

# UC Berkeley

## Indoor Environmental Quality (IEQ)

### Title

Renewable energy in commercial buildings

### Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/486449n4>

### Authors

Scarpa, Massimiliano  
Schiavon, Stefano  
Zecchin, Roberto

### Publication Date

2008

# Le Fonti d'Energia Rinnovabile nella Climatizzazione

MASSIMILIANO SCARPA<sup>1,3</sup>, STEFANO SCHIAVON<sup>1,2,4</sup>, ROBERTO ZECCHIN<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Fisica Tecnica, Via Venezia, 1 IT-35131, Padova, Italia  
[www.dft.unipd.it](http://www.dft.unipd.it)

<sup>2</sup> Technical University of Denmark, International Centre for Indoor Environment and Energy, Department of Mechanical Engineering, Building 402, DK-2800 Lyngby, Denmark, [www.ie.dtu.dk](http://www.ie.dtu.dk)

<sup>3</sup> Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, Building 118, DK-2800 Lyngby, Denmark, [www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)

<sup>4</sup> Tsinghua University, Department of Building Science, 100084, Beijing, China, <http://dbs.arch.tsinghua.edu.cn>

<sup>5</sup> TiFS Ingegneria S.r.l., Corso Stati Uniti 56, IT-35127 Padova, Italia, [www.tifs.it](http://www.tifs.it)

## ABSTRACT

Both people and institutions are aware of the present sudden changes in the natural environment. The most important cause for that is acknowledged in the human activity. Many research projects are performed at international level and many initiatives were defined, in order to manage the actions of Countries and avoid the irreversible environmental alteration. Then, several solutions have been conceived till now. Among them, renewable energy sources are designated to become really relevant. This paper deals with such a topic and is intended to show the present situation, both on the environmental and on the energy sides, in the field of heating and cooling of buildings. At first, the convenient use of renewable energy sources must start from energy efficiency actions. Moreover, the exploitation of renewable energy sources will push to adopt higher design expertise, since both buildings and national energy networks will be modeled in order to increase interactions and optimize the energy production and distribution.

## SOMMARIO

Ad ogni livello, dall'uomo comune alle istituzioni, si fa strada la consapevolezza che l'ambiente naturale in cui viviamo sta mutando velocemente. Ed è ormai unanimemente riconosciuto che la causa più importante di tali cambiamenti sia da individuare nell'attività umana. Numerose ricerche sono condotte a livello mondiale e rilevanti iniziative sono state avviate, al fine di coordinare l'azione dei diversi paesi e scongiurare un irreversibile mutamento ecologico. Sono così state individuate numerose modalità d'azione intese a recuperare le originarie condizioni ambientali. Tra queste, un importante ruolo toccherà al ricorso alle risorse energetiche rinnovabili. Il presente articolo è appunto orientato a inquadrare nell'attuale situazione ambientale ed energetica le soluzioni attuabili nel settore civile. In particolare viene discusso l'impiego delle tecnologie rinnovabili nella climatizzazione degli ambienti confinati. Gli autori vogliono inoltre sottolineare come il ricorso alle fonti rinnovabili sia necessario, ma subordinato a interventi di limitazione dei consumi energetici. La corsa alle energie rinnovabili richiederà inoltre un nuovo approccio alla progettazione, sia degli edifici che del sistema energetico nazionale. La limitatezza delle risorse disponibili, nonché la loro variabilità nel tempo, richiederanno una rete energetica più complessa, in modo da limitare gli sprechi e distribuire in modo efficace l'energia prodotta mediante le risorse rinnovabili.

## 1. INTRODUZIONE

Nell'ultimo ventennio le problematiche energetiche hanno viepiù acquistato importanza. Da argomenti di discussione di poche e specifiche persone o associazioni sono ora divenute oggetto di discussione per l'intera

comunità internazionale. Sempre più spesso i paesi si confrontano sulla gestione del problema ambientale attualmente in corso. La delicatezza della materia viene accentuata dalle sue molteplici ricadute. I provvedimenti allo studio sono infatti destinati ad influire in modo deciso sulle economie dei Paesi avanzati. Le fonti rinnovabili si propongono come strumenti fondamentali nella limitazione degli effetti ambientali dovuti all'azione antropica. Di conseguenza, il mercato delle fonti rinnovabili sta vivendo un periodo di forte espansione. Le principali ragioni di tale sviluppo sono legate alla necessità di ridurre le emissioni di gas serra e la dipendenza da fonti energetiche esauribili e provenienti da Paesi interessati da forti tensioni politiche. Inoltre, lo sviluppo e l'impiego delle tecnologie legate alle energie rinnovabili mostrano un effetto positivo sull'occupazione e sulla qualità dell'aria.

### **1.1. Il cambiamento climatico: cause e conseguenze**

L'obiettivo della prima parte di questo articolo è di introdurre brevemente il tema del riscaldamento globale. Da pochi mesi è stato infatti votato e pubblicato dal Comitato intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC<sup>1</sup>, Intergovernmental Panel on Climate Change, Premio Nobel per la pace 2007) il quarto "Rapporto sui cambiamenti climatici". Il Rapporto rappresenta la sintesi delle ricerche svolte sul tema e gode del consenso mondiale più ampio.

Per cambiamenti climatici s'intendono le variazioni del clima a livello globale o regionale, nel corso del tempo. Essi si manifestano a diverse scale temporali su tutti i parametri meteorologici: temperature massima e minima, precipitazioni, nuvolosità, temperature degli oceani, ecc. Sono generati sia da cause naturali (variazioni delle emissioni solari, della composizione atmosferica, delle correnti oceaniche o dell'orbita terrestre, etc.), che antropogeniche. Le cause antropogeniche sono legate all'aumento in atmosfera dei gas serra. Il Rapporto dell'IPCC riporta che la concentrazione atmosferica globale di anidride carbonica (attualmente pari a 380 ppm), metano e ossido di diazoto è significativamente cresciuta a causa delle attività umane sin dal 1750 e ora eccede abbondantemente i valori pre-industriali (280 ppm).

L'aumento globale della concentrazione di anidride carbonica è principalmente dovuto ai combustibili fossili. Dal 1970 al 2004, i principali incrementi dell'emissione di gas serra sono avvenuti ad opera della fornitura dell'energia (145%), dei trasporti (120%), dell'industria (45%) e del cambio d'uso del territorio (40%). Le emissioni dirette del settore civile, nello stesso periodo, sono cresciute del 26%, ma dopo il 1990 il valore è rimasto pressoché costante.

Il quarto Rapporto dell'IPCC afferma che il riscaldamento globale è un fenomeno inequivocabile, come mostrato dalle osservazioni fatte sull'aumento delle temperature medie globali dell'atmosfera e degli oceani, sullo scioglimento dei ghiacciai e l'innalzamento medio globale del livello marino.

Nel primo Rapporto redatto dall'IPCC nel 1990, si prevedeva un incremento di temperatura media globale dal 1990 al 2005 compreso nell'intervallo tra 0,15 e 0,3 °C. Questa previsione può essere ora comparata con il valore misurato, pari a 0,2 °C. Ciò aumenta la confidenza nelle proiezioni a breve termine. Se le emissioni di gas serra continueranno ai valori attuali o superiori, è previsto un aumento del riscaldamento globale e molti cambiamenti nel sistema climatico globale del XXI secolo saranno con ogni probabilità superiori a quelli osservati nel XX secolo.

