

# Considerazioni economiche sulla produzione di energia eolica

Ponendo l'enfasi sul problema dell'approvvigionamento energetico mondiale, sul suo carattere non sostenibile e sulla rilevanza delle fonti rinnovabili di energia per una possibile risoluzione di tale problema, si effettuano alcune considerazioni di natura economica circa le componenti di costo essenziali inerenti sia l'energia generata, sia l'impianto stesso. A completamento dell'indagine, un ulteriore aspetto economico considerato concerne il costo delle esternalità ambientali associato alla produzione di energia elettrica, in modo tale da pervenire ad una stima del costo totale del kWh prodotto: sono, a tal fine, utilizzati come termini di confronto dati derivanti da alcune affermate ricerche in materia

■ Vera Amicarelli, Filippo Alberto Tresca

## Introduzione

Si sta facendo sempre più strada nel mondo, soprattutto nei Paesi industrializzati, la convinzione secondo la quale l'odierna struttura dei consumi e degli approvvigionamenti energetici non potrà essere mantenuta inalterata lungo tutto il ventunesimo secolo.

I dati sugli approvvigionamenti di energia, ancora oggi, mostrano l'importanza dei combustibili fossili per i sistemi energetici mondiali: su un totale di poco più di 12.000 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) di fornitura di energia primaria disponibile commercialmente, più dell'85% deriva da carbone, prodotti petroliferi e gas naturale [1]. In un futuro ormai non tanto lontano, si pensa che questo dato possa aumentare, dal momento che gli studiosi, ragionando in termini assoluti, stimano, per il 2020, che il fabbisogno di energia primaria prodotta dalle suddette fonti fossili potrebbe essere vicino al 90%, specie se non si interviene con importanti ed efficaci politiche energe-

tiche [2]. Ciononostante si ritiene che le riserve mondiali di breve periodo di combustibili fossili già accertate saranno ancora in grado di fronteggiare in modo completo il fabbisogno di fonti primarie del mondo.

Queste semplici considerazioni sottolineano il carattere non sostenibile del nostro attuale modello energetico, il quale presenta un problema fondamentale: quello dell'esaurimento delle risorse.

È evidente che dalle fonti convenzionali di energia derivi anche un problema di natura ambientale che stimola la ricerca di soluzioni alternative, in grado di far fronte ai futuri crescenti fabbisogni energetici in modo sostenibile. Ponendosi come obiettivo quello di liberare l'umanità dall'attuale sistema energetico convenzionale, l'elemento strategico per un futuro sostenibile è certamente il maggior ricorso alle energie rinnovabili, le quali invece presentano la caratteristica della "rinnovabilità", ossia della capacità di produrre energia senza pericolo di esaurimento nel tempo, se ben gestite; esse producono inoltre un tipo di energia "pulita", cioè con minori emissioni inquinanti e gas serra [3-4].

Dopo aver illustrato brevemente l'attuale stato dell'arte della produzione di energia da fonte eolica, sintetizzando i dati provenienti dai report delle varie asso-

### ■ Vera Amicarelli

Ricercatore in Scienze Merceologiche, Università di Bari Aldo Moro

### ■ Filippo Alberto Tresca

Cultore e collaboratore di ricerca in Scienze Merceologiche, Università di Bari Aldo Moro

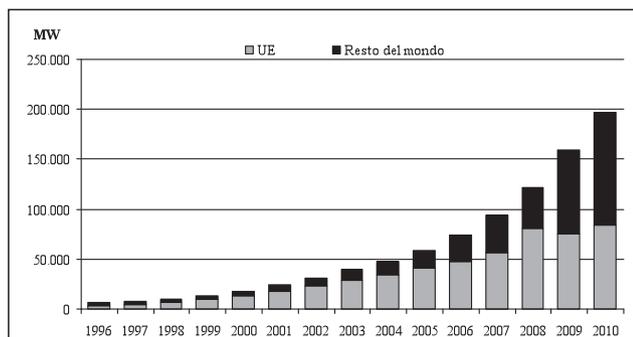
ciazioni di categoria, l'obiettivo della presente nota è quello di delineare brevi considerazioni di carattere economico, concentrandosi soprattutto sui costi dell'eolico, sia dal lato della produzione di energia elettrica, sia dal punto di vista della progettazione e costruzione di una wind farm.

