



Vincenzo Balzani^a, Giacomo Bergamini^a, Leonardo Setti^b

^aDipartimento di Chimica "G. Ciamician"

Università di Bologna

^bDipartimento di Chimica Industriale e dei Materiali

Università di Bologna

vincenzo.balzani@unibo.it

giacomo.bergamini@unibo.it

leonardo.setti@unibo.it

COME USCIRE DALLA CRISI ENERGETICA

E CLIMATICA - PARTE 2. RISPARMIO, EFFICIENZA ED ENERGIE RINNOVABILI

L'integrazione di risparmio, efficienza energetica e sviluppo delle energie rinnovabili è la strategia giusta, adottata dalla UE, per uscire dalla crisi energetica e climatica. La transizione, già in atto, richiede un salto culturale: capire che per vivere tutti assieme su un pianeta che ha risorse limitate, i consumi non possono crescere all'infinito e le risorse vanno distribuite più equamente.

L'energia, il problema dei problemi

Come è stato discusso nella Parte 1 [1], oggi l'energia è fornita principalmente dai combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale), risorse energetiche molto comode e potenti, ma non rinnovabili e in via di esaurimento. A questo primo problema se ne accompagnano altri di non secondaria importanza: l'uso dei combustibili fossili causa gravi danni al clima, all'ambiente e alla salute dell'uomo e la loro distribuzione molto eterogenea genera difficoltà economiche a molte nazioni, crea insopportabili disuguaglianze e produce tensioni politiche a livello internazionale che hanno già dato origine a guerre.

Uno dei problemi più delicati e più difficili che l'umanità deve oggi affrontare è, quindi, passare dall'uso dei combustibili fossili a quello di nuove fonti di energia. Le fonti energetiche alternative ai combustibili fossili sono, oggi, sostanzialmente due [2, 3]: l'energia nucleare e le energie rinnovabili (in massima parte collegate, direttamente o indirettamente, all'energia solare).

Nella prima parte [1] abbiamo dimostrato che, per molti motivi, lo sviluppo del nucleare non è una soluzione praticabile. In questa seconda parte esaminiamo la possibilità di ricorrere alle energie rinnovabili.

Le energie rinnovabili

Sono rinnovabili le fonti di energia fornite, direttamente o indirettamente dal Sole (termica, luminosa, eolica, idroelettrica, biomasse), dalla Terra (geotermica) e dai movimenti del mare (maree e onde). Le energie rinnovabili nel loro insieme soddisfano sostanzialmente i requisiti richiesti per una fonte energetica ideale. Sono inesauribili e, alcune, anche molto abbondanti e ben distribuite; non sono pericolose e, se usate con un minimo di saggezza, non sono dannose né per l'uomo né per l'ambiente. Il loro uso può quindi portare ad uno sviluppo socialmente, ecologicamente ed economicamente sostenibile. Naturalmente le energie rinnovabili non sono esenti da difetti. I principali sono bassa intensità e, su scala locale, intermittenza.

L'attuale sistema energetico è basato invece sull'utilizzo di una risorsa concentrata e disponibile in continuità come i combustibili fossili. La transizione alle energie rinnovabili richiede quindi una riconversione profonda di tutto il sistema energetico. Questa riconversione, però, non ci deve spaventare poiché è simile a quelle che abbiamo vissuto in ogni rivoluzione industriale. Ad esempio, quando Ford nel 1908 mise sul mercato americano il modello T, non esistevano le autostrade, le pompe di benzina e gli auto-grill. Anche lo sviluppo delle energie rinnovabili creerà nuove filiere industriali e nuovi posti di lavoro [4].

Energia solare

L'energia solare è la risorsa che può portarci fuori dalla crisi energetica e climatica. È molto abbondante (il Sole in un'ora fa giungere sulla Terra l'energia che l'umanità consuma in un anno), inesauribile (il sole continuerà a brillare per miliardi di anni) ed è presente in grande abbondanza in tutte le zone del pianeta. Con l'energia solare è possibile ottenere tutte le forme di energia utili: calore, elettricità e combustibili [3]. Il flusso dell'energia solare è però molto diluito (170 W/m^2) ed intermittente su scala locale.

Solare termico (riscaldamento e raffreddamento)

Un collettore solare termico ha una durata di almeno 30 anni, richiede soltanto piccole manutenzioni e in due anni produce una quantità di energia pari a quella che è stata necessaria per fabbricarlo [3]. Un collettore di circa 4 m^2 è sufficiente, alle nostre latitudini, per fornire da aprile ad ottobre acqua calda a uso domestico, compresa l'alimentazione di lavatrice e lavastoviglie, per una famiglia media. Superfici molto più estese di collettori possono essere usate per di riscaldamento a pavimento di edifici e anche per il raffreddamento estivo. Il solare termico è una tecnologia semplice, affidabile e poco costosa, il cui sviluppo è incentivato in vari modi da molti governi. In Italia c'è l'obbligo di installare collettori solari in tutte le nuove abitazioni per la copertura di almeno il 50% del fabbisogno di energia per l'acqua calda sanitaria.

Alla fine del 2010, su scala mondiale la potenza installata era di 185

GW_{th} , con un aumento del 16% rispetto all'anno precedente (Fig. 1) [5]. La Cina è di gran lunga il Paese più avanzato in questo campo. La Germania, con $9,8 \text{ GW}_{\text{th}}$, è il primo fra i Paesi europei, seguita da Austria ($3,2 \text{ GW}_{\text{th}}$) e Grecia ($2,9 \text{ GW}_{\text{th}}$). In rapporto al numero di abitanti, il Paese più avanzato alla fine del 2009 era Cipro, con $554 \text{ kW}_{\text{th}}$ per 1.000 abitanti, seguito da Israele ($391 \text{ kW}_{\text{th}}$). L'Austria ($315 \text{ kW}_{\text{th}}$) era il primo fra i Paesi europei, seguito da Grecia ($266 \text{ kW}_{\text{th}}$) e Germania ($102 \text{ kW}_{\text{th}}$). Alla fine del 2010, in Italia erano installati circa 2,5 milioni m^2 di moduli solari termici per una potenza complessiva di $1,8 \text{ GW}_{\text{th}}$. L'incremento annuale è di circa 500 mila m^2 , circa 4 volte in meno rispetto alla Germania.

Solare a concentrazione

Focalizzando mediante collettori parabolici lineari (o, più raramente, mediante un campo di specchi) i raggi solari su un fluido che assorbe il calore si possono ottenere alte temperature e generare vapore con cui ottenere energia elettrica [3]. Questa tecnologia, che richiede ampi spazi e forte insolazione, è particolarmente adatta per luoghi desertici. È infatti allo studio un gigantesco progetto denominato Desertec [6] che intende mettere in una stessa rete energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili differenziate presenti in vaste aree dell'Europa, Nord Africa e Medio Oriente, dove un forte contributo all'energia prodotta verrebbe da impianti solari a concentrazione localizzati nei deserti del nord Africa.

