

Accademia Nazionale dei Lincei

Commissione Energia

Vincenzo Balzani (presidente)

Salvatore Califano

Sergio Carrà

Giorgio Parisi

Antonio Pedone

Francesco Pegoraro

Carlo Rubbia

Bruno Zanettin

Relazione Finale

10 giugno 2010

1. PREMESSA

Lo sviluppo sociale ed economico di una parte dell'umanità, associato a una inarrestabile globalizzazione dei rapporti economici, ha portato a un continuo aumento dei consumi energetici e a una pressante richiesta di nuove fonti di energia che nei paesi economicamente sviluppati e ad alta produzione industriale hanno raggiunto livelli non facilmente sostenibili. La crescita dei consumi energetici è particolarmente rilevante in paesi in via di sviluppo come l'India e la Cina nei quali l'aumento della popolazione e lo sviluppo dell'industria, delle comunicazioni e dei trasporti produce una crescente levitazione della domanda energetica e dei costi a livello internazionale che minaccia la stabilità dei sistemi economici di tutti i paesi, e che produce tensioni politiche e sociali che possono avere gravissimi sviluppi nell'immediato futuro.

Nel 2009 nel mondo è stata consumata una quantità di energia pari a 11164 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio, corrispondenti a 15,2 terawatt (TW) di potenza all'anno, suddivisa per fonti come mostrato in Tabella 1. Il consumo energetico italiano corrisponde ad una potenza di circa 0,26 TW, di cui 0,042 TW di potenza elettrica (16% circa del totale).

Per effetto della crisi economica, l'aumento dei consumi energetici è diminuito negli ultimi tempi, ma tutte le previsioni lasciano pensare che questo effetto sia solo provvisorio e che con la rapida crescita dello sviluppo industriale dei grandi paesi asiatici sarà in breve annullato.

Tabella 1.
Potenza utilizzata nel mondo (2009)

Fonte energetica	Potenza (TW)
Petrolio	5,2
Gas naturale	3,5
Carbone	4,4
Idroelettrico	1,0
Nucleare	0,8
Geotermia, eolico, solare, legno	0,3
Totale	15,2

I combustibili fossili, carbone, petrolio e gas naturali sono tuttora le fonti principali di energia utilizzate in tutto il mondo. Il consumo di combustibili fossili e il suo impatto sul clima è stato affrontato dalla comunità europea con un Pacchetto di azioni intitolato "Clima-Energia", meglio noto come pacchetto 20/20/20, finalizzato ad una riduzione dei consumi soprattutto attraverso operazioni di risparmio ed efficienza, ma anche di maggiore ricorso all'utilizzazione di fonti rinnovabili. L'integrazione di queste misure è considerata necessaria per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra al fine di rispettare il protocollo di Kyoto e gli ulteriori impegni assunti a livello comunitario e

internazionale oltre il 2012. Purtroppo il recente fallimento del convegno del G8 di Copenaghen ha creato una situazione interlocutoria nelle discussioni sui problemi climatici, che potrebbe parzialmente modificare i programmi precedenti.

I problemi di costi dell'energia e di inquinamento ambientale hanno seriamente allarmato l'opinione pubblica di tutti i paesi, dando origine a ondate di discussioni e di dibattiti pubblici, amplificati da mass media non sempre correttamente informati e capaci di fornire valutazioni scientificamente sostenibili dei vantaggi e svantaggi relativi delle tecnologie attualmente in uso per la produzione di energia.

L'Accademia Nazionale dei Lincei ha quindi ritenuto suo dovere affrontare queste tematiche, costituendo una commissione per discutere i problemi connessi alla produzione di energia e alla valutazione dei consumi energetici del paese, in modo da fornire all'opinione pubblica e ai responsabili delle decisioni politiche informazioni scientificamente documentate e basate su dati internazionalmente accettati.

La commissione ha raccolto un massa importante di informazioni sui costi e sui consumi dell'energia dando incarico a due gruppi di lavoro, coordinati e diretti dal socio Prof. Vincenzo Balzani, di mettere a punto due relazioni tecniche, una sull'energia nucleare e una sulle fonti di energie rinnovabili. Successivamente sono state inviate alla commissione tre altri documenti, dai soci Bruno Zanettin sul settore geologia, Francesco Pegoraro sulla ricerca nel campo della fusione nucleare e Sergio Carrà su prospettive di sviluppo e ricerca. Questo materiale è stato integrato con numerosi documenti, provenienti da altre fonti, alcuni dei quali sono allegati a questa relazione. L'analisi di tutta la documentazione ha portato alla stesura della presente relazione, basata sulle ampie discussioni tenutesi nelle riunioni effettuate dalla commissione energia.

Nel licenziare il testo finale delle sue conclusioni, la commissione energia ritiene importante ricordare come la Commissione Europea, così come tutte le organizzazioni mondiali interessate ai problemi dell'energia, abbiano messo in evidenza l'importanza del risparmio per ridurre i consumi. La commissione dell'Accademia Nazionale dei Lincei considera il risparmio energetico di importanza capitale e intende sottolineare come esso debba essere alla base di qualsiasi azione legislativa e debba costituire la principale preoccupazione del Governo per interventi a breve termine.

Il risparmio e il miglioramento dell'efficienza di tutti i processi coinvolgenti le attività umane costituisce infatti il più efficace ed economico approccio per perseguire gli obiettivi energetici e la compatibilità ambientale. Si tratta di un settore che coinvolge molti aspetti delle attività produttive e della nostra vita pubblica, in particolare il trasporto e l'edilizia ed è strettamente dipendente da direttive politiche e dal funzionamento della pubblica amministrazione. Risultati molto importanti di risparmio energetico possono essere perseguiti mediante ricerche di sviluppo che richiedono soprattutto competenze di ingegneria gestionale e di economia, associate ad una intensificazione delle corrispondenti attività educative.

Da tutte le valutazioni disponibili sul risparmio energetico risulta che l'intervento sui consumi civili e residenziali produce grosso modo risultati dello stesso ordine di grandezza di quelli realizzati intervenendo sui settori industriali. La ricerca nel settore dei consumi residenziali, orientata alla produzione di materiali ad alta coibentazione, di vetri intelligenti per finestre, di pompe di calore, di elettrodomestici a basso consumo e così via, deve essere stimolata nei politecnici e negli istituti industriali, incoraggiando tesi di dottorato sul problema dell'energia anche in architettura e in ingegneria civile.

Allo stesso modo gli interventi sui consumi che riguardano essenzialmente la produzione industriale di beni e di materiali, il trasporto della corrente elettrica a distanza, il trasporto su ruote e le telecomunicazioni, dovrebbero essere affrontati con azioni di sostegno alla ricerca in enti statali come l'ENEA e il CNR e anche in grandi strutture di ricerca industriale dalla Finmeccanica alla Fiat, dall'ENEL all'industrie di elettronica e telecomunicazione.

Nel presentare le conclusioni raggiunte, la commissione energia dell'Accademia Nazionale del Lincei ha anche ritenuto suo dovere richiamare l'attenzione del Governo sull'importanza di promuovere e sostenere all'interno della comunità scientifica italiana lo sviluppo di attività di ricerca orientate alla identificazione di nuove forme di energia e al miglioramento delle tecniche esistenti, in modo da tenere l'Italia al livello degli altri paesi europei nell'affrontare con competenza e impegno i gravi problemi che si presentano per il prossimo futuro in materia di consumi energetici e di variazioni climatiche. Quest'azione governativa non è assolutamente rimandabile, anche in un periodo di grave crisi economica, perché la mancata disponibilità di una generazione di tecnici e scienziati qualificati priverebbe l'Italia delle competenze indispensabili per mantenere una posizione rispettabile all'interno della comunità europea e mondiale.

Le ricerche sull'energia sono classificabili in due gruppi, uno che riguarda i miglioramenti e le innovazioni nelle tecnologie tradizionali e l'altro che riguarda la ricerca fondamentale orientata a nuovi sviluppi

2. ENERGIE TRADIZIONALI

2.1 Combustibili fossili

Malgrado i problemi di inquinamento ambientale dovuti alla combustione di carbone, petrolio e gas naturali e disastri ecologici come quello recentemente verificatosi nel golfo del Messico, è impossibile realizzare a breve scadenza un mondo in cui i combustibili fossili siano completamente sostituiti da altre forme di produzione dell'energia. L'attuale posizione egemone dei combustibili fossili, in particolare degli idrocarburi, nella produzione di energia, dipende dal basso costo dell'energia ottenuta e dall'ampia disponibilità di infrastrutture connesse a trasporto, raffinazione e distribuzione dei prodotti finiti. Pertanto, anche se i problemi di inquinamento atmosferico dovuti all'emissione dei prodotti di combustione rendono impellente la progressiva sostituzione dei combustibili fossili, questi resteranno i protagonisti dello scenario energetico almeno per alcuni decenni, per cui è facile prevedere che molti sforzi verranno dedicati a indagini geologiche e di ingegneria estrattiva, orientate alla ricerca e sfruttamento di nuovi giacimenti, scendendo sempre più a maggiore profondità e andando a cercare petrolio e gas nei luoghi più impervi. Dopo il disastro del golfo del Messico è però necessario aspettarsi che maggiore attenzione sia dedicata in tutto il mondo a ricerche sui metodi di controllo e sicurezza per impedire nuovi incidenti e che una più severa legislazione controlli l'attività delle imprese petrolifere. Nel quadro delle ricerche di nuove fonti di combustibili fossili, incluse quelle non convenzionali, è necessario ricordare anche gli studi per recuperare il gas naturale dai depositi d'idrati di metano, di cui esistono grandi giacimenti nei sedimenti marini ai margini delle

piattaforme continentali. L'Italia ha tutte le competenze sia geologiche che chimiche per contribuire a queste ricerche e sarebbe opportuno che dedicasse maggior attenzione al problema, data la pericolosità di interventi su questi sistemi altamente instabili capaci di dar luogo a imprevedibili processi a catena di liberazione del gas metano.

L'uso dei combustibili fossili e il suo largo impiego nella produzione di energia contrasta sempre di più con la convinzione, ormai condivisa fra gli scienziati, che l'accumulo nell'atmosfera dell'anidride carbonica prodotta dai processi di combustione abbia serie conseguenze sulle variazioni climatiche e in particolare sul riscaldamento del pianeta. Anche se esiste disaccordo sull'entità dell'influenza antropica sul riscaldamento globale, viene comunque riconosciuta la necessità di controllare la produzione di anidride carbonica e delle sostanze inquinanti generate dall'uso dei combustibili fossili. In ogni caso è dominante la consapevolezza che per soddisfare le future necessità energetiche ed ecologiche del pianeta sia necessario individuare, o far emergere, nuove fonti di energia.

La situazione energetica italiana nell'uso dei combustibili fossili è abbastanza atipica per un passato fortemente condizionato da scelte sostanzialmente politiche, poiché non comprende il nucleare, utilizza poco il carbone e privilegia il metano sulla base di una politica iniziata da Mattei negli anni Sessanta. L'Italia produce oggi in Basilicata circa l'8% del suo consumo d'idrocarburi e secondo stime ragionevoli dispone di un apprezzabile potenziale di gas naturale e di petrolio distribuito essenzialmente lungo il lato destro dello stivale e nell'Adriatico. Si tratta di una risorsa economica non indifferente che per il momento viene solo marginalmente sfruttata.

2.2 Energia idroelettrica

In Italia l'energia idroelettrica è la principale fonte di energia alternativa a quella fossile utilizzata, poiché garantisce circa il 15% del fabbisogno elettrico nazionale. Nel 2008 la potenza idroelettrica disponibile era di 17,6 gigawatt (GW). Nel quadro del pacchetto 20/20/20 della comunità europea è previsto per i prossimi anni un aumento significativo della sua utilizzazione. L'Italia è orientata in questa direzione attraverso lo sviluppo di centrali micro-idroelettriche, in quanto lo sfruttamento delle importanti potenzialità idriche del paese, localizzate essenzialmente nell'arco alpino e in alcune zone dell'Appennino, ha ormai raggiunto il limite. Lo sviluppo futuro, favorito dal fatto che esistono gruppi industriali in grado di produrre la necessaria strumentazione, lascia prevedere che in una decina di anni le potenzialità possano aumentare del 20%.

2.3 Energia geotermica

L'Italia è il 5° paese al mondo per la produzione di energia elettrica da geotermia con una potenza installata di 650 MW, fortemente concentrata in Toscana. Una valutazione del potenziale geotermico nazionale si aggira intorno a 5 GW, valutazione ritenuta abbastanza realistica nel Position Paper del Governo Italiano del 2007 che prevede la possibilità di raddoppiare entro il 2020 la potenza installata.

Il costo dell'energia geotermica dipende dalla situazione geologica, poiché le risorse accessibili sono rare e distribuite in modo irregolare. Il suo sfruttamento privilegia gli approcci a bassa entalpia che forniscono un fluido intorno ai 70 C°, ovvero tale da essere impiegato per il riscaldamento domestico. L'auspicabile incremento nella sua applicazione può essere perseguito con ricerche geologiche fondamentali e ingegneristiche di sviluppo concernenti l'ingegneria e le tecniche di valutazione economica.

2.4 Energia nucleare

Nel mondo ci sono circa 440 reattori nucleari attivi di cui 104 negli Stati Uniti, 59 in Francia e 53 in Giappone. Queste centrali hanno una potenza complessiva di 370 GW e producono circa il 14% della dell'energia elettrica mondiale. Particolarmente atipico è il caso della Francia dove il 76% del consumo di energia elettrica del paese è prodotto proprio da reattori nucleari. Anche i paesi dell'ex blocco sovietico utilizzano il nucleare in larga misura, tra il 40 e il 50 % del loro fabbisogno di energia elettrica, spesso con centrali obsolete, su molte delle quali pesa ancora il sospetto che si possa ripetere la tragedia di Chernobyl.

Alla fine del ventesimo secolo, il venir meno delle condizioni che negli anni Sessanta avevano incentivato l'espansione della produzione nucleare nei paesi industrializzati ha prodotto una persistente stasi degli investimenti nella tecnologia nucleare, nonostante il rinnovato interesse di diversi governi a riprendere la via del nucleare. Alla fine del ventesimo secolo solo la Finlandia aveva messo in cantiere la costruzione di una grande centrale nucleare (centrale di Olkiluoto) che avrebbe dovuto essere attiva nel 2009 ma che per una serie di ritardi e di problemi di sicurezza non riuscirà ad entrare in funzione prima del 2013 e con costi raddoppiati. La politica energetica europea ed internazionale prevedeva nel 2004 una riduzione del peso dell'energia nucleare entro il 2020. Il rapido sviluppo dei paesi orientali sullo scacchiere internazionale e la conseguente crescita della domanda di energia potrebbe smentire questa previsione. Il 24 ottobre 2007 il parlamento europeo ha approvato a larga maggioranza una delibera che considera l'energia nucleare indispensabile per garantire a medio termine il fabbisogno di energia in Europa, per conseguire gli obiettivi della comunità europea in materia di riduzione dei gas a effetto serra e di lotta contro il cambiamento climatico. Come conseguenza molti dei paesi europei nuclearizzati (Svezia, Germania, Olanda e Belgio) che avevano deciso di non sostituire le attuali centrali nucleari al termine del loro ciclo produttivo, hanno rivisto la loro posizione decidendo di prolungare la vita delle loro centrali nucleari in attesa dell'evoluzione delle energie rinnovabili e di una possibile risposta ai problemi del nucleare da parte della comunità scientifica. Nel frattempo la Francia ha deciso la costruzione a Flamanville, sulla scogliera normanna, del nuovo reattore nucleare EPR (European Pressurized Reactor) di terza generazione capace di produrre 1,650 GW di energia.

La situazione italiana è molto diversa da quella di altri paesi europei perché una cosa è prolungare la vita di reattori funzionanti, un'altra è rientrare nel nucleare. Come è noto l'Italia, dopo l'incidente di Chernobyl aveva deciso di bloccare nel 1986 l'uso dell'energia nucleare con un referendum nazionale e di mettere in mora le tre centrali

ancora attive (Latina, Trino Vercellese e Caorso), spegnendole definitivamente nel 1990. Questa decisione ebbe come conseguenza pesanti effetti di dispersione delle rilevanti conoscenze che tecnici e scienziati italiani avevamo accumulato nel sapere scientifico, progettuale, manifatturiero e gestionale. Il governo italiano sostiene la necessità di un ritorno al nucleare e ha firmato il 24 febbraio 2009 un accordo di cooperazione con il governo francese per la costruzione in Italia di nuove centrali nucleari la cui realizzazione sarebbe garantita dall'intesa tra Enel S.p.A. e Électricité de France che il 3 agosto 2009 hanno dato vita alla joint venture *Sviluppo Nucleare Italia Srl*, con una compartecipazione paritaria al 50%, allo scopo di mettere a punto gli studi di fattibilità per la costruzione in Italia di almeno quattro reattori nucleari di terza generazione entro il 2020.

