito da 144 pale di legno. Fino al 1930 circa gli aerogeneratori sono stati relegati per applicazioni stand-alone di bassa potenza, ad esempio nelle fattorie americane.

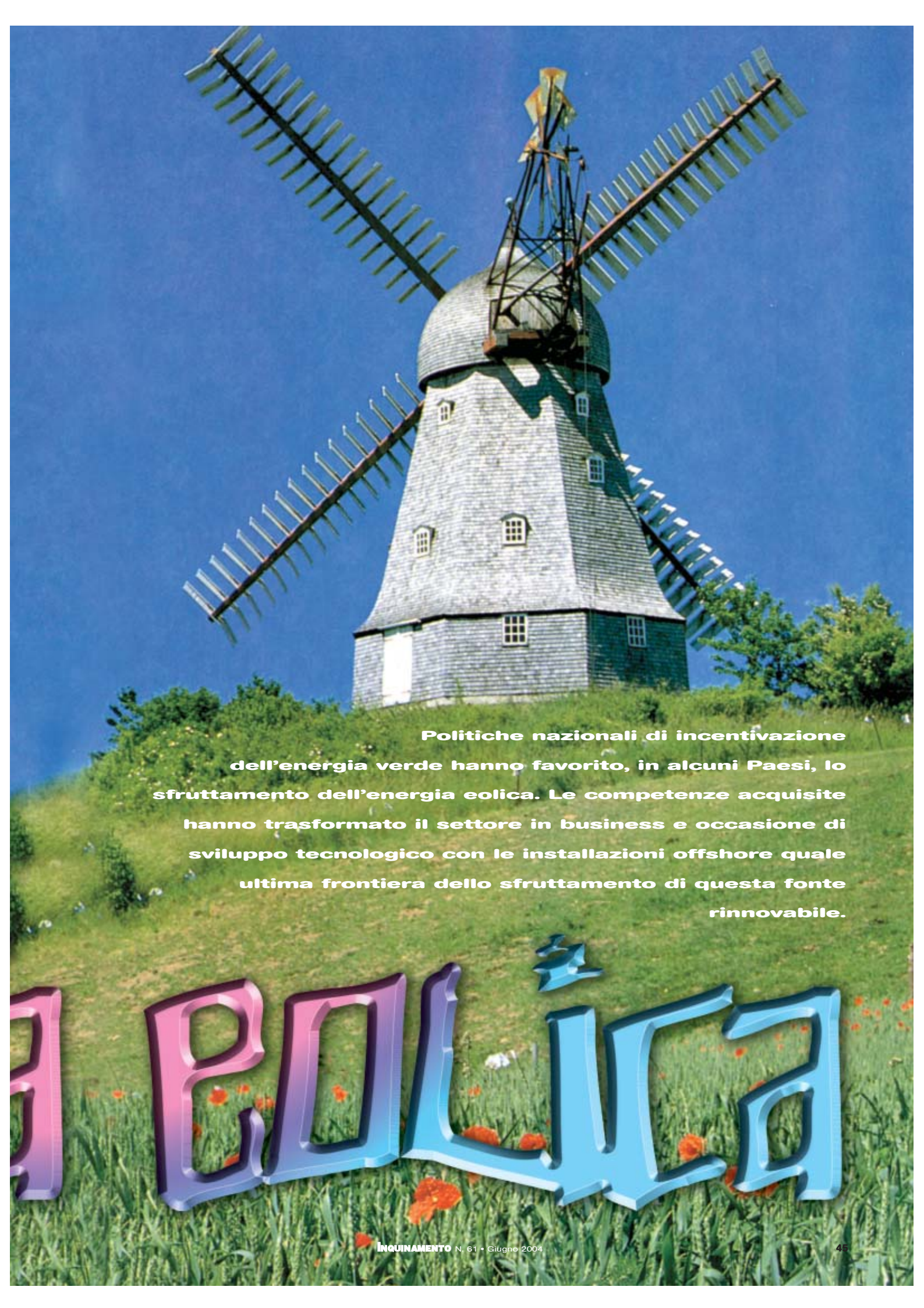
A seguito della scarsità di fonti fossili durante la seconda guerra mondiale e durante gli choc petroliferi degli anni '70, gli aerogeneratori hanno cominciato ad essere presi in considerazione come tecnologia di produzione elettrica; tuttavia la loro diffusione è stata per lungo tempo stagnante a causa delle basse tensioni generate. Solo negli anni '80 sono nate le prime generazioni di aerogeneratori con motore a magneti permanenti che ormai dominano la produzione mondiale di energia elettrica dal vento in impianti connessi alla rete.