Dopo un periodo di stasi, il solare a concentrazione si è espanso notevolmente negli ultimi anni. Nel 2010 sono stati installati 478 MW, portando il totale a 1.095 MW , dei quali 632 MW installati nel sud della Spagna, dove sono in costruzione altri 946 MW . Piccoli impianti ibridi solare/gas-naturale sono stati installati nel 2011 in Egitto e Marocco. La forte riduzione dei costi del fotovoltaico potrebbe frenare l'espansione del solare termodinamico, che però offre il vantaggio di poter immagazzinare l'energia termica prodotta prima di convertirla in energia elettrica. In Italia, è stata inaugurata nel 2010 una centrale capace di generare 5 MW di potenza elettrica, utilizzando sali fusi come fluido termovettore.

Fotovoltaico (FV)

I pannelli fotovoltaici più usati sono attualmente quelli al silicio nelle sue varie forme (monocristallino, policristallino e amorfo). Hanno una durata di circa 30 anni e restituiscono in 1-3 anni, a seconda delle latitudini, l'energia che è stata necessaria per costruirli [3]. Il problema della fine vita dei pannelli e del riciclo dei materiali di cui sono costituiti è già stato affrontato da un pool di industrie [7] e regolamentato da una direttiva europea [8]. La produzione di energia elettrica fotovoltaica necessita di ampi spazi di raccolta, ma non così estesi come si potrebbe pensare. Un'indagine dell'Unione Europea ha riportato che anche se si volesse soddisfare il 100% del consumo elettrico europeo con pannelli fotovoltaici sarebbe sufficiente coprire circa lo 0,6% del territorio (0,8% nel caso dell'Italia) [9]. Gli impianti fotovoltaici sono posti usualmente sui tetti delle abitazioni, degli edifici commerciali e industriali o di altre strutture (Fig. 2). Se si mettessero a terra, in Italia sarebbe sufficiente coprire 1,7% dei terreni agricoli totali per produrre tutta l'elettricità che consumiamo [2]. Per soddisfare il fabbisogno di elettricità di una famiglia media alle nostre lati-

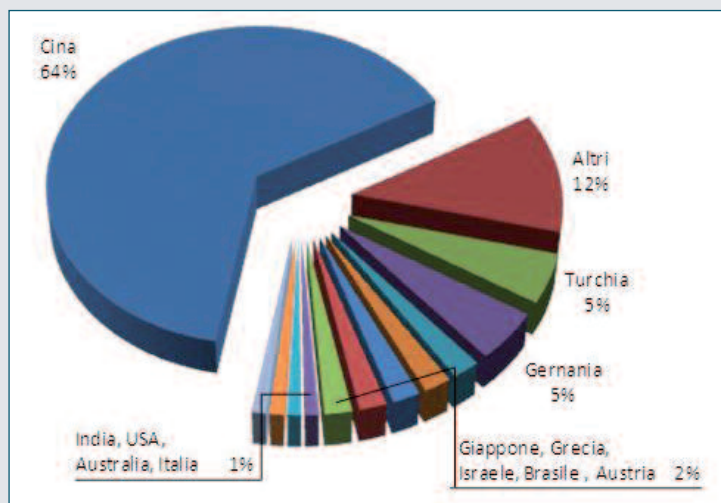


Fig. 1 - Ripartizione della potenza del solare termico nel 2010



Fig. 2 - Vari tipi di collocazione per i pannelli fotovoltaici

tudini occorre una superficie di circa 20 m² di pannelli fotovoltaici. Gli impianti fotovoltaici possono essere isolati oppure collegati alla rete di distribuzione elettrica. Nel primo caso hanno batterie per l'accumulo dell'energia prodotta durante il giorno, nel secondo scambiano energia con la rete in base ad accordi tariffari.

In seguito ad una notevole riduzione dei costi, il fotovoltaico è in forte espansione in tutto il mondo. All'aumento di 16,6 GW registrato nel 2010, ha fatto seguito nel 2011 un aumento di 27,7 GW che ha portato la potenza totale a 67,4 GW (Fig. 3) [10]. Lo sviluppo del fotovoltaico è particolarmente forte in Europa, che nel 2011 ha contribuito per il 75% all'aumento della potenza installata, con l'Italia (33%) nazione leader (Fig. 4). Nella classifica del totale installato a fine 2011 la Germania (23,8 GW) precede l'Italia (12,5 GW), il Giappone (4,7 GW), gli Stati Uniti (4,2 GW), la Spagna (4,2 GW) e la Cina (2,9 GW).

Si stima che alla fine 2011 il FV sia giunto a produrre 80 miliardi di kWh su base annua, equivalente all'energia che possono produrre 10 centrali nucleari da 1.000 MW. La potenza FV installata in Italia a fine ottobre 2011, 10 GW, generava su base annua 12 miliardi kWh, pari all'energia che avrebbe prodotto una delle centrali nucleari da 1.600 MW che si volevano costruire [1]. Alla fine del 2011 il FV copriva il 4,1% della domanda elettrica italiana, il 2% di quella europea e lo 0,5% su scala mondiale [10]. In Europa, il costo dell'elettricità generata dal FV, che era di 0,16-0,35 €/kWh nel 2010, potrebbe ridursi a 0,08-0,18 €/kWh nel 2020, a seconda delle dimensioni dell'impianto e del livello di irradiazione. Un'analisi basata sul Levelised Cost of Electricity indica che entro il 2013 in Italia si raggiungerà la *grid parity* con le turbine a gas a ciclo combinato, che sono quelle usate di giorno. La *grid parity* si allargherà poi rapidamente a tutti i Paesi europei [11].

Energia eolica

Gli impianti eolici comportano un uso ridotto del territorio, non hanno bisogno di raffreddamento, richiedono una manutenzione minima, resti-

tuiscono in pochi mesi l'energia utilizzata per costruirli e si possono mettere in opera e smantellare in tempi brevi con totale riciclo dei materiali usati [3]. Poiché il vento è intermittente su base giornaliera e stagionale, la capacità annuale effettiva di un impianto eolico si aggira attorno al 30%. L'aumento della potenza installata al mondo dal 1996 al 2011 è mostrato nella Fig. 5 [5]. La Cina, che ha una potenza di 44,7 GW, prevede di installare altri 30 GW entro il 2012, con l'obiettivo di ottenere entro il 2020 una potenza eolica doppia della potenza nucleare e di raggiungere i 1.000 GW nel 2050 [12]. Gli Stati Uniti nel 2011 hanno installato 3,4 GW, portandosi a 43,6, con altri 8,4 GW in costruzione [13]. Nel 2011 l'Europa-27 ha installato 9,6 GW (di cui 866 MW offshore), raggiungendo un totale di 94 GW capace di produrre, su base annua, 204 TWh, pari al 6,3% del consumo elettrico. La nazione leader è la Germania (2,1 GW), seguita da Gran Bretagna, Spagna e Italia (950 MW). I Paesi dove l'eolico ha fornito alte percentuali di elettricità sono la Danimarca (26%), il Portogallo (17%), la Spagna (15,9%), l'Irlanda (12%) e la Germania (11%). In Italia l'eolico ha generato il 4,2% dei consumi elettrici [14].