Gli obiettivi che il governo italiano intende conseguire con il rientro nel nucleare, possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- (a) ridurre e stabilizzare i costi interni dell'elettricità e aumentare di conseguenza la competitività della nostra economia, penalizzata dal peso dominante dei costi dei combustibili fossili nella produzione di elettricità;
- (b) accrescere la sicurezza delle nostre disponibilità di energia, rese insicure da un'elevata e crescente dipendenza estera, attenuando così i rischi di vulnerabilità economica e politica da *shock* esogeni;
- (c) ridurre le emissioni di anidride carbonica, coerentemente con gli impegni assunti dal nostro Paese nell'ambito del "Pacchetto energia-clima" approvato dall'Unione Europea;
- (d) offrire all'industria italiana maggiore opportunità di crescita, internalizzando parte del costo di produzione dell'energia elettrica rispetto all'impiego di fonti fossili di importazione.

La prospettiva di ritorno al nucleare ha dato origine a una violenta campagna di stampa e televisiva tra sostenitori e avversari del nucleare, con argomenti da prendere in seria considerazione da entrambi i fronti. Tra le preoccupazioni degli avversari del ritorno al nucleare in Italia particolarmente significative sono i costi dell'operazione, difficili da quantificare, lo smaltimento delle scorie radioattive problema ancora non risolto neppure negli Stati Uniti, le procedure per la localizzazione delle centrali nucleari, il fatto che l'Italia non ha né miniere di uranio né la tecnologia per giungere al combustibile, i pericoli connessi al terrorismo e, non ultime, quelle relative agli oneri economici, politici e sociali che saranno lasciati in eredità alle prossime generazioni.

La commissione energia dell'Accademia Nazionale dei Lincei ha ampiamente discusso gli argomenti a favore e contro il rientro dell'Italia nella politica nucleare confrontando opinioni diverse e limitando il suo intervento alla definizione di una unità di vedute per la parte di sua stretta competenza, quella della ricerca scientifica. La commissione unanime è convinta che un paese come l'Italia, che ha avuto un passato di primo ordine nella ricerca nucleare e nella sua ingegnerizzazione, non può escludersi dalla politica della Comunità Europea con scelte che limitino la formazione e l'aggiornamento della sua comunità di scienziati e tecnici a competenze teoriche e pratiche non al livello della preparazione dei corrispondenti esperti europei.

Un'alternativa alla fissione nucleare potrebbe venire entro alcuni decenni dalla fusione nucleare attualmente in via di rinnovato sviluppo, grazie agli accordi internazionali realizzati con la nascita di un consorzio tra Unione europea, Russia, Cina, Giappone, Stati Uniti d'America, India e Corea del Sud, per la creazione a Cadarache,

nel Sud della Francia, del reattore ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) un progetto di esperimento di fusione deuterio-trizio che dovrebbe fornire le indicazioni per la futura costruzione di una centrale elettrica dimostrativa a fusione (DEMO). Purtroppo il costo stimato all'inizio di circa 10 miliardi di euro, è ormai già arrivato a un valore circa triplo. In parallelo sembra possibile che anche il più economico esperimento IGNITOR, progettato da Bruno Coppi, possa entrare nella fase finale di realizzazione. La costruzione di reattori a fusione nucleare coinvolge, oltre a vaste competenze ingegneristiche, l'importante campo della fisica dei plasmi, argomento molto ben sviluppato in Italia dal punto di vista teorico e computazionale, ma che vede, per quanto riguarda lo sviluppo della ricerca nella fusione *inerziale*, una assoluta mancanza di grandi laboratori di laser di potenza come quelli esistenti in Francia, in Germania, nel Regno Unito, in Svezia, in Giappone e soprattutto negli Stati Uniti.

Nel caso della fusione *magnetica*, alternativa a quella inerziale, si presentano seri problemi tecnici dovuti al fatto che in presenza di un elevato flusso neutronico sia le proprietà meccaniche dei materiali che quelle di superconduttività dei magneti possono essere seriamente danneggiate.

Per quanto riguarda l'attivazione, usando leghe speciali si può fare in modo che, senza degradare le proprietà termo-meccaniche, non vengano prodotti radioisotopi con tempi di decadimento molto lunghi (decine invece di migliaia di anni).

La commissione energia fa presente al Governo che il potenziamento delle attività di ricerca sulla fusione è necessario per mantenere il ruolo dell'Italia in una linea di sviluppo tecnologico e scientifico che potrebbero essere di fondamentale importanza per il futuro dell'umanità.

3. ENERGIE RINNOVABILI

3.1 Energia eolica

L'energia eolica è una fonte rinnovabile e pulita che presenta pochi effetti negativi, pesantemente controbilanciati dagli enormi effetti positivi che gli impianti eolici comportano evitando l'immissione nell'atmosfera di milioni di tonnellate di sostanze inquinanti e di gas-serra. Con l'espansione del mercato i costi di produzione sono rapidamente diminuiti e in alcune zone particolarmente idonee all'installazione l'eolico compete con altre fonti energetiche più tradizionali, come il gas. Nel 1980 la produzione mondiale di energia eolica era praticamente nulla mentre oggi, grazie anche ai sostegni finanziari messi in atto da vari stati (Spagna, Olanda, Gran Bretagna), la potenza eolica installata è in continuo aumento.

In Italia la quantità di energia eolica prodotta è ancora trascurabile rispetto al potenziale sfruttabile, stimato in circa 8000 MW sulla terraferma e altrettanti in offshore. L'Italia può contare, specie nelle zone mediterranee meridionali e nelle isole, su venti di buona intensità, anche se non paragonabili per costanza e per intensità ai venti presenti sulla costa del Nord Europa. Alla luce del tasso attuale di crescita delle installazioni, è realistico attendersi che entro il 2020 l'energia eolica possa soddisfare il 12% del fabbisogno energetico mondiale.

Nel 2009 la potenza eolica in Italia aveva raggiunto 4850 MW garantendo il 2,10% della produzione di energia elettrica del paese e previsioni abbastanza obiettive lasciano pensare che nel 2020 si potrebbe raggiungere oltre il 7% della produzione di energia elettrica.

3.2 Energia da biomasse

Tra le principali fonti energetiche rinnovabili, le biomasse rivestono un ruolo esclusivo perché rappresentano una forma di accumulo di energia solare ampiamente distribuita sulla terra che può essere usata, come biocombustibile, per la produzione di energia termica o elettrica.

La disponibilità complessiva di biomasse in Italia potrebbe coprire fino al 14% della domanda energetica interna. Tale prospettiva è lontana, sia perché le tecnologie sono ancora in fase di sviluppo, sia perché il loro sfruttamento, può risultare non conveniente dal punto di vista energetico ed economico. L'attuale produzione di energia da biomasse in Italia è pari a quasi il 3% del consumo globale distribuito in energia elettrica, energia termica e in biocarburanti. Le stime governative prospettano la possibilità di raggiungere nel 2020 una produzione annua tre volte superiore. La commercializzazione di sistemi e tecnologie innovative per la produzione di energia da rifiuti organici sta inoltre portando ad una nuova fase di crescita nel settore dell'ecoenergia a livello globale.

L'impiego di biomasse fa però nascere un problema etico poiché se venisse sviluppato su grande scala sottrarrebbe il terreno richiesto per l'alimentazione. Pertanto sta emergendo la tendenza a limitarlo alla vegetazione locale, all'uso di scarti e di alghe marine opportunamente coltivate.

Importanti processi innovativi si stanno oggi sviluppando anche in Italia, attraverso ricerche interdisciplinari, nell'ambito della *synthetic biology*, volte a sintetizzare protocellule in grado di svolgere nuove funzioni cellulari grazie alla presenza di genomi opportunamente progettati per essere in grado di esercitare un controllo su sistemi catalitici complessi, ispirati da ben conosciuti cammini metabolici. Isolandone e connettendone i passaggi rilevanti si prospetta la possibilità di produrre da biomasse grandi quantità di energia, trasformando la cellulosa in etanolo, producendo idrogeno, alcoli differenziati e gli stessi idrocarburi. La potenziale ricaduta sui problemi energetici è ovviamente molto elevata.

3.3 Energia solare

Il sole riversa sul pianeta una quantità di energia quattro ordini di grandezza superiore a quella richiesta dalle attività umane, per cui è allettante pensare di poterla impiegare per alimentare il fabbisogno del pianeta, utilizzandola per generare calore, elettricità e combustibili

La conversione in calore a bassa temperatura avviene nei pannelli per la produzione di acqua calda per uso domestico. Il parco solare termico italiano di questo tipo è inferiore a quello di molti altri paesi europei, come ad esempio Austria e Grecia che

dispongono di impianti 15 volte più numerosi di quelli italiani. Attualmente l'Italia dispone di una superficie di pannelli solari termici di circa 1,7 milioni di metri quadri che nel 2020 potrebbe arrivare, secondo le stime governative, a circa 24 milioni di metri quadri.

Negli impianti solari termodinamici il calore della radiazione produce vapor d'acqua che alimenta una turbina nella quale si genera energia elettrica, con rese superiori al 20%. La produzione di energia termica attraverso impianti a concentrazione solare (CSP) risulta particolarmente efficiente e si può calcolare un potenziale di circa 50 MW per km quadrato di specchi a concentrazione solare. Questa potenza può essere accumulata per periodi fino a 24 ore e le temperature raggiunte in caldaia sono tali da permettere l'integrazione degli impianti CSP con quelli termoelettrici. La potenza dei CSP ed in particolare la loro produttività annuale in termini di energia elettrica dipende sia dalla latitudine che dalla quantità di energia irradiata dal sole nell'arco di un anno. L'esposizione solare della fascia Sahariana è di circa 8500 ore di sole annuali, rispetto alle 5050 ore della Spagna e alla 2060 ore della Germania.

Questa tecnologia si presta per la realizzazione di grandi impianti in zone particolarmente assolate, il principio su cui si basa il ben noto progetto DESERTEC che dovrebbe coprire il 15% dell'energia Europea con i suoi 700 TWh/anno di energia elettrica prodotta su una superficie di 2.500 km/quadri. In questo progetto l'Italia potrebbe rientrare mettendo a disposizione una parte del territorio siciliano avente le caratteristiche di irraggiamento necessarie.

Su questa base si potrebbero ipotizzare a breve scadenza, la costruzione in Italia di due centrali a concentrazione solare da 50 MW cadauna del tipo ANDASOL 1 come realizzato in Spagna nel 2009. I 100 MW installati potrebbero produrre annualmente circa 400-600 GWh elettrici. Il massimo rendimento di questi impianti è di circa 300 kWh per metro quadrato, non molto dissimile a quello di un buon pannello fotovoltaico situato alla stesse latitudini, ma presenta costi competitivi intorno a 10-15 centesimi per kWh prodotto. Questi impianti si prestano poi ad essere integrati ad impianti termoelettrici, con interessanti economie di scala.

Facendo un confronto con gli impianti fotovoltaici, non è però pensabile per le centrali a concentrazione solare una riduzione dei costi d'investimento seguendo le economie di scala, dato che si tratta di impianti termoelettrici basati su cicli vapore. Quindi il costo di produzione dell'energia elettrica difficilmente potrà scendere sotto il minimo tra i due valori sopra indicati nel periodo temporale qui in esame

La tecnologia più importante per la conversione della energia solare, soprattutto per le prospettive di innovazioni tecnologiche, è basata sull'effetto fotovoltaico in virtù del quale gli elettroni di un semiconduttore vengono eccitati generando una coppia elettrone-cavità elettronica le cui cariche, separate in corrispondenza di una giunzione *n-p* del semiconduttore, producono corrente elettrica. Allo stato attuale il costo dell'energia così ottenuta è circa quattro volte superiore a quella prodotta da combustibili fossili, rispetto ai quali ha però un notevole vantaggio dal punto di vista ecologico e sanitario. Lo sfruttamento dell'energia solare fruisce attualmente di incentivi economici ed il suo contributo al bilancio energetico mondiale è ancora modesto, ma è in forte sviluppo particolarmente in Germania, Stati Uniti e Cina.

Nello sfruttamento dell'energia solare l'Italia rientra nella media mondiale con una tendenza ad incentivare l'approccio fotovoltaico che ha avuto un notevole aumento

negli ultimi anni con un parco installato al 2009 dell'ordine dei 900 MW di picco. Questo aumento è legato al fatto che il prezzo del modulo fotovoltaico installato ha registrato sensibili diminuzioni riducendosi a meno della metà dall'inizio del 2008 all'aprile 2010

Alla costruzione delle celle fotovoltaiche concorrono diversi materiali quali silicio, arseniuro di gallio, tellururo di cadmio e altri. Attualmente la strategia più opportuna è quella di puntare sui materiali meno costosi sfruttando l'economia di scala. In questa impostazione il silicio, nella sua forma policristallina, offre la migliore opzione ed esistono ragionevoli presupposti che attraverso l'ingegneria di processo in meno di dieci anni si possa raggiungere la convergenza economica con le fonti fossili. Un ulteriore vantaggio rispetto agli altri materiali è costituito dall'affidabilità delle celle ottenute perché presentano un degrado delle prestazioni limitato nel tempo. Le ricerche sui processi fotovoltaici, sono focalizzate in gran parte sulla chimica e fisica dei materiali semiconduttori inorganici ed organici. Esse sono volte al superamento dei limiti individuati nel classico lavoro di Queisser – Shockley del 1961, conseguenti soprattutto all'uso di una singola giunzione *p-n* e all'illuminazione con radiazioni non concentrate. Le innovazioni riguardano pertanto la preparazione di celle inorganiche a più strati, l'impiego di celle organiche polimeriche le cui proprietà ottiche possono essere calibrate sulla base delle dimensioni di *quantum dot* preparati per sintesi chimiche e l'impiego di sensibilizzatori metallorganici per agevolare la cattura delle radiazioni.

Dal punto di vista scientifico i risultati sono d'indiscutibile interesse, ma esistono incertezze sullo *scaling-up* alle dimensioni industriali. Un importante obiettivo è infatti quello di sviluppare le conoscenze ingegneristiche ed economiche necessarie per la progettazione di grandi centrali solari di almeno 0,1 GW.

Interessanti prospettive per il futuro dello sfruttamento dell'energia solare sono offerte dal cosiddetto *solare avanzato*, inteso ad emulare la fotosintesi naturale. I risultati a cui si mira sono la scissione dell'acqua in idrogeno ed ossigeno o la riduzione di anidride carbonica a metanolo mediante reazioni fotochimiche indotte da fotosensibilizzatori e portate a compimento da catalizzatori multi-elettronici. L'ormai approfondita conoscenza dei meccanismi chimico fisici di cattura delle radiazioni e di trasferimento delle cariche elettroniche nel processo fotosintetico naturale ha permesso di ottenere promettenti progressi in questi ultimi anni.

Una strozzatura allo sviluppo delle energie rinnovabili, in particolare quella fornita dal sole, è costituita dal relativamente lento progresso nelle metodologie per l'immagazzinamento dell'energia elettrica. Le batterie elettrochimiche, anche le più recenti a base di solfuro di sodio ed a ioni litio, hanno una densità energetica bassa, dell'ordine di 3MJ/L e inoltre sono troppo costose e non del tutto affidabili. Per superare queste limitazioni sono in corso ricerche volte all'impiego di nuovi materiali i cui elementi costituenti siano però accessibili in natura senza restrizioni. Fra le diverse proposte di tecnologie per immagazzinare l'energia elettrica la più efficace appare quella di minimizzare l'impiego mediante *smart grid* intese ad aggiustare le forniture di elettricità in risposta alle eccentricità della produzione e della domanda.

4. CONCLUSIONI

L'analisi delle fonti di energia illustrate precedentemente ha portato la commissione a concludere che è indispensabile che ricerche riguardanti tutte le forme di produzione di energia siano sviluppate in parallelo in Italia se vogliamo che la nostra economia resti competitiva nell'era della globalizzazione. La commissione ritiene che sarebbe importante che i ministeri competenti esercitassero le dovute pressioni sugli atenei e sugli enti di ricerca per indirizzare molte attività di ricerca fondamentale ed applicata ai problemi dell'energia. La commissione ha messo in evidenza come in particolare la ricerca nel campo della fusione nucleare, del fotovoltaico avanzato, della fotosintesi artificiale e delle biotecnologie possano in un prossimo futuro aprire prospettive di importanza determinante nella produzione di energia e negli indirizzi programmatici delle attività industriali del paese. La commissione si augura che le sue proposte siano ascoltate e vengano rapidamente rese operative.