### Situazione generale dell'eolico

Nell'ambito delle fonti di energia rinnovabile, l'energia eolica rappresenta una tra le più interessanti soluzioni alle problematiche energetiche mondiali, come dimostrano i vari report pubblicati dall'International Energy Association (IEA) e dall'European Wind Energy Association (EWEA).

Una chiara spiegazione di questa affermazione si ricava dai dati: nel Global Wind Report pubblicato nei primi mesi del 2011 dal Global Wind Energy Council si afferma che l'energia eolica si presenta come la principale fonte energetica in molti Paesi, con oltre 197.000 MW di capacità installata in tutto il mondo e una crescita che assume carattere esponenziale (figura 1). Tale rapporto specifica inoltre che l'energia eolica potrebbe provvedere nel 2030 per circa il 22% alla produzione di elettricità mondiale [5].

La sua diffusione è ampia, interessando più di 60 Paesi e la tabella 1 illustra i dati per grandi aree geografiche. Come si nota, l'Europa ha un ruolo di primo piano nella produzione di energia da fonte eolica e tale espansione è stata favorita principalmente dalle politiche di incentivazione delle fonti rinnovabili adottate



**FIGURA 1** Capacità eolica cumulata installata nel mondo. Anni 1996-2010 (MW)  
Fonte: elaborazione personale su dati [5;6]

Zona geografica	Capacità eolica 2010 (MW)	% di ripartizione
<b>Africa/Medio Oriente</b>	<b>1.079</b>	<b>0,55</b>
<b>Asia</b> di cui: Cina India	<b>61.087</b> 44.733 13.065	<b>31,00</b> 22,70 6,63
<b>Europa</b> di cui: Germania Spagna Italia	<b>86.279</b> 27.214 20.676 5.797	<b>43,79</b> 13,81 10,49 2,94
<b>America del Nord</b> di cui: Usa	<b>44.189</b> 40.180	<b>22,43</b> 20,39
<b>America Latina</b>	<b>2.008</b>	<b>1,02</b>
<b>Oceania</b>	<b>2.397</b>	<b>1,22</b>
<b>TOTALE</b>	<b>197.039</b>	<b>100,00</b>

**TABELLA 1** Potenza eolica installata nel mondo suddivisa per area geografica  
Fonte: elaborazione personale su dati [5]

dai vari Stati membri, comprendendo incentivi finanziari (incluse sovvenzioni per gli investimenti) e tariffe ridotte, con l'obiettivo di contribuire alla riduzione delle emissioni di gas serra.

Anche per quanto riguarda l'Italia, l'andamento della crescita del settore è stato esponenziale. I dati dell'ultimo rapporto dell'IEA (tabella 2) mostrano come alla fine del 2010 la capacità eolica installata dell'Italia sia di poco inferiore ai 5.800 MW, con un incremento rispetto all'anno precedente del 19,5%. È stato anche stimato che l'industria eolica italiana abbia fornito un'occupazione a circa 28.000 persone (considerando, in maniera allargata, anche i lavoratori ausiliari del settore), con un giro di affari stimato in circa 1,7 mi-

Potenza eolica installata in Italia	5.797 MW
Potenza eolica installata nel 2010	948 MW
Energia totale prodotta dal vento	8,37 TWh
Domanda nazionale di energia nel 2010	326,2TWh/anno
Contributo dell'eolico alla domanda nazionale di energia	2,60%

**TABELLA 2** Situazione dell'eolico in Italia al 2010  
Fonte: elaborazione personale su dati [1;6]

liardi di euro. Tuttavia, il contributo dell'eolico alla domanda nazionale di energia elettrica rimane ancora basso, attestandosi al 2,6%, rispetto ad una domanda nazionale di oltre 320 TWh/anno [1].

### I costi dell'eolico

In generale, i costi della generazione di elettricità dal vento dipendono da vari fattori, in particolare dall'intensità del vento nel sito prescelto, dal costo delle turbine e delle relative attrezzature, dalla vicinanza alla rete elettrica nazionale e dall'accessibilità al sito.

Innanzitutto è opportuno ricordare come l'individuazione e le caratteristiche anemologiche del sito prescelto abbiano un'indubbia importanza economica, in quanto la fisica chiarisce che la potenza della vena fluida è proporzionale al cubo della velocità del vento: se quest'ultima dovesse raddoppiare, matematicamente si potrebbe ottenere un'energia otto volte maggiore [7].