Il Rapporto afferma anche che, se la concentrazione di tutti i gas serra e aerosol si mantenesse costante ai livelli del 2000, dovrebbe attendersi un riscaldamento di 0,1 °C ogni dieci anni, sostanzialmente dovuto alla lenta risposta degli oceani.

Tutte le proiezioni sui possibili scenari futuri prevedono che l'aumento della temperatura media globale superficiale atmosferica nel 2100, rispetto al valore medio tra il 1980 e il 1999, potrà variare in un intervallo tra 1,1 e 6,4 °C.

---

<sup>1</sup> L'IPCC è l'organo costituito nel 1988 dall'ONU con l'obiettivo di valutare le informazioni scientifiche, tecniche e socio-economiche dei cambiamenti climatici, il potenziale impatto dei cambiamenti e le opzioni per l'adattamento ai cambiamenti o la mitigazione degli stessi. È l'organo internazionale con maggiore autorevolezza sull'argomento. Nel 1995, l'IPCC affermò che "la valutazione delle evidenze scientifiche suggerisce che esiste una discernibile influenza umana nei cambiamenti climatici". Questo è stato il primo consenso mondiale sulle cause antropogeniche dei cambiamenti in corso.

Tale variazione dipende dai modelli e dagli scenari usati. In maniera similare, le proiezioni prevedono che il livello medio globale del mare nel 2100 possa aumentare in un intervallo compreso tra 0,19 e 0,58 m.

Il Rapporto afferma inoltre che i recenti cambiamenti delle temperature medie regionali hanno una discernibile influenza sui sistemi naturali e umani. Ad esempio, sono stati misurati significativi incrementi di volume dei laghi glaciali, e aumenti delle portate medie annuali nei fiumi alimentati da ghiacciai o nevai. Sono inoltre stati notati un anticipo temporale dei fenomeni primaverili (migrazione degli uccelli, fioritura etc.) e un generale spostamento verso le regioni polari delle specie animali e vegetali. Inoltre, sono stati registrati dei cambiamenti nella gestione dell'agricoltura e della silvicoltura nell'emisfero nord (anticipo del periodo di semina), l'incremento della mortalità legata alle ondate di calore in Europa, la diffusione dei pollini alle medie ed elevate latitudini nell'emisfero nord, il cambiamento del tipo di attività umane nell'Artico (caccia e turismo) e nelle zone alpine (sport alpini).

Per ciò che riguarda gli impatti futuri dei cambiamenti climatici, il Rapporto conclude affermando che è molto probabile che il costo netto annuale ascrivibile ai cambiamenti climatici aumenti nel tempo con l'aumentare della temperatura. Se il riscaldamento sarà uguale o superiore a 4°C, è prevista una perdita media globale tra l'uno e i cinque punti percentuali del prodotto interno lordo.

D'altra parte, alcuni studi hanno mostrato che, nelle zone temperate dei paesi industrializzati, i cambiamenti climatici porteranno anche degli effetti positivi, quali la riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento e l'aumento della produttività agricola e della silvicoltura.

## 1.2. Il ruolo del settore civile nella mitigazione dei cambiamenti climatici

Il Rapporto afferma che c'è un sostanziale potenziale economico per la mitigazione dell'emissione dei gas a effetto serra nei prossimi decenni. Seguendo quest'indicazione si sarebbe in grado di compensare le previsioni di crescita delle emissioni e limitare l'effetto serra al di sotto degli attuali livelli. Nessun settore o tecnologia può però risolvere autonomamente il problema: ogni settore ha un potenziale massimo di mitigazione. Questi potenziali sono mostrati in [Figura 1](#) ~~Figura 4~~. Dalla figura si deduce che il settore civile è quello che potrebbe permettere una maggiore mitigazione degli effetti antropogenici sull'ambiente.

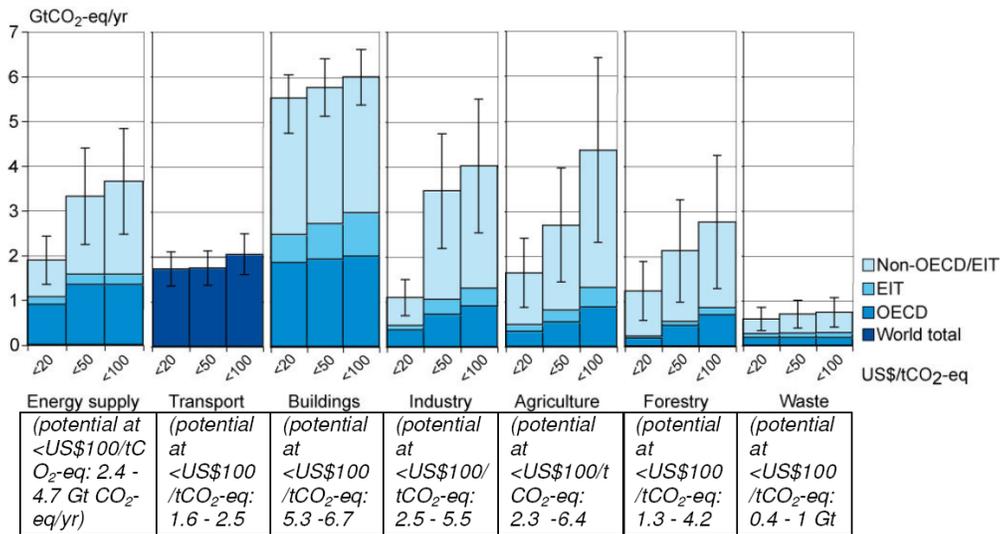
Il Rapporto afferma che nel settore degli edifici le tecnologie con il maggior potenziale di mitigazione sono: l'illuminazione efficiente e il daylighting, l'uso di apparecchiature elettriche e di cottura più efficienti e, per il riscaldamento e il raffrescamento, l'incremento dell'isolamento termico negli edifici, le tecniche solari attive e passive, l'impiego di fluidi frigorigeni a basso GWP e il recupero e riciclo dei gas fluorurati.

Il Rapporto afferma che, dal punto di vista economico, è più conveniente investire sull'efficienza energetica, cioè sulla riduzione del consumo dell'energia da parte degli utenti a parità di prestazioni, che aumentare l'offerta di energia. E proprio in base a questo principio diventa importante il ruolo nella mitigazione dei cambiamenti climatici che spetta agli ingegneri e ai professionisti in genere. Essi hanno la possibilità, attraverso le loro scelte progettuali, di influenzare direttamente i consumi energetici, e di conseguenza le emissioni di gas serra.

Va ricordato che notevoli risultati sono stati ottenuti dall'UNFCCC<sup>2</sup> e dal suo protocollo (Kyoto). Essi hanno creato una risposta globale al problema dei cambiamenti climatici, hanno stimolato una serie di provvedimenti nazionali, hanno creato un mercato globale del carbonio e dei meccanismi istituzionali che possono essere alla base di futuri sforzi di mitigazione.