Elenco dei documenti allegati

- 1 - Relazione preparata dal Gruppo di lavoro Energia Nucleare della Commissione Energia.
- 2 - Relazione preparata dal Gruppo di lavoro su Risparmio, Efficienza ed Energie Rinnovabili della Commissione Energia.
- 3 - Documento inviato da Bruno Zanettin sul settore geologia.
- 4 - Documento inviato da Francesco Pegoraro sulla ricerca nel campo fusione nucleare.
- 5 - Documento inviato Sergio Carrà su prospettive di sviluppo e ricerca.
- 6 - Documento sugli aspetti economici del sistema energetico italiano estratto dal cap. 11 della Relazione annuale della Banca d'Italia del 31 maggio 2010.
- 7 - America's Energy Future: Technology and Transformation, The National Academies Press, Washington, D.C., 2009,
scaricabile dal sito: www.nap.edu/catalog.php?record_id=12710
- 8 - Energy = Future: Think Efficiency, American Physical Society, 2008,
scaricabile dal sito: <http://www.aps.org/energyefficiencyreport/>

ALLEGATO 1

**“Fondazione G. Donegani”
Gruppo di lavoro su
Energia Nucleare**

Vincenzo Balzani (presidente))
Alberto Clò
Giorgio Parisi
Francesco Pegoraro

L'Italia e l'energia nucleare

Premessa

Le recenti decisioni del Parlamento e del Governo italiano di ricreare le condizioni normative e istituzionali per un rientro del nostro Paese nella tecnologia nucleare per usi civili, ha riaperto i termini del dibattito che portò oltre venti anni fa ad interrompere in Italia ogni attività di generazione elettrica di tal tipo, con pesanti effetti di dispersione delle rilevanti conoscenze che avevamo accumulato nel sapere scientifico, progettuale, manifatturiero, gestionale.

Gli obiettivi che le autorità pubbliche intendono conseguire con tale rientro, possono sintetizzarsi nei seguenti punti: (a) ridurre e stabilizzare i costi interni dell'elettricità e, conseguentemente, la penalizzazione che ne deriva sulla competitività della nostra economia, dovuta al peso dominante delle fonti fossili (specie metano) nella generazione elettrica; (b) accrescere la sicurezza delle nostre disponibilità di energia, penalizzate da un'elevata e crescente dipendenza estera, così attenuando i rischi di vulnerabilità economica e politica da *shock* esogeni; (c) ridurre le emissioni di anidride carbonica, coerentemente con gli impegni assunti dal nostro Paese nell'ambito del "Pacchetto energia-clima" approvato dall'Unione Europea; (d) offrire all'industria italiana opportunità di crescita, così internalizzando parte del costo di produzione dell'energia elettrica rispetto all'impiego di fonti fossili di importazione.

L'Accademia dei Lincei, nell'ambito della Commissione Energia, ha costituito una Gruppo di Lavoro sull'ipotizzato "rientro nel nucleare" del nostro Paese. Il Gruppo di lavoro ha operato con l'obiettivo non già di esprimere un parere favorevole o contrario a tale scelta, quanto di individuare – in riferimento alla specifica situazione nazionale – i termini in cui essa dovrebbe essere correttamente posta, così come le "condizioni al contorno" che si richiederebbero come necessarie per conseguire gli obiettivi attesi.

Difficoltà nella valutazione dei costi del nucleare

E' convincimento del Gruppo di lavoro che tale eventuale "rientro", non sia da respingersi aprioristicamente sulla base di considerazioni politico-ideologiche, ma non debba parimenti costituire alternativa ad altre opzioni tecnologiche che devono egualmente perseguirsi perché in grado di contribuire al conseguimento degli obiettivi su indicati. Tali opzioni sono, da un lato, un maggior ricorso alle risorse rinnovabili, specie negli sviluppi tecnologici che in esse si vanno prefigurando, e, dall'altro, un'azione forte, determinata, organica volta ad accrescere l'efficienza degli impieghi di energia a parità di reddito (risparmio energetico), nei processi industriali, negli usi residenziali, nei sistemi di trasporto, che manifestano ampie potenzialità di miglioramento.

Il Gruppo di lavoro non ha inteso, tuttavia, entrare nel merito del confronto costi/benefici della tecnologia nucleare rispetto alle energie rinnovabili e al risparmio energetico, per due ordini di ragioni. Il primo ordine è l'oggettiva carenza di un'accurata base informativa e analitica in tema di costi, specie di investimento, che

si andrebbero a sostenere in Italia nell'opzione nucleare. Al di là dell'estrema complessità di una simile valutazione (da noi come altrove), influenzata da numerose variabili, il Gruppo di lavoro ritiene che non sia metodologicamente corretto traslare allo specifico caso italiano dati e stime (comunque opinabili e problematiche) tratte da altrui esperienze, anche in considerazione della lunga assenza nel nostro Paese d'ogni esperienza operativa in campo nucleare. Le stime disponibili nella pubblicistica per lo più di fonte internazionale o fornite dalle imprese interessate ad investirvi, pur sostenendo (in linea teorica) la convenienza economica del nucleare rispetto alle fonti fossili, non possono ritenersi né esaurienti né estendibili alla specifica realtà italiana.

Dal monopolio al regime di mercato del sistema elettrico

Il secondo ordine di ragioni che condiziona ogni analisi sulla convenienza (assoluta e relativa) del nucleare, sta nell'assetto istituzionale e nei modelli organizzativi che caratterizzano oggi – diversamente da un tempo – i sistemi elettrici del nostro paese come della generalità di quelli industrializzati, ed in particolare di quelli europei con cui più direttamente ci confrontiamo. Assetti e modelli sono stati profondamente ridisegnati da un decennio in qua, a seguito delle Direttive dell'Unione Europea che, allo scopo di pervenire ad un mercato unico europeo dell'energia elettrica, hanno sostituito mercato e concorrenza ai regimi di monopolio prima dominanti, drasticamente riducendo il grado di interventismo pubblico e la programmazione centralizzata con cui esso si esprimeva.

Tale mutamento ha causato, tra le altre cose, il venir meno delle condizioni che un tempo avevano incentivato e sostenuto la fase espansiva della produzione nucleare nei paesi industrializzati, avviatasi negli anni Sessanta del secolo scorso e sostanzialmente esauritasi all'inizio dei successivi anni Novanta. Tre condizioni, in particolare, merita evidenziare: considerevoli aiuti di stato; assetti monopolistici dei sistemi elettrici, e conseguente certezza della domanda per gli investitori; tariffe fissate dalle autorità pubbliche in modo da garantire agli investitori un'equa e certa redditività.

Tali condizioni sono oggi venute meno, perché incompatibili col regime del libero mercato che caratterizza i sistemi elettrici. Questo spiega la persistente stasi degli investimenti nella tecnologia nucleare nei paesi industrializzati, anche di più vecchia nuclearizzazione (in primis Stati Uniti e Gran Bretagna), nonostante il rinnovato interesse di diversi governi a riprendere la via del nucleare.

Rischi, incertezze, spazi di mercato

Nell'impossibilità degli Stati ad economia di mercato di fornire, come in passato, sussidi agli investitori – quel che altererebbe il normale gioco concorrenziale – o di garantire loro prezzi remunerativi di cessione dell'elettricità prodotta con centrali nucleari, la loro convenienza economica deve trovare pieno supporto in due specifiche condizioni. Da un lato, la piena competitività del nucleare rispetto alle altre modalità di produzione elettrica (in primis attraverso l'impiego di metano o carbone). Dall'altro lato, la piena capacità e disponibilità degli investitori, e di chi li

finanzia, a sobbarcarsi gli accresciuti rischi e le pesanti incertezze di mercato che avvolgono ogni decisione di investimento in campo energetico, ma soprattutto quelle in campo nucleare, per più ragioni: l'elevatissima intensità del capitale richiesto; i lunghi e incerti tempi di realizzazione degli investimenti; il carattere innovativo delle centrali che si vanno a realizzare; l'estrema difficoltà a scontare la possibile dinamica dei prezzi delle fonti fossili con cui il nucleare si pone in più diretta competizione.

Tali rischi ed incertezze si sono notevolmente accresciute a seguito della crisi in cui è precipitata l'economia mondiale dalla seconda metà del 2008, con una forte contrazione della domanda elettrica ed una pesante flessione, solo in parte recuperata, dei prezzi di mercato del petrolio (oggi quotato a livelli pari a circa la metà delle punte che si conobbero prima della crisi) e, in misura ancor più accentuata, quelli del gas metano.

Nel nostro Paese, in particolare, la produzione industriale è crollata ai livelli di venti anni fa e il reddito nazionale a quelli di un decennio fa. Intensità e natura della crisi hanno causato un crollo della domanda elettrica a tassi percentuali che non si riscontravano dagli anni della seconda guerra mondiale. Nel frattempo, investimenti già avviati hanno accresciuto la potenza elettrica disponibile. Come conseguenza di questi due fattori, si è determinato un fortissimo calo nel grado di utilizzo del parco centrali ed il parallelo formarsi di un ampio surplus di capacità produttiva.

Ove si considerino, poi, le centrali che si prevede entreranno in esercizio nel prossimo futuro (specie alimentate con fonti rinnovabili) ed il fatto che necessiteranno non pochi anni per recuperare i livelli di domanda che si avevano prima dell'esplosione della crisi, si perviene ad una duplice conclusione. In primo luogo, la riduzione dello "spazio di mercato" per realizzare convenientemente, nel volgere di un decennio, come pure sostenuto, una potenza elettrica addizionale di origine nucleare tale da contribuire per un quarto alla nostra produzione elettrica. In secondo luogo, la conseguente difficoltà, qualora essa fosse comunque realizzata, di poterla utilizzare al massimo della sua potenzialità produttiva, come converrebbe nell'economia di questa fonte.

Rischi di mercato e tutela dei consumatori

I rischi e le incertezze di mercato dovranno – ed è questo un punto dirimente – essere assunti dagli investitori, che si dicono, per altro, convinti dell'economicità del nucleare, e non dovranno essere addossati, in forma diretta o indiretta, ai consumatori finali. Se così fosse, verrebbe meno il primo degli obiettivi che si sostiene di voler conseguire col "rientro" nel nucleare: la riduzione dei costi e dei prezzi dell'elettricità per i consumatori.

Come conciliare mercato e nucleare; come garantire la parità di gioco concorrenziale tra operatori e investitori che si confrontano sul mercato elettrico; come far beneficiare i consumatori del rinnovato ricorso a tale fonte, evitando che essi abbiano a sopportare ulteriori indebiti oneri; come interiorizzare le esternalità positive connesse alla produzione nucleare, sono interrogativi centrali cui le autorità di governo e di regolazione dovrebbero dare puntuali e coerenti risposte, anche sulla

traccia delle politiche poste in essere da altri paesi, sempre nel rispetto dei vincoli che ci derivano dall'Unione Europea.

In assenza di tali risposte, ad avviso del Gruppo di lavoro non sussistono fondati e comprovati motivi per ritenere che il “rientro” nel nucleare sia *comunque* conveniente per il nostro Paese sotto il profilo economico. Questo dipenderà, come detto, dalle specifiche scelte politiche adottate dalle autorità pubbliche. Compito primario dello Stato – in coerenza e nel rispetto di un'economia di mercato – è quello di creare i presupposti normativi, istituzionali, regolamentari, autorizzativi per il realizzarsi di nuovi investimenti nella tecnologia nucleare, cercando di fornire agli investitori il maggior grado di certezza dei processi autorizzativi e della realizzazione degli investimenti. L'effettivo dispiegarsi di tale scelta dipenderà, a sua volta, dalle convinzioni degli investitori sulla loro sostenibilità economico/finanziaria, nella piena assunzione dei correlati rischi di mercato.

La sicurezza

A questo primo ordine di condizioni necessarie a chiarire i termini del “rientro” nel nucleare, se ne aggiunge un secondo che, ad avviso del Gruppo di lavoro, assume ancor maggiore rilievo: la sicurezza. Sicurezza nell'intera filiera e nell'intero ciclo di vita delle centrali: dalle fasi che precedono a quelle che accompagnano e seguono la loro costruzione ed esercizio, sino alla critica questione dello smantellamento finale e della messa in sicurezza delle scorie ad alta radioattività.

Sul tema della sicurezza, il Gruppo di lavoro ritiene debbano essere date le più ampie garanzie all'intera collettività: che dovrà essere positivamente e pienamente coinvolta nei processi decisori da intraprendere e dalla quale dipenderà, in ultima analisi, la possibilità stessa di un effettivo “rientro” del nostro Paese nella tecnologia nucleare. Uno degli aspetti che al Gruppo di lavoro pare, allo stato delle cose, più critico e rilevante in tema di sicurezza, riguarda la piena disponibilità nel nostro Paese delle risorse professionali – tecniche, amministrative, organizzative – cui dovrebbe essere demandata l'insieme delle responsabilità in tema di sicurezza.

Il Gruppo di lavoro è dell'avviso che il lungo lasso di tempo, circa mezzo secolo, trascorso dal rilascio in Italia dell'ultima licenza di costruzione di una centrale nucleare, unitamente al notevole inasprimento degli *standard* di sicurezza introdotti nei paesi più nuclearizzati, abbiano posto il nostro Paese in una situazione di inadeguatezza e di ritardo delle nostre competenze professionali e dotazioni strumentali che, in entrambi i casi, si richiedono come inderogabilmente necessarie a garantire al paese condizioni di massima sicurezza.

Tale ritardo non si ritiene possa essere autonomamente riassorbito in tempi relativamente brevi, in modo da poter procedere, in un futuro prossimo, al rilascio di nuove licenze di costruzione di centrali nucleari. Il Gruppo di lavoro ritiene, altresì, che tale ritardo possa essere colmato solo attraverso un adeguato impegno di risorse finanziarie da parte dello Stato o degli organismi pubblici competenti, nella formazione di una nuova generazione di tecnici, che muovendo dalle Università e dai centri di ricerca, coinvolga organismi ed agenzie estere presso cui le nuove leve dovrebbero essere addestrate.

Allo stato delle cose, la mera costituzione di una nuova Agenzia nazionale responsabile della sicurezza, é, ad avviso del Gruppo di lavoro, condizione necessaria ma di per sé non sufficiente per il “rientro” del nostro Paese nella tecnologia nucleare. Affinché ciò possa avvenire, nel pieno rispetto, vale ripetere, delle maggiori garanzie di sicurezza per l’intera collettività, dovrebbe essere puntualmente disegnata una specifica strategia che indichi le azioni che si intendono perseguire in tale campo e l’ammontare delle risorse (finanziarie e non) che lo Stato è in grado di dedicarvi. Solo su tali basi, potranno programinarsi i tempi entro cui il nostro Paese potrà tornare a disporre di piene, adeguate, rassicuranti competenze professionali in tema di sicurezza.

L’amara e tuttora irrisolta esperienza nello smaltimento delle scorie radioattive residue dalle vecchie centrali, a distanza di oltre due decenni dalla cessazione della loro attività, sta a dimostrare le enormi difficoltà nel nostro Paese a individuare una soluzione definitiva e strutturale a problemi intimamente connessi alla sicurezza nucleare. Ogni accelerazione nei processi decisionali, che prescindano da tali garanzie, non potrà che sortire effetti negativi anche solo nella percezione dell’opinione pubblica sui rischi connessi all’opzione nucleare, con effetti negativi sulla sua accettabilità sociale.

Il ruolo dell’industria italiana

Un terzo ordine di condizioni che si richiedono come necessarie per conseguire gli obiettivi attesi col “rientro” nel nucleare, attiene al ruolo che potrà svolgervi l’industria italiana ed ai benefici che, come si sostiene, potrebbero derivarle in termini di crescita, innovazione, occupazione. La produzione elettrica di fonte nucleare potrà risultare, infatti, conveniente sotto questo profilo, rispetto a quella ottenuta con altre tecnologie (specie quelle rinnovabili), solo se una larga parte del costo di realizzazione del kwh nucleare verrà sostenuto all’interno del nostro Paese.

Anche riguardo a tale aspetto, non sussistono, allo stato delle conoscenze e delle scelte adottate, adeguati motivi per ritenere che della costruzione di nuove centrali nucleari di terza generazione (avanzata) le imprese italiane abbiano, comunque e sempre, a beneficiarne. Quel che dipenderà dalle tecnologie che si adotteranno; dalle autonome scelte degli investitori che si addosseranno i rischi della realizzazione delle centrali; dai rapporti contrattuali che essi concluderanno con le imprese estere detentrici delle diverse tecnologie nucleari.

Anche in tale caso, come in quello precedentemente analizzato sulla convenienza economica del nucleare, si deve tener conto del mutato contesto politico-istituzionale che consentiva un tempo agli Stati (finanziatori degli investimenti e detentori del controllo proprietario dei monopolisti elettrici) di entrare nel merito delle scelte tecnologiche, oggi interamente demandate alla libertà e all’autonomia imprenditoriale degli investitori.

Come conciliare, anche in questo caso, tale autonomia con gli interessi generali del Paese che si vorrebbero perseguire (rilancio industria italiana) resta un tassello non chiarito nella strategia di “rientro” nel nucleare, non essendovi certezze che l’industria italiana ne avrà sempre e comunque a beneficiare.