Inoltre, rispetto ad una tradizionale centrale alimentata con combustibili fossili, una centrale a fonte rinnovabile è caratterizzata dall'assenza di oneri per il "combustibile", in quanto il vento è una risorsa assolutamente gratuita e perciò disponibile liberamente.

Si deve tener anche conto del fatto che, nel breve termine, i costi iniziali di investimento predominano rispetto a quelli di esercizio, comportando una particolare attenzione alla copertura finanziaria dell'investimento, in modo particolare se si ricorre a finanziamenti di terzi [8].

### I costi dell'energia generata

Da oltre venti anni, ossia da quando l'industria del settore ha cominciato a raggiungere la sua maturità commerciale, il costo dell'energia eolica è in continua diminuzione, grazie alle economie di scala legate all'ottimizzazione dei processi produttivi, alle innovazioni e al conseguente miglioramento delle prestazioni delle macchine eoliche.

In letteratura esistono vari studi che stimano i costi dell'energia generata da impianti eolici (a titolo di esempio, si vedano [9-14]). È importante sottolineare come molti di questi studi utilizzino l'approccio del "costo di produzione costante dell'energia", rapportato all'intera vita operativa dell'impianto, meglio cono-

sciuto con l'acronimo LCOE (*Levelized Cost of Energy*). Questo tipo di approccio, utilizzato per confrontare il costo della generazione elettrica delle diverse fonti (fossili e non), tiene conto dei costi di investimento del capitale, del costo delle operazioni di manutenzione degli impianti (O&M) e del costo del combustibile; costituisce inoltre un punto di riferimento nelle analisi dei costi di produzione dell'energia elettrica derivante dalle diverse fonti esistenti. Studi recenti [15] evidenziano come il costo del capitale risulti essere il principale componente per le tecnologie non fossili, mentre, al contrario, il costo del combustibile ha un peso molto grande per la maggior parte di quelle fossili. Questa affermazione si può dedurre dalla tabella 3, dalla quale è possibile notare sia *range* di costo abbastanza ampi per molte tecnologie rappresentate, espressi in cent€/kWh considerando il tasso di cambio dollari/euro del 2010, sia il differente peso, espresso in termini percentuali, delle principali componenti di costo sul LCOE. Per la costruzione di tale tabella sono state considerate tecnologie esistenti in zone geografiche nelle quali si registra una maggiore capacità eolica installata (corrispondenti sostanzialmente alle aree indicate in tabella 2); in secondo luogo, i *range* di LCOE corrispondono ai valori estremi indicati per ciascuna fonte, mentre per il calcolo dei pesi delle componenti di costo è stata utilizzata una media di LCOE per fonte. A fini comparativi sono stati poi utilizzati due differenti tassi di sconto del capitale investito (5 e 10%).

Dall'analisi dei costi riportati in tabella 3 si evince inoltre che riducendo le spese di investimento si potranno ottenere riduzioni nel costo finale del kWh per l'eolico ed in generale per le fonti rinnovabili considerate. Ad esempio secondo il report dell'European Wind Energy Association (EWEA), in questo modo è possibile ridurre il costo finale per l'eolico di circa 0,5 cent€/kWh [6]. Con un simile scenario si può immaginare come il ruolo dell'energia eolica sarà sempre più preponderante. Allargando l'analisi dei costi di produzione anche agli aspetti ambientali è stata costruita la tabella 4 nella quale, oltre alla sintesi della stima dei costi dell'eolico e di altre fonti (riga "a") vengono evidenziati i costi legati alle esternalità (righe "b" e "c") [11-19]. In particolare nella riga "b" sono riportati i valori relativi all'abbattimento della CO<sub>2</sub> calcolati

ad un costo di circa \$25/t, pari a circa €18/t con il tasso di cambio del 2010. È utile sottolineare che i dati riportati nella tabella 4 (riga “a”) confermano i valori del LCOE (tabella 3) perché risultano compresi nell’intervallo considerato e rappresentano in particolare le stime di costo più ricorrenti.

