

# IL PECCATO ORIGINALE DEL FOTOVOLTAICO

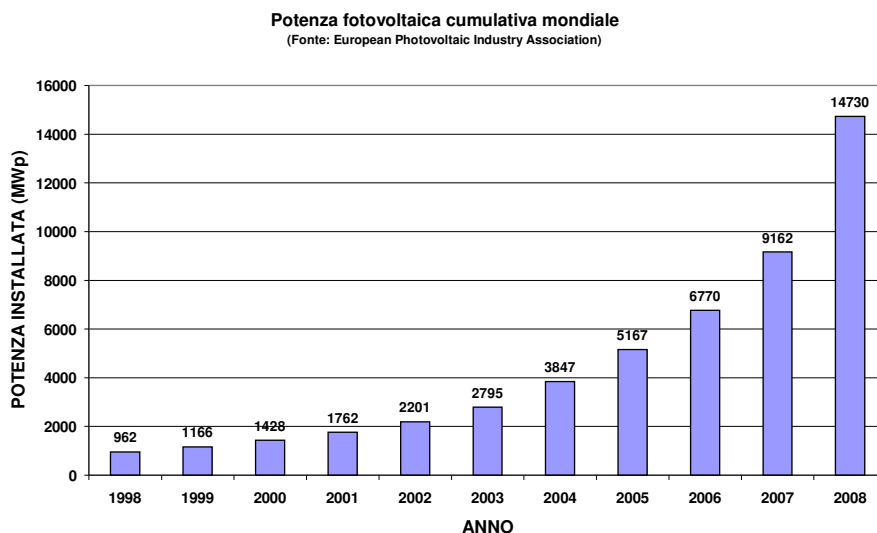
## Domenico Coiante

[www.aspoitalia.it](http://www.aspoitalia.it) – dicembre 2009

### Introduzione

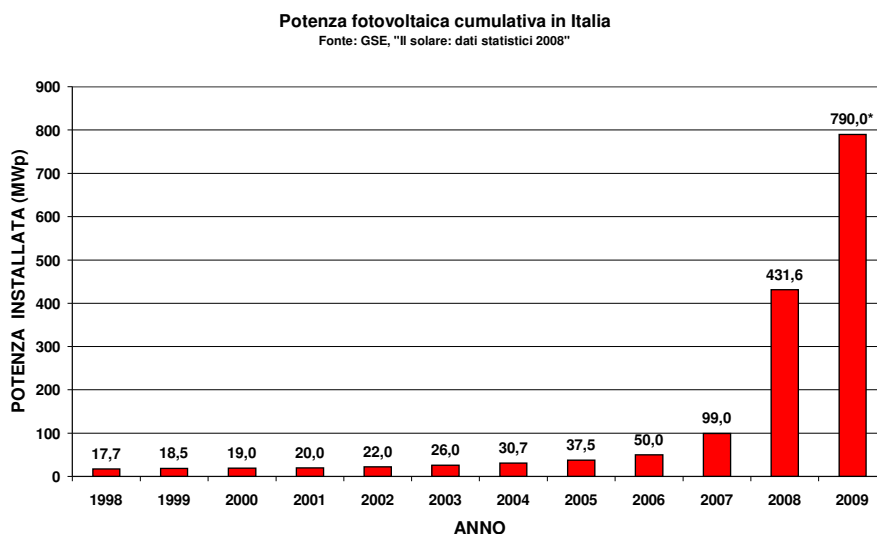
Il fotovoltaico sta vivendo in tutto il mondo una fase di rapida espansione, come mostrato nel grafico di Fig.1. Il tasso annuale di crescita nell'ultimo anno è stato pari al 60%.

Fig.1 – Andamento storico della potenza fotovoltaica cumulata a livello mondiale (www.gse.it "Il solare: dati statistici al 31/12/2008")



Anche in Italia la potenza installata sta crescendo ad un ritmo esponenziale. Un comunicato di stampa del GSE, emesso il 25/11/09, informa che la potenza complessiva installata al 30 settembre ha superato il valore di 700 MWp. Il grafico di Fig.2 ci mostra la situazione fino al 2009, dove il valore a fine anno (indicato con asterisco) è stato da noi stimato per estrapolazione lineare del dato ufficiale di settembre.

Fig.2 – Andamento storico della potenza fotovoltaica cumulativa in Italia



Si può osservare che il valore cumulativo è partito da 431,6 MWp a fine 2008 e ha raggiunto i 700 MWp a settembre 2009 con un incremento in nove mesi superiore al 60%.