---

<sup>2</sup> La Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) è un trattato ambientale internazionale. Il trattato punta alla riduzione delle emissioni dei gas serra, sulla base dell'ipotesi di riscaldamento globale. Il trattato, come stipulato originariamente, non poneva limiti obbligatori per le emissioni di gas serra alle singole nazioni; era quindi legalmente non vincolante. Includeva previsioni di aggiornamenti (denominati "protocolli") che avrebbero posto i limiti obbligatori di emissioni. Il principale tra questi è il protocollo di Kyoto, che è diventato molto più noto che la stessa UNFCCC.



**Figura 1** Potenziale economico di mitigazione globale stimato in funzione delle regioni (EIT<sup>3</sup>, OECD<sup>4</sup> e non OECD/EIT) e del prezzo del carbonio nel 2030. I valori presentati sono comparati con i rispettivi valori di base stimati per ogni settore. Per una dettagliata spiegazione di come i valori sono stati ottenuti si faccia riferimento al capitolo 11.4 del “Full report”. (Immagine dal Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change).

## 2. ENERGIE RINNOVABILI: IL MERCATO

Le fonti energetiche rinnovabili coprono attualmente, a livello mondiale, meno di un sesto dell’offerta totale di energia primaria. Questa viene quindi principalmente soddisfatta da fonti fossili quali il petrolio, il carbone, il gas naturale, e, in parte minore, dall’energia nucleare. Sul totale dell’energia prodotta da fonti rinnovabili, sono le biomasse solide a costituire la parte più significativa. La seconda fonte rinnovabile, in termini percentuali, è quella idroelettrica, la terza è la geotermia. Le energie eolica e solare si attestano complessivamente attorno a un punto percentuale.

La quasi totalità dell’energia rinnovabile proveniente dalla biomassa è prodotta e consumata, prevalentemente per il riscaldamento e la cottura dei cibi, nei Paesi non-OECD<sup>5</sup>.

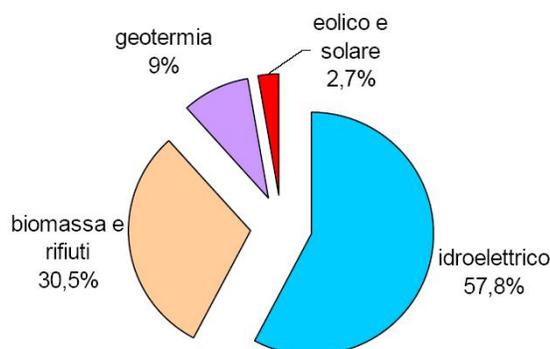
L’Italia è in linea con gli altri paesi europei e in generale con i paesi OECD per quanto riguarda la percentuale di energia primaria prodotta da fonti rinnovabili. Tale valore è notevolmente inferiore alla media globale poiché, come precedentemente detto, questa è principalmente costituita da biomassa utilizzata in paesi in via di sviluppo.

Nel 2004, le energie rinnovabili hanno inciso sul bilancio energetico nazionale per una quota del 7%. Questa quota è principalmente dovuta alle fonti idroelettriche e geotermiche (oltre il 65% del totale) con in più l’energia derivante da biomasse (30%). L’utilizzo delle biomasse in Italia ha ottenuto un apprezzabile incremento negli ultimi anni. È da

<sup>3</sup> EIT: Economie in transizione (Economies In Transition-EIT). Sono le nazioni del centro ed est europeo e le ex-repubbliche dell’Unione Sovietica che si stanno trasformando da economia controllata dallo stato a economia di mercato (da [http://unfccc.int/essential\\_background/glossary/items/3666.php#O](http://unfccc.int/essential_background/glossary/items/3666.php#O)).

<sup>4</sup> OECD: È l’Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (Organisation for Economic Co-operation and Development-OECD), una lista delle nazioni che ne fanno parte si trova al sito [www.oecd.org/countrieslist](http://www.oecd.org/countrieslist).

sottolineare che, a causa dell'elevato tasso di dipendenza energetica dall'estero, le fonti rinnovabili costituiscono circa il 45% dell'energia effettivamente prodotta mediante sorgenti di origine nazionale.



**Figura 2** Produzione di energia per fonte rinnovabile (Italia, 2004)

### 3. MODALITÀ D'INTERVENTO PER LA LIMITAZIONE DELLE EMISSIONI IN ATMOSFERA

Abbiamo dunque il dovere, morale e non, di limitare le emissioni in atmosfera di sostanze nocive, in particolare di anidride carbonica. Tale scopo può essere attuato agendo secondo tre principali strategie:

- Limitare i consumi di energia
- Ricorrere all'uso di energie rinnovabili
- Sequestrare o reimpiegare la CO<sub>2</sub> prodotta

Questo elenco, oltre che una successione delle azioni, rispecchia un ordine nella convenienza delle stesse. Dalla pratica applicazione emerge infatti che l'attuazione di interventi ad elevata efficienza, con conseguente riduzione del fabbisogno energetico, consente tempi di ritorno dell'investimento assai minori rispetto al ricorso ad energie rinnovabili. Per quanto riguarda poi il sequestro e il reimpiego della CO<sub>2</sub> emessa, le tecnologie disponibili non sono ancora a uno stadio di sviluppo tale da far loro acquisire, a breve, un ruolo importante nella limitazione dell'effetto serra. Riassumendo, dunque, gli unici cammini concretamente percorribili consistono, in primo luogo, nella limitazione dei consumi energetici e, in seconda istanza, nel ricorso a fonti energetiche rinnovabili.

Nel campo della climatizzazione degli edifici, entrambe le strategie godono di ampie opportunità d'azione, soprattutto in Italia. Il nostro Paese, infatti, presenta un contesto applicativo ideale nell'ambito della limitazione dei consumi energetici, considerate le pessime prestazioni energetiche del nostro patrimonio edilizio. Inoltre, l'applicazione di sistemi basati su fonti rinnovabili, eminentemente l'energia solare, verrebbe considerevolmente favorita dalle favorevoli condizioni climatiche di gran parte della penisola.

Ciononostante, il settore della climatizzazione degli edifici, in Italia, vive tuttora una condizione di disagio riguardo al tema ambientale. Sembra infatti essere nota a tutti la gravità del problema e le soluzioni possibili sono peraltro già numerose e interessanti, ma il torpore che attraversa il settore rende il processo di innovazione e cambiamento assai lento.

La presente memoria è per l'appunto intesa ad esporre la molteplicità delle soluzioni possibili. Il tema principale della memoria riguarderà l'applicazione delle risorse energetiche nella climatizzazione, tuttavia, in primo luogo, si ritiene necessario focalizzare l'attenzione sulla necessità di svolgere azioni di risparmio energetico.

E' pur vero, infatti, che il fine principale degli interventi energetici deve essere la diminuzione nel consumo di energie fossili, ma deve essere chiaro che tale fine può essere raggiunto sia riducendo i consumi, che utilizzando impianti alimentati da fonti alternative. Quest'ultima tipologia di impianti presenta però costi spesso ancora elevati,

sia a causa del mercato, ancora poco ampio e articolato, che per la scarsa densità energetica delle fonti rinnovabili, che richiedono dunque ampie dimensioni dei dispositivi di ricezione dell'energia e, conseguentemente, elevate quantità di materiale. Risulterebbe quindi proibitivo allestire impianti ad energia rinnovabile senza prima attuare azioni di risparmio energetico.