Come si può notare dalla tabella 4, appare ovvio che al momento la competitività delle fonti rinnovabili (riga “a”) dipende dai sistemi di incentivazione adottati dai singoli Paesi, ma tali fonti, però, apportano dei be-

nefici ambientali, al contrario delle fonti convenzionali (righe “b” e “c”). A tal proposito, per un livello di analisi del costo più profondo, si può aggiungere la valutazione delle esternalità, in un’ottica di integrazione tra aspetto economico ed aspetto ambientale.

Il concetto di esternalità, mutuabile dalle scienze economiche, si riferisce a quei costi che non rientrano nel prezzo di mercato e pertanto non ricadono sui produttori e sui consumatori, ma vengono globalmente imposti alla società: nell’accezione considerata, si tratta

Tecnologia	Tasso di sconto 5%				Tasso di sconto 10%			
	LCOE	Percentuale su LCOE (%)			LCOE	Percentuale su LCOE (%)		
	cent€/kWh	Capital	O&M	Fuel & Carbon	cent€/kWh	Capital	O&M	Fuel & Carbon
Eolico (onshore)	2,6 - 13,1	75	25	0	2,6 - 18,9	82	18	0
Eolico (offshore)	8,2 - 15,2	71	29	0	11,8 - 21,1	79	21	0
Solare termale	11,0 - 17,1	83	17	0	16,3 - 26,1	96	4	0
Solare fotovoltaico	9,9 - 50,6	90	10	0	15,1 - 75,5	93	7	0
Nucleare	2,3 - 6,6	57	26	17	3,4 - 11,0	73	16	11
Carbone (PCC)	2,4 - 7,2	31	17	52	2,8 - 11,0	46	15	39
Carbone (USC)	2,4 - 6,6	37	13	50	5,6 - 8,2	54	10	36
Carbone (IGCC)	4,9 - 7,5	48	14	38	7,2 - 11,4	63	10	27
Gas (CCGT)	2,9 - 8,5	15	7	78	3,1 - 9,6	22	5	73
Fuel cells	14,6	34	27	39	17,2	44	23	33
Biomasse	4,3 - 10,5	46	18	36	6,5 - 12,5	57	15	28

**TABELLA 3** Confronto del LCOE dell’eolico con altre tecnologie (cent€/<sub>2010</sub>/kWh). Con riferimento al carbone, si sono considerate le seguenti tecnologie: PCC (Pulverised Coal Combustion), USC (Ultra Super Critical), IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle); per il gas si è fatto riferimento alla tecnologia CCGT (Combined Cycle Gas Turbine)

Fonte: elaborazione personale su dati [15]

Costi (Cent €/kWh)	Carbone	Gas	Nucleare	Eolico	Fotovoltaico	Biomasse
Costo industriale dell’elettricità prodotta (a)	4,45	4,65	6,00	5,50	14,00	6,00
Costo delle emissioni di CO <sub>2</sub> (b)	1,50	0,65	0,40	–	–	–
Costo delle altre esternalità ambientali negative (c)	1,40	0,75	0,17	0,08	0,70	1,80
<i>di cui il costo di tutela della salute umana</i>	<i>1,20</i>	<i>0,60</i>	<i>0,13</i>	<i>0,05</i>	<i>0,55</i>	<i>1,30</i>
<b>Costo totale (a+b+c)</b>	<b>7,35</b>	<b>6,05</b>	<b>6,57</b>	<b>5,58</b>	<b>14,70</b>	<b>7,80</b>

**TABELLA 4** Stima del costo totale di produzione dell’energia elettrica da varie fonti, comprensivo del costo delle esternalità ambientali negative

Fonte: elaborazione personale su dati [17-19]

di esternalità negative o diseconomie. I primi studi incentrati sulla valutazione economica delle esternalità ambientali risalgono alla seconda metà dell'Ottocento, anche se l'applicazione empirica delle varie metodologie è stata riscoperta di recente.

Nel caso specifico delle fonti rinnovabili di energia, le esternalità comprendono, ad esempio, i danni recati all'ambiente e alla salute dell'uomo durante l'intero ciclo di uno specifico combustibile e della relativa tecnologia (acquisizione della risorsa-realizzazione ed esercizio dell'impianto-dismissione). Complessivamente, si può stimare che i costi esterni – non inclusi nelle tariffe del kWh a carico dei consumatori e quindi sostenuti dalla società nel suo complesso – rappresentano circa il 2% del prodotto interno lordo dell'Unione Europea<sup>1</sup> [3].