Nell'ultimo ventennio l'espansione e la commercializzazione delle turbine eoliche è sempre coinciso con il loro sviluppo tecnologico. Se nel 1985 si avevano turbine con potenze comprese tra i 20 kW ed i 35 kW e diametri inferiori ai dieci metri, ormai si arriva a turbine da 80 metri (ed anche superiori) con potenze comprese tra 1,5 e 2,5 MW. Ma il mercato e le tecnologie ormai si stan-



## Uno sguardo a livello mondiale

# ENERGIA



**Politiche nazionali di incentivazione dell'energia verde hanno favorito, in alcuni Paesi, lo sfruttamento dell'energia eolica. Le competenze acquisite hanno trasformato il settore in business e occasione di sviluppo tecnologico con le installazioni offshore quale ultima frontiera dello sfruttamento di questa fonte rinnovabile.**

**A EOLICA**

no specializzando in modo da ottenere la massima producibilità in tutte le situazioni. Così oggi abbiamo turbine ed aerogeneratori specificatamente disegnati per applicazioni offshore, per venti variabili in velocità ed in direzione, turbine per venti turbolenti e per applicazioni su piccola scala (dalle fattorie delle pianure americane dei primordi ai villaggi nei Paesi in via di sviluppo).

Le direzioni della ricerca e sviluppo (R&D) sono molteplici: sui materiali che permettono di aumentare le dimensioni dei rotori e quindi la potenza erogata, sui componenti accessori che permettono di muovere il rotore in modo da catturare la direzione del vento più favorevole fino a fermarlo in caso la velocità sia troppo elevata, sugli inverter che permettono di passare dalla corrente continua a quella alternata, ai sistemi per le fondazioni ad esempio in applicazioni offshore.

### **COSTI OFFSHORE E ON-LAND**

I costi della generazione elettrica da fonte eolica sono diminuiti in modo costante e sensibile negli ultimi 15 anni in ragione dell'aumento dell'efficienza degli aerogeneratori ma anche del costo degli stessi dovuto sia alle economie di scala che si sono sviluppate nel settore sia ai risultati della ricerca e delle nuove tecnologie disponibili soprattutto nei processi di produzioni delle diverse parti degli aerogeneratori.

Sostanzialmente i costi di generazione sono influenzati da tre macro fattori:

- il costo del capitale, cioè il costo della macchina e dell'installazione, della connessione alla rete dell'impianto; a questi vanno aggiunti i costi di project management e di sviluppo di un sito, ad esempio il monitoraggio delle velocità del vento e il micro-siting per l'ottimizzazione della disposizione delle turbine;

- i costi di esercizio, cioè i costi operativi e di manutenzione (O&M), le fermate e il costo di affitto del terreno sul quale sorge il sito produttivo;

- il costo del finanziamento, in pratica il tasso di interesse a cui è stato prestato il capitale investito.

Come nella maggioranza delle fonti rinnovabili anche per l'energia eolica il costo capitale è il maggiore e varia tra il 75% ed il 90% del costo totale dell'impianto.