In questo modo, dunque, è possibile ridurre drasticamente il costo degli impianti e favorire così una più capillare diffusione delle tecnologie rinnovabili. Risulta così assai meno oneroso coprire elevate frazioni del fabbisogno energetico attraverso l'uso di fonti alternative. D'altra parte, sarebbe irrazionale produrre energia non necessaria, anche se ciò dovesse avvenire attraverso l'adozione di tecnologie a emissione nulla di CO<sub>2</sub>.

Le soluzioni mirate al contenimento dei consumi sono caratterizzate da un pay-back energetico assai più veloce che gli impianti alimentati da fonti rinnovabili. Il pay-back energetico è, in breve, il tempo entro il quale la soluzione adottata risparmia una quantità d'energia fossile tale da pareggiare i consumi necessari per la sua produzione e installazione. Generalmente, infatti, gli interventi di risparmio energetico consistono nel miglioramento di componenti già in uso, dunque richiedono piccoli cambiamenti o accorgimenti all'interno del consueto progetto. Gli impianti basati sull'uso di fonti alternative sono invece generalmente intesi in termini di componenti aggiuntivi e, in quanto tali, necessitano di maggiori investimenti, sia economici che energetici, per la produzione e la messa in opera.

#### **4. LE ENERGIE RINNOVABILI**

Si definiscono generalmente fonti energetiche rinnovabili quelle il cui utilizzo non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future o che per loro caratteristica intrinseca si rigenerano o non sono esauribili nella scala dei tempi umani.

Nella presente memoria verranno prese in considerazione solo le tipologie di fonti energetiche rinnovabili concretamente utilizzabili nell'ambito civile, in particolare per la climatizzazione degli ambienti confinati. Sono state dunque individuate le seguenti tecnologie:

- Biomasse
- Energia solare:
  - Energia solare termica
  - Energia solare fotovoltaica

Si ritiene inoltre opportuno aggiungere alle precedenti due tecnologie non propriamente rinnovabili, ma comunque atte a conseguire elevati risparmi energetici. Si tratta della tecnologia delle pompe di calore accoppiate al terreno, che permette di modificare un consueto schema d'impianto a pompa di calore in modo da ottenere risparmi energetici pari anche al 35%, nonché la cogenerazione. Esse si profilano infatti come soluzioni a bassa emissione di CO<sub>2</sub> e, come tali, degne di esser considerate quali soluzioni tecnologiche a basso impatto ambientale nella climatizzazione.

##### **4.1. Le biomasse**

Le biomasse possono essere considerate la soluzione tecnica a bassa emissione di CO<sub>2</sub> più vicina alla consueta pratica progettuale. Gli impianti alimentati da biomasse sono infatti progettualmente simili agli impianti alimentati da combustibile fossile, ma la produzione del calore viene delegata a un generatore alimentato da biomasse anziché a una classica caldaia a combustibili fossili. Anche in tali generatori la combustione genera dunque emissione di anidride carbonica; tuttavia, i prodotti utilizzati quali combustibili sono derivati del legno. Essi sono detti "pellets" quando assumono la forma di compresse compatte di legno, mentre si parla di "cippato" (dall'inglese "chip": scaglia, scheggia) quando si presentano sotto forma di trucioli. La CO<sub>2</sub> emessa è dunque la CO<sub>2</sub> sequestrata dalle piante stesse durante la loro vita. Il bilancio sulle emissioni globali legate al ciclo di vita del combustibile dovrebbe essere dunque prossimo allo zero. Il ricorso a biomasse produce comunque, seppur indirettamente, una quantità di CO<sub>2</sub> maggiore rispetto a quella consumata dalla pianta durante la propria crescita. Ciò deriva dalle attività di preparazione e trasporto del combustibile stesso, sia esso costituito da pellets o cippato.

Il riscaldamento a biomasse può essere utilizzato a più livelli; si possono cioè alimentare piccole utenze domestiche, grandi edifici o interi quartieri, attraverso sistemi di teleriscaldamento. Le strutture di maggiori dimensioni

permettono l'utilizzo di generatori di calore più efficienti e meno inquinanti, tuttavia richiedono una più complessa progettazione del sistema di distribuzione, che deve essere compatibile con il tessuto edilizio locale.

Se nel principio di base non è possibile ravvisare alcuna novità, i generatori di calore a biomasse hanno invece richiesto notevoli progressi tecnologici, al fine di ottenere prestazioni ed emissioni paragonabili alle consuete caldaie a combustibili fossili. Le modifiche così operate hanno permesso di elevare il rendimento medio dei generatori di calore a biomasse in commercio dal 60% al 90% in circa vent'anni. Inoltre, l'ottimizzazione del processo di combustione ha permesso di limitare le emissioni inquinanti in atmosfera. A tali miglioramenti si aggiungono poi innovazioni funzionali che hanno permesso di automatizzare l'alimentazione dei generatori di calore a biomasse e di facilitarne la manutenzione. Tali macchine restano comunque significativamente costose (circa 150 €/kW), tuttavia il costo del combustibile, significativamente più basso rispetto a quelli tradizionali (0.16 €/MJ contro gli 0.21 €/MJ del metano), permette in genere di ottenere un pareggio nell'investimento entro dieci anni circa.

Uno svantaggio legato all'impiego di biomasse può essere ravvisato nell'elevato volume necessario per il deposito del combustibile. Quest'ultimo possiede infatti una scarsa densità energetica, valutabile attorno ai 17 MJ/kg (pari a circa 11.1 GJ/m<sup>3</sup>) per i pellets e 13.3 MJ/kg (2.7 GJ/m<sup>3</sup>) per il truciolo. Infine, la manutenzione delle caldaie resta tuttora più articolata che nel caso di semplici bruciatori a gas.

Nonostante i difetti espressi poc'anzi, le biomasse possono essere davvero utili nella limitazione dell'effetto serra. L'analogia funzionale con gli impianti tradizionali permetterebbe infatti di procedere con semplicità alla sostituzione degli stessi. Tale strategia sarebbe raccomandabile soprattutto nel caso di impianti alimentanti reti di teleriscaldamento. Una tale strategia permetterebbe altresì di attivare un ampio mercato per la fornitura delle biomasse. Ciò consentirebbe di creare occupazione a livello locale e, in molti casi, migliorare l'economia delle comunità locali.

#### **4.2. L'energia solare termica**

La tecnologia solare termica si basa sull'utilizzazione della radiazione elettromagnetica di origine solare per produrre calore, generalmente utilizzato per il riscaldamento di fluidi termovettori, quali per esempio acqua e aria. Il fluido può dunque essere usato direttamente, per il riscaldamento ambientale o per la produzione di acqua calda sanitaria. D'altra parte, il fluido può essere a propria volta utilizzato per alimentare altri processi, per esempio per attivare il ciclo ad assorbimento di un refrigeratore o per rigenerare le ruote essiccanti di un impianto di deumidificazione.

Questa tipologia di impianti è solitamente dotata di un accumulatore di calore, costituito da un serbatoio d'acqua o da una massa, per esempio di pietre (nel caso di impianti solari ad aria), finalizzati a immagazzinare l'energia termica in vista di un suo utilizzo differito nel tempo.