Nella seconda metà degli anni Novanta del secolo scorso è stato sviluppato in Europa un progetto denominato ExternE (Externalities of Energy), con l'obiettivo di sistematizzare i metodi ed aggiornare le valutazioni delle esternalità ambientali associate alla produzione di energia, con particolare riferimento all'Europa. Il progetto in questione è basato su una metodologia di tipo bottom-up, la Impact Pathway Methodology, per valutare i costi esterni associati alla produzione di energia confrontandoli con varie tipologie di combustibili e tecnologie [20]. La metodologia del progetto ExternE, a sua volta, si suddivide in varie fasi, tra le quali si menzionano la fase relativa alla selezione degli impatti rilevanti, la descrizione di tali impatti rilevanti nella loro sequenzialità (emissione-deposizione al suolo o permanenza nell'atmosfera-identificazione dei recettori), quantificazione fisica degli inquinanti.

I dati del progetto ExternE sono aggiornati al 2005; tuttavia vi sono altri progetti di ricerca che stimano i costi esterni delle fonti di energia, utilizzando la stessa metodologia ExternE. Uno di questi, che offre dati aggiornati al 2008, è il progetto CASES (Cost Assessment of Sustainable Energy Systems). Una sintesi dei costi indicati nel progetto appena citato (che dovrebbero essere aggiunti a quelli industriali) è schematizzata nella riga "c" della tabella 4.

Questa voce di costo (riga "c"), non può ovviamente essere esaustiva, per l'eolico sarebbe infatti, opportuno includere anche i costi relativi all'occupazione del territorio, all'impatto visivo, al rumore, agli effetti sulla

flora e la fauna. Poiché questi effetti indesiderati hanno sostanzialmente luogo su scala locale, diventa estremamente difficile monetizzarli per includerli in una stima del costo totale dell'energia elettrica prodotta da fonte eolica. Questa difficoltà non può e non deve significare ignorare il peso di questi effetti indesiderati quanto piuttosto cercare di ridurli. Integrare nel paesaggio le torri eoliche visibili evidentemente da molto lontano non è cosa facile ma modificando ad esempio il colore si può cercare di attenuare il riverbero della luce solare sulle parti metalliche. Il rumore emesso da un aerogeneratore, causato dall'attrito delle pale con l'aria e dal moltiplicatore di giri, può essere smorzato migliorando l'inclinazione delle pale e la loro conformazione nonché ottimizzando la struttura e l'isolamento acustico della navicella.

In ogni caso dalla tabella 4 si evince come l'eolico rappresenti, tra le fonti rinnovabili, una delle soluzioni più economiche, in un'ottica di costo totale, comprensivo della valutazione delle esternalità ambientali negative. L'eolico risulta vantaggioso anche con riferimento al fotovoltaico e all'utilizzo delle biomasse, dovendo affrontare – queste ultime fonti – alcune particolari problematiche tecnologiche, all'interno dei loro settori di riferimento, che causano un maggior costo del kWh prodotto.

Da quanto sopra affermato, si desume come il vantaggio dell'utilizzo dell'eolico debba essere rapportato anche agli obiettivi di riduzione delle emissioni di anidride carbonica e ai relativi costi dei permessi di emissione. Questi ultimi sono tipici strumenti di *command and control* e consentono alle imprese di immettere sostanze inquinanti nell'ambiente fino ad una certa quantità; ogni azienda riceve dei permessi per le emissioni inquinanti e la quantità di permessi posseduti indica l'entità delle emissioni che le sono consentite. Esiste in realtà un mercato dei permessi, che offre la possibilità alle imprese che hanno costi di abbattimento elevati di poter acquistare altri permessi da imprese che sono disposti a venderli (perché hanno costi di abbattimento minori, oppure hanno un livello di emissioni che può essere coperto da un numero di permessi inferiore rispetto a quello in loro possesso).

Inoltre, bisogna considerare come il settore delle rinnovabili sia necessariamente condizionato da questioni politiche e normative, in quanto la loro redditività è

strettamente connessa alla presenza degli incentivi. Tuttavia, la mancanza ad oggi di una politica nazionale di lungo termine uniforme, stabile e chiara per la definizione delle linee guida e delle traiettorie di espansione delle fonti rinnovabili non ha permesso di dare quel sostegno e quella certezza necessari ad attirare maggiori quote di capitale d'investimento [21].