Il costo capitale varia secondo il tipo di installazione, le installazioni offshore, infatti, hanno costi maggiori nel range tra il 35% e il 100% di un analogo impianto on-land. La differenza è dovuta in parte ai maggiori costi delle macchine ma soprattutto alle fondazioni marine che possono arrivare ad un terzo del costo della turbina, e ai costi di connessione che sono sensibilmente maggiori.

Il costo dell'energia generata dall'impianto e di conseguenza il prezzo finale sono vincolati da fattori tecnici: velocità del vento e numero di ore annue di sfruttamento, tipo di turbina (ormai si hanno turbine specifiche per le diverse caratteristiche del vento). Il prezzo subisce anche il vincolo economico del tempo di recupero del capitale e quindi dall'orizzonte finanziario del progetto che influenza il rendimento del capitale investito.

Il costo dell'energia dipende dalle caratteristiche del vento e soprattutto dalla velocità in quanto la potenza prodotta varia proporzionalmente con il cubo della velocità del vento secondo la legge di Betz <sup>(1)</sup>; in altri termini un raddoppio dell'area della turbina aumenta di otto volte la potenza generata e lo stesso avviene nel caso in cui si raddoppi la velocità del vento. Ma oltre a ciò bisogna anche valutare i costi O&M che sono dell'ordine di 0,4 €/cent/kWh, ma possono essere più elevati.



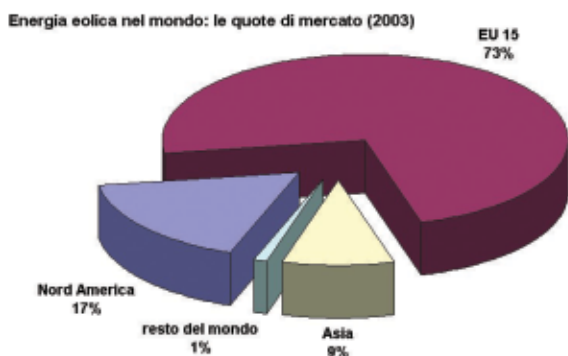
**Costo per una installazione singola on-land da 600 kW.**  
**Costo totale = 900 €/kW. Costo per una installazione offshore.**  
**Costo totale unitario = 1.234 €/kW.**

Turbina eolica	64%	55%
Opere civili	13%	19%
Infrastrutture elettriche	8%	9%
Connessione alla rete	6%	8,5%
Project management	1%	8,5%
Installazione	1%	8,5%
Assicurazioni	1%	8,5%
Costi legali	2%	8,5%
Interessi bancari	1%	8,5%
Costi di sviluppo	1%	8,5%
Interessi periodo di costruzione	1%	8,5%

Tabella 1  
 La ripartizione dei costi sostenuti per impianti eolici offshore e a terra.



Figura 1  
 Le quote di mercato mondiale dell'energia eolica: l'Europa è leader assoluto. [Fonte: IEA]



## LA POTENZA INSTALLATA

La potenza installata a livello mondiale si è attestata nel 2003 a 8.100 MW installati con l'Europa leader assoluto (figura 1). L'Asia si attesta intorno al 9% del totale ed è in crescita soprattutto grazie ai programmi dell'India, che è molto avanzata nello sfruttamento a terra e anche, parzialmente, nella costruzione di parti elementari degli aerogeneratori. Gli Stati Uniti hanno invece avuto uno sviluppo notevole negli anni '80 che è andato scemando negli anni '90 a causa di una perdita della supremazia tecnologica e della perdita di fiducia nella fonte eolica. L'Europa, invece, è diventata nell'ultimo decennio il maggior mercato mondiale con anche la leadership tecnologica nella produzione delle parti dell'impianto nei servizi per l'installazione e la manutenzione: si pensi ad esempio all'evoluzione dei software per il micrositing ed il posizionamento delle pale.

La produzione offshore ha un alto potenziale ancora da sfruttare (figura 2) ed è la frontiera dell'energia eolica sia per le tecnologie ed i nuovi materiali che richiede sia per le potenze in grado di sviluppare.