Considerazioni finali

Il Gruppo di lavoro della Commissione Energia dell'Accademia dei Lincei ritiene, in conclusione, che gli elementi di indeterminatezza e le ragioni di incertezza che ancora avvolgono l'ipotizzato "rientro" nel nucleare non consentano di poter esprimere, allo stato delle conoscenze e delle scelte, un parere definitivo sulla possibilità di conseguire per tale via gli obiettivi attesi ed auspicati, – economici, industriali, politici – , in un quadro di massima sicurezza per la nostra collettività.

Solo disponendo di un chiarimento da parte delle autorità pubbliche degli interrogativi che rimangono tuttora irrisolti e delle coerenti scelte che devono intraprendersi, il Gruppo di lavoro potrà esprimere una ponderata valutazione sull'ipotizzato "rientro" del nostro Paese nella tecnologia nucleare.

Una valutazione che, pur riconoscendo in linea teorica a tale opzione ragioni di merito nel corrispondere a finalità di sicurezza geopolitica delle forniture energetiche; di sostenibilità ambientale; di economicità delle produzioni elettriche, deve tener conto, non di meno, dei mutamenti intervenuti nel modello organizzativo del nostro sistema elettrico; dell'accresciuta complessità della tecnologia nucleare e dei problemi tecnici non ancora risolti; dell'oggettiva situazione di debolezza del nostro Paese a più di venti anni dall'uscita da tale tecnologia.

1 febbraio, 2010

**“Fondazione G. Donegani”
Gruppo di lavoro su
Risparmio, Efficienza ed Energie Rinnovabili**

Vincenzo Balzani (presidente)

Sergio Croce

Maurizio Masi

Gaudenzio Mariotti

Leonardo Setti

Fabio Tarallo

**Road-Map
per un Sistema Integrato
di Gestione dell’Energia**

	pag
Premessa	3
Le direttive dell'UE: risparmio, efficienza, energie rinnovabili	4
Scenario previsto dal Ministero delle Attività Produttive nel 2005	5
Necessità di ridurre le importazioni di combustibili fossili	8
La strategia proposta	8
Le componenti della Road-Map	10
<i>Azioni di prevenzione dei consumi attraverso il risparmio energetico</i>	10
<i>Azioni di prevenzione dei consumi attraverso l'efficienza energetica</i>	11
<i>Elettrodomestici bianchi</i>	11
<i>Boiler</i>	12
<i>Apparecchiature elettriche più efficienti</i>	12
<i>Certificazione degli edifici</i>	13
<i>Azioni di prevenzione dei consumi sui trasporti</i>	14
<i>Azioni sull'implementazione dell'energia prodotta da fonti rinnovabili</i>	15
<i>Idroelettrico</i>	15
<i>Solare termico a bassa temperatura</i>	15
<i>Fotovoltaico</i>	17
<i>Eolico</i>	18
<i>Geotermia</i>	19
<i>Solare a concentrazione</i>	19
<i>Biomasse</i>	20
<i>Biomasse forestali</i>	20
<i>Biocombustibili</i>	22
Modifiche nella rete elettrica	25
Riassunto della Road-Map Energetica	27
Previsioni sui consumi finali lordi nel 2020	29
L'evoluzione dei trasporti nella road-map	30
Aspetti economici della Road-Map	31
La Road-Map Industriale	33
Conclusioni	37
Note e riferimenti bibliografici	39

1. Premessa

Negli ultimi anni sono stati redatti numerosi rapporti inerenti possibili evoluzioni del quadro energetico Nazionale. E' quindi necessario inquadrare sin dall'inizio quali sono le specificità del presente rapporto¹ rispetto a quelli già disponibili.

In primo luogo, si è limitato l'orizzonte temporale ai prossimi dieci anni, poiché si sono volute analizzare le azioni tecnicamente percorribili per ottemperare ai Patti (Protocollo di Kyoto e pacchetto clima-energia, meglio noto come direttiva 20/20/20) sottoscritti dai Governi che si sono succeduti alla guida del Paese. Si è poi cercato di identificare le azioni che è possibile sviluppare nel nostro Paese in base alle sue specificità sia geografiche che industriali. Nel far ciò si è cercato di valutare i principali costi associati alla politica energetica proposta e le possibili ricadute, sia in termini di occupazione che di sviluppo di nuovi settori industriali.

Questo rapporto, oltre ad indicare una serie di interventi che consentano di ottemperare ai già citati accordi internazionali e che siano sostenibili dal nostro sistema industriale, si propone quindi di offrire una stima ragionevole dei costi/benefici, anche sociali, dello scenario proposto. In altri termini si sono volute evidenziare le opportunità di creazione di posti di lavoro legati a possibili insediamenti industriali (nuovi o da riconversione dell'esistente) che siano ragionevolmente possibili nell'arco dei rimanenti 10 anni che ci separano dalla data prevista dalla direttiva europea. Per questo motivo tutte le tecnologie previste e suggerite presentano un alto grado di maturità, così da poter essere messe in opera sin dall'immediato.

Come tutte le transizioni tecnologiche, anche quella qui proposta non è priva di costi. Bisogna però sottolineare che nel caso in oggetto i costi sono in parte mitigati dalle compensazioni economiche che il Paese dovrà comunque sostenere qualora non ottemperi a quanto stabilito nei patti e dai regolamenti Comunitari.. Tutte le grandi transizioni industriali sono state favorite sostenendo le nuove tecnologie mediante la concessione di aiuti economici (ossia sussidiando le nuove installazioni). E' tuttavia chiaro che tale politica può essere ragionevolmente sostenuta per un limitato periodo, trascorso il quale le nuove tecnologie devono avere la forza di auto sostenersi nell'ambito dei prezzi stabiliti dal mercato. Inoltre, la politica del sussidio, che ovviamente grava sui contribuenti italiani, deve essere chiaramente volta a favorire l'occupazione nel nostro Paese e il progredire di comparti industriali in esso localizzati, anziché beneficiare industrie straniere, addirittura localizzate fuori dal perimetro dell'unione Europea.

Bisogna infine tener presente che, in un contesto di puro libero mercato, l'introduzione di direttive volte a favorire la mitigazione degli effetti climatici e l'indipendenza energetica che comportino un aggravio dei costi rischiano di favorire la delocalizzazione delle imprese in Paesi terzi non soggetti

¹ Lo schema e la bozza iniziale di questo rapporto sono opera di Leonardo Setti. Alla stesura definitiva hanno contribuito anche gli altri componenti del Gruppo di Lavoro

a tali regolamentazioni. Pertanto, è necessario prevedere anche l'introduzione di opportune regole di compensazioni nello scambio di merci e servizi con tali Paesi, in modo da evitare che le applicazioni di normative unilaterali portino a vanificare sia gli sforzi fatti in favore dell'ambiente e soprattutto lo sforzo fatto in termini di mantenimento dei livelli occupazionali e salariali.

2. Le direttive dell'UE: risparmio, efficienza, energie rinnovabili

Il Pacchetto Clima-Energia dell'Unione Europea [1] è finalizzato ad una riduzione del consumo di energia attraverso risparmio ed efficienza e ad un maggiore ricorso all'energia da fonti rinnovabili. L'integrazione di queste misure è necessaria per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra al fine di rispettare il protocollo di Kyoto e gli ulteriori impegni assunti a livello comunitario e internazionale oltre il 2012. Le quote di energia da fonti rinnovabili fissate dalla Comunità Europea, quale obiettivo per il 2020, rappresentano uno sforzo consistente per ogni Stato Membro. Sappiamo anche che sono solo un primo stadio che ci porterà a più impegnativi obiettivi per il 2050, delineati nella direttiva 29/2009/CE in cui si propone una riduzione delle emissioni di anidride carbonica del 60-80%. Per raggiungere risultati così significativi è necessaria una strategia ben definita a medio-lungo termine, che non può prescindere da una fase prioritaria di riduzione dell'intensità energetica. A questo stesso concetto si ispirano i documenti di Accademie e Associazioni di altri paesi, fra i quali gli USA [2,3].

Risparmio, efficienza ed energie rinnovabili hanno un'importante funzione anche nel promuovere la sicurezza degli approvvigionamenti energetici, nell'assestare la stabilizzazione dei prezzi, nel favorire l'innovazione tecnologica e nel creare sviluppo e posti di lavoro, specialmente nelle zone rurali ed isolate.

La Direttiva Europea 28/2009 definisce anche, con scadenza biennale, la traiettoria indicativa con cui ottemperare l'obiettivo del 2020. L'obiettivo è rappresentato dalla differenza tra la produzione di fonti di energia rinnovabile (FER) sul consumo finale al 2020 rispetto a quella del 2005. In Figura 1 viene riportata la traiettoria indicativa che è stata assegnata all'Italia rispetto alla velocità con cui il nostro Paese sta incrementando la produzione di FER, che si può stimare in 0,8 MTEP nel biennio 2008-2009 [2].

Come si può osservare, un andamento lineare della crescita di FER secondo il tasso registrato nel 2008-2009, che pure è un record per l'Italia, non è ancora sufficiente per ottemperare a quanto richiesto dalla Comunità Europea.

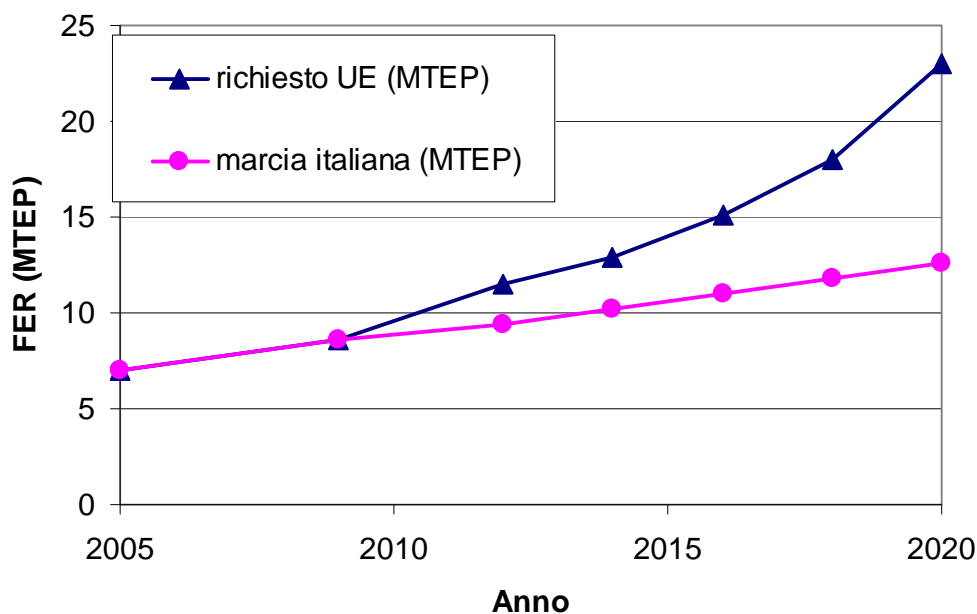


Figura 1. Confronto tra le traiettorie indicative secondo quanto richiesto dalla Direttiva 28/2009 e l'incremento italiano rispetto al biennio 2008-2009

La sfida che aspetta ogni Stato Membro per rispettare le direttive UE è impegnativa sia in termini di contenuti che di tempi. Occorre quindi disegnare una Road-Map che conduca con sicurezza agli obiettivi prefissati.

3. Scenario previsto dal Ministero delle Attività Produttive nel 2005

Nel 2005, il Ministero delle Attività Produttive [4] disegnò uno scenario preoccupante circa l'evoluzione del fabbisogno energetico italiano (Figura 2). Può essere utile partire da questo scenario anche se la crisi economica ha cambiato il quadro di riferimento, come sarà discusso in seguito. In tale scenario l'incremento tendenziale del fabbisogno energetico è stimato essere 1,38% all'anno fino al 2020. A questa data, il contributo delle fonti rinnovabili dovrebbe coprire il 9,9%, quello del carbone e del petrolio resterebbero sostanzialmente stabili sui livelli attuali, mentre il consumo del gas naturale aumenterebbe del 43% rispetto al 2005, portando questo vettore energetico a coprire il 41% del fabbisogno energetico nazionale, contro il 37% del petrolio.

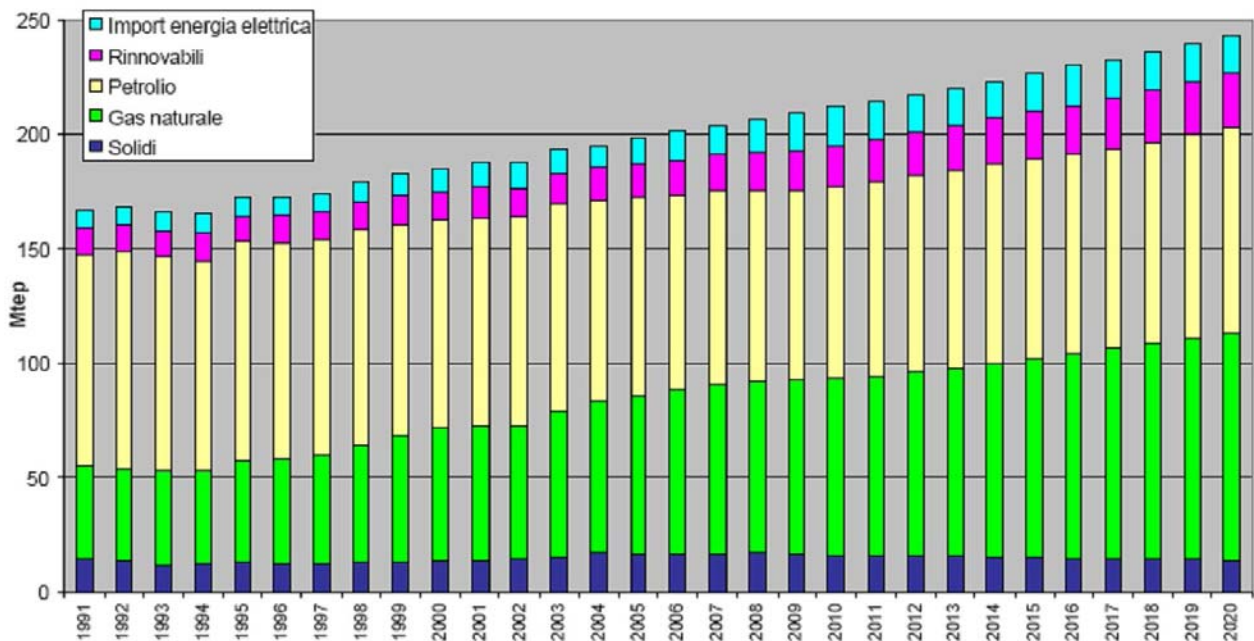


Figura 2. Evoluzione del fabbisogno energetico italiano [4].

In questo modo si accentuerebbe la dipendenza da fonti estere, con un sostanziale aggravamento nella dipendenza dal gas russo. Inoltre, il contributo delle fonti rinnovabili non sarebbe in linea con quanto richiesto dalla Comunità Europea, essendoci stata assegnata una quota di copertura sul consumo finale lordo del 17%.

Poiché in Italia il coefficiente di penetrazione elettrica è più basso che in altri paesi, è ragionevole attendersi un certo aumento nei prossimi anni, anche perché fra le possibili politiche per il risparmio di fonti primarie, ve ne sono diverse che vanno ad aumentare i consumi elettrici (es.: pompe di calore, mobilità elettrica, etc

Pertanto, l'incremento di 30 MTEP [5] previsto per il gas naturale dal piano ministeriale è sostanzialmente attribuibile ad un aumento di 15 MTEP per sopperire alla richiesta di energia elettrica (Figura 3). Questo sottintende la necessità di costruire nuovi impianti termoelettrici oltre che la progressiva conversione del sistema di riscaldamento con la metanizzazione di quella parte dell'Italia non ancora sufficientemente servita.