L'eolico offshore (3,6 GW alla fine del 2010), è in forte aumento, così come il microeolico.

Energia idroelettrica

L'idroelettrico è attualmente la risorsa rinnovabile più importante [15]. I vantaggi e gli svantaggi di questa fonte di energia sono discussi in dettaglio altrove [3]. Alla fine del 2010 la potenza idroelettrica totale era di 1.010 GW e forniva il 16% della produzione totale di elettricità. Le nazioni con maggiore capacità idroelettrica sono Cina, Brasile, Stati Uniti, Canada e Russia. Con i 16 GW installati nel 2010 la Cina ha raggiunto un totale di 213 GW e ha piani per installarne altri 140 GW entro cinque anni. In Italia, la potenza idroelettrica installata è 22 GW. Brasile e Canada coprono con l'idroelettrico rispettivamente l'80% e il 61% dei consumi elettrici. Si stanno molto sviluppando piccoli impianti idroelettrici, che hanno minore impatto ambientale. Un grande vantaggio dell'idroelettrico

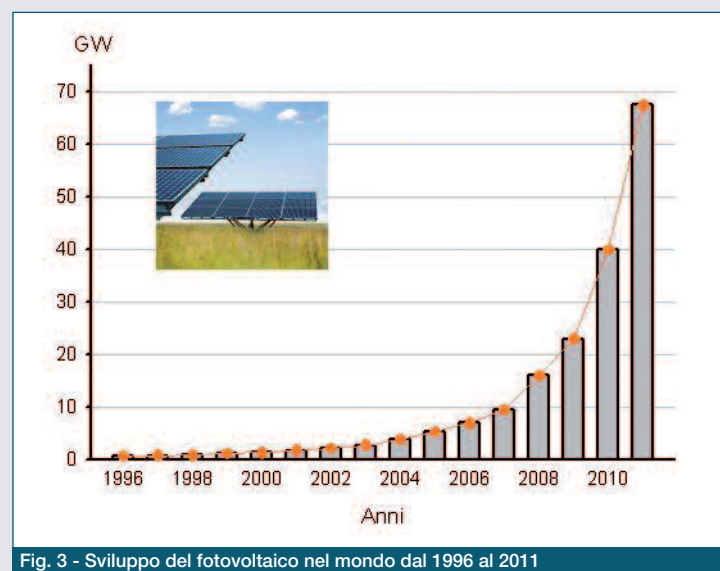


Fig. 3 - Sviluppo del fotovoltaico nel mondo dal 1996 al 2011

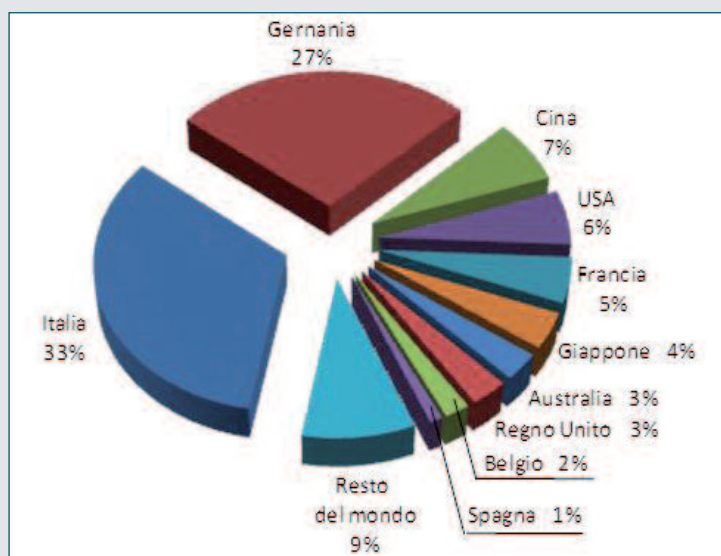


Fig. 4 - Ripartizione della potenza fotovoltaica nel 2011

è la possibilità di utilizzare gli impianti, se opportunamente costruiti, per immagazzinare energia pompando l'acqua da una riserva che si trova in basso ad una che si trova in alto. Questa possibilità è di grande interesse per equilibrare domanda ed offerta nelle nazioni dove sono sviluppate energie rinnovabili intermittenti. Si stima che attualmente nel mondo ci siano già 136 GW di pompaggio idroelettrico [16].

Energia geotermica

L'energia geotermica, che è rinnovabile solo se ben gestita, può essere usata per fornire elettricità o calore [3].

Alla fine del 2010, le installazioni per fornire elettricità con 11 GW installati in 24 Paesi erano in grado di fornire 67,2 TWh su base annua. Il Paese leader era gli Stati Uniti (3,1 GW), seguiti da Filippine (1,9 GW), Indonesia (1,2 GW), Messico (1,0 GW) ed Italia (0,9 GW). In diverse nazioni ci sono grandi progetti di sviluppo. La parte termica si stima abbia raggiunto 51 GW_{th} alla fine del 2010 [5]. Lo sviluppo è in gran parte dovuto all'uso di quasi 3 milioni di pompe di calore (35,5 GW_{th}). La nazione leader sono gli Stati Uniti con 12,6 GW_{th} di potenza installata, seguiti da Cina (9 GW_{th}) e Svezia (4,5 GW_{th}). Sono in costruzione molti impianti per la produzione combinata di elettricità e calore.

Energia dal mare

Si può ottenere energia elettrica dal mare sfruttando le maree, le onde e le differenze di temperatura fra acque profonde e superficiali [3]. Si tratta in molti casi di tecnologie immature, sperimentate in piccoli impianti a livello di prototipo. Fa eccezione lo sfruttamento della marea, che nel 2011 si stima abbia prodotto 520 MW. Dettagli sulle tecnologie [3] e una ricognizione sui progetti in corso [5] sono stati recentemente riportati.