Per quanto riguarda la domanda delle installazioni (figura 3) la Germania è evidentemente il mercato principale che insieme a Spagna e Danimarca assorbe oltre il 75% dell'intera domanda europea. Il primato nei tre Paesi è stato costruito in modi molto diversi tra loro: la Danimarca è stata la prima a sviluppare la tecnologia con industrie leader del mercato e molti investimenti in ricerca e sviluppo a cavallo tra gli anni '80 e '90, la Germania ha attuato una politica a favore delle fonti rinnovabili e l'eolico, con il suo ottimo margine netto di rendimento, ha facilmente preso piede<sup>(2)</sup>; infine la Spagna che, pur non avendo dominato la parte tecnologica, è riuscita con una legislazione ad hoc ad attirare gli investimenti esteri ed a creare un proprio background tecnologico che ha spinto il mercato.

Osservando la carta di figura 4 e confrontando con i bassi numeri di altri stati è logico aspettarsi un incremento delle installazioni in Italia, Francia e Regno Unito che finora sono state escluse dai grandi numeri dell'eolico in Europa.

Come si vede dalla figura 5 la crescita del parco installato in Germania ha già cominciato il proprio percorso di diversificazione nella tipologia di intervento: in futuro ci si aspetta un rifacimento e repowering di tutte le turbine installate onshore con un ciclo simile per l'offshore a cominciare dal 2020 con le turbine di seconda e di terza generazione del settore. Il contributo della Germania allo sviluppo mondiale del settore è enorme (figura 6) ma destinato a ridimensionarsi nel futuro in quanto da un lato i nuovi Paesi entranti in questo mercato hanno potenzialità di sfruttamento maggiori (figura 4) e dall'altro la Germania sta avvicinandosi al suo limite di installazioni almeno per la parte onshore. Ci sono infatti problemi tecnici sul sistema di trasmissione, economici per il regime di prezzo incentivato dell'energia eolica e ambientali per la saturazione dei siti "accettati" per cui non è possibile né prevedibile una crescita nel futuro.

Proprio la produzione offshore sembra quella più promettente (figura 2) con minori conflitti dal punto di vista paesaggistico

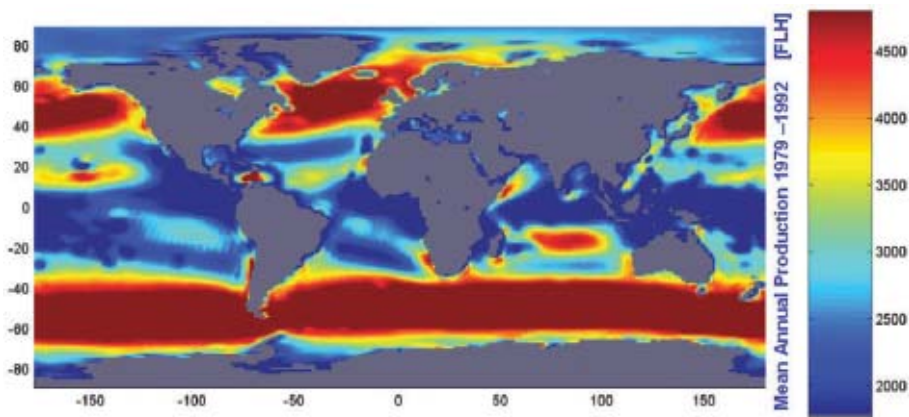
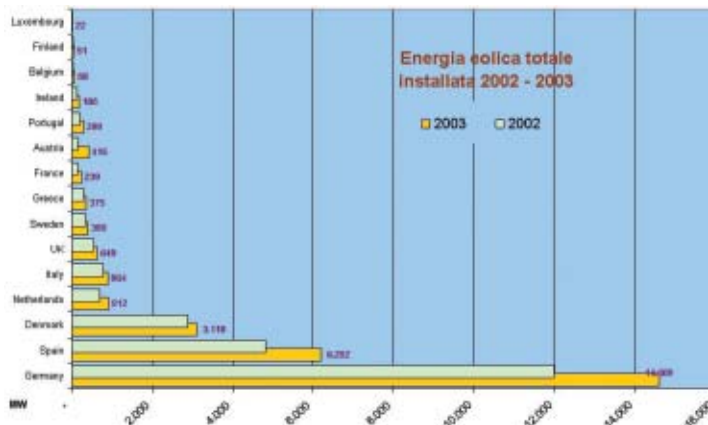