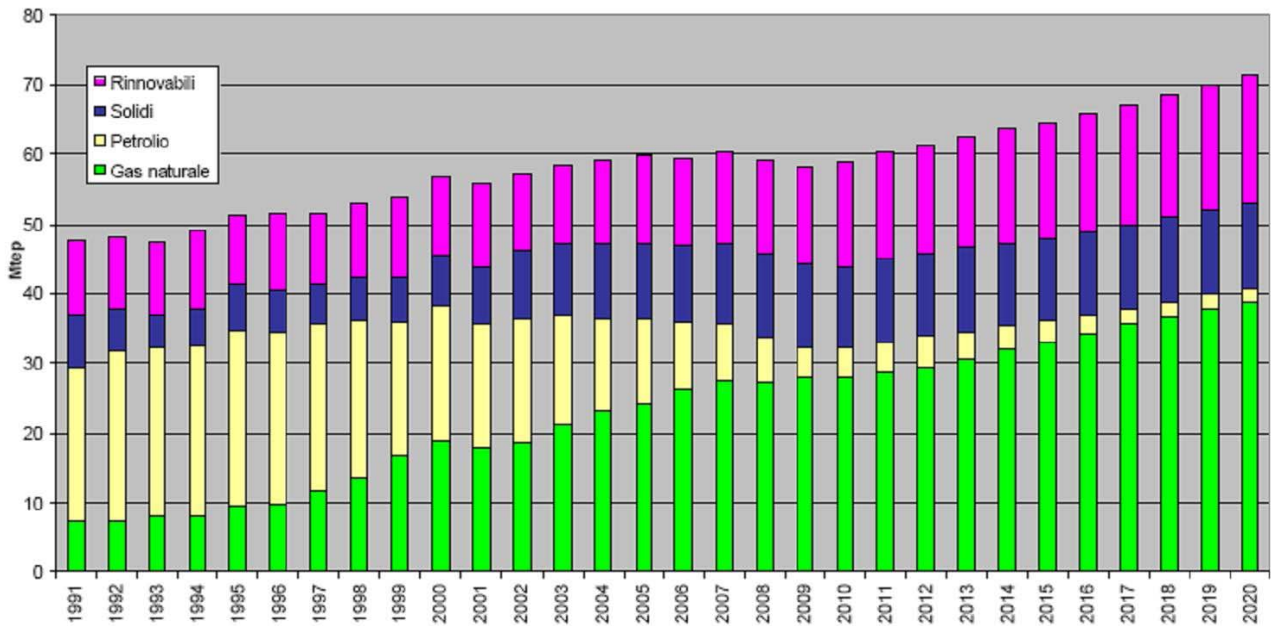


Figura 3. Evoluzione della produzione di energia elettrica in Italia [5].

L'Istituto per la Promozione Industriale [6] ha sviluppato uno scenario in cui si evidenzia che la domanda europea di gas naturale aumenterà passando da un consumo di 575 miliardi di metri cubi del 2005 a oltre 700 miliardi nel 2020, mentre la produzione europea annuale diminuirà passando da 330 miliardi di metri cubi nel 2005 a 220 miliardi nel 2020. Questi due andamenti comporteranno un aumento delle importazioni che passeranno da 250 miliardi di metri cubi del 2005 (pari al 43% del consumo) a circa 500 miliardi nel 2020 (pari al 70% del consumo). Su questa base sarebbe quindi necessario incrementare le attuali infrastrutture per l'approvvigionamento di gas naturale che ad oggi consentono l'importazione solo da due Paesi: Algeria e Russia. Poiché l'incremento del gas naturale sarebbe dovuto essenzialmente all'aumento della domanda di energia elettrica, l'inevitabile conclusione è che, in assenza di energia nucleare e di centrali a carbone, siamo esposti ad un'eccessiva e pericolosa dipendenza dal gas. Tutto ciò viene ovviamente sostenuto premettendo il fatto che l'energia eolica incide ancora poco e quella fotovoltaica è troppo costosa. Nel documento si fa poi accenno al fatto che già oggi le infrastrutture di approvvigionamento del gas riescono a stento a soddisfare la domanda, anche se tutto ciò è legato strettamente all'andamento del clima (inverno più o meno rigido, estate più o meno calda). All'andamento del clima si aggiunge il fenomeno dell'isola di calore urbana che riduce notevolmente i benefici ottenibili con una politica basata sull'efficienza energetica [7].

L'Italia, vista la sua collocazione al centro del Mediterraneo, si trova in una posizione strategica quale potenziale crocevia per la fornitura del gas africano e medio-orientale all'Europa. Si delinea quindi la concreta possibilità di far diventare l'Italia un "hub per il gas europeo" cioè uno snodo

ovvero un Paese di transito per questo fondamentale vettore energetico attraverso la realizzazione di opportune infrastrutture che comprendano anche i sistemi di stoccaggio e rigassificazione.

4. Necessità di ridurre le importazioni di combustibili fossili

Il quadro energetico italiano è dunque caratterizzato da una forte dipendenza dai combustibili fossili, elemento di notevole criticità sia in termini di approvvigionamento che di rapporti internazionali con i Paesi fornitori e con quelli attraverso i quali i combustibili transitano. Come già notato, il ricorso a risparmio, efficienza ed energie rinnovabili da un lato può alleviare il problema dell'approvvigionamento e dall'altro può contribuire a stabilizzare i prezzi delle forniture energetiche

La forte dipendenza energetica dell'Italia dalle importazioni di gas e petrolio può diventare pericolosa anche per il prevedibile forte aumento nel consumo mondiale di petrolio come conseguenza dello straordinario aumento dei consumi in Paesi emergenti come Cina ed India. Ad esempio, l'aumento del numero di automobili in Cina ad un ritmo di 10 milioni all'anno comporta un incremento del fabbisogno di petrolio di circa 13 MTEP/anno. Con questo tasso di crescita, fra 10 anni la Cina avrà 135 milioni di automobili, con un conseguente aumento dei consumi mondiali di petrolio di circa il 24%, forse difficilmente sostenibile in termini di offerta.

Indipendentemente dalle direttive della Comunità Europea, è quindi interesse strategico dell'Italia ridurre l'incremento delle importazioni dei due più importanti vettori energetici, gas e petrolio, che nello scenario prospettato dal Ministero raggiungerebbero nel 2020 quasi l'83% del fabbisogno energetico nazionale. La possibilità che l'Italia possa fungere da "hub del gas europeo" è ancor più interessante se riusciremo a ridurre la nostra dipendenza energetica dal gas, così che sia sempre più gas di transito.

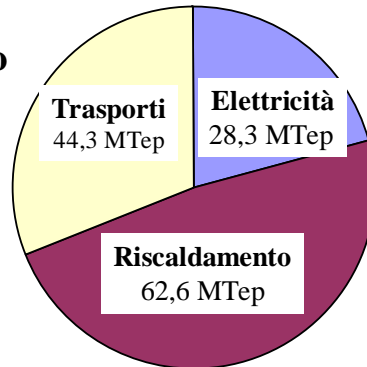
La strategia da adottare riguardo il gas naturale deve necessariamente tener conto del fatto che non avrebbe senso affrancarsi dalla dipendenza dal gas naturale cadendo nella dipendenza da qualche altro vettore energetico.

5. La strategia proposta

Lo sviluppo delle energie rinnovabili indicato dalle direttive europee offre l'opportunità di mettere in atto le strategie previste dal Ministero dello Sviluppo Economico in quanto, le energie rinnovabili, se ben integrate, possono ridurre la dipendenza da tutti i vettori energetici non rinnovabili tra cui anche il gas che ormai costituisce il vettore predominante.

Definizione dei consumi energetici italiani (anno 2005)

0,8% gas
99,2% petrolio



67,6% gas
22,4% petrolio
7,4% carbone

42,4% gas
10,2% petrolio
12,5% carbone
12,1% idroelettrico
3,9% geotermico, eolico, biogas e rifiuti
14% importata
5% altri

Figura 4. Distribuzione dei consumi finali italiani nel 2005 [8].

Al fine di individuare la migliore strategia operativa, si può partire dalla distribuzione dei consumi nazionali fra le tre macro-aree nell'anno 2005 illustrato nella Figura 4 [8]. I consumi energetici finali ammontano a 135,2 MTEP, con il 46% dedicato alla produzione di energia termica, il 33% ai trasporti e 21% alla produzione di energia elettrica. Tuttavia, il consumo totale di fonti primarie per la produzione di energia elettrica si aggira intorno a 59,2 MTEP (Fig. 3), dovendo tener conto dei consumi e delle perdite a cui vanno aggiunti 10 MTEP per quella importata.

Dal 2005 al 2008 si è osservata una progressiva riduzione dell'utilizzo del petrolio nella produzione di energia elettrica che oggi si aggira intorno al 5%, mentre si è verificato un deciso incremento dell'utilizzo di gas naturale, con una quota attuale del 48,8% [9]. Per ridurre il consumo di gas è necessario dunque intervenire nei settori dell'elettricità e del riscaldamento, mentre per ridurre la dipendenza dal petrolio bisogna intervenire nel settore dei trasporti mediante ricorso ad un altro vettore.

Il vettore che può essere immediatamente utilizzato è il gas naturale, in quanto la tecnologia è già presente sul mercato e la distribuzione del gas per autotrazione è già sviluppata in maniera puntiforme in alcune regioni come l'Emilia-Romagna. Una transizione di questo tipo non gestita o, peggio ancora, una rapida transizione all'autotrazione elettrica o al riscaldamento elettrico tramite pompe di calore porterebbero da una dipendenza dal petrolio ad una dipendenza dal gas ancora maggiore di quella già prospettata nello scenario del Ministero. Questa transizione è però

sostenibile nell'ambito di una strategica gestione integrata dell'energia in cui risparmio, efficienza ed uso delle fonti rinnovabili per la produzione di energia termica ed elettrica facciano risparmiare in questi settori consistenti quantità di metano che potranno così essere spostate sul settore trasporti. Con questa strategia si può disegnare un nuovo scenario in cui, grazie a recupero energetico e riduzione dell'utilizzo dei combustibili fossili nei settori riscaldamento ed elettricità, è possibile una sostituzione progressiva del petrolio con il metano nei trasporti, senza con questo incrementare il consumo totale di metano.

Si tratta quindi di preparare una Road-Map basata sulla progressiva riduzione dei consumi e sullo sviluppo delle fonti rinnovabili. Il conseguente risparmio di combustibili fossili verrà calcolato in via conservativa sia sulla base del mix energetico per la produzione di energia elettrica dell'anno 2008 (Tabella 1), che come gas naturale per la produzione di energia termica o come prodotti petroliferi (gasolio e benzina) per l'alimentazione dei trasporti.

Tabella 1. Consumo interno di energia elettrica in Italia (GWh) [9]

CONSUMO INTERNO LORDO DI ENERGIA ELETTRICA (al netto dei pompaggi)	Anno 2007		Anno 2008	
	354505	%	353560	%
Fonti tradizionali	258811	73,0	253806	71,8
solidi	44112	12,4	43074	12,2
gas naturale	172646	48,7	172697	48,8
petroliferi	22865	6,4	19195	5,4
altri combustibili	19187	5,4	18840	5,3
Fonti rinnovabili	49411	13,9	59720	16,9
idroelettrica da apporti naturali	32815	9,3	41623	11,8
biomasse e rifiuti	6954	2,0	7522	2,1
geotermica	5569	1,6	5520	1,6
eolica	4034	1,1	4861	1,4
fotovoltaica	39	0,0	395,4	0,1
saldo estero	46283	13,1	40034	11,3

6. Le componenti della Road-Map

6.1 Azioni di prevenzione dei consumi attraverso il risparmio energetico

Si può risparmiare energia sia attraverso azioni di sensibilizzazione per ridurre gli sprechi, cosa che richiede un cambiamento di stili di vita difficili da mettere in atto in tempi brevi, sia mediante azioni sistematiche che riguardano il miglioramento dell'efficienza energetica nei consumi correnti. Nel rapporto *“La rivoluzione dell'efficienza”*, redatto dal Politecnico di Milano [10], è stato stimato che i risparmi di energia elettrica che si potrebbero maturare agendo sugli stili di vita ammonterebbero a circa 25 TWh/anno, pari al 7% del consumo finale complessivo di energia elettrica (339 TWh/anno). Un valore enorme, pari a circa 5,4 MTEP di consumo interno lordo di cui 3,2 miliardi di metri cubi (2,6 MTEP) di gas naturale, 0,3 MTEP di prodotti petroliferi e 0,7 MTEP di combustibili solidi. Questo dimostra l'importanza della sensibilizzazione.

6.2 Azioni di prevenzione dei consumi attraverso l'efficienza energetica

Sebbene sembri più importante intervenire sui settori industriali ad alta intensità energetica, in realtà l'intervento sui consumi energetici civili/residenziali ha potenzialmente un impatto analogo. Infatti, la ripartizione dei consumi energetici per settori generali di attività, illustrata in Figura 5 [8], evidenzia che i due settori presentano una domanda d'energia dello stesso ordine di grandezza (22% contro il 31%). Il settore residenziale presenta una bassa intensità energetica (consumo/abitazione), ma un elevato consumo globale a causa dell'elevato numero di abitazioni presenti sul territorio. Il sistema civile-residenziale presenta inoltre una rigidità inferiore al cambiamento rispetto ad una unità produttiva.

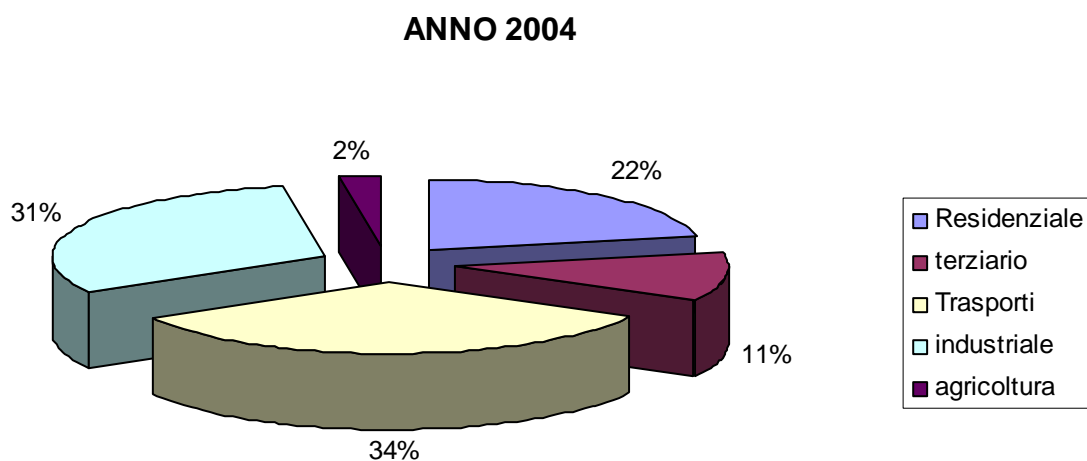


Figura 5. Ripartizione dei consumi energetici italiani per settori generali [8]

6.2.1 Elettrodomestici bianchi

Alimentando lavatrici e lavastoviglie con acqua calda prodotta esternamente con una caldaia a gas ad alta efficienza si può ottenere un risparmio di energia elettrica pari a 3 TWh/anno (1% del consumo elettrico interno lordo), che corrispondono a 0,65 MTEP (di cui 0,31 MTEP derivanti da gas naturale, 0,03 MTEP di combustibili petroliferi e 0,08 MTEP di combustibili solidi). Per scaldare l'acqua esternamente saranno necessari 0,26 MTEP di gas naturale, con un risparmio netto di 0,39 MTEP, di cui 0,05 MTEP in gas naturale, corrispondenti a circa 60 milioni di metri cubi [11].

Per capire l'entità di questa semplice azione dobbiamo considerare che la quantità di energia elettrica risparmiata è equivalente al 50% di tutta quella prodotta da eolico nel 2008. Questo importante risultato sarebbe facilmente raggiungibile al 2020 imponendo sul territorio italiano la vendita di lavastoviglie e lavatrici collegabili direttamente all'acqua calda sanitaria. Ciò potrebbe

essere legato ad una forma d'incentivazione dell'elettrodomestico bianco, del quale gran parte della produzione è realizzata in stabilimenti localizzati sul territorio Italiano. Pertanto l'incentivo, pagato dal contribuente italiano, si focalizzerebbe su un settore dove l'industria nazionale è preminente.

6.2.2 Boiler

Un'altra azione analoga si potrebbe ottenere mettendo al bando tutti i boiler elettrici, laddove sia presente la rete del gas, a favore di quelli a gas naturale, con un risparmio di 4 TWh/anno di energia elettrica che porterebbe ad un risparmio netto di 0,52 MTEP di cui 0,07 MTEP in gas naturale che corrispondono a 80 milioni di metri cubi, ai quali si aggiungono 0,04 MTEP di combustibili petroliferi e 0,11 MTEP di combustibili solidi. Questa azione, sommata alla precedente, equivale ad un risparmio di energia elettrica sul consumo finale di 7 TWh/anno, cioè l'equivalente di tutta l'energia elettrica prodotta da eolico nel 2008.

6.2.3 Apparecchiature elettriche più efficienti

Si può stimare [10] che sostituendo le apparecchiature elettriche attualmente in funzione con quelle più efficienti esistenti nei settori domestico, industriale e terziario, si potrebbero risparmiare circa 103 TWh/anno pari al 30,4% dei consumi totali di elettricità. Il Piano d'Azione italiano sull'Efficienza Energetica (PAEE) [12] ha delineato uno scenario di risparmio energetico di 33 TWh/anno al 2016 e 73 TWh/anno al 2020 pari al 21,5% dei consumi finali di energia elettrica.