Questa fase di crescita impetuosa, in Italia come in Spagna e Germania, è dovuta essenzialmente alle incentivazioni governative che hanno colmato il differenziale negativo di costo rispetto alla competitività, permettendo ai privati di realizzare interessanti profitti economici. Le motivazioni politiche che hanno spinto i governi a concedere le incentivazioni alle fonti rinnovabili risiedono principalmente nella necessità di ottemperare agli obblighi del Protocollo di Kyoto e alla sua successiva implementazione nel tentativo di mitigare gli effetti della crisi climatica globale.

Per quanto riguarda il fotovoltaico, l'obiettivo è indirizzato alla riduzione delle emissioni di carbonio del settore della generazione elettrica mediante la sostituzione progressiva, in parte crescente, dei kWh prodotti nelle centrali convenzionali a combustibili fossili con i kWh provenienti dagli impianti fotovoltaici. La validità di quest'obiettivo si basa sul fatto che, nell'opinione corrente, l'elettricità fotovoltaica è considerata estremamente "pulita" rispetto a quella termoelettrica proveniente dalla combustione degli idrocarburi fossili. Ciò è indubbiamente vero in senso qualitativo. Rimane, tuttavia, ancora da accertare in termini quantitativi la validità di questo concetto soprattutto in relazione al grande impiego di fondi pubblici con i quali si sta realizzando la promozione del settore.

### Energia spesa per realizzare gli impianti

Nella fase operativa degli impianti in campo, il fotovoltaico produce energia elettrica "pulita", cioè senza alcun'emissione di gas serra o altri agenti inquinanti. Però, nella fase precedente, quella della realizzazione delle celle, dei moduli e di tutti gli altri componenti del sistema, non è così. Infatti, nella pratica odierna di costruzione e assemblaggio degli impianti s'impiega energia proveniente dalle centrali energetiche tradizionali, che, per la maggior parte, è prodotta dai combustibili fossili. La quantità d'energia spesa per realizzare ogni kWp d'impianto,  $E_s$ , deriva in piccola parte da energia termica ed in gran parte da energia elettrica. Per semplicità espositiva, supponiamo di aver ricondotto il contributo termico al suo equivalente elettrico in modo da poter considerare la spesa energetica come se fosse composta tutta d'elettricità. Allora potremo associare alla quantità  $E_s$  le emissioni inquinanti proprie del sistema elettrico del paese in cui avviene la costruzione dell'impianto fotovoltaico. Pertanto, un impianto di una data potenza, per il quale si è impiegata una certa spesa energetica, può essere gravato da una quantità d'emissioni diversa a seconda del paese in cui esso è stato prodotto.

Per quanto riguarda l'Europa, i ricercatori Alsema e de Wild-Scholten hanno avuto accesso ai dati riservati delle industrie fotovoltaiche circa i contenuti energetici dei vari materiali e manufatti che compongono i sistemi. Così essi hanno potuto stimare il valore di  $E_s$  per i tre tipi di tecnologie oggi più diffuse sul mercato: celle al silicio monocristallino, celle al silicio multicristallino e celle al silicio a nastro. Il risultato di questo studio (Alsema e de Wild-Scholten, 2005) è riassunto qui sotto nella penultima colonna della Tab.1:

**Tab.1 – Energia impiegata per le tecnologie dei moduli al Silicio ed emissioni associate in Europa e in Cina**

<b>Tecnologia moduli PV</b>	<b>Efficienz a moduli (%)</b>	<b>Energia impiegata <math>E_s</math> <sup>(1)</sup> (kWh/kWp)</b>	<b>Emissioni CO<sub>2</sub> Europa<sup>(2)</sup> (kg/kWp)</b>	<b>Emissioni i CO<sub>2</sub> Cina<sup>(3)</sup> (kg/kWp)</b>
<b>Silicio a nastro</b>	<b>11,5</b>	<b>1981</b>	<b>951</b>	<b>2060</b>
<b>Silicio multicristallino</b>	<b>13,2</b>	<b>2531</b>	<b>1215</b>	<b>2632</b>
<b>Silicio monocristallino</b>	<b>13,7</b>	<b>3301</b>	<b>1584</b>	<b>3433</b>

(1) Comprende il contributo di 74,96 kWh delle strutture di sostegno e dei cavi e 166,38 kWh dovuti all'inverter

- (2) Valore ottenuto assumendo per il sistema di generazione elettrica europeo il valore medio delle emissioni specifiche di CO<sub>2</sub> equivalente pari a 0,48 kg/kWh
- (3) Valore ottenuto assumendo per il sistema di generazione elettrica cinese il valore medio delle emissioni specifiche di CO<sub>2</sub> equivalente pari a 1,04 kg/kWh

Come si può constatare la spesa energetica maggiore è da attribuire alla tecnologia dei moduli fotovoltaici realizzati con celle al silicio monocristallino e poi nell'ordine viene il silicio multicristallino e il silicio a nastro.