Figura 2  
 Produzione annuale stimata per generatori eolici da 1,5 MW a velocità variabile e altezza di 80 metri della navicella installati in off-shore.

Figura 3  
La potenza installata nel 2002 e nel 2003 nel mondo. Il dato di totale cumulato nel 2003 può risultare non congruente alla somma dei dati finali 2002 e installato nell'anno 2003 in quanto sono stati effettuati alcuni interventi di re-powering e decommissioning. [Fonte: IEA]



(argomento molto sentito in Italia) e maggior numero di ore di utilizzo a pieno carico. Il Regno Unito, in particolare, ha recentemente inaugurato un piano di sviluppo che, grazie ai ROCs (Renewable Obligation Certificates, molto simili ai nostrani Certificati Verdi) ed al commitment del 10,4% di energia prodotta da fonte rinnovabile nel 2010, sembra avviato verso buoni risultati e sullo sviluppo di competenze specifiche per questo settore nel Paese. In pratica il DTI è riuscito in un tempo relativamente breve, 3 anni, a riformare la normativa per la produzione di energia da fonti rinnovabili e a determinare un circolo virtuoso che stimola anche le industrie del settore eolico made in UK per le tecnologie legate alla produzione offshore.

#### INDUSTRIA MONDIALE, SUPPLIER

Si è recentemente tenuta ad Amburgo la fiera internazionale dell'industria eolica che prevede sviluppi sensibili nella domanda di pale eoliche nei prossimi anni: infatti si passerebbe dai circa 40 GW installati attualmente a nuovi 110 GW installati nel 2012 con investimenti previsti in 130 miliardi di euro. Lo studio presentato dal Dewi<sup>(3)</sup> è stato condotto presso i costruttori di turbine e le società di sviluppo che hanno fornito le proprie previsioni per il mercato. I cinque mercati previsti con maggiore sviluppo sono la Francia, il Regno Unito, l'Austria, l'Italia e gli Stati Uniti. C'è stato uno spostamento nella percezione del mercato da parte degli operatori che nel 2002 avevano indicato tra i mercati con le migliori aspettative di crescita la Polonia e la Turchia le quali hanno invece deluso le aspettative. La Germania ha mostrato l'inversione di tendenza prevista nella sua formidabile crescita degli ultimi anni, tuttavia l'abbassamento della quantità installata sull'anno precedente (2.645 MW nel 2003 rispetto ai quasi 3.247 del 2002) è stato meno sensibile del previsto; la Germania rimane sempre il primo mercato a livello mondiale. Gli operatori del settore stimano di arrivare a 22.600 MW di eolico installato a terra e 6.700 MW installati offshore nel mare del Nord e nel mar Baltico con la rosea previsione al 2030 di avere il 30% della domanda di energia elettrica tedesca soddisfatta dalla produzione eolica. A titolo di esempio la crescita è stata tale che in Germania recentemente la produzione idroelettrica è stata superata da quella eolica, diventata quindi la prima fonte rinnovabile del Paese.