La relativamente scarsa energia specifica ricevuta annualmente dal sole (~1300 kWh/m<sup>2</sup> alla nostra latitudine), implica l'installazione di ampie aree di captazione. In aggiunta, si rivela generalmente necessario provvedere all'installazione di un serbatoio termico. Il costo dei componenti principali di tali sistemi è inoltre elevato, in quanto legato a processi di costruzione energeticamente assai costosi. I componenti vengono infatti costruiti utilizzando ampie quantità di metalli e vetro. Inoltre, la semplicità nella costruzione, che consiste principalmente in operazioni di carpenteria già largamente automatizzate, non prospetta significative riduzioni nei costi dei sistemi solari termici, pur considerando un ampliamento dell'attuale mercato. Le precedenti considerazioni permettono di capire perchè i costi di questa tecnologia siano ancora elevati (~700 €/m<sup>2</sup>, riferito alla superficie captante), nonostante il principio fisico di base sia assolutamente elementare. Per di più, tali impianti non riescono generalmente a far fronte all'intero fabbisogno, se non obbligando a eccessivi sovradimensionamenti. Di conseguenza, si deve comunque prevedere l'installazione di un impianto, tradizionale o comunque basato su altra tecnologia, a integrazione dell'energia fornita dal sole. Di conseguenza, per tali impianti, in assenza di incentivi all'installazione, il tempo di ritorno dell'investimento può assumere una durata notevole, spesso pari alla vita utile dell'impianto stesso, generalmente assunta pari a venti anni.

Tuttavia, nonostante, i difetti evidenziati, gli impianti solari termici continuano la propria diffusione, soprattutto ad opera dei sistemi d'incentivazione proposti dalle Autorità. Tali impianti vengono per lo più finalizzati alla produzione di acqua calda sanitaria. Tale tipologia impiantistica permette infatti i migliori ritorni d'investimento. In tal caso, infatti, l'opportunità di utilizzare la radiazione solare durante i periodi primaverile, estivo e autunnale

permette di ottenere significative rese. Tali impianti soffrono invece di scarse prestazioni nel periodo invernale, ad opera delle avverse condizioni meteorologiche, sia in termini termici che radiativi. Il consumo d'acqua calda sanitaria costituisce però una frazione significativa ma non preponderante dei consumi civili negli edifici attuali, per lo più dovuti al riscaldamento degli ambienti e all'alimentazione di dispositivi elettrici. In tale contesto, si osserva dunque che il contributo dei sistemi solari termici all'abbattimento delle emissioni di gas serra può essere soltanto parziale. La loro importanza nel bilancio energetico dell'edificio potrà essere comunque rivalutata nel caso di un rilevante contenimento dei consumi energetici legati al riscaldamento degli ambienti. In tal caso, l'energia consumata per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria verrebbe ad acquisire un ruolo di primo piano e, quindi, qualsiasi tecnologia mirata alla produzione di acqua a basse emissioni di CO<sub>2</sub> sarebbe utile per abbattere l'impatto ambientale dovuto alla conduzione dell'edificio.

L'energia solare termica può comunque essere applicata anche in altri contesti, nell'ambito della climatizzazione civile. Per esempio, essa può essere utilizzata per alimentare il generatore di refrigeratori ad assorbimento. In tal caso, l'acqua calda proveniente dai collettori solari attiva il ciclo di assorbimento, provvedendo di conseguenza al raffrescamento degli ambienti confinati. Similmente, il calore raccolto da impianti solari termici può essere usato per la rigenerazione di sistemi essiccanti. Entrambe le applicazioni sono oggetto di numerose ricerche, ma i costi applicativi, sinora troppo elevati, le hanno relegate al ruolo di mercato di nicchia, quasi esclusivamente a carattere sperimentale-dimostrativo.

Ciascuna applicazione richiede comunque una specifica progettazione. Infatti, il rendimento degli impianti solari varia significativamente in dipendenza dal livello termico al quale deve essere alimentata l'utenza e dalle condizioni dell'ambiente esterno, sia in riferimento alla temperatura esterna che alla radiazione disponibile. Per esempio, all'aumentare della differenza tra la temperatura di ritorno dall'utenza e la temperatura esterna, le dispersioni attraverso i collettori solari aumentano e la loro influenza sull'efficienza finale diviene maggiore al diminuire della radiazione incidente sul pannello. Ciascuna applicazione avrà dunque le proprie peculiari caratteristiche di alimentazione dell'utenza. Un'ulteriore diversificazione avverrà poi ad opera delle condizioni climatiche con cui il sistema solare si troverà ad interagire. Di conseguenza, si possono operare scelte impiantistiche diverse, che comprendono, ad esempio, il livello di stratificazione, dipendente dal numero e dal tipo di accumuli termici utilizzati, e la scelta dei collettori solari. Essi infatti presentano curve di rendimento diverse, in dipendenza dalla modalità costruttiva adottata. In [Figura 3 Esempi di tipiche curve dell'efficienza per collettori solari termici: collettore ad acqua piano coperto a piastra selettiva e collettore ad acqua a tubi sottovuoto](#) [Figura 3](#), per esempio, si confrontano le prestazioni di due tipologie diverse di collettori: un collettore ad acqua piano coperto e un collettore ad acqua a tubi sottovuoto. Le curve di rendimento esprimono l'efficienza del collettore al variare del rapporto

$$K = (T_{in} - T_{ext}) / I$$

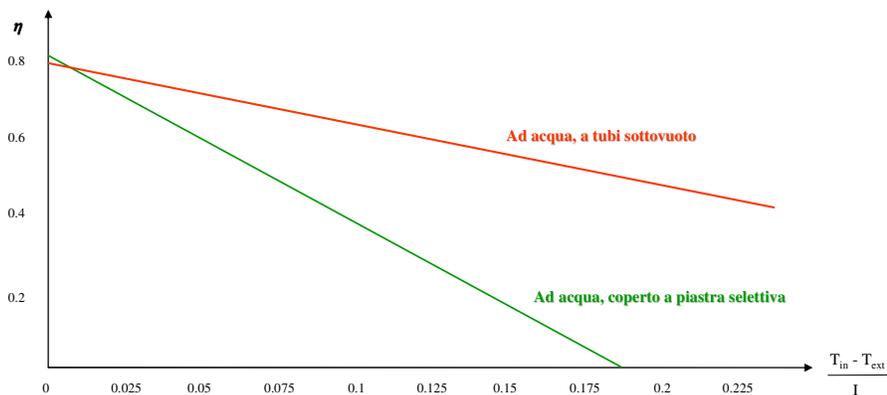
dove:

T<sub>in</sub>: Temperatura d'entrata al collettore [°C]

T<sub>ext</sub>: Temperatura dell'ambiente esterno [°C]

I: Radiazione solare specifica incidente sul collettore [W/m<sup>2</sup>]

Evidentemente, un basso valore di tale rapporto caratterizza condizioni di lavoro ottimali, mentre alti valori di K inducono elevate dispersioni da parte del collettore solare. Bassi valori del rapporto K contraddistinguono dunque applicazioni quali il riscaldamento estivo di acqua per piscine e di acqua sanitaria, mentre utenze quali il riscaldamento di ambienti, il riscaldamento invernale d'acqua calda sanitaria e l'attivazione di processi ad assorbimento saranno contraddistinti da elevati valori del rapporto K e quindi da efficienze inferiori.