Nonostante il recepimento nell'ordinamento nazionale italiano della Direttiva 2009/28/CE, avvenuto con l'approvazione del D.Lgs 3 marzo 2011 n. 28, dopo gravi ritardi nell'adozione di norme che regolano il settore delle rinnovabili, i provvedimenti su tale tema continuano ad essere caratterizzati da una certa nebulosità. Tali fattori, oltre alla progressiva riduzione del valore dei certificati verdi ritirati dal Gestore dei Servizi Elettrici (fissando attualmente il prezzo del ritiro al 78% di quello massimo di riferimento) e alla diffusa incertezza nel settore, hanno sostanzialmente paralizzato tutto il comparto: le installazioni odierne sono, infatti, il frutto di progetti presentati negli anni passati, mentre i nuovi progetti risultano bloccati. Ciò può essere chiarito considerando che la riduzione del prezzo dei certificati verdi è arrivata ad un livello per cui le banche non riescono a recuperare il loro finanziamento: attualmente, molti campi eolici risultano essere tecnicamente in default e le banche bloccano i finanziamenti per i nuovi progetti.

#### *I costi della wind farm*

L'investimento iniziale per la costruzione di un impianto eolico rappresenta la voce di costo più significativa di cui è necessario tener conto per poterne analizzare la redditività.

Lo sviluppo dell'iniziativa comprende una serie di fasi, come l'individuazione e le caratteristiche anemologiche del sito, la progettazione dell'impianto, l'iter amministrativo (concessioni edilizie, valutazione di impatto ambientale ecc.) ed il collegamento alla rete. Dal punto di vista economico queste, pur assorbendo una quota che va dal 2 al 5% dell'investimento totale, presentano un rilevante impatto sulla redditività e sul controllo dei tempi dell'iniziativa. Analiticamente, dei costi relativi all'esercizio e alla manutenzione degli impianti si può tenerne conto in due modi diversi e, cioè, sotto forma di valore annuo complessivo espresso in percentuale dell'investimento delle macchine

	Investimento (€ 1000/MW)	Percentuale su investimento
Turbina	928	75,6
Fondazioni	80	6,5
Installazioni elettriche	18	1,5
Connessione alla rete	109	8,9
Sistemi di controllo	4	0,3
Spese per consulenze	15	1,2
Costo del terreno	48	3,9
Costi finanziaria	15	1,2
Collegamento viario	11	0,9
<b>Totale</b>	<b>1228</b>	<b>100,0</b>

**TABELLA 5** Struttura dei costi di una turbina da 2 MW installata in Europa  
Fonte: [17]

eoliche, oppure direttamente come stima di costo per unità di energia prodotta, misurata in €/MW. Nella tabella 5 è sintetizzato un esempio di struttura di costi di un investimento in una turbina eolica da 2 MW, espresso come percentuale dell'investimento complessivo [17].

Il costo di una turbina eolica comprensivo di acquisto, trasporto, montaggio ed avviamento è direttamente proporzionale a certe caratteristiche tecniche, come il diametro del rotore o l'altezza della torre, piuttosto che alla semplice potenza nominale. Proprio tale voce di costo ha tratto dei benefici di scala grazie all'aumento delle dimensioni unitarie delle macchine: attualmente, in Italia, il costo di una macchina eolica da almeno 850 kW si aggira tra 600.000 e 700.000 €<sup>2</sup>. In un'iniziativa commerciale, i costi di investimento direttamente imputabili agli aerogeneratori coprono dal 65 al 78% dell'investimento complessivo [8].

I costi che si riferiscono alla realizzazione delle restanti parti dell'impianto sono attribuibili sostanzialmente ad opere civili (fondazioni, scavi per cavidotti ecc.), opere elettromeccaniche (box per quadri elettrici e trasformatore da bassa a media tensione, cablaggi interrati per il collegamento elettrico delle macchine al punto di raccolta ecc.) e il collegamento alla rete. Molti di questi costi sono fortemente variabili a causa delle caratteristiche del sito scelto: infatti, la

morfologia e la struttura del terreno influenzano i costi delle fondazioni e della viabilità, l'accessibilità del sito influisce sui costi di trasporto, la distanza delle preesistenti linee di trasmissione influenza i costi per la connessione alla rete elettrica. Per cui, il costo totale per kW installato di un impianto eolico differisce in maniera significativa a seconda del Paese di riferimento, oscillando, in generale, tra 1.000 €/kW e 1.350 €/kW [17].