Tabella 2. Potenziale tecnico di risparmio di energia elettrica al 2020 [10]

<i>Settore</i>	<i>Totale</i>	<i>Residenziale</i>	<i>Terziario commerciale</i>	<i>Terziario Pubblico</i>	<i>Industriale</i>
<i>Uso finale</i>	TWh/anno	TWh/anno	TWh/anno	TWh/anno	TWh/anno
<i>illuminazione</i>	45,4	4,5	20,7	4,7	15,5
<i>Motori elettrici</i>	39,4	1,1	10,7	1,0	26,6
<i>Elettrodomestici</i>	7,5	7,5	0,0	0,0	0,0
<i>Altro</i>	10,7	0,0	5,9	1,6	3,2
Totale	103,0	13,1	37,2	7,3	45,3

Nel 2020 (Tabella 2), si può ragionevolmente immaginare di centrare l'obiettivo relativo all'illuminazione (45,4 TWh/anno) ed agli elettrodomestici (7,5 TWh/anno), mentre maggiori difficoltà si possono immaginare riguardo la sostituzione dei motori elettrici industriali tenendo in considerazione l'attuale congiuntura economica sfavorevole che rallenta gli investimenti. Una riduzione dei consumi di 70 TWh/anno, come previsto dal PAEE, rappresenta quindi un obiettivo possibile e costituisce il 20% dei consumi finali di energia elettrica che corrispondono a 15 MTEP di fonti primarie di cui circa 8,5 miliardi di metri cubi (7 MTEP) di gas naturale, 0,81 MTEP di combustibili petroliferi e 1,8 MTEP di combustibili solidi.

6.2.4 Certificazione degli edifici

Sempre nell'ambito dell'azione di prevenzione dei consumi, il problema della certificazione energetica degli edifici costituisce un importante obiettivo da perseguire. In Italia, così come negli altri Paesi europei, il problema riguarda principalmente il patrimonio edilizio esistente (nel 2001 risultavano esistenti 12,8 milioni di edifici, di cui 10,9 milioni utilizzati per abitazioni residenziali) piuttosto che gli edifici di nuova costruzione (nell'anno 2003 sono stati costruiti 57.148 fabbricati residenziali e 26.681 fabbricati non residenziali). Da più di venti anni le nuove costruzioni sono soggette a vincoli riguardanti il consumo di energia per il riscaldamento, pertanto per esse si tratta soltanto di modificare i limiti di consumo imposti in ragione delle nuove esigenze operative peraltro già in atto in molte Regioni italiane come il Trentino, la Lombardia e l'Emilia-Romagna. Il problema da affrontare è l'applicazione di norme di certificazione energetica a circa 13 milioni di edifici potenziali o a 26,5 milioni di abitazioni già esistenti. Questa operazione richiede l'accreditamento di numerosi certificatori ed offre quindi enormi opportunità di lavoro, secondo percorsi già sperimentati su larga scala in altri paesi europei [13]. Un obiettivo di riferimento [13] può essere quello di certificare e riqualificare almeno il 70% del parco edifici, che corrispondono a circa 18 milioni di fabbricati. E' un obiettivo certamente ambizioso, che richiederà specifici incentivi per essere raggiunto. Considerando un risparmio energetico medio di 0,4 TEP/abitazione all'anno per il solo riscaldamento, il recupero energetico complessivo potrebbe essere di circa 7 MTEP ovvero 8,5 miliardi di metri cubi di gas naturale. La certificazione energetica dell'edificio porterebbe anche ad una riduzione dei consumi di energia elettrica per il condizionamento estivo, prevalentemente negli edifici legati alle attività produttive e al terziario. È in ogni caso opportuno osservare come il ricorso a piccoli impianti di condizionamento nel settore residenziale tende via via ad aumentare in concomitanza con specifici eventi climatici come le "onde di calore" e merita quindi una discreta attenzione per quanto possa avvenire a medio termine [14]. Una previsione su tale dato risulta difficile, ma permette di ritenere che la stima sopra esposta sia conservativa [15]. A

questo proposito, nel PAEE [12] si ipotizza una riduzione dei consumi di 41 TWh/anno nel 2016 e di 63 TWh/anno nel 2020, per cui gli 81 TWh/anno (corrispondenti a 7 MTEP) previsti nel nostro scenario dovrebbero essere raggiungibili.

Per quanto riguarda la riqualificazione energetica, non è stato preso in considerazione l'attività produttiva legata al settore industriale poiché è da ritenersi un obiettivo più difficile dato che è necessario intervenire su processi produttivi che possono essere caratterizzati anche da un'elevata complessità. Nel PAEE [12] si ipotizza una riduzione conseguibile di 17 TWh/anno nel 2016 e 21 TWh/anno nel 2020 per il settore terziario così come 10 TWh/anno nel 2016 e 43 TWh/anno nel 2020 per il settore industriale. Complessivamente i settori terziario ed industriale potrebbero puntare ad un risparmio di circa 64 TWh/anno, equivalenti a 5,5 MTEP ovvero 6,7 miliardi di metri cubi di gas naturale.

6.3 Azioni di prevenzione dei consumi sui trasporti

Il PAEE [12] individua tre azioni per il risparmio energetico nel settore dei trasporti su gomma: 1) misure riguardanti i veicoli (introduzione di limiti di consumo, pneumatici a bassa resistenza di rotolamento, lubrificanti a bassa viscosità, condizionatori più efficienti); 2) misure relative alla domanda ed al comportamento (ecodriving e tassazione in funzione del consumo); 3) misure infrastrutturali (controllo dinamico dei semafori, parking management, car sharing, navigazione dinamica, gestione trasporto merci, manto stradale con ridotta resistenza al rotolamento, road pricing dei centri urbani)

Queste azioni vengono valutate complessivamente in un risparmio di 23 TWh/anno nel 2016 e 74 TWh/anno nel 2020, cioè circa 6,4 MTEP di prodotti petroliferi per autotrazione che corrispondono al 14% dei consumi nel settore trasporti nel 2005.

Si può ritenere questo dato come conservativo se si aggiungono ulteriori azioni mirate all'incentivazione di auto a metano di bassa cilindrata, ad una riduzione dei limiti di velocità e ad una efficiente gestione dei mezzi pubblici.

Occorre precisare che non è stato qui considerato l'effetto di eventuali politiche di limitazione della velocità dei veicoli. Tale misura si scontra ovviamente con una buona dose d'impopolarità. Sulle lunghe percorrenze autostradali, una riduzione del 10% della velocità dei veicoli comporterebbe un risparmio di un terzo dei consumi; infatti, alle alte velocità, i consumi sono essenzialmente legati alla dissipazione di aerodinamiche che dipendono dal cubo della velocità, per cui una diminuzione di circa il 30% dei consumi sarebbe ottenibile riducendo la velocità media in autostrada da 130 km/h a 120 km/h.

6.4 Azioni sull'implementazione dell'energia prodotta da fonti rinnovabili

6.4.1 Idroelettrico

Il Position Paper del Governo del 2007, indica un potenziale al 2020 di 20,2 GW rispetto ai 17,6 GW del 2008 [16]. La produzione nel 2008 è stata di 42,9 TWh, esclusa la quantità prodotta attraverso i pompaggi, da cui si può ipotizzare una produttività al 2020 di circa 50 TWh. I 7,1 TWh in più previsti porterebbero ad una riduzione di 1,5 MTEP dell'utilizzo di fonti primarie di cui circa 0,8 MTEP corrispondono a 0,9 miliardi di metri cubi di gas naturale, 0,08 MTEP di combustibili petroliferi e 0,2 MTEP di combustibili solidi. In realtà in questo campo ci sono forti oscillazioni naturali, come è evidenziato dall'analisi storica.

6.4.2 Solare termico a bassa temperatura

L'installazione di solare termico a bassa temperatura potrebbe essere resa obbligatorio nell'ambito della certificazione energetica degli edifici.

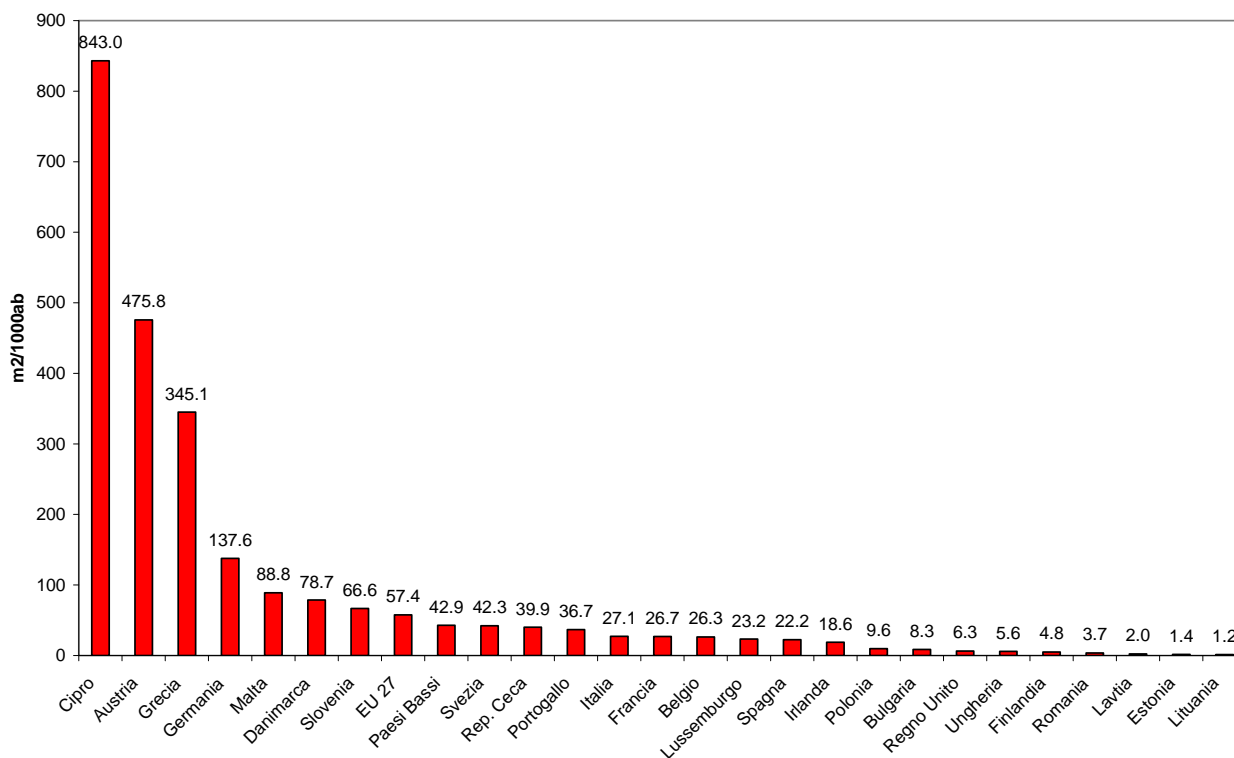


Figura 6. Parco solare termico nel 2008 espresso come mq ogni 1000 abitanti [17]

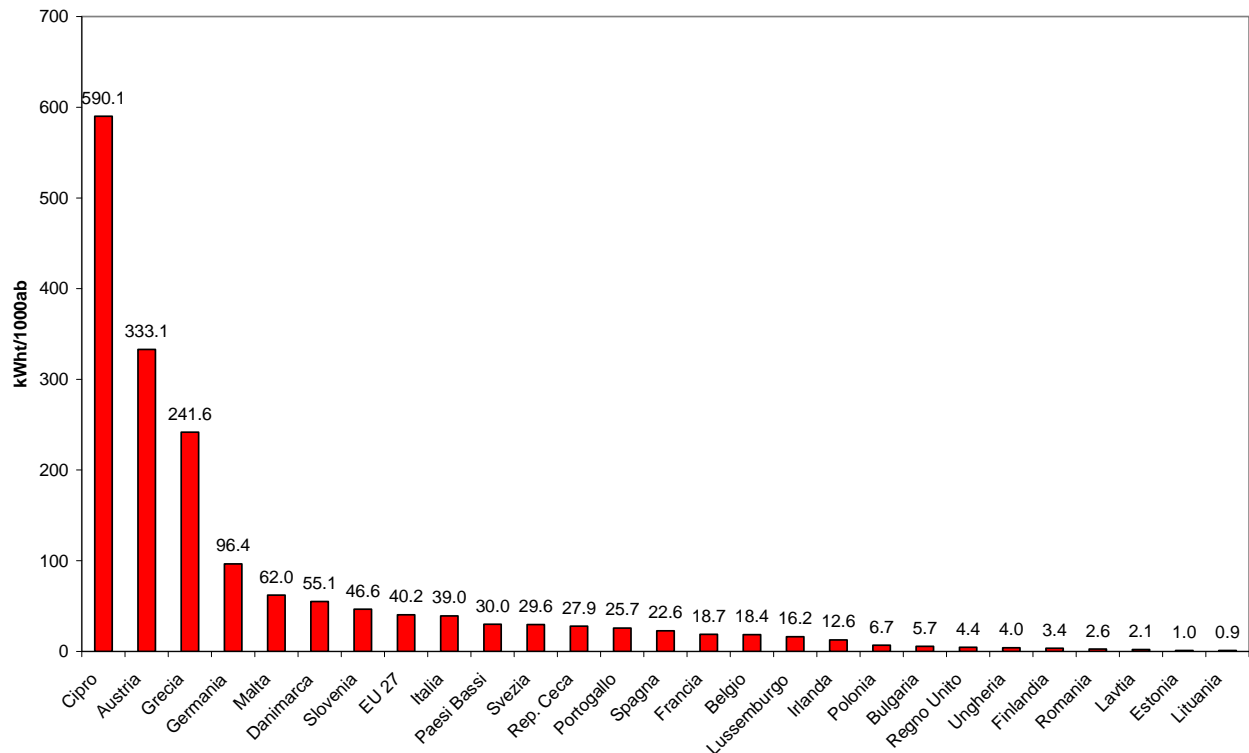


Figura 7. Parco solare termico nel 2008 espresso come kWh per 1000 abitanti [18]

Una stima per il possibile sviluppo in questo campo si può avere considerando i risultati già ottenuti in altri Paesi europei. Le Figure 6 e 7 mostrano che Austria e Grecia hanno un parco solare termico circa 15 volte maggiore rispetto a quello italiano. Questo confronto indica che l'Italia potrebbe tendere ad avere un parco solare termico di almeno 24 milioni di metri quadrati, rispetto a 1,7 milioni di metri quadrati del 2008. Ipotizzando una potenza media di 0,7 kWth per metro quadrato di collettore, la potenza complessiva risulterebbe di 16,8 GWth.

Considerando una media annuale di 100 metri cubi di gas naturale risparmiato ogni metro quadrato di collettore termico, si può così stimare un recupero di circa 2,4 miliardi di metri cubi di gas naturale, cioè circa 2 MTEP. Il potenziale massimo di circa 1333 metri quadrati di collettore ogni mille abitanti porterebbe ad un parco solare termico di 80 milioni di metri quadrati, corrispondente al recupero di circa 8 miliardi di metri cubi di gas naturale, ovvero 6,6 MTEP.

Per raggiungere l'obiettivo più conservativo di 24 milioni di metri quadrati al 2020 occorrerebbe installare circa 2,4 milioni di metri quadrati di collettori solari ogni anno. E' certamente una operazione possibile se consideriamo che la Germania nel 2008 ha installato circa 1,9 milioni di metri quadrati. Uno scenario di questo tipo potrebbe creare circa 21.000 nuovi posti di lavoro.

6.4.3 Fotovoltaico

Allo stesso modo del solare termico a bassa temperatura, anche il solare fotovoltaico potrebbe essere inserito obbligatoriamente nella certificazione energetica degli edifici.

Germania e Spagna hanno oggi un parco fotovoltaico di circa 9.000 MWp e 3.400 MWp, rispettivamente. L'Italia, che nel 2008 aveva 380 MWp e che a fine 2010 avrà circa 2.700 MWp, potrebbe sicuramente raggiungere nel 2020 un obiettivo simile a quello già raggiunto dalla Germania.

Il potenziale massimo per il settore residenziale si può valutare in circa 666 Wp/ab, rispetto ai 5 Wp/ab dell'Italia e 75 Wp/ab della Spagna nel 2008 (Figura 8). Il mercato fotovoltaico presenta una situazione molto fluida ma in continua crescita, tanto che l'Italia si posizionerà alla fine del 2010 in terza posizione dietro Spagna e Germania con circa 57 Wp/ab, cioè 10 volte di più rispetto ai dati del 2008. Ipotizzando 666 Wp/ab, il residenziale avrebbe un parco fotovoltaico di circa 40.000 MWp, che produrrebbe 48 TWh di energia elettrica ogni anno ovvero il 15% del fabbisogno complessivo in rete, con un recupero di 10 MTEP di cui 5 MTEP corrispondono a circa 6 miliardi di metri cubi di gas naturale, 0,5 MTEP di combustibili petroliferi e 1,2 MTEP di combustibili solidi. Per raggiungere l'obiettivo più conservativo al 2020 di 9.000 MWp, cioè l'equivalente della potenza tedesca attuale, occorrerebbe installare una media di 900 MWp ogni anno, un'impresa possibile considerando che la Germania ha installato 3.000 MWp nel 2009 e la Spagna ha installato 2.800 MWp nel 2008.