Biocombustibili

Per rappresentare un'alternativa credibile ai combustibili fossili, i biocombustibili devono (i) fornire un guadagno energetico, (ii) offrire benefici dal punto di vista ambientale, (iii) essere economicamente competitivi e (iv)

non competere con la produzione di cibo [3]. Spesso queste condizioni non sono verificate. In ogni caso, i biocombustibili possono dare solo un modesto contributo per sostituire i combustibili fossili. Il biodiesel però potrebbe rappresentare un'interessante alternativa per il settore aeronautico, il cui consumo mondiale è di circa 241 miliardi di litri/anno di kerosene di cui un ¼ viene consumato dalle compagnie europee [17].

Biogas

Il biogas, prodotto per fermentazione anaerobica di residui organici di varia origine (liquami zootecnici, fanghi di depurazione, scarti agro-industriali), è costituito prevalentemente da metano (50-80%) e dopo un opportuno trattamento può essere immesso nella rete di distribuzione del gas naturale (biometano).

In India, alla fine del 1998, erano operativi 2,8 milioni di impianti a biogas, su un potenziale stimato di 12 milioni [18]. Anche in Europa si è osservata una costante crescita e nel 2009 è stato stimato un giro d'affari di circa 4,4 miliardi di euro con un indotto di circa 40 mila posti di lavoro [19]. Nel 2010 la produzione di energia primaria è stata di circa 11 MTEP con 30 TWh di energia elettrica, di cui il 30% proveniente dagli impianti per la gestione della frazione organica dei rifiuti. Il 60% degli impianti è localizzata in Germania e il 15% in UK.

La produzione italiana (2.600 persone occupate) è di 478 TEP di energia primaria e 2 TWh di produzione elettrica, con un incremento tendenziale di circa l'8% all'anno, rispetto al 58% della Germania. Il vuoto normativo impedisce all'Italia di poter immettere il biogas purificato nella rete di distribuzione del gas naturale, come già avviene in molti Paesi. In Svezia oltre il 50% del metano utilizzato per autotrazione è biometano [20]. La Germania si è posta l'obiettivo di produrre 10 miliardi di metri cubi di biometano entro il 2030, quantità che corrisponde a quella potenzialmente producibile ogni anno in Italia dalla gestione degli scarti agro-alimentari, discariche e deiezioni zootecniche [21]. Si tratta di una quantità non indifferente perché rappresenta circa il 10% degli 80 miliardi di metri cubi consumati annualmente nel nostro Paese.

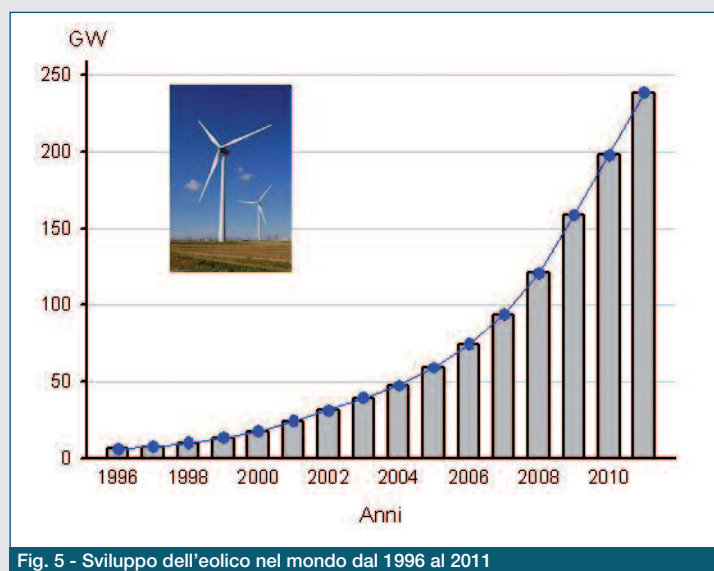


Fig. 5 - Sviluppo dell'eolico nel mondo dal 1996 al 2011

Bioetanolo

Il bioetanolo viene ottenuto dal granturco (50%), soprattutto negli Stati Uniti, e dalla canna da zucchero (30%), principalmente in Brasile. La produzione totale nel 2010 è stata di 86 miliardi di litri, di cui 49 miliardi di litri prodotti negli Stati Uniti, con un incremento del 17% rispetto al 2009 [5]. Circa il 3% della produzione mondiale di granturco viene trasformata in bioetanolo, che viene miscelato in diverse concentrazioni con la benzina. In Europa, i più forti produttori di bioetanolo sono Francia e Germania, ma nel 2010 il maggior incremento nella produzione si è avuto in Gran Bretagna.

Biodiesel

Il biodiesel è ottenuto da oli vegetali (soia, girasole, palma, granturco) o da grassi animali [3]. La produzione di biodiesel è diffusa in molti Paesi e nel 2010 ha raggiunto i 19 miliardi di litri (circa il 10% di quanto occorrerebbe per coprire il consumo annuale di kerosene nell'aeronautica) con una capacità massima di 40 miliardi di litri [22]. Nel 2010 il 53% della produzione era in Europa, con la Germania nazione leader (2,9 miliardi di litri), seguita da Francia, Spagna ed Italia (706 milioni di litri). Nel 2011, però, in Europa c'è stato un calo di produzione del 20% a causa del prezzo più basso del prodotto importato, particolarmente da Indonesia e Argentina [23]. Le quote di miscelazione obbligatoria sono aumentate nell'agosto scorso in diversi Paesi. In Italia la quota è del 4% [24].

Biomasse legnose

Il legno è una materia prima molto abbondante. L'86% della biomassa solida è prodotta e consumata in Paesi non OCSE mentre, tra i Paesi OCSE i maggiori produttori sono gli Stati Uniti, con una quota del 37% [25]. Nel 2009 l'energia primaria prodotta da biomasse solide a livello mondiale era di circa 277 MTEP [5]. In Europa, nel 2009 il giro d'affari era di € 36 miliardi, con un indotto di circa 300 mila posti di lavoro. Nel 2010 sono stati prodotti 80 MTEP in Europa, con aumento del 10% rispetto al 2009 [19]. Il principale produttore europeo di energia primaria da biomassa solida nel 2010 è stata la Germania con 12 MTEP (10 TWh di energia elettrica), mentre l'Italia ha prodotto 3 MTEP (2 TWh di energia elettrica).