Le problematiche inerenti la morfologia del territorio sono valide anche per l'Italia: infatti i costi di investimento in centrali eoliche risultano essere maggiori rispetto ad altri Paesi, dal momento che la maggior parte degli impianti è installata in aree collinari o montane, a volte difficilmente accessibili, con conseguente aumento di tutta la gamma di costi in precedenza considerata.

Inoltre, un altro fattore che influisce negativamente sui costi, da molti operatori considerato uno dei principali ostacoli alla crescita delle rinnovabili, è la durata delle procedure amministrative: esistono degli elementi (come l'eccessiva discrezionalità nell'autorizzazione degli impianti da parte degli Enti locali, la lunghezza dell'iter burocratico e una ridotta accettabilità sociale delle fonti rinnovabili) che contribuiscono ad aumentare inesorabilmente i costi dell'investimento e a rallentarne soprattutto i tempi di ritorno, portando quindi a frenare complessivamente la propensione ad investire in questi settori [21-22].

Da queste considerazioni si può capire come in Italia il costo medio per una configurazione tipica di impianto eolico installato a terra con una potenza complessiva media di 20 MW, in un sito di media complessità, può essere valutato 1.740 €/kW, con un intervallo che va da 1.550 €/kW, per grandi impianti installati in aree a bassa complessità ad un massimo di 2.000 €/kW, per piccoli impianti installati in siti ad orografia complessa [1].

Un'ultima considerazione concerne la dismissione degli impianti al termine della vita utile, prevista normalmente in 20 anni. In una simile evenienza l'impianto ha bisogno di essere smantellato, anche se questo non comporta necessariamente l'abbandono del sito, in particolar modo quando esso presenta buone risorse eoliche. Una soluzione può essere individuata nella sostituzione delle macchine installate con aerogenera-

tori tecnologicamente più avanzati. Tale soluzione è conosciuta con il termine *repowering* e può essere utile soprattutto a quei Paesi che hanno difficoltà a reperire siti idonei. Stante questa soluzione, bisogna ugualmente prevedere la rimozione delle vecchie macchine: il costo di rimozione di un singolo aerogeneratore può oscillare tra i 20.000 e i 40.000 €, senza però tener conto dei costi necessari per la bonifica in caso di abbandono definitivo del sito e dell'eventuale valore residuo delle macchine nelle ipotesi di riciclo dei materiali [17].

### Conclusioni

Oggi si avverte l'importanza e la necessità di una rivoluzione tecnologica che sviluppi e affermi definitivamente le fonti di energia rinnovabili. L'eolico è, tra queste ultime, quella che mostra assieme alle biomasse un tasso di sviluppo maggiore e delle caratteristiche economiche migliori rispetto alle altre. Un passaggio alle energie rinnovabili presuppone un cambiamento strutturale economico profondo e di ampia portata che ovviamente non è realizzabile senza contrasti e soprattutto con la volontà concorde dell'industria energetica tradizionale: il complesso economico-energetico è infatti il settore più grande e più potente dell'economia mondiale [4].

La crescita delle fonti rinnovabili è ostacolata, inoltre, dalla difficoltà di valutare correttamente le esternalità associate alla produzione di energia, che fanno apparire costose queste opzioni tecnologiche laddove ci si limiti a considerare i soli costi privati e non anche i costi sociali: si ritiene che una corretta valutazione dei costi ambientali, infatti, possa ridimensionare il divario di costo con le fonti fossili, fino addirittura ad annullarlo in molti casi, soprattutto con gli attuali costi dei combustibili.

È importante sottolineare che i costi di investimento nelle energie rinnovabili sono alti e una buona redditività degli impianti si ottiene solo a condizione che si accettino tempi di ritorno del capitale investito abbastanza lunghi (solitamente superiori ai 15 anni).

Si tratta in definitiva di un vero e proprio cambiamento culturale che, con una precisa e diffusa informazione, potrebbe gettare le basi per un vero cambiamento paradigmatico di natura epocale. Evidentemente la questione non riguarda la scelta tra una risorsa rinno-

vabile e un'altra: la soluzione potrebbe essere coerentemente ravvisata nell'utilizzo di un *mix* di fonti rinnovabili, a seconda delle peculiarità morfologiche e climatiche del sito prescelto.