Pertanto i sistemi fotovoltaici, prima della loro entrata in esercizio, possono essere considerati responsabili delle quantità specifiche di emissioni indicate nella penultima colonna di Tab.1. Dopo la loro entrata in funzione, però, essi iniziano a produrre energia elettrica senza alcun'emissione e continuano così per tutta la loro vita operativa. Tuttavia, nel bilancio globale delle emissioni dobbiamo registrare anche la voce dovuta alla fase precedente, da ripartire ovviamente sulla produzione energetica cumulata nell'arco dell'intera vita operativa. In altri termini, si può pensare che i kWh fotovoltaici, nonostante siano generati senza inquinamento, contengano comunque una parte delle emissioni della fase precedente, come se si trattasse di un loro "peccato originale" e che tali emissioni siano rilasciate virtualmente all'atto della generazione.

Nello studio citato, gli autori assumono che la realizzazione dei sistemi fotovoltaici avvenga per intero in Europa. Pertanto essi hanno adottato un fattore medio di emissioni specifiche proprio del sistema di produzione elettrica dei paesi europei (nella fattispecie 0,48 kg CO<sub>2</sub> equivalente per kWh). E' ovvio che, per i sistemi fotovoltaici realizzati in paesi con produzioni elettriche a più alta intensità di carbonio la quantità di emissioni associate è proporzionalmente maggiore e di conseguenza il peccato originale è più esteso.

A titolo di esempio, possiamo provare a stimare i dati per la Cina, cioè per il paese in cui, per il basso costo del lavoro, la produzione degli impianti fotovoltaici e la loro esportazione nel mondo sta assumendo un peso sempre più grande. Elaboriamo i seguenti dati forniti per il 2007 dall'International Energy Agency (IEA, 2009):

- produzione cinese d'energia = 1814 Mtep;
- emissioni totali di CO<sub>2</sub> = 6071 Mt;
- produzione di elettricità al netto dell'idroelettrico = 2709 TWh.

Assumendo un valore medio d'efficienza del parco dei generatori cinesi pari al 30%, la produzione termoelettrica ha richiesto 786 Mtep di combustibili fossili, cui sono associate 2830 Mt di CO<sub>2</sub>. Otteniamo pertanto un valore per l'emissione specifica di CO<sub>2</sub> pari a 1,04 kg/kWh. Poiché le tecnologie delle linee cinesi di produzione dei sistemi fotovoltaici sono quasi tutte di origine occidentale, possiamo supporre che la spesa energetica specifica per realizzare gli impianti sia la stessa che in Europa. Pertanto, la quantità di emissioni da associare al fotovoltaico realizzato in Cina si può ricavare dai dati della Tab.1, applicando il coefficiente di emissioni specifiche sopra calcolato. I risultati sono rappresentati nell'ultima colonna della Tab.1. Come si può vedere, l'impatto ambientale di tali sistemi è all'incirca doppio rispetto a quello della produzione europea.

Per rendere più chiari i concetti suesposti, conviene porli in modo quantitativo.

Se N rappresenta in anni la lunghezza della vita operativa dell'impianto fotovoltaico e Q<sub>CO2</sub> è la quantità, espressa in grammi, di emissioni equivalenti associate a ogni kWp dell'impianto, si potrà attribuire ai kWh fotovoltaici una quantità specifica q<sub>e</sub> di emissioni (il peccato originale) pari a:

$$q_e = Q_{CO_2}/(AEP)N \quad (\text{g/kWh}) \quad (1)$$

Dove (AEP = Annual Energy Production) rappresenta il numero di kWh fotovoltaici, prodotti annualmente in media da ciascun kWp dell'impianto nel corso della vita operativa.