**Figura 3** Esempi di tipiche curve dell'efficienza per collettori solari termici: collettore ad acqua piano coperto a piastra selettiva e collettore ad acqua a tubi sottovuoto

#### 4.3. L'energia solare fotovoltaica

Gli impianti solari fotovoltaici, invece, convertono la radiazione elettromagnetica solare in energia elettrica. La conversione avviene con rendimenti assai bassi (nel migliore dei casi, il rendimento globale può essere stimato attorno al 15%), ma l'energia prodotta è assai pregiata. Essa può infatti essere utilizzata in modo versatile, rendendo possibile l'alimentazione, per esempio, di refrigeratori e pompe di calore, ma anche di utenze elettriche di illuminazione e forza motrice. Inoltre, è possibile effettuare, con estrema semplicità, uno scambio d'energia elettrica tra l'utenza e la rete elettrica pubblica. Dunque, l'energia eccedente i consumi istantanei può essere ceduta alla rete elettrica, per essere utilizzata nei momenti di maggiore richiesta e minore produzione da parte dell'utente-produttore o eventualmente aumentare la quota di energia immessa in rete dovuta a risorse rinnovabili.

I componenti elementari di tali sistemi sono le celle fotovoltaiche. Esse sono generalmente prodotte con silicio, secondo due principali tecnologie: il silicio cristallino e il silicio amorfo. Il silicio cristallino può assumere forma monocristallina (efficienza di conversione attorno al 17%) o policristallina (efficienza di conversione pari a circa il 14%). Il silicio amorfo è caratterizzato da una notevole versatilità, in quanto può per esempio essere utilizzato su materiali di supporto flessibili o essere steso su superfici trasparenti con diverse gradazioni di trasparenza, ma genera scarse potenze specifiche, a causa della bassa efficienza di conversione, attorno al 7%.

Anche per la fonte solare fotovoltaica valgono le medesime osservazioni svolte nel caso degli impianti solari termici e inerenti la notevole estensione richiesta per la produzione di una significativa frazione del fabbisogno energetico di un edificio. Per dare un ordine di grandezza, la produzione di 1 kW<sub>el</sub>, nelle migliori condizioni meteorologiche (cosiddetto chilowatt di picco), necessita dell'installazione di un'area lorda di circa 8 m<sup>2</sup> di pannelli fotovoltaici, nel caso di classici pannelli a silicio cristallino, con una spesa che si aggira tra i 600 e i 900 € per metro quadro di superficie captante installata. I costi di questa tecnologia sono dunque ancora assai elevati, ma i recenti strumenti d'incentivazione (Conto Energia) hanno avviato il mercato, facendo crescere l'interesse attorno a questa tecnologia e portando il tempo di ritorno dell'investimento da trenta a dieci anni circa.

Si prevede tuttavia che i costi della tecnologia fotovoltaica siano destinati a scendere, anche se la maggior parte della riduzione dei costi è ormai avvenuta. Negli ultimi 25 anni, infatti, il costo dei moduli fotovoltaici è sceso mediamente da 27,0 \$/W<sub>p</sub> a 3,5 \$/W<sub>p</sub>, mentre nel prossimo decennio si stima una riduzione del costo dei moduli fotovoltaici pari a circa 1 \$/W<sub>p</sub>, con una conseguente limitazione dei costi totali attorno al 15%. Con le attuali tecnologie, dunque, sembrano non risultare possibili significative variazioni nell'investimento in impianti fotovoltaici. Tuttavia, molta fiducia viene riposta in tecnologie innovative allo studio da anni e solo ora in via di applicazione sperimentale o commercializzazione. Con tali tecnologie i costi dei moduli fotovoltaici dovrebbero attestarsi al livello di 1 \$/W<sub>p</sub>, cioè circa 1/3 dell'attuale valore commerciale.

Oltre alla poliedricità dell'energia prodotta, la tecnologia solare fotovoltaica sta mostrando un ulteriore pregio: essa risulta di semplice integrazione negli edifici. Nell'ultimo decennio son infatti sempre più numerosi gli esempi di

edifici che integrano in modo completo la tecnologia solare fotovoltaica. In tali casi, i pannelli fotovoltaici si sostituiscono ad elementi strategici dell'edificio, assumendo doppia funzione. Si possono dunque trovare sul mercato pannelli fotovoltaici espressamente finalizzati alla sostituzione di tegole, o captatori fotovoltaici con contemporanea funzione di superficie ombreggiante. Ma pure l'integrazione di collettori sulla falda o in facciata è una pratica ormai assai diffusa. Esistono poi finestre contenenti celle fotovoltaiche e pannelli fotovoltaici in silicio amorfo flessibili, utili negli interventi di retrofit su coperture già esistenti, o semitrasparenti, dall'indubbia potenzialità estetica. In tal modo è anche possibile limitare l'investimento economico. La maggior parte dell'investimento viene impiegato per l'acquisto dei componenti, ma buona parte dei costi deriva infatti pure dalla fase d'installazione. Ecco perchè, negli anni più recenti, per gli impianti solari fotovoltaici, si sta puntando alla riduzione di tali costi attraverso l'integrazione architettonica. In breve, i sistemi solari vengono concepiti sin dalla partenza del progetto. In tal modo, l'involucro viene modificato in modo da facilitare l'installazione dei pannelli solari. Si utilizzano così soluzioni d'involucro che facilitino l'aggancio dei collettori. Inoltre, l'integrazione architettonica degli impianti solari prevede la modifica del pacchetto edilizio in modo da rendere i collettori parte integrante del pacchetto stesso, assolvendo le funzioni di finitura esterna. In tal modo viene evitato il costo della parte più esterna della superficie. Inoltre, prevedendo l'installazione sin dalla costruzione dell'immobile, si abbattano i costi di posa in opera, in quanto non ricorre l'obbligo di prevedere strutture per la movimentazione dei pannelli, ovviamente già disponibili per la costruzione dell'edificio stesso. L'abbattimento dei costi derivante dall'integrazione architettonica può arrivare sino al 25%, in dipendenza dalla posizione della superficie e dalla tipologia costruttiva cui il sistema viene integrato.

#### **4.4. Le pompe di calore accoppiate al terreno**

La tecnologia delle pompe di calore accoppiate al terreno, generalmente conosciuta coi nomi di "geotermia di superficie" o "geotermia a bassa temperatura", viepiù diffusa per la climatizzazione in ambito civile, non può essere ritenuta una fonte rinnovabile in senso stretto, ma i rilevanti vantaggi che ne derivano la rendono comparabile alle fonti rinnovabili. Essa infatti consente l'ottenimento di elevati risparmi energetici, mediamente pari al 35%. Una maggiore diffusione di tale tecnologia consentirebbe dunque di abbattere in modo significativo le emissioni nocive, pur mantenendo la consueta struttura dell'impianto di climatizzazione. Purtroppo, tale tecnologia richiede un'attenta e integrale progettazione e presenta tempi di ritorno dell'investimento quantificabili dai 6 ai 10 anni. Fondamentalmente, la geotermia di superficie sostituisce il terreno all'aria quale ambiente di scambio del calore ceduto (in estate) o raccolto (in inverno) dalla pompa di calore. Il terreno presenta infatti temperature medie annuali ideali per l'accoppiamento a pompe di calore o refrigeratori. In tal modo, essi aumentano il proprio coefficiente di prestazione utile (COP) medio stagionale, riducendo drasticamente il consumo di energia elettrica. Inoltre, l'aumento del COP consente di limitare l'impegno contrattuale di potenza elettrica. Tale vantaggio può risultare in notevoli economie nella conduzione dell'edificio, soprattutto nel caso di grandi complessi edilizi. Inoltre, la riduzione del fabbisogno di energia elettrica rispetto ad altre tipologie di pompe di calore rende questa tecnologia particolarmente adatta all'accoppiamento con impianti fotovoltaici.