Accanto alle problematiche di sviluppo legate alla tecnologia e agli investimenti, un altro ostacolo allo sviluppo di queste fonti è costituito dalle scelte dei decisori pubblici e privati. Sarebbe auspicabile un intervento pubblico più convinto per cercare di indirizzare le politiche energetiche nazionali e internazionali verso scelte ottime sul piano sociale [20], in maniera tale da rendere concrete nuove opportunità; e questo ancor prima di badare alla necessità di fornire una prospettiva sostenibile al sistema energetico. Come sostenuto da Scheer [4], insistere sulla strada tradizionale, pur con una maggiore prudenza, è altamente pericoloso.

## Note

- [1] Si consideri che il PIL dell'Unione Europea ammonta a più di 15 milioni di miliardi di euro (dato del Fondo Monetario Internazionale al 2010); di conseguenza, si può facilmente immaginare come il valore dei costi esterni sia praticamente enorme.
- [2] Dato attualmente ancora valido (fonte: Gamesa Eolica, per turbine G52 e G58 da 850 kW).

## Bibliografia

- [1] International Energy Agency (IEA) (2011), *2010 IEA Wind Annual Report*.
- [2] European Commission (2003), *World Energy, Technology and Climate Outlook 2030 (WETO)*, EUR 20366.
- [3] Silvestrini, G., Gamberale, M. (2004), *Eolico: paesaggio e ambiente*, Franco Muzzio, Roma.
- [4] Scheer, H. (2006), *Autonomia energetica. Ecologia, tecnologia e sociologia delle risorse rinnovabili*, Edizioni Ambiente, Milano.
- [5] Global Wind Energy Council (GWEC) (2011), *2010 Global Wind Energy Outlook*.
- [6] European Wind Energy Association (EWEA) (2011), *Wind in Power. 2010 Annual Statistics*.
- [7] Pallabazzer, R. (2004), *Sistemi Eolici*, Rubbettino, Catanzaro.
- [8] Pirazzi, L., Vigotti, R. (a cura di) (2004), *Le vie del vento. Tecnica, economia e prospettive del mercato dell'energia eolica*, Franco Muzzio, Roma.
- [9] Nuclear Energy Agency (NEA)/International Energy Agency (IEA) (2005), *Projected Costs of Generating Electricity. 2005 Update*, Parigi.
- [10] European Commission (2005), *Externalities of Energy - ExternE project*, <http://www.externe.info>.
- [11] Kammen, D.M., Pacca, S. (2004), *Assessing the Cost of Electricity*, Annual Review of Environment and Resources, 29: 301-344.
- [12] Lazard Ltd. (2008), *Levelized Cost of Energy Analysis - Version 2.0*.
- [13] Sovacool, B.K. (2007), *Coal and Nuclear Technologies: creating a false dichotomy for American Energy Policy*, Policy Science, 40: 101-122.
- [14] Roth, I.F., Ambs, L.L. (2004), *Incorporating Externalities into a Fuel Cost Approach to Electric Power Generation Life-Cycle Costing*, Energy, 29: 2125-2144.
- [15] IEA (2010), *Projected costs of generating electricity*, Paris, ISBN 978-92-64-08430-8
- [16] United States Department of Energy/ United States Energy Information Administration (DOE/EIA) (2011), *International Energy Outlook 2011*, DOE/EIA-0484.
- [17] European Commission (2010), *Wind Energy: the facts. Volume II: Cost and Prices*.
- [18] Renewable Energy Policy Network for 21st Century (REN21) (2010), *Renewables 2010 - Status Report*.
- [19] European Photovoltaic Industry Association (EPIA) (2011), *Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World*.
- [20] ENEA (2005), *Le fonti rinnovabili. Lo sviluppo delle rinnovabili in Italia tra necessità ed opportunità*, Roma, ISBN 88-8286-128-7.
- [21] ENEA (2010), *Le fonti rinnovabili. Ricerca e innovazione per un futuro low-carbon*, Roma, ISBN 978-88-8286-224-4.
- [22] Arsuuffi, G., Arena, A. (2011), *Energia Eolica*, Quaderni dell'ENEA, Roma.