Dal momento che, per la maggiore efficacia ambientale possibile,  $q_e$ , deve essere minimizzata, l'espressione (1) suggerisce alcune considerazioni ad uso e consumo degli acquirenti degli impianti fotovoltaici:

1. A parità delle altre condizioni, nella fase di costruzione e d'assemblaggio dei componenti del sistema fotovoltaico si dovrebbe minimizzare  $Q_{CO_2}$ . Questa, a sua volta, dipende dal mix di generatori che alimentano la rete del paese dove si costruiscono i sistemi: cioè impianti termoelettrici ad olio e a gas naturale, impianti idroelettrici e ad altre fonti rinnovabili e centrali nucleari. A seconda del peso relativo dei vari contributi, le emissioni specifiche medie associate al kWh possono essere di diversa entità. Ciò significa che la scelta d'acquisto dovrebbe essere fatta sulla base della conoscenza di questo dato, in modo da privilegiare i prodotti provenienti da paesi a bassa  $Q_{CO_2}$ .
2.  $q_e$  diminuisce al crescere di  $N$ . Poiché di per sé la generazione d'energia fotovoltaica è accompagnata da emissioni zero, l'entità del peccato originale si può diluire lungo gli anni della vita operativa dell'impianto. Pertanto bisogna scegliere impianti garantiti per la più lunga durata di vita.
3. Lo stesso effetto si ottiene cercando di aumentare la produttività energetica (AEP), cioè scegliendo impianti ad alta efficienza da collocare in siti a grande insolazione.

Gli acquirenti degli impianti fotovoltaici, in questa fase iniziale della promozione della tecnologia, sono mossi, non solo dalle valutazioni economiche relative all'ottimizzazione del rapporto prestazioni/prezzo, ma anche dalle motivazioni culturali attinenti ai benefici ambientali attesi. La maggior parte di loro è convinta di partecipare attivamente all'inizio di un processo socio-economico che porterà verso una società a più basso impatto ambientale. Di conseguenza, riteniamo che i suggerimenti sopra discussi, inerenti all'entità delle emissioni virtuali, dovrebbero essere adeguatamente pubblicizzati e tenuti presenti assieme alle giuste preoccupazioni relative al rapporto prestazioni/prezzo.

### **La situazione in Italia**

L'emissione specifica di  $CO_2$  equivalente da parte del sistema elettrico italiano si discosta di poco dal valore della media europea. Il recente rapporto dell'Ispra (Ispra, 2009) registra un valore compreso nell'intervallo (459 ÷ 556) g/kWh, dove i limiti corrispondono rispettivamente alla presenza o meno del contributo idroelettrico. Assumendo il valore intermedio di 500 g/kWh potremo considerare all'incirca validi, anche per i sistemi fotovoltaici realizzati interamente in Italia, gli stessi valori europei della Tab.1 e così procedere a calcolare la quantità  $q_e$  di emissioni da associare ai kWh fotovoltaici. La determinazione di questo dato per il nostro Paese richiede la conoscenza della produttività energetica nei siti candidati all'installazione degli impianti. Ciò, a sua volta, richiede l'acquisizione dei dati climatici circa la densità di radiazione solare presente su quei siti.

L'Italia è un paese lungo in latitudine e pieno di situazioni microclimatiche locali dovute, sia alla vicinanza del mare, sia all'orografia accidentata. Pertanto l'insolazione varia molto da zona a zona e non è possibile assumere un valore unico per tutto il territorio nazionale. In questa difficoltà, ci viene in aiuto il Gestore dei Servizi Elettrici che pubblica un rapporto annuale dei dati statistici ([www.gse.it](http://www.gse.it) *Il solare: dati statistici 2008*). In esso si può trovare la mappa dettagliata della produttività annuale per un impianto fotovoltaico collegato alla rete elettrica. La mappa deriva dall'elaborazione dei dati d'insolazione applicati ad un impianto tipico dotato di tutte le

apparecchiature elettroniche di condizionamento della potenza per la connessione alla rete. Quindi i valori rappresentati includono il fattore di prestazione dell'impianto. Cioè, i dati sono al netto delle perdite energetiche dovute a tali apparecchiature.