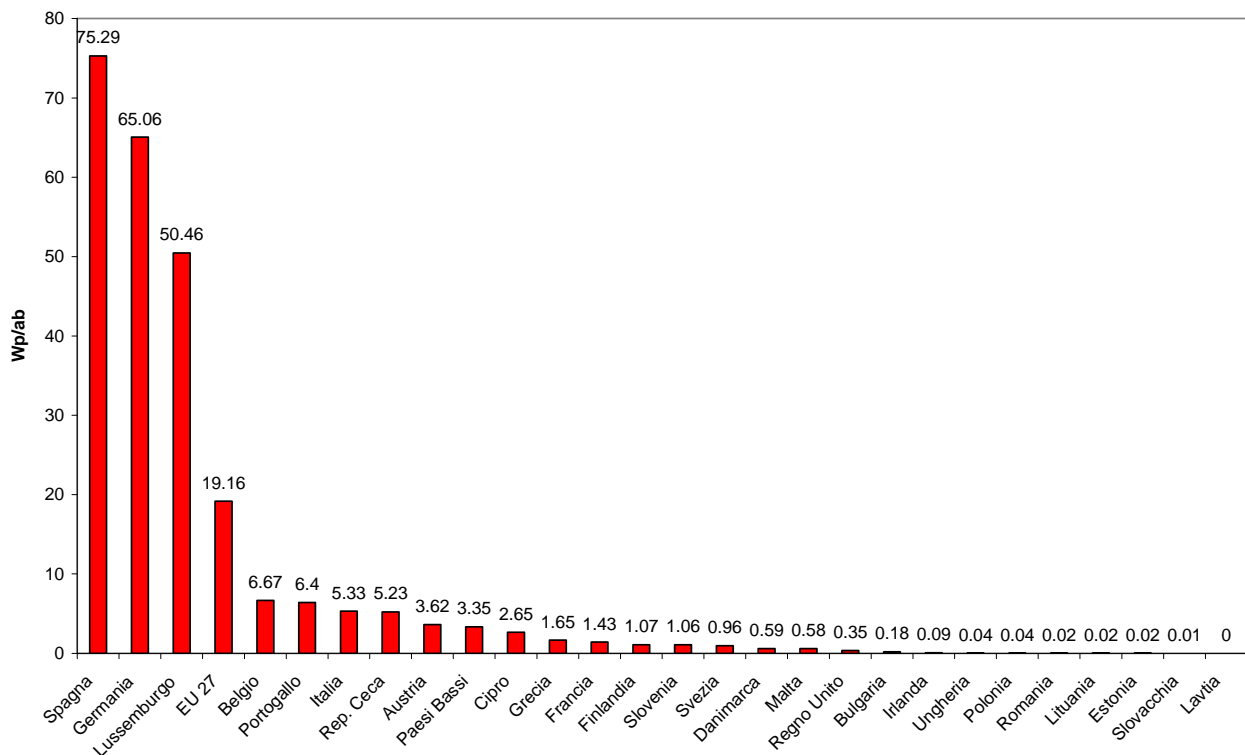


Figura 8. Parco fotovoltaico nel 2008 espresso come Wp installato ogni abitante [17].

Che tale obiettivo sia alla nostra portata lo dimostra anche il fatto che nel 2010 in Italia saranno installati circa 1.400 MWp. Mantenendo questo incremento costante per i prossimi 10 anni si raggiungerebbe un obiettivo di 14.000 MWp che porterebbe ad una produzione annuale di energia elettrica di 16,8 TWh (corrispondente a circa il 5% del consumo finale lordo nazionale di energia elettrica) e ad una riduzione di 3,6 MTEP dell'utilizzo di fonti primarie, di cui circa 1,8 MTEP che corrispondono a 2,1 miliardi di metri cubi di gas naturale, 0,2 MTEP di combustibili petroliferi e 0,4 MTEP di combustibili solidi. Uno scenario di questo tipo permetterebbe di creare 28.000 nuovi posti di lavoro nei prossimi 10 anni.

Occorre precisare che lo sviluppo delle installazioni fotovoltaiche è stato essenzialmente sostenuto dalla presenza di una generosa politica incentivante (circa 0.45€/kWh), atta a compensare i costi d'investimento associati. Mantenendo un simile incentivo e assumendo una produzione elettrica di 1700 kWh/kWp, l'incentivo da erogare sarebbe pari a 0.75 M€/MWp/anno, un valore difficilmente sostenibile anche riducendolo ad un terzo di tale valore. Occorre però considerare anche che il prezzo del modulo fotovoltaico installato ha registrato sensibili diminuzioni, passando dai circa 6 €/Wp dell'inizio del 2008, agli odierni 2.8 €/Wp (aprile 2010). Quindi, circa un dimezzamento del prezzo in un anno e mezzo. Il mantenimento di una simile tendenza porterebbe a valori inferiori a 2 €/Wp per la fine del 2013 portando l'ammortamento dell'investimento a 10 anni senza incentivi.

Infine, occorre puntualizzare che, come per tutte le fonti rinnovabili ad eccezione di quella geotermica, i ragionamenti devono essere effettuati sull'energia finale prodotta e non sulla potenza installata in quanto la discontinuità della produzione dovuta ai cicli giorno/notte, meteorologici e stagionali porta ad un fattore di trasformazione ben inferiore a 0.2 Wel/Wp.

6.4.4 Eolico

Le previsioni dell'ANEV al 2020 [18] stimano una capacità installata di circa 16.000 MW che porterebbe ad una produzione annuale di energia elettrica di circa 27 TWh, ovvero ad una copertura dell'8% del fabbisogno complessivo di energia elettrica e ad una riduzione di 5,8 MTEP dell'utilizzo di fonti primarie, di cui circa 2,8 MTEP corrispondenti a 3,4 miliardi di metri cubi di gas naturale, 0,3 MTEP di combustibili petroliferi e 0,7 MTEP di combustibili solidi.

Uno scenario di questo tipo permetterebbe di creare 67.000 nuovi posti di lavoro entro il 2020.

Nel 2009 la potenza eolica in Italia era di 4.850 MW per una produttività di 6,4 TWh/anno. Questo significa che si potrebbe raggiungere l'obiettivo di 16.000 MW di potenza eolica al 2020 (come previsto dall'ANEV) garantendo un incremento annuale medio di circa 1.100 MW. Un simile aumento è certamente possibile considerando i 1.010 MW installati nel 2007 e 2008, e i 1.113 MW

installati nel 2009. Nel 2020 si potrebbe quindi ipotizzare una produzione addizionale di circa 20,6 TWh di energia elettrica (corrispondente a circa il 6% del consumo finale lordo nazionale di energia elettrica), che si traduce in una riduzione di 4,4 MTEP dell'utilizzo di fonti primarie, di cui circa 2,1 MTEP che corrispondono a 2,5 miliardi di metri cubi di gas naturale, 0,2 MTEP di combustibili petroliferi e 0,5 MTEP di combustibili solidi.

6.4.5 Geotermia

L'Italia rappresenta il 5° Paese al Mondo per la produzione di energia elettrica da geotermia con una potenza installata di 650 MW ed una produttività di circa 5,2 TWh/anno. Il potenziale massimo nazionale si aggirerebbe intorno a 5 GW, tuttavia è ritenuto realistico, sia nel Position Paper del Governo Italiano del 2007 [19] che nel rapporto Foss [20] la possibilità di raggiungere 1.300 MW nel 2020 con una produttività complessiva di 9,7 TWh/anno.

Uno scenario di questo tipo prevede l'installazione di 650 MW al 2020, ovvero raddoppiare il numero degli impianti attuali, il che significa un incremento di 4,7 TWh di energia elettrica. Tale incremento si traduce in una riduzione di 1,0 MTEP dell'utilizzo di fonti primarie, di cui circa 0,5 MTEP corrispondono a 0,6 miliardi di metri cubi di gas naturale, 0,05 MTEP di combustibili petroliferi e 0,1 MTEP di combustibili solidi.

6.4.6 Solare a concentrazione

La produzione di energia termica attraverso impianti a concentrazione solare (CSP) risulta particolarmente efficiente e si può calcolare un potenziale di circa 50 MW per km quadrato di specchi a concentrazione solare. Questa potenza può essere accumulata per periodi fino a 24 ore e le temperature raggiunte in caldaia sono tali da permettere l'integrazione degli impianti CSP con quelli termoelettrici. La potenza dei CSP ed in particolare la loro produttività annuale in termini di energia elettrica dipende sia dalla latitudine che dalla quantità di energia irradiata dal sole nell'arco di un anno. L'esposizione solare della fascia Sahariana è di circa 8500 ore di sole annuali, rispetto alle 5050 ore della Spagna e alla 2060 ore della Germania.

Questa tecnologia si presta per la realizzazione di grandi impianti in zone particolarmente assolate, il principio su cui si basa il ben noto progetto DESERTEC [21] che dovrebbe coprire il 15% dell'energia Europea con i suoi 700 TWh/anno di energia elettrica prodotta su una superficie di 2.500 km/quadrati. In questo progetto l'Italia potrebbe rientrare mettendo a disposizione una parte del territorio siciliano avente le caratteristiche di irraggiamento necessarie.

Su questa base si potrebbero ipotizzare due centrali a concentrazione solare da 50 MW cadauna del tipo ANDASOL 1 come realizzato in Spagna nel 2009. I 100 MW installati potrebbero produrre

annualmente circa 400-600 GWh elettrici. Il massimo rendimento di questi impianti è di circa 300 kWh per metro quadrato, non molto dissimile a quello di un buon pannello fotovoltaico situato alla stesse latitudini, ma presenta costi competitivi intorno a 10-15 centesimi € per kWh prodotto. Questi impianti si prestano poi ad essere integrati ad impianti termoelettrici, con interessanti economie di scala.

Facendo un confronto con gli impianti fotovoltaici, non è però qui pensabile una riduzione dei costi d'investimento seguendo le economie di scala, dato che questi sono in tutto e per tutto impianti termoelettrici basati su cicli vapore. Quindi il costo di produzione dell'energia elettrica difficilmente potrà scendere sotto il minimo tra i due valori sopra indicati nel periodo temporale qui in esame.

6.5. Biomasse

Le biomasse, essendo immagazzinabili, possono diventare strategiche per compensare parte della discontinuità intrinseca dell'energia solare ed eolica. L'Italia ha un consumo energetico specifico di circa 7 kWh/anno per metro quadrato di territorio, più alto dell'energia recuperabile da un metro quadrato di terreno coltivato a biomassa, che in media potrebbe rendere annualmente 2 kWh elettrici e 4 kWh termici.

6.5.1 Biomasse forestali

Le foreste italiane presentano un volume complessivo di legname stimabile in 1,5 miliardi di m³, con un accrescimento annuo di circa 30 milioni di m³. In media nel nostro Paese si stima si utilizzino circa 9 milioni di m³ di legname, pari a circa il 30% dell'accrescimento forestale annuo. Di questi, 5,4 milioni di m³ sono costituiti da legna da ardere e 3,6 milioni di m³ di legname per opera [22].

Secondo alcune stime del rapporto ITABIA 2003 [23], la quantità di legname potenzialmente estraibile annualmente in Italia ammonterebbe a 25 milioni di m³. Escludendo la frazione da destinare ad altri impieghi, per scopi energetici resterebbero circa 18 milioni di m³/annui, l'equivalente di 4 MTEP/anno. A questi, sempre secondo ITABIA, si potrebbero aggiungere 4 MTEP da coltivazioni dedicate e 7 MTEP da residui agricoli e industriali, per un totale di 15 MTEP. La produzione italiana è oggi assestata intorno a 2,4 MTEP.

L'utilizzo di biomasse solide in impianti centralizzati di medie dimensioni necessita di una diffusa rete di teleriscaldamento al fine di sfruttare la co-generazione o la tri-generazione. In uno scenario di questo tipo, si può ipotizzare di riuscire ad estrarre un terzo di energia elettrica (5 MTEP che corrispondono a 23,2 TWh/anno) ed un terzo di energia termica (5 MTEP). Il restante terzo verrà

inevitabilmente perso come dimostrano i pur efficienti impianti di teleriscaldamento alimentati da gas naturale. I 10 MTEP che arrivano al consumo finale farebbero risparmiare circa 6 miliardi di metri cubi di gas naturale per energia termica e circa 3 miliardi di metri cubi di gas naturale per l'energia elettrica [23].

La Francia, leader tra i produttori di energia da biomasse solide con 9,2 MTEP/anno, ha puntato all'utilizzo delle biomasse legnose per il solo riscaldamento nel settore terziario/residenziale (7 MTEP/anno), come dimostrano le vendite di caminetti a fuoco chiuso, stufe e caldaie che ammontano negli ultimi tre anni a circa 500.000 unità/anno. Gli impianti di cogenerazione sono stati localizzati in aree industriali ad alta richiesta di calore [24].

Considerando i 2,4 MTEP di energia primaria già oggi prodotti con biomassa solida da cui si generano 2,5 TWh/anno di energia elettrica, si può ipotizzare un potenziale residuo di 12,6 MTEP. Applicando la medesima strategia francese anche in Italia nel settore terziario/residenziale, si potrebbero recuperare circa 9,5 MTEP di energia termica sui 12,6 MTEP potenziali con un risparmio di circa 11,4 miliardi di metri cubi di gas naturale.

Per centrare questo obiettivo nel 2020, sarebbe necessario produrre annualmente circa 29 milioni di tonnellate equivalenti di pellets, da raggiungere con un tasso di crescita annuale di 2,9 milioni di tonnellate, aventi una resa media energetica di 4,9 kWh/kg. I macchinari attualmente in uso consentono di produrre più di 7,5 ton/h di pellets, cioè circa 60.000 ton/anno, ad un costo medio di 82 €/ton in cui è già compreso il costo per il reperimento della materia prima. Per produrre 29 milioni di tonnellate nel 2020, occorrerebbe realizzare 48 nuove linee di produzione ogni anno fino al raggiungimento di 480 linee, ovvero una linea ogni 17 comuni. Secondo AIEL [25], in Italia sono installate 800.000 caldaie a pellet per uso domestico, con un tasso di crescita medio di 100.000 caldaie/anno. Il consumo di pellet è così passato da 150.000 ton del 2001 a 800.000 ton nel 2008 (di cui 150.000 ton di importazione), ovvero 0,3 MTEP/anno per una media di 1 ton di pellet consumata per ogni caldaia.

Su questa base si può ipotizzare per l'Italia un tasso di crescita annuale simile a quello francese con 500.000 caldaie per il settore terziario/residenziale. Si potrebbero quindi installare un totale di 5 milioni di unità al 2020 che richiederebbero circa 5 milioni di tonnellate di pellet ogni anno da cui si possono recuperare al 75% di rendimento circa 18,4 TWh di energia termica ovvero 1,6 MTEP che corrispondono a 1,9 miliardi di metri cubi di gas naturale.

Per correttezza occorre precisare che la combustione di biomasse, a causa della loro composizione contenente composti azotati, richiede degli impianti di trattamento dei fumi che comportano un incremento dei costi d'investimento. Inoltre, il particolare regime di combustione che s'instaura in

quest'impianti provoca anche un aumento di particolato fine nelle emissioni. Pertanto, in un bilancio ambientale corretto, anche questi aspetti debbono essere accuratamente considerati.

6.5.2 Biocombustibili

6.5.2.1 Importanza del biogas

Il recupero di biogas dalle discariche per rifiuti urbani rappresenta in Europa, e in particolare in Gran Bretagna, la più importante fonte di energia alternativa da biomasse, con oltre 450 impianti operativi che producevano circa 1,4 MTEP/anno nel 2007 rispetto agli 0,4 MTEP di Germania ed Italia [17].