Pianificazione strategica

Necessità di un sistema integrato

L'astronave Terra ha tre grossi problemi per quanto riguarda le risorse energetiche: 1) esaurimento in tempi relativamente brevi delle risorse attualmente in uso (combustibili fossili); 2) accumulo di grandi quantità di CO₂ nell'atmosfera; 3) forti disuguaglianze di disponibilità di energia fra le nazioni [3]. Con l'aggravarsi di questi problemi, l'astronave non sarà più in grado di far fronte alle esigenze dei suoi passeggeri nei prossimi secoli e, forse, neppure nei prossimi decenni. È necessario quindi sviluppare una strategia per gestire in modo integrato i vari aspetti del proble-

ma energetico. I pilastri fondamentali di questa strategia sono due: 1) la riduzione dei consumi che, da un lato, permetterà di ridurre l'accumulo di CO₂ nell'atmosfera e, dall'altro, allungherà nel tempo la disponibilità dei combustibili fossili; 2) lo sviluppo delle energie rinnovabili che, come abbiamo visto, è già iniziato con grande impeto negli ultimi anni. Questi due aspetti vanno integrati perché agiscono in modo sinergico: da una lato, più riusciremo a sviluppare le energie rinnovabili e meno avremo bisogno di usare i combustibili fossili; dall'altro, più riusciremo a contenere i consumi e meno energia da fonti rinnovabili dovremo produrre. Questo secondo aspetto è molto importante perché, come vedremo più avanti, anche se l'energia rinnovabile è abbondante, ci sono limiti nella capacità di trasformarla in energia per usi finali.

Mondo

L'effetto negativo dell'uso dei combustibili fossili sull'ambiente e, in particolare, sul clima, incominciò a evidenziarsi durante lo sviluppo economico degli anni Settanta e Ottanta. Nel giugno 1992 fu organizzata a Rio de Janeiro una conferenza mondiale, passata alla storia come *Conferenza di Rio* [26], nella quale si elaborò una convenzione quadro sui cambiamenti climatici che portò poi alla stesura del protocollo di Kyoto. Più di centottanta delegazioni governative ratificarono la Dichiarazione di Rio [27] contenente una serie di principi, fra cui il Principio di precauzione^a, concernenti le responsabilità ed i diritti degli Stati nel cercare di tenere assieme le esigenze dello sviluppo con quelle della salvaguardia ambientale. Il Piano d'Azione scaturito da quest'accordo, conosciuto come Agenda 21 [28], consiste in una pianificazione delle azioni da intraprendere, a livello mondiale, nazionale e locale in relazione sia alle emergenze climatico-ambientali che a quelle socio-economiche dell'umanità. Agenda 21 promuove l'agire locale per rendere le persone consapevoli riguardo i problemi globali. Il Principio di precauzione è stato da tempo applicato nel Sistema Integrato di Gestione dei Rifiuti con un approccio che si può così riassumere: se la produzione di rifiuti comporta un impatto ambientale insostenibile, occorre mettere in atto anzitutto la prevenzione (cioè l'educazione a produrre meno rifiuti) e, in successione di priorità, il riutilizzo, il riciclaggio, il recupero di energia e infine la messa in discarica per ciò che non è più recuperabile. Questi criteri sono ormai entrati nella cultura generale e sono alla base delle scelte consapevoli delle imprese e dei cittadini più attenti al problema ambientale. L'emergenza ambientale e sociale che è causata dall'uso dei combustibili fossili [3], va affrontata con gli stessi criteri: anzitutto, con la prevenzione (cioè l'educazione a limitare i consumi energetici mediante risparmio ed aumento di efficienza), poi con lo sviluppo e ottimizzazione di fonti alternative di energia, tenendo ben presente che l'energia non è una variabile indipendente nel complesso sistema dell'astronave Terra che ci ospita. Secondo i principi della Dichiarazione di Rio dobbiamo, quindi, cercare fonti alternative capaci non solo di garantire a tutti una sufficiente quantità di energia, ma anche di sviluppare un'economia solidale, custodire il pia-

^a Principio di precauzione: «Al fine di proteggere l'ambiente, un approccio cautelativo dovrebbe essere ampiamente utilizzato dagli Stati in funzione delle proprie capacità. In caso di rischio di danno grave o irreversibile, l'assenza di una piena certezza scientifica non deve costituire un motivo per differire l'adozione di misure adeguate ed effettive, anche in rapporto ai costi, dirette a prevenire il degrado ambientale».

neta, rafforzare la coesione sociale e favorire la pace. Su questi principi si incardina tutta la politica energetica europea, che si può considerare la più avanzata a livello mondiale. Come abbiamo già visto, in molti Paesi le energie rinnovabili sono in una fase di forte sviluppo, per cui si può dire che la transizione energetica è già iniziata^b. Mentre gli Stati Uniti non hanno obiettivi ben definiti, l'Unione Europea (Eu-27) per il 2020 ha fissato una quota del 20% e la Cina del 15%.

Unione Europea

L'Unione Europea ha pienamente raccolto l'invito della Dichiarazione di Rio rendendolo esplicito nella politica comunitaria. Mentre alcuni Paesi europei, prima fra tutti la Germania, hanno avviato da tempo la transizione verso un sistema energetico fondato sulle energie rinnovabili, in altri Paesi non si è ancora fatto strada il concetto che una simile transizione non solo è inevitabile, ma in realtà sta già avvenendo. L'Unione Europea ha messo in atto una strategia basata su alcune Direttive fondamentali che, utilizzando l'approccio tipico dei Sistemi Integrati di Gestione, impongono agli Stati Membri un progressivo adeguamento nella direzione degli obiettivi da raggiungere.

- *Riduzione delle emissioni di anidride carbonica.* Questo aspetto è regolato dalla direttiva 87/2003/CE conosciuta come "Emissions Trading", connessa al Protocollo di Kyoto, con la quale si è istituito un sistema europeo per lo scambio di quote di emissione dei gas serra tra gli Stati Membri;

- *Riduzione dei consumi di energia.* Questo obiettivo viene perseguito mediante (i) la direttiva 91/2002/CE che impartisce disposizioni circa l'efficienza energetica edifici, (ii) la direttiva 32/2005/CE che definisce i criteri di ecodesign con cui devono essere prodotti i nuovi beni e (iii) la direttiva 32/2006/CE che determina specifici parametri circa l'efficienza dei servizi energetici. Una nuova direttiva sull'efficienza energetica, che sarà pronta nel luglio 2014, definirà gli obiettivi che obbligatoriamente tutti gli Stati Membri dovranno raggiungere al 2020 per quanto riguarda la riduzione dei consumi.

- *Incremento dell'energia prodotta da fonte rinnovabile.* Di questo obiettivo si occupa la direttiva 92/1996/CE che obbliga i distributori di servizi energetici ad immettere in rete elettricità prodotta da impianti a fonti rinnovabili affinché tutti i consumatori siano obbligati ad utilizzare una quota prefissata di energia verde.