Le ottime prospettive dello sfruttamento del vento in installazioni offshore è stato sovrastimato in passato, gli studi più recenti pongono il 2006 come l'anno di vera e propria esplosione del mercato che è rimasto abbastanza fermo nell'ultimo periodo con ritardi nella costruzione dei nuovi impianti. Il mercato è stato condizionato da questi ritardi, ma è attesa una crescita molto veloce degli ordinativi una volta ripresi i lavori pregressi. Il secondo mercato per crescita attesa è quello inglese che soprattutto sul fronte della tecnologia offshore sta procedendo speditamente con una decina di siti già localizzati ed autorizzati e un paio in attività da qualche mese<sup>(4)</sup>.

Tuttavia per gli operatori di livello mondiale il futuro dell'energia eolica è nella conquista di nuovi mercati diversi da quelli tradizionali. Con questo obiettivo si stanno organizzando i diversi produttori con joint venture nei Paesi di riferimento: almeno 2 imprese di costruzione su dieci e tre sviluppatori su dieci stanno portando avanti strategie espansive su nuovi mercati. Gli ostacoli

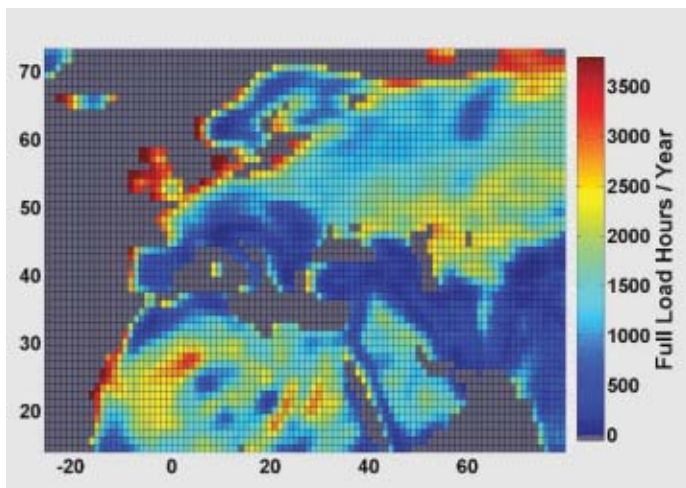


Figura 4  
Il potenziale di produzione di energia eolica: ipotesi di installazioni onshore e 1500 ore annue medie di carico, densità territoriale di 4-8 MW/km<sup>2</sup>, è pari a 120.000 - 240.000 TWh. [Fonte: G. Czisch, Iset /Ipp, 1999; elaborazione e mappatura su dati Ecmwf, ERA-15, 1972-1992]

maggiori sono nell'incertezza della politica energetica nei nuovi mercati e la mancanza di modelli di finanziamento specifici per la struttura economica dei nuovi mercati.

I sette maggiori produttori di turbine <sup>(5)</sup> hanno l'86% del mercato mondiale (dato 2001) con un giro di affari stimato intorno ai 4,8 miliardi di euro. È interessante notare che i primi tre costruttori si sono specializzati per taglia delle turbine vendute (tabella sottostante).

In particolare la concentrazione di produttori per singolo Paese è determinata da un lato dalle economie di scala del settore (Danimarca e Germania infatti hanno entrambe tre industrie ciascuna tra le prime dieci al mondo) e dall'altro da quei Paesi in cui sono state portate avanti politiche energetiche e obiettivi industriali (Spagna, India e Giappone) che sono i nuovi attori nel panorama

Classifica	Turbine di potenza <750 kW	Turbine con potenza compresa tra 750 e 1.500 kW	Turbine con potenza >1.500 kW
1	Vestas	GE Wind Energy	Enercon
2	Gamesa	Neg-Micon	Vestas
3	Enercon	Bonus	Bonus