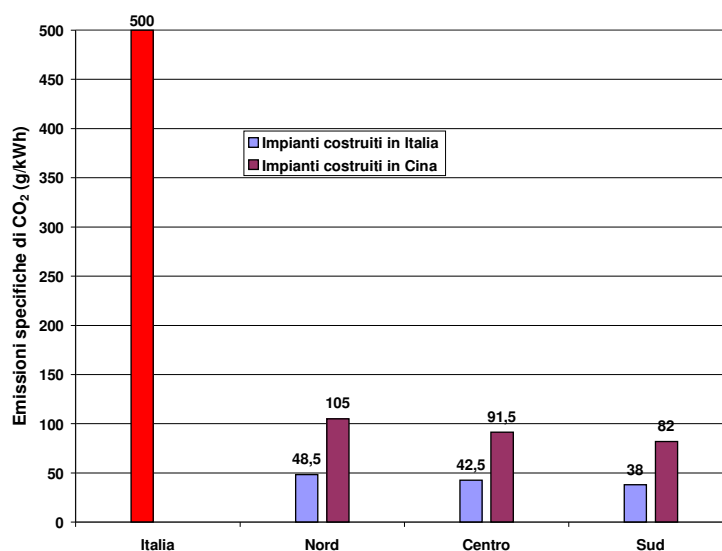
Per dovere di concisione, cerchiamo di aggregare i risultati della lettura della mappa in tre parti: Nord Italia e zone appenniniche centrali, Centro Italia e zone appenniniche meridionali, Sud Italia e Isole. A questo punto occorre stabilire il valore della durata della vita operativa degli impianti in modo da poter calcolare la (1). A questo proposito occorre ricordare che i moduli fotovoltaici più affidabili oggi in commercio sono garantiti per un funzionamento nei limiti di specifica per 25 anni. Inoltre, le verifiche sperimentali fatte in camera climatica sottoponendo i moduli a prove cicliche di vita accelerata e i dati rilevati sugli impianti più anziani, in esercizio ormai da circa 30 anni, hanno confermato la validità della garanzia e aumentato molto il margine di confidenza della probabilità della previsione della vita operativa portandolo a 30 anni (*De Lia et al., 2003*). Ripetiamo, pertanto, i calcoli assumendo per la vita operativa degli impianti  $N = 30$  anni e così otteniamo la situazione riassunta nella Tab.2.

**Tab.2 – Emissioni di CO<sub>2</sub> associate ai kWh fotovoltaici in Italia**

<b>Moduli a silicio monocristallino</b>				
<b>Zona</b>	<b>Produttività annuale AEP (kWh/kWp)</b>	<b>Emissioni in fase costruttiva Q<sub>CO2</sub> (kg/kWp)</b>	<b>Emissioni virtuali di CO<sub>2</sub> q<sub>e</sub> (grammi/kWh)</b>	<b>Emissioni CO<sub>2</sub>: impianto cinese q<sub>e</sub> (grammi/kWh)</b>
<b>Nord Italia e Appennino Centrale</b>	<b>1000 + 1200</b>	<b>1584</b>	<b>53 + 44</b>	<b>115 + 95</b>
<b>Centro Italia e Appennino Meridionale</b>	<b>1200 + 1300</b>	<b>1584</b>	<b>44 + 41</b>	<b>95 + 88</b>
<b>Sud Italia e Isole</b>	<b>1300 + 1500</b>	<b>1584</b>	<b>41 + 35</b>	<b>88 + 76</b>
<b>Moduli a silicio multicristallino</b>				
<b>Zona</b>	<b>Produttività annuale AEP (kWh/kWp)</b>	<b>Emissioni in fase costruttiva Q<sub>CO2</sub> (kg/kWp)</b>	<b>Emissioni virtuali di CO<sub>2</sub> q<sub>e</sub> (grammi/kWh)</b>	<b>Emissioni CO<sub>2</sub>: impianto cinese q<sub>e</sub> (grammi/kWh)</b>
<b>Nord Italia e Appennino Centrale</b>	<b>1000 + 1200</b>	<b>1215</b>	<b>40 + 34</b>	<b>87 + 74</b>
<b>Centro Italia e Appennino Meridionale</b>	<b>1200 + 1300</b>	<b>1215</b>	<b>34 + 31</b>	<b>74 + 68</b>
<b>Sud Italia e Isole</b>	<b>1300 + 1500</b>	<b>1215</b>	<b>31 + 27</b>	<b>68 + 59</b>

Per la tecnologia dei moduli a silicio monocristallino, le emissioni associate ai kWh prodotti vanno da 53 grammi al Nord fino a 35 grammi al Sud, mentre per il silicio multicristallino si hanno 40 grammi al Nord e 27 grammi al Sud. A confronto un impianto a silicio monocristallino, prodotto in Cina ed installato nelle stesse zone italiane, produce emissioni virtuali in atmosfera (indipendentemente dal fatto che esse in realtà sono da mettere a carico della Cina) che vanno da 115 grammi/kWh al nord fino a 76 grammi/kWh al Sud, mentre per il silicio multicristallino si hanno rispettivamente 87 grammi/kWh al Nord e 59 grammi/kWh al Sud. La Fig.3 rende visivamente conto di questa situazione avendo assunto per i valori d'emissione il centro di ciascuna forcella di Tab.2.