La geotermia di superficie si presenta in diverse declinazioni. Si possono infatti utilizzare scambiatori verticali od orizzontali a terreno, ma pure acqua di falda, condizione assai conveniente in alcune aree italiane.

Purtroppo, nel caso della tecnologia delle pompe di calore accoppiate al terreno, non è possibile pianificare una capillare diffusione, in quanto s'impongono difficoltà logistiche. L'installazione degli scambiatori a terreno risulta infatti opportuna solo nel caso il tessuto urbano locale non sia densamente edificato. Tuttavia, le aree in cui tale tecnologia rimane applicabile sono numerose e, considerati i benefici ambientali che ne possono derivare, si ritiene opportuno invocare una maggiore diffusione della tecnologia stessa, che in altre aree europee (Svezia e Svizzera, per esempio) è giunta a quote di diffusione assai elevate.

#### **4.5. La cogenerazione**

La cogenerazione é un'altra tecnologia di produzione dell'energia per fini civili non propriamente rinnovabile, ma sicuramente annoverabile tra le tecnologie alternative a bassa emissione di anidride carbonica. Essa consiste generalmente nella contemporanea produzione di calore ed energia elettrica, ma possono essere ottenute anche altre forme di energia, come per esempio energia frigorifera. Il principio di base consiste nel riutilizzo a fini termici del calore altrimenti smaltito dal sistema di produzione dell'energia elettrica. Le tecnologie utilizzate coprono ampi campi di potenza, andando dalle piccole utenze (una decina di kW) alle grandi utenze (nell'ordine di alcuni megawatt). La tecnologia in sé può essere annoverata quale esempio d'uso razionale dell'energia. Il fine della cogenerazione é infatti la completa fruizione di tutti i flussi energetici che attraversano l'impianto, fino alla loro cessione alle utenze o all'irreversibile degradazione degli stessi. Tali sistemi si rivelano utili entro diversi contesti edilizi. Si possono applicare infatti ad un solo edificio, a un complesso di edifici o a interi quartieri. In quest'ultimo caso, la soluzione deve estendersi nel territorio di pertinenza attraverso una rete di teleriscaldamento o, pure, di teleraffrescamento. Siffatte soluzioni, di certa redditività, devono però essere concepite a un livello amministrativo superiore. Risulta infatti necessaria l'azione delle Istituzioni, che dovrebbero rendersi promotrici di interventi di tale entità, in considerazione dei conseguenti benefici ambientali ed economici. Nell'applicazione a contesti di minore estensione, invece, il sistema risulta efficacemente applicabile solo nel caso le utenze elettrica e termica abbiano una significativa contemporaneità.

#### **5. LE ENERGIE RINNOVABILI E L'INTEGRAZIONE ENERGETICA**

Come è noto, molte fonti rinnovabili, specialmente quelle solari ed eolica, si presentano in quantità variabile nel tempo. Tali tecnologie non possono dunque essere considerate delle vere alternative alla fonte fossile, in quanto necessitano comunque di impianti tradizionali d'integrazione, a meno di eccessivi sovradimensionamenti.

I futuri impianti a basse emissioni nocive dovranno quindi presentarsi sotto la forma di impianti multienergetici, in cui diverse forme di energia vengono coordinate in modo da ottenere il miglior compromesso tra comfort ed emissioni. Tale affermazione acquisisce ancor maggior significato nel caso di edifici di elevata estensione o ad elevata densità abitativa, in cui gli elevati consumi giustificano l'adozione di sistemi impiantistici più complessi. In tali casi, per esempio, potrebbe rendersi giustificata l'adozione di tecnologie di cogenerazione, accanto alle classiche fonti rinnovabili. Ciascuna tipologia di fonte energetica individua però un proprio ambito di massima fruizione. Esistono infatti tipologie di fonte rinnovabile assai pregiate, dalle quali si ottiene elettricità, che può essere utilizzata per qualsiasi utenza, così come esistono fonti in grado di produrre calore a bassa, media, o alta temperatura.

Ma il concetto di integrazione energetica si dovrà estendere anche al di fuori dell'edificio, all'intera rete energetica nazionale. I singoli edifici diventeranno infatti produttori di energia che dovranno interfacciarsi alla rete elettrica anche per cedere energia. Ma le relazioni tra il sistema energetico nazionale e gli edifici dovranno essere ancor più articolate, in modo da minimizzare gli sprechi e garantire l'abbattimento dei consumi globali. Ecco allora che si assisterà probabilmente alla definitiva diffusione del teleriscaldamento di quartiere, abbinato a soluzioni cogenerative, e di ampie installazioni di produzione dell'energia eolica.

#### **6. L'ANALISI DEL CICLO DI VITA PER LE ENERGIE RINNOVABILI**

Il ricorso alle fonti rinnovabili deve essere considerato anche da un punto di vista globale. In breve, è corretto affermare che l'uso di fonti rinnovabili evita l'immissione di sostanze inquinanti in atmosfera, ma dev'essere pure chiaro che la costruzione di impianti basati su fonti rinnovabili implica una spesa energetica non trascurabile, con conseguente ricaduta ambientale. Come detto sopra, infatti, le fonti rinnovabili sono generalmente caratterizzate da bassa densità energetica ( $J/kg$  o  $J/m^2$ ). Ciò implica l'uso di notevoli quantità di materiale e, quindi, un rilevante consumo di energia per la costruzione dei componenti. Ecco allora che la scelta delle risorse rinnovabili deve essere effettuata partendo da considerazioni più ampie, che tengano conto dell'effettivo impatto della tecnologia sull'ambiente, considerando tutte le fasi che la coinvolgono: dall'estrazione dei materiali d'origine, fino alla dismissione dell'impianto e al riciclo o smaltimento delle sue parti, passando attraverso la costruzione dei componenti, l'installazione e la vita dell'impianto stesso.