Il percorso iniziato dalla Comunità Europea nel 1996 ha portato nel dicembre 2008 alla approvazione del *Pacchetto Clima-Energia* [29] con il quale vengono delineate misure strettamente integrate per giungere nel 2020 all'obiettivo strategico di ridurre le emissioni di anidride carbonica (-20%) e il consumo d'energia (-20%), e di aumentare la quantità di energia prodotta da fonti rinnovabili (+20%). La Direttiva più significativa è la 28/2009/CE nella quale si definiscono le quote di energia da fonti rinnovabili sui consumi finali lordi che ogni Stato Membro dell'Unione Europea dovrà porsi come obiettivo per il 2020. Per l'Italia la quota è il 17%. Que-



sta direttiva riguarda anche i trasporti e prevede, per tutti gli Stati Membri, una quota del 10% di energia prodotta da fonti rinnovabili sui consumi finali lordi. Nel luglio 2009, i leader dell'Unione Europea e del G8 hanno annunciato di voler ridurre dell'80% le emissioni di gas serra nel 2050 rispetto al 1990. Nell'ottobre 2009, il Consiglio Europeo ha ratificato la linea di indirizzo e l'European Climate Foundation ha iniziato uno studio che nell'aprile 2010 ha portato alla *Roadmap 2050: a practical guide to a prosperous, low-carbon Europe* [30]. Nel marzo 2011, la Commissione Europea ha adottato definitivamente questo documento e ha invitato gli Stati Membri e i Paesi candidati a tenerne conto nell'elaborazione delle future politiche energetiche. La Commissione intende presentare la *Road Map 2050* a livello internazionale, al fine di rilanciare negoziati per un'azione planetaria. Quindi, già oggi sappiamo che il raggiungimento degli obiettivi previsti per il 2020 rappresentano soltanto un primo stadio che ci proietterà verso traguardi ben più impegnativi nel 2050. A metà di questo secolo, gran parte della transizione da un'Europa schiava di combustibili fossili che non possiede^c ad un'Europa che funziona con energie rinnovabili sarà compiuta. La direttiva 28/2009/CE integra due azioni fondamentali: riduzione dei consumi e produzione di energia da fonte rinnovabile. Se si presume che il consumo finale lordo al 2020 sarà elevato, l'obbligo di produrre una forte quota di rinnovabili impone un notevole sforzo di investimento in questo settore. Se invece il consumo finale lordo al 2020 sarà basso, sarà molto più facile raggiungere la quota richiesta di energia da fonti rinnovabili. È ovvio, quindi, che si dovrà fare ogni sforzo per ridurre i consumi energetici, tanto più che se uno stato non raggiunge la quota ad esso assegnata di rinnovabili sarà costretto ad appianare il debito attraverso l'acquisto di energia rinnovabile da quegli stati che avranno maturato crediti superando le quote loro assegnate. Nel 2010, nella EU-27 l'energia rinnovabile ha coperto il 12,4% del consumo finale lordo (11,5% nel 2009), il 19,8% del consumo finale lordo del settore elettrico (18,2% nel 2009) e il 9,9% del settore residenziale (9,1% nel 2009) [31].

^b Spesso si critica il fatto che l'uso delle energie rinnovabili è incentivato, dimenticando che le forme di energia oggi in uso hanno ricevuto e tuttora ricevono ingenti incentivi statali (in particolare, nucleare e combustibili fossili [39]) e causano danni enormi i cui costi alla fine ricadono sulla comunità [40].

^c Si stima che l'Europa spenda 1 miliardo di € al giorno solo per importare petrolio [41].



Italia

In quanto Stato Membro della Comunità Europea, l'Italia deve necessariamente sviluppare una road-map energetica in linea con la road-map europea. Nel nostro Paese, però, il concetto che la transizione energetica è inevitabile fa fatica a farsi strada. L'Italia, che è già in mora per non aver ottemperato agli obblighi dell'*emission trading*, secondo il Piano d'Azione Nazionale emanato dal Governo nel giugno 2010 avrà un debito di produzione di energia rinnovabile di circa 1,1 MTEP nel 2020, debito che dovrà ripianare importando energia rinnovabile da altri Stati. D'altra parte, lo si voglia o meno, la transizione energetica è già in atto anche in Italia. Nel 2011 gli occupati nel settore delle rinnovabili erano 86 mila, rispetto a 41 mila del 2010. A questa forte crescita si contrappone un calo dell'occupazione nei settori dei combustibili fossili e dell'energia elettrica tradizionale. L'Osservatorio Nomisma prevede un investimento di € 14,1 miliardi sulle rinnovabili nel 2016, pari a quelli previsti per il settore gas e petrolio (€ 15 miliardi) [32].

La già citata Direttiva 28/2009 definisce i criteri di responsabilità oggettiva attraverso un meccanismo a cascata (*burden sharing*) secondo cui lo Stato Membro, recepita la quota obbligatoria di energia rinnovabile da raggiungere al 2020, provvede a suddividerla fra i suoi enti locali di riferimento, che nel nostro caso sono le Regioni; le quali, poi, provvederanno a suddividere la loro quota fra i comuni. Questo meccanismo a cascata di fatto assegna al sindaco di ogni singolo Comune la responsabilità di contribuire su scala locale al raggiungimento degli obiettivi obbligatori per la sua Regione.

Il 20 gennaio 2012, il Governo italiano ha emanato uno schema di decreto per la ripartizione delle quote locali [33]. Questo decreto, che è diventato operativo dopo l'intesa stato-regioni del 22 febbraio scorso [34], oltre a ripartire tra le Regioni il compito per raggiungere l'obiettivo, fornisce anche gli strumenti di intervento, compreso il commissariamento, sulle amministrazioni regionali inadempienti.

Poiché i debiti di una Regione saranno generati dai Comuni che non hanno raggiunto gli obiettivi loro assegnati, ogni Comune deve deliberare una strategia energetica integrata e sarà obbligato a redigere un

bilancio energetico annuale, così come oggi si redigono i bilanci economici annuali. Il Piano Energetico Comunale, dovendo individuare chi consuma, dove si consuma, come si può risparmiare energia e quanta energia da fonte rinnovabile si può produrre, assumerà le caratteristiche di un patto sociale a livello locale.

Il Sindaco e la cittadinanza diventano, dunque, i protagonisti e, allo stesso tempo, i responsabili della transizione energetica attraverso il meccanismo dell'agire localmente per raggiungere obiettivi su più ampia scala: regionali, nazionali e, infine, europei. In questo contesto si incardina quello che la Comunità Europea ha chiamato "Patto dei Sindaci", attualmente su base volontaria, col quale un Sindaco si impegna a raggiungere precisi obiettivi entro il 2020.

I consumi finali lordi su scala comunale si suddividono grossolanamente come segue:

- 1) 50% di energia termica (riscaldamento, acqua calda sanitaria, fornelli), che si ottiene principalmente con consumo di metano;
- 2) 30% di energia per i trasporti (automobili, autobus, autocarri), che si ottiene principalmente con consumo di derivati del petrolio;
- 3) 20% di energia elettrica (di cui il 20% viene consumata nelle case e la parte restante nell'industria e nel terziario), che viene generata principalmente mediante metano ed energia idroelettrica e, in misura minore, con carbone.