Il biogas può essere generato anche da biomasse di scarto della filiera agro-alimentare: liquami prodotti negli allevamenti zootecnici, residui colturali, scarti organici e acque reflue dell'agro-industria, fanghi di depurazione delle acque reflue urbane e industriali e frazioni organiche di rifiuti urbani. La Germania è il Paese con la maggiore quantità di impianti di biogas da scarti organici che nel 2007 ammontavano a 3.711 con un trend di crescita intorno a 400-600 impianti ogni anno. Nel 2007 l'energia primaria prodotta dagli impianti tedeschi era di circa 2,4 MTEP/anno con un tasso di crescita di 0,7 MTEP/anno: un valore decisamente superiore rispetto agli 1,6 MTEP inglesi e 0,4 MTEP italiani che presentano tassi di crescita annuale non superiori di 0,14 MTEP/anno e 0,02 MTEP/anno, rispettivamente. Nel 2007 la Germania produceva circa 9,5 TWh/anno di energia elettrica da impianti in co-generazione di biogas che corrispondono a 2 MTEP di fonti primarie rispetto ad una produzione contemporanea di 0,06 MTEP/anno di calore. Questo confronto mette in evidenza che la produzione di calore è decisamente poco sfruttabile in quanto gli impianti di biogas non sono adatti per loro natura a grandi reti di teleriscaldamento. Per questo motivo, attraverso una legge emanata 12 Marzo 2008, la Germania sta puntando fortemente sulla produzione di biometano cioè sulla purificazione del biogas attraverso collaudate tecnologie di scrubbing al fine di poterlo immettere nella rete di distribuzione del gas naturale, con l'obiettivo di sostituire il 10% del consumo entro il 2030. Immettere il biometano nella rete permetterebbe di sfruttare completamente il suo potere calorifico se pensiamo per esempio alle caldaie ad alta efficienza o al suo interessante utilizzo come biocombustibile per l'autotrazione. La legge tedesca dà priorità alla produzione di biometano piuttosto che a quella di energia elettrica da biogas e stabilisce che un'ampia quota dei costi sia coperta dagli operatori della rete e non dai produttori. In Svezia la vendita di biometano come combustibile per automobili ha superato nel 2007, con 28 milioni di metri cubi, quella del gas naturale (25 milioni di metri cubi). Su 233 unità di produzione di biogas, 37 producono biometano di cui 4 lo immettono direttamente in rete per un totale annuale di 2 milioni di metri cubi.

5.5.2.2 Biogas da scarti agro-alimentari

Nel nostro Paese lo sviluppo e l'ottimizzazione di una strategia concertata tra operatori della filiera agro-alimentare, fornitori di tecnologie e distributori di vettori energetici porterebbe a una produzione annuale di biogas pari almeno a quella tedesca, oggi di 29 TEP per 1.000 abitanti contro i 6,9 TEP per 1.000 abitanti dell'Italia (Figura 9) [17]. Questo risultato porterebbe la produzione italiana a 1,74 MTEP di biogas che corrispondono a 2,1 miliardi di metri cubi di gas naturale, ovvero il 2,5% dell'intera piattaforma nazionale che ammonta a circa 85 miliardi di metri cubi, con un incremento tendenziale annuale di 4 miliardi di metri cubi, pari a 5,3%.

Per centrare questo obiettivo al 2020 sarebbe necessario incrementare la produzione di 1,34 MTEP, con un tasso di crescita annuale di 0,134 MTEP cioè 6 volte maggiore rispetto a quello attuale. Se poi volessimo tenere un tasso di crescita pari a quello tedesco, l'incremento annuale dovrebbe aggirarsi intorno a 0,54 MTEP. E' ragionevole pensare che incrementi simili saranno possibili tra 10-15 anni nell'ambito di un mercato nazionale maturo come quello dell'odierna Germania.

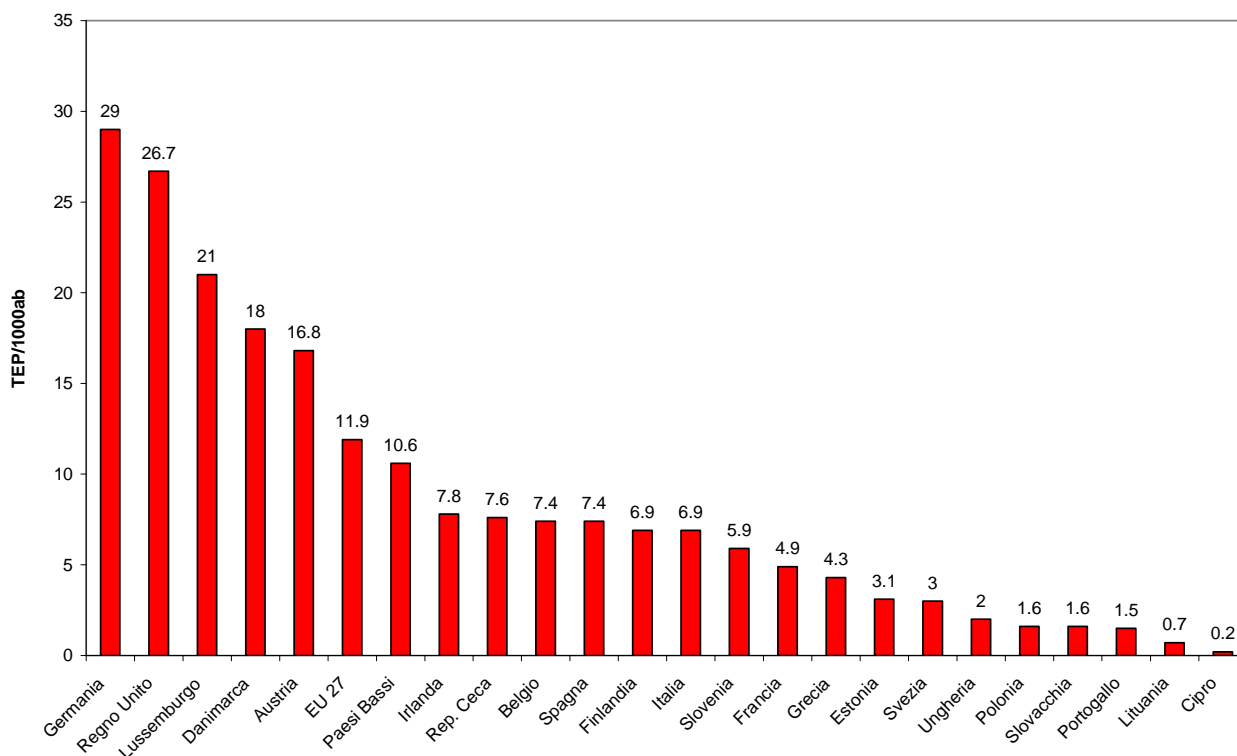


Figura 9. Parco biogas nel 2007 espresso come TEP prodotte ogni 1000 abitanti [17].

6.5.2.3 Biogas da residui solidi urbani

La filiera legata al sistema integrato di gestione dei residui solidi urbani (RSU) è già pienamente matura per poterne gestire la Frazione Organica (FORSU) attraverso una puntuale raccolta differenziata al fine di produrre biogas. Vi sono già numerosi esempi di utilizzo della FORSU in digestori anaerobici alimentati con scarti agro-alimentari e reflui zootecnici. I volumi di questa frazione organica potrebbero essere trattati in piccoli reattori statici realizzati a livello locale oppure presso le discariche esistenti.

La Gran Bretagna produce 23,3 TEP ogni 1000 abitanti da discariche di RSU in cui ogni impianto è in grado di produrre 3.111 TEP contro i 647 TEP di un medio impianto tedesco a biomasse di scarto agro-alimentare. L'esperienza inglese e tedesca dimostra che è possibile ottenere il medesimo risultato in termini di produzione di biogas sfruttando due filiere diverse.

L'Italia quindi potrebbe puntare a raggiungere il risultato inglese di 23 TEP ogni 1000 abitanti che porterebbe la produzione nazionale a 1,3 MTEP di biogas, corrispondenti a 1,6 miliardi di metri cubi di gas naturale.

Per centrare questo obiettivo al 2020, sarebbe necessario incrementare la produzione di 0,9 MTEP con un tasso di crescita annuale di 0,09 MTEP. Per far questo bisogna realizzare 29 impianti di grossa taglia da 3.111 TEP/anno cadauno, il che significa un nuovo grosso impianto ogni 275 comuni o un nuovo piccolo impianto da 647 TEP/anno ogni 55 comuni

6.5.2.4. Biodiesel, bioetanolo

Questi due vettori energetici stanno acquistando un interesse crescente per il loro utilizzo nell'autotrazione. Risulta però difficile definire obiettivi in quanto la filiera di produzione di questi biocombustibili compete con la delicata filiera alimentare. Paesi come Germania e Francia, oggi leader del mercato europeo per la produzione di biodiesel e di bioetanolo, presentano già segni di squilibrio nel definire tassi di autosufficienza. La Germania, ad esempio, consuma 3,3 MTEP di biocombustibili per autotrazione a fronte di una produzione interna di 0,58 MTEP di bioetanolo e 2,4 MTEP di biodiesel cioè complessivamente 2,98 MTEP con un importazione netta di 0,32 MTEP. Se poi si tiene conto del consumo di combustibili tradizionali necessario per la produzione dei biocombustibili (stimato in 1,3 MTEP) appare chiaramente l'entità dello sbilanciamento complessivo.

La situazione italiana risulta maggiormente equilibrata in quanto a fronte di un consumo di circa 0,56 MTEP/anno di biocombustibili si osserva una produzione di circa 0,54 MTEP. Anche in questo caso andrebbe aggiunto il consumo complessivo di combustibili tradizionali per la produzione dei biocombustibili che si aggira a circa 0,2 MTEP.

7. Modifiche nella rete elettrica

La progressiva penetrazione delle fonti rinnovabili, con impianti caratterizzati da taglie medio-piccole, distribuiti sul territorio in maniera omogenea e per lo più connessi alle reti di media e bassa tensione, renderà necessario modificare anche la modalità di distribuzione dell'energia elettrica, per motivi tecnici, di efficienza ed economia.

Si renderà necessario passare da una tipologia di distribuzione dell'energia elettrica fondamentalmente gerarchica e unidirezionale, dalla grande centrale di produzione all'utenza finale, ad una tipologia più flessibile, in cui i vari nodi della rete possano tramutarsi da utenze a generatori, seguendo bisogni tecnici o volontà di mercato, in modo libero, sicuro e trasparente per la rete.

Questa decentralizzazione della produzione, costituita in buona parte da fonti non dispacciabili, può essere accettata dall'attuale infrastruttura elettrica solo fino ad una certa percentuale. Essa comporta infatti problematiche di gestione, legate al raggiungimento di livelli di tensione e flussi di potenza anomali e non controllabili, e anche di sicurezza, per il non corretto funzionamento di alcune protezioni elettriche presenti in rete, che potranno risultare sottodimensionate rispetto alle nuove potenze e correnti di guasto in gioco. Di fatto, l'attuale protocollo di gestione della rete della rete prevede che ogni volta si presenti localmente qualche problema gestionale o guasto, si provveda, per sicurezza, all'immediato distacco dalla rete dei generatori distribuiti.

In sostanza, con le modalità di gestione attuale e a fronte di una forte penetrazione della generazione distribuita, si potrebbero presentare i seguenti problemi:

- difficoltà al mantenimento della qualità del servizio a causa di fonti incostanti e non programmabili;
- difficoltà ad adeguarsi alle dinamiche veloci del mercato dell'energia;
- difficoltà a garantire la possibilità di connessione in ogni punto della rete.

Per evitare simili inefficienze, sarà importante in futuro avere un controllo sui flussi di energia che permetta di utilizzarli nelle immediate vicinanze della produzione ,anche attraverso la creazione di micro aree autonome e di sistemi di accumulo, in modo da sfruttare efficacemente le connessioni e diminuire le perdite in linea.

Per implementare queste nuove funzionalità sarà necessario un'adeguata rete di comunicazione e lo sviluppo di dispositivi locali intelligenti. Sarà anche fondamentale poter accedere a tecnologie di accumulo meno costose di quelle attualmente disponibili. L'obiettivo per la futura rete di distribuzione, la cosiddetta Smart Grid [26,27], sarà di aggiungere ad ogni livello della rete funzioni di monitoraggio, analisi e comunicazione consentendo quindi un controllo delocalizzato e una coordinazione tra produzione e carichi anche a livello di utenza finale, con i seguenti benefici:

Affidabilità. Le Smart Grid dovranno essere in grado di rilevare criticità di esercizio della rete, come sovraccarichi e sovratensioni, risolvendoli localmente nel modo più opportuno, in modo da arginare immediatamente il problema; allo stesso tempo dovranno anche essere in grado di reagire a criticità di sbilanciamento locale tra generazione e consumo operando autonomamente per mantenere le condizioni di equilibrio.

Efficienza. Le Smart Grid avranno il compito di ottimizzare il trasporto di energia, minimizzando le perdite, in modo autonomo e forniranno strumenti per la gestione delle modifiche topologiche e funzionali di una rete con molti punti di generazione aleatori.

Sostenibilità. Attraverso le Smart Grid si permetterà una più ampia generazione di energia da fonti rinnovabili che, andando a sostituire le fonti tradizionali, contribuiranno all'abbassamento della produzione di inquinanti e di CO₂ globale.

Coinvolgimento del consumatore. Grazie all'infrastruttura di comunicazione delle Smart Grid ed alle apparecchiature intelligenti e programmabili adottate, sarà possibile anche per il consumatore industriale o domestico avere un ruolo attivo nella richiesta di energia. Infatti egli potrà programmare alcune utenze a bassa priorità ma ad alto consumo, come lavatrice, scaldabagno o certi processi industriali, perché si attivino solo quando il costo dell'energia sarà al di sotto di un certo livello. In generale vi sarà la possibilità di incentivare la modifica del profilo di consumo di ogni utente per eliminare i costosi picchi di richiesta energetica in determinate ore della giornata e lo spostamento di questi quando la tariffa è minore. In questo modo la gestione più economicamente conveniente per l'utente porterà anche ad uno spostamento verso l'ottimo gestionale per la rete. Si attuerà infatti, in modo spontaneo, un generale livellamento del profilo di consumo nazionale con benefici per la produzione e la gestione dell'energia.

8. Riassunto della Road-Map energetica

Tabella 3. Riassunto dei risultati prospettati della Road-Map energetica

Azioni	Energia risparmiata	Energia termica prodotta	Energia elettrica prodotta	Potenza elettrica installata	mc gas naturale risparmiati dall'incremento previsto
Prevenzione					
Risparmio energetico	5,4 MTEP				3,2 miliardi
Lavatrici e lavastoviglie	0,39 MTEP				0,06 miliardi
Boiler elettrici	0,52 MTEP				0,08 miliardi
Efficienza energetica	15 MTEP				8,5 miliardi
Certificazione energetica residenziale	7 MTEP				8,5 miliardi
Certificazione energetica terziario/industriale	5,5 MTEP				6,7 miliardi
trasporti	6,4 MTEP				
SUB-TOTALE	40,2 MTEP				27 miliardi
Fonti rinnovabili					
idroelettrico			44,7 TWh	20,2 GW	0,9 miliardi
Solare termico		2 MTEP			2,4 miliardi
Fotovoltaico			16,8 TWh	14 GWp	2,1 miliardi
eolico			27 TWh	16 GWp	2,5 miliardi
geotermia			9,7 TWh	1,3 GW	0,6 miliardi
Biomasse solide		1,6 MTEP	5,5 TWh	0,7 GW	2,6 miliardi
Biometano		3,0 MTEP			3,7 miliardi
Biocombustibili liquidi		0,4 MTEP			
SUB-TOTALE		7,0 MTEP	103,7 TWh	52,3GWp	14,8 miliardi
TOTALE	40,2 MTEP	7,0 MTEP	103,7 TWh	52,3GWp	41,8 miliardi

Per commentare i dati della Tabella riassuntiva della Road-Map energetica ricordiamo anzitutto i dati dei consumi al 2005, Figure 2 e 3:

Totale dei consumi lordi al 2005:	184 MTEP
Totale dei consumi finali al 2005:	135,2 MTEP

Per valutare la ricaduta delle azioni sopra descritte sulle indicazioni della Direttiva Europea 28/2009/CE [1], dobbiamo riferire i dati al consumo finale, che differisce da quello lordo poiché il consumo finale di energia elettrica è inferiore a quello lordo utilizzata per produrlo. A questo scopo utilizziamo i seguenti rapporti indicativi per l'energia elettrica in funzione del mix di fonti energetiche al 2005:

325 TWh → 28,3 MTEP consumo finale → 74,3 MTEP consumo lordo (import compreso)

Dalla Tabella 3 è possibile dedurre i seguenti dati:

Energia risparmiata attraverso risparmio ed aumento di efficienza:

Energia termica = 18,9 MTEP sul consumo finale

Energia elettrica = 21,3 MTEP sul consumo lordo = 8 MTEP sul consumo finale

Totale = 26,9 MTEP sul consumo finale.

Il risultato di queste azioni, tutte possibili, porterebbe il nostro Paese ad una riduzione dell'intensità energetica del 20% rispetto ai consumi energetici finali del 2005. Il dato potrebbe anche essere sottostimato perché non tiene in considerazione sia l'effetto della riqualificazione energetica sul raffrescamento estivo che le eventuali azioni sul settore industriale.

Energia termica prodotta da fonte rinnovabile

La quantità di energia termica prodotta da fonte rinnovabile (7,0 MTEP) rappresenterebbe il 4% sul totale dei consumi lordi al 2005, il 5% sui consumi finali ed il 11% dei soli consumi termici.

Energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile

Nello scenario sopra esposto, la quantità di energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile (59,0 TWh, cioè 12,7 MTEP sul consumo lordo e 4,9 MTEP sul consumo finale) dovrebbe essere aggiunta anche quella della quota prodotta attualmente da idroelettrico (44,7 TWh cioè 4,7 MTEP sul consumo