Numerosi autori hanno stimato l'impatto globale per le tecnologie alternative. In [5], per esempio, si evidenziano le differenze tra le diverse fonti disponibili per la produzione di elettricità e calore. All'interno della categoria delle fonti rinnovabili mirate alla produzione di energia elettrica, consideriamo la sola energia fotovoltaica, per la quale è stimata un'emissione di anidride carbonica pari a circa 10 g/kWh<sub>el</sub> riferita all'energia elettrica erogata durante l'intero ciclo di vita prevedibile (in questo caso, per esempio, è stato considerato un orizzonte temporale di 25 anni); tale valore risulta assai lontano dai 530 g/kWh<sub>el</sub> generalmente attribuiti al sistema elettrico nazionale. Tra le sorgenti rinnovabili finalizzate alla produzione di energia termica, si concentra invece l'attenzione sulle tecnologie a biomasse e solare termica. Entrambe dimostrano emissioni di anidride carbonica assai basse, comprese tra i 4 e i 6 g/MJ<sub>t</sub>. A questo punto, il ricorso a fonti rinnovabili sembrerebbe presentare solo vantaggi dal punto di vista ambientale, ma l'esame di altri dati presenti in questo e in altri studi permette di individuare in modo più chiaro gli ostacoli da superare per una vasta diffusione delle tecnologie rinnovabili. Per alcune di esse, infatti, il vero ostacolo a una diffusione sostenibile consiste nel consumo di energia fossile richiesto durante l'intero ciclo di vita dei sistemi, per esempio per la loro produzione o per il successivo smaltimento. Il medesimo studio offre infatti l'opportunità di valutare il consumo medio di energia fossile necessario per la produzione di ciascuna tipologia di sistema rinnovabile. A tal riguardo, all'energia solare fotovoltaica viene mediamente assegnato un consumo di risorse fossili pari a 0.42 kWh per ciascun kWh<sub>el</sub> prodotto. Tale valore individua la tecnologia solare fotovoltaica come una tecnologia a scarsa sostenibilità energetica. Il rapporto tra l'energia prodotta e l'energia fossile necessaria alla sua esistenza si attesta infatti attorno al valore di 2,5. Tutto ciò giustifica la tendenza dei produttori a sviluppare tecnologie fotovoltaiche meno energivore. A tal scopo, le industrie del settore stanno sviluppando pannelli con minori spessori di silicio e puntano principalmente sul silicio policristallino e sul silicio amorfo, materiali meno energivori del silicio monocristallino, seppur caratterizzati da una minore efficienza di conversione rispetto a quest'ultimo. Ma la ricerca si muove in ogni direzione. Per esempio, il miglioramento dell'efficienza di conversione dei pannelli permetterebbe l'utilizzo di una minor quantità di materiale, con un conseguente miglior ritorno energetico. La tecnologia fotovoltaica, dunque, allo stato attuale, si dimostra essere una tecnologia ancora immatura per una vasta diffusione, in quanto la sua catena energetica è ancora significativamente dipendente dalle fonti fossili. Gli analisti del settore prevedono che la tecnologia fotovoltaica potrà essere disponibile alla produzione di massa solo attorno al 2030, quando cioè le redditività energetica ed economica di tali impianti saranno allineate a quelle di altre tecnologie rinnovabili. I sistemi a biomasse e i collettori solari termici, per esempio, dimostrano un ritorno energetico assai migliore. Per le biomasse si può infatti stimare una produzione di calore pari a circa 15 volte l'energia fossile consumata durante l'intero ciclo di vita dell'impianto, mentre per l'energia solare termica tale valore s'attesterebbe attorno a 10. Tali risultati consentono dunque di discernere, all'interno delle fonti rinnovabili, quelle in grado di apportare maggiori benefici nelle condizioni di ampia diffusione.

## 7. CONCLUSIONI

Nella presente memoria si è desiderato esporre un quadro generale delle tecnologie rinnovabili disponibili per la produzione di energia utile alla conduzione di sistemi di climatizzazione nel settore civile. Per completezza, la memoria considera anche risorse energetiche non propriamente rinnovabili, ma in grado di garantire abbattimenti dei consumi e delle emissioni tali da renderle assimilabili alle rinnovabili. Si sono quindi presentate le singole tecnologie e si è proseguito con l'esposizione delle principali caratteristiche di ciascuna fonte, individuandone le peculiarità e i possibili sviluppi. In tale ambito si è in grado di definire anche i migliori contesti applicativi per ciascuna tecnologia. Ne deriva che le biomasse e la cogenerazione possono essere convenientemente sfruttate in contesti medio-grandi, per esempio nell'alimentazione energetica di complessi di edifici o di interi quartieri, mentre le tecnologie solari si presentano di migliore applicazione in ambiti più raccolti, quali i singoli edifici o i piccoli complessi edilizi. I sistemi di climatizzazione accoppiati al terreno possono invece essere convenientemente sfruttati in ogni contesto, dalla singola unità immobiliare ai grandi complessi edilizi.

Il testo sottolinea inoltre quanto l'analisi del ciclo di vita delle energie rinnovabili possa essere utile nell'individuazione della convenienza ambientale delle stesse. Il bilancio ambientale delle risorse rinnovabili deve infatti considerare non solo il periodo di conduzione degli impianti stessi, ma pure le fasi ad esso precedenti, quali la produzione e l'installazione, e successive, quali la dismissione e lo smaltimento. Un tale esame delle fonti disponibili consente di discernere in modo più efficace le fonti che meritano d'esser maggiormente supportate.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Full report. Working Group I.
- [2] IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Full report. Working Group II.
- [3] IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Full report. Working Group III.
- [4] ENEA, 2005. *Lo sviluppo delle Rinnovabili in Italia tra necessità e opportunità 2005*.
- [5] Pehnt, M., 2005, *Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies*, Renewable energy.
- [6] REN21 *Renewable Energy Policy Network*. 2005. "Renewables 2005 Global Status Report," Washington, DC: Worldwatch Institute.
- [7] ISES Italia, *Biomasse per l'energia*, Collana GreenPro.
- [8] Duffie J.A., Beckman W.A., 1978, *L'energia solare nelle applicazioni termiche*, Napoli, Liguori.
- [9] Cimmieri, S., Lazzarin, R., 1983, *La progettazione degli impianti solari*, Muzzio.
- [10] ISES Italia, *Solare termico*, Collana GreenPro.
- [11] Lazzarin R., 1981, *Le pompe di calore*, Tecniche Nuove.
- [12] Groppi, F., Zuccaro, C., 2004, *Impianti solari fotovoltaici a norme CEI*, Editoriale Delfino.
- [13] ISES Italia, *Fotovoltaico*, Collana GreenPro.

## SITI INTERNET

- [www.aicarr.it](http://www.aicarr.it) : AICARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione
- [www.anev.org](http://www.anev.org) : Anev – Associazione nazionale energia del vento
- [www.aper.it](http://www.aper.it) : Aper – Associazione produttori energia da fonti rinnovabili
- [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org) : ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- [www.assolterm.it](http://www.assolterm.it) : Assolterm – Associazione italiana solare termico
- <http://earth-policy.org> : Earth Policy Institute
- [www.enea.it](http://www.enea.it) : Enea – Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente
- [www.ewea.org](http://www.ewea.org) : Ewea – European Wind Energy Association
- [www.fonti-rinnovabili.it](http://www.fonti-rinnovabili.it) : sportello informativo di Legambiente sulle fonti rinnovabili
- [www.h2it.org](http://www.h2it.org) : H2IT – Associazione italiana idrogeno e celle a combustibile
- [www.iea.org](http://www.iea.org) - IEA: International Energy Agency
- [www.isesitalia.it](http://www.isesitalia.it) : Ises Italia – International Solar Energy Society
- [www.issi.it](http://www.issi.it) : Issi – Istituto per lo sviluppo sostenibile
- [www.itabia.it](http://www.itabia.it) : Associazione italiana biomasse
- [www.rehva.com](http://www.rehva.com) : Federation of european heating and air-conditioning associations
- [www.worldwatch.org](http://www.worldwatch.org) : World Watch Institute