Nel nostro Paese, le fonti rinnovabili strategiche sono il fotovoltaico e l'eolico per la produzione di energia elettrica, il solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria e le biomasse per la produzione di energia elettrica e riscaldamento. Oggi, è necessario produrre con le energie rinnovabili prevalentemente energia termica, mentre in futuro ci sarà bisogno di energia elettrica per sostituire le caldaie a gas con le pompe di calore, il riscaldamento a radiatori con il riscaldamento a pavimento e le auto a combustibile fossile con auto elettriche.

La transizione energetica più complessa sarà quella nel settore trasporti. Nel nostro Paese, una strategia possibile si basa sulla sostituzione dei tradizionali vettori energetici (benzina e diesel) con il metano e l'energia elettrica che risparmieremo mediante riduzione dei consumi ed l'efficienza energetica. Il Piano d'Azione italiano sull'Efficienza Energetica (PAEE) [35] ha delineato uno scenario di risparmio energetico di 33 TWh/anno al 2016 e 73 TWh/anno al 2020, pari al 21,5% (6,6 MTEP) dei consumi finali di energia elettrica, mentre il risparmio complessivo annuale di gas metano si stima in circa 40 milioni di metri cubi (circa 32 MTEP) tenendo conto di tutti i settori di consumo e della produzione di energia rinnovabile [36]. Questi 39 MTEP potrebbero coprire il 90% circa di tutti i consumi nel settore dei trasporti, riducendo così la dipendenza dal petrolio senza aumentare le importazioni di gas.

Utilizzo e accumulo di energia elettrica

La maggior parte delle energie rinnovabili (fotovoltaico, solare a concentrazione, eolico, idroelettrico e geotermico) producono direttamente elettricità, alcune in modo fluttuante. Nel 2005, un rapporto pubblicato in Germania sosteneva che una rete convenzionale può tollerare al massimo il 15% di energia intermittente, limite che è già stato ampia-

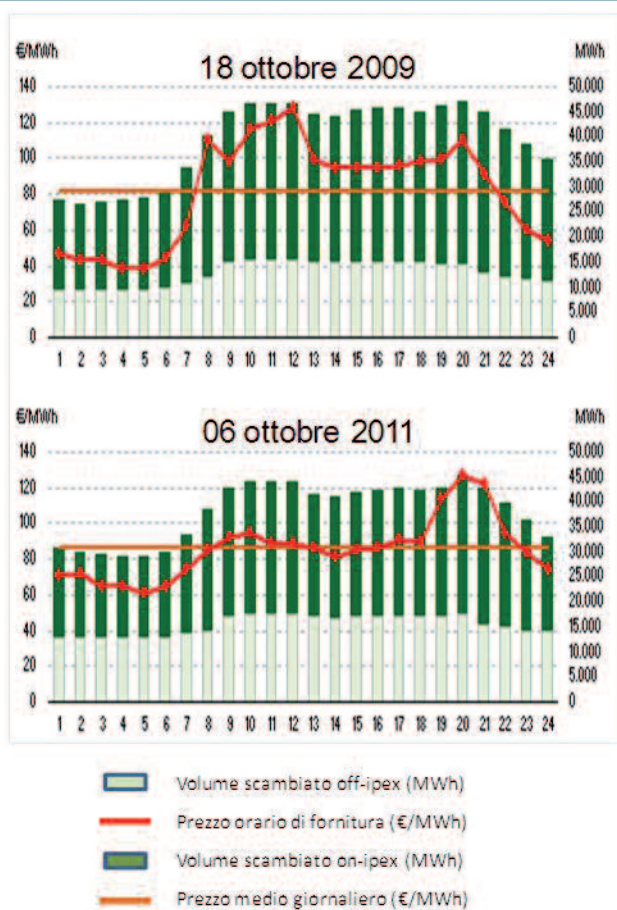


Fig. 6 - Prezzo orario di fornitura, prezzo medio giornaliero e volumi di energia elettrica complessivamente scambiati ogni ora come somma dei volumi on-ipex e off-ipex in due giornate lavorative a confronto: 18 ottobre 2009 e 06 ottobre 2011

mente superato in Germania e in Italia nelle ore di picco senza problemi, utilizzando l'accesso alla rete elettrica internazionale e la disconnessione di impianti eolici ed idroelettrici.

Nel 2009, durante il dibattito sul ritorno dell'energia nucleare in Italia, alcuni "esperti" sostenevano che le rinnovabili non avrebbero mai potuto dare un contributo sostanziale al nostro sistema energetico. Appena due anni dopo, queste affermazioni sono state sconfessate dall'installazione di 13 GWp di fotovoltaico e 8 GW di eolico, che si sono aggiunti ai 20 GW già esistenti di idroelettrico. Oggi le fonti rinnovabili con 41 GWp di potenza nominale potrebbero fornire circa l'80% dei quasi 50 GW di potenza richiesta alla rete nelle ore di picco, tra le 11 e le 13. Purtroppo la potenza dell'eolico non si riesce a sfruttare pienamente per il mancato adeguamento della rete elettrica alla transizione energetica.

L'incidenza del fotovoltaico sul sistema elettrico in Italia è evidenziato dal fatto che il prezzo del kWh alla borsa elettrica durante le ore di picco è crollato del 30% dall'ottobre 2009 all'ottobre 2011 (Fig. 6). Il picco di consumo delle risorse tradizionali si registra oggi alle ore 20, quando gli impianti solari non forniscono più energia [37].

Per facilitare la transizione energetica è necessario sviluppare un'efficiente rete elettrica di distribuzione e raccolta (smart grid) e sistemi

capaci di immagazzinare l'energia elettrica sotto altre forme; ad esempio, batterie e generatori elettrolitici di idrogeno [3]. Si possono anche sfruttare le centrali idroelettriche a pompaggio che hanno prodotto 4,3 TWh nel 2009 immagazzinando l'energia nucleare importata di notte a basso costo dalla Francia. Un interessante sistema di micro-accumulo è fornito da volani di piccola taglia, semplici, poco costosi e ad alto rendimento (fino al 96%).

Conclusioni

Le energie rinnovabili (solare, eolica, idroelettrica e geotermica), assieme ad un forte azione di risparmio ed efficienza energetica, offrono una strada, forse l'unica, per uscire dalla crisi energetica e climatica. L'Europa ha imboccato questa strada e per l'Italia, che non ha carbone, non ha petrolio, non ha metano e non ha neppure uranio, sarà molto vantaggioso seguirla.