*Fig.3 – Emissioni specifiche di CO<sub>2</sub> equivalente per impianti fotovoltaici a silicio monocristallino installati in Italia, rispettivamente di costruzione nazionale e cinese.*



Ricordiamo che il termine di confronto è dato dalle emissioni specifiche medie del sistema elettrico italiano, che si aggirano intorno ai 500 grammi/kWh. Si può vedere immediatamente che, se vogliamo incidere con grand'efficacia nel processo del risanamento ambientale, dobbiamo ricorrere all'installazione di sistemi fotovoltaici che emettano virtualmente quantità di CO<sub>2</sub> molto piccole rispetto a questo dato.

Ci rendiamo conto che fissare un limite superiore può essere considerato arbitrario, perché il valore ideale dovrebbe essere il più basso possibile. In ogni caso pensiamo che il kWh delle fonti rinnovabili dovrebbe puntare ad una riduzione delle emissioni specifiche almeno di una quantità significativa rispetto a 500 g/kWh. Ciò dovrebbe essere d'obbligo, soprattutto in virtù del fatto che il settore gode di consistenti incentivazioni pubbliche. Purtroppo, l'attuale normativa incentivante non stabilisce alcuna soglia limite per la quantità specifica di emissioni virtuali delle rinnovabili, dando per scontato che l'entità di tali emissioni sia comunque trascurabile. Come si è dimostrato, però, ciò non è affatto vero per gli impianti d'importazione da paesi ad alta emissività di carbonio. Ad esempio, gli impianti a silicio monocristallino di provenienza cinese possono contribuire alle emissioni atmosferiche per una quota differenziale non indifferente, pari al (16 ÷ 20)% in più a seconda del sito d'installazione. Vista la convenienza economica di tali impianti, la tendenza attuale del mercato va verso un aumento delle importazioni e ciò equivale a giustificare economicamente un differenziale notevole di emissioni atmosferiche. Inoltre, tutto ciò significa che il contributo di CO<sub>2</sub> dei kWh fotovoltaici non può essere considerato trascurabile e il suo valore dovrebbe essere contabilizzato nel bilancio ambientale. In questo modo, le stime previsionali per il contributo atteso dalla tecnologia fotovoltaica per il risanamento ambientale dovrebbero essere riviste aggiornando di conseguenza i tempi dell'effetto prodotto da questa tecnologia.

Questo risultato indesiderato potrebbe essere in gran parte ridotto producendo gli impianti in Italia, o almeno in Europa. Esso sarebbe del tutto azzerabile utilizzando nelle fabbriche fotovoltaiche soltanto energia (elettricità e calore) proveniente da fonti rinnovabili (concetto di fabbrica *breeder*).

In conclusione, nonostante l'indubbia qualità ecologica dell'energia fotovoltaica, lo sviluppo esponenziale della potenza installata in Italia pone alcune problematiche di compatibilità ambientale sul piano della quantità di gas serra emessi durante la prima fase del ciclo di vita degli impianti. Sarebbe auspicabile una gestione più razionale di questo problema in modo da portare un'immediata revisione della normativa d'incentivazione con l'introduzione di una soglia massima per le emissioni virtuali associate ai kWh immessi nella rete elettrica, assegnando un bonus maggiore agli impianti a più bassa emissione.

#### **Riferimenti bibliografici**

- Alsema E.A., de Wild-Scholten, 2005, *The real environmental impacts of crystalline Silicon PV modules: an analysis based on up-to-date manufacturers data*, Atti della 20<sup>th</sup> European PV Solar Energy Conference, Barcellona, June 2005.
- De Lia F., Castello S., Abenante L., 2003, *Efficiency Degradation of C-Silicon Photovoltaic Modules After 22-Year Continuous Field Exposure*, 3th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, May 11-18, 2003, Osaka. Japan
- GSE, 2009, *Il solare: dati statistici 2008*, [www.gse.it](http://www.gse.it)
- IEA, 2009, *Key World Energy Statistics, energy indicators for 2007*
- ISPRA, 2009, *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2007, National Inventory Report 2009*, [www.ispra.gov.it](http://www.ispra.gov.it)