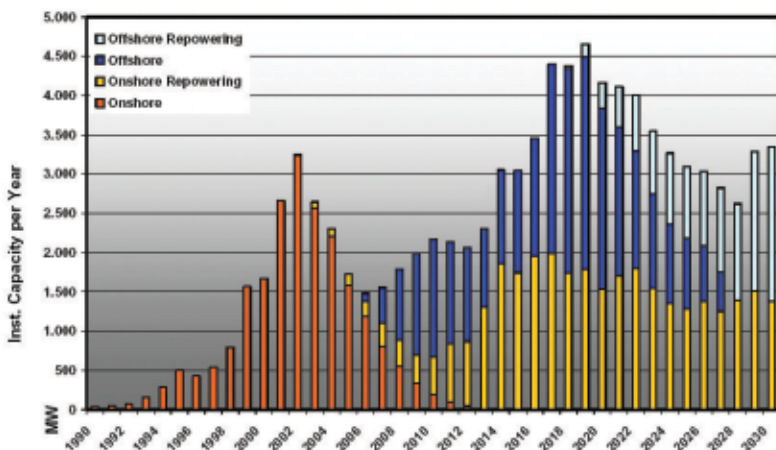
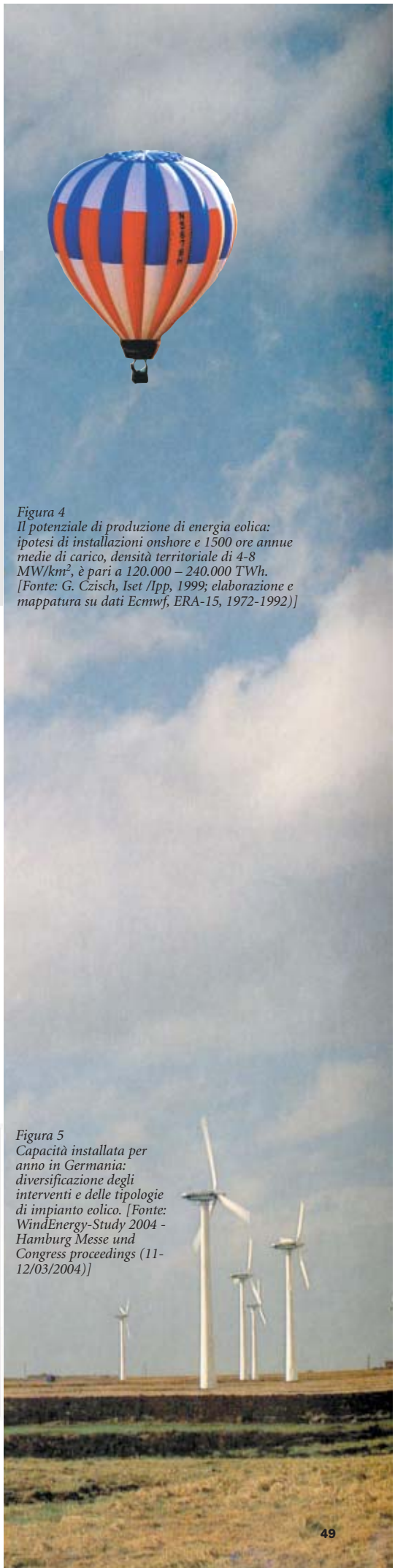


Figura 5  
Capacità installata per anno in Germania: diversificazione degli interventi e delle tipologie di impianto eolico. [Fonte: WindEnergy-Study 2004 - Hamburg Messe und Congress proceedings (11-12/03/2004)]



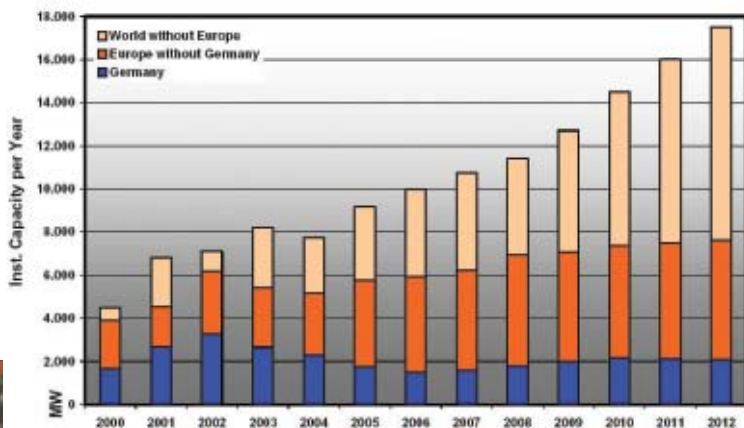


Figura 6  
Capacità installata per anno,  
previsioni al 2012. [Fonte:  
WindEnergy-Study 2004 -  
Hamburg Messe und  
Congress proceedings  
(11-12/03/2004)]