È una strada, però, non priva di ostacoli materiali e culturali. Pannelli fotovoltaici, pale eoliche, batterie, pile a combustibile, rete elettrica intelligente e tutti gli altri dispositivi necessari per convertire le energie rinnovabili e permetterne un uso proficuo richiedono l'utilizzo di materiali che sono relativamente scarsi sul nostro pianeta; ad esempio, litio, platino, rodio, iridio e quasi tutti gli elementi delle terre rare (Fig. 7) [38]. L'utilizzo delle abbondanti, inesauribili e ben distribuite energie rinnovabili troverà un limite nella disponibilità dei materiali necessari per la loro conversione.

È ancor più necessario, quindi, un salto culturale che faccia comprendere a tutti che, vivendo su un'astronave che ha risorse limitate, i consumi non possono crescere all'infinito e che, se vogliamo vivere in pace, le risorse vanno più equamente distribuite. Nei Paesi sviluppati si deve cambiare stile di vita, anche per essere di esempio ai Paesi in via di sviluppo. Dobbiamo uscire dal consumismo e dalla civiltà dell'usa e getta, risparmiare le risorse, usarle in modo intelligente, riciclarle e sviluppare la ricerca scientifica per aumentare l'efficienza delle conversioni energetiche e dei processi di accumulo di energia e abbassare il costo dei dispositivi utilizzati.



Fig. 7 - La preziosità delle terre rare è evidenziata da questo monumento posto nel campo eolico di Damao, Cina. La scritta dice: "La casa delle terre rare ti dà il benvenuto". Ogni megawatt di potenza delle turbine eoliche richiede 1 tonnellata di terre rare per i magneti permanenti.

Bibliografia

- [1] V. Balzani *et al.*, *Chimica e Industria*, 2012, **94** (2), 80.
- [2] N. Armaroli, V. Balzani, *Energia per l'astronave Terra*, Nuova edizione aggiornata ed ampliata con gli scenari energetici per l'Italia di domani, Zanichelli, Bologna 2011
- [3] N. Armaroli, V. Balzani, *Energy for a Sustainable World*, Wiley-VCH, Weinheim 2011.
- [4] www.eeb.org/EEB/?LinkServID=41FFA309-5056-B741-DBFD725B2A886A5F
- [5] Renewables 2011, Global status Report, www.un-energy.org/sites/default/files/share/une/ren21_gsr2011.pdf
- [6] Desertec Foundation, www.desertec.org/
- [7] www.pvcycle.org/
- [8] Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l21210_en.htm
- [9] M. Sári *et al.*, *Solar Energy*, 2007, **81**, 1295.
- [10] Market Report 2011, www.epia.org
- [11] EPIA, Solar Photovoltaics, Competing in the Energy sector, www.helapco.gr/ims/file/reports/tn_jsp.pdf
- [12] Reuters U.S edition, October 2011, www.reuters.com/article/2011/10/19/us-china-power-wind-idUSTRE791ED20111019
- [13] Wind energy outlook 2012, www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/12/wind-energy-outlook-2012-an-uncertain-forecast
- [14] Wind in power, 2011 European Statistic, February 2012, www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/statistics/Stats_2011.pdf
- [15] International Hydropower Association (IHA), London, 2010, www.hydropower.org/downloads/ActivityReports/IHA_Activity_Report_2010.pdf
- [16] Costi e benefici del fotovoltaico, ANIE, ottobre 2011, www.anie.it/
- [17] European Biofuels Technology Platform, www.biofuelstp.eu/air.html
- [18] G.A. Pagnoni, *Impianti a biomasse per la produzione di energia*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2011.
- [19] EurObserv'ER, www.eurobserv-er.org/
- [20] C. Fabbri, M. Soldano, *Agricoltura*, Settembre 2010, 92.
- [21] S. Piccinini *et al.*, *Energia dal biogas prodotto da effluenti zootecnici, biomasse dedicate e di scarto*, Centro Ricerche Produzioni Animali, 2008, www.crpa.it
- [22] Biodiesel 2020: a global market survey, Multi-client study, 2nd Edition, Emerging Markets Online, 2008, www.emerging-markets.com/biodiesel/
- [23] Agricoltura Notizie, *Biodiesel, in calo la produzione*, www.agrinotizie.com/articoli/news.php?id=1255
- [24] *Biodiesel Magazine*, August 2011, www.biodieselmagazine.com/articles/8007/eu-member-states-increase-biofuel-blending-quotas
- [25] IEA, International Energy Agency, www.iea.org.
- [26] UN Conference on Environment and Development, 1992, www.un.org/geninfo/bp/enviro.html
- [27] Report of the United Nations conference on environment and development, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992, www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-4.htm
- [28] UN Department of Economics and Social Affairs, Division for Sustainable Development, www.un.org/esa/dsd/agenda21/
- [29] Parlamento Europeo, Pacchetto clima-energia, obiettivo: 20/20/20, www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+XML+V0//IT
- [30] European Climate Foundation, Roadmap 2050, www.roadmap2050.eu/
- [31] EurObserv'ER www.eurobserv-er.org/pdf/press/year_2012/bilan/english.pdf
- [32] Osservatorio Nomisma Energia, Rapporto Energia/24, *Il Sole 24 Ore*, 21 febbraio 2012.
- [33] Governo Italiano, Conferenze Stato Regioni ed Unificate, www.statoregioni.it
- [34] www.rinnovabili.it/energia/fotovoltaico/burden-sharing-finalmente-l%E2%80%99intesa-tra-stato-e-regioni890/
- [35] Piano d'Azione Efficienza Energetica, www.federca.it/news/energia_e_casa/documenti/PAEE.pdf
- [36] L. Setti, V. Balzani, *Rendiconti Accademia dei Lincei*, Springer, 2011, **22**, 55.
- [37] GME, Gestore Mercati Energetici, www.mercatoelettrico.org/En/
- [38] a) E. Davis, *Chemistry World*, January 2011, 50;
b) A. Turley, *Chemistry World*, January 2012, 18.
- [39] J. Johnson, *Chem. Eng. News*, 2011, **51**, 30.
- [40] N. Stafford, *Chemistry World*, January 2012, 9.
- [41] J. Murray, D. King, *Nature*, 2012, **481**, 435.

ABSTRACT

How to escape from the energy and climate crisis. Part 2. Energy saving, energy efficiency and renewable energies

Integration of energy saving, energy efficiency, and development of renewable energy will lead mankind out of the energy and climate crisis. Europe has a well defined strategy in this regard. The energy transition is already happening, but its success requires a cultural change. We must recognize that fossil fuels have to be phased out, convince ourselves that the quality of life is not necessarily related to energy consumption, realize that we live in a planet with limited resources, and understand that disparity in energy availability is a destabilizing factor in the human society.