industriale mondiale. Dall'analisi del caso danese, che è quello meglio documentato, emerge che lo sviluppo commerciale delle turbine e dell'industria del settore è stato proporzionale alla taglia delle turbine e quindi al contestuale incremento di energia prodotta a parità di risorsa disponibile: la taglia media delle turbine è infatti passata da 150 (1985) a 980 kW (2001) e la potenza per singola macchina è arrivata oggi vicino ai 3 MW. Lo sviluppo tecnologico delle tecniche di produzione e l'aumento dell'efficienza delle macchine ha poi ulteriormente spinto il mercato. Il 75% della riduzione dei costi è stato effettuato con miglioramenti sul fronte dell'efficienza delle macchine e solo il 25% è dovuto all'affinamento della tecnica di localizzazione delle turbine (il cosiddetto processo di "siting" degli aerogeneratori).

I prossimi miglioramenti sono attesi in particolare dai nuovi materiali flessibili per la costruzione delle pale che permettono pesi ridotti e maggior numero di ore di funzionamento; una riduzione del numero dei componenti per abbassare le spese di O&M. Inoltre non sono ancora state sviluppate macchine specifiche per le situazioni di vento a direzione verticale variabile e di piccola taglia, che sono le situazioni più tipiche dell'orografia complessa e montuosa in generale: per ora l'industria si è concentrata sull'ottimizzazione di macchine che sfruttano i venti regolari del nord Europa.

Infine bisogna tenere conto che anche gli impianti eolici soffrono della sindrome Nimby, benché più in riferimento ad un orizzonte visivo che a un vero inquinamento ambientale. L'accettazione delle installazioni è uno dei maggiori limiti alla crescita dell'energia eolica in quanto legato soprattutto a fattori soggettivi come la percezione dello spazio ed il concetto di paesaggio <sup>(6)</sup>.

Altre problematiche ambientali connesse sono il rumore degli aerogeneratori e la loro pericolosità per l'avifauna specialmente se situati in corrispondenza delle rotte migratorie. Oltre a queste sono anche da prendere in considerazione gli impatti generati in fase di costruzione e di decommissioning; i primi sono di una certa entità nel caso dell'eolico offshore in cui le opere civili sono cospicue e l'ecosistema toccato particolarmente sensibile.



(1) Il matematico e fisico Albert Betz che nel 1926 nel suo libro *Wind-Energie* espose la legge che governa la potenza prodotta da un'elica:  $P=1/2\rho v^3 \pi r^2$  dove P è la potenza espressa in Watt,  $\rho$  è la densità dell'aria in  $kg/m^3$  r il raggio della pala e v la velocità in m/s (per una spiegazione accurata della legge si consulti <http://www.windpower.org>).

(2) Ma anche il fotovoltaico come documentato in precedenti articoli sulla rivista.

(3) Deutsches Windenergie-Institut GmbH – Istituto tedesco per l'energia eolica.

(4) In proposito si può consultare il sito [www.bwea.com](http://www.bwea.com) (British Wind Energy Association).

(5) Vestas (23,3%), Enerkon (14,1%), Neg Micon (12,5%), GE Wind Energy (12,3%), Gamesa (9,3%), Bonus (8,5%), Nordex (6,6%) [Fonte: IEA, 2003; EuroObsv'ER, 2001].

(6) L'argomento è stato discusso sulla rivista in un precedente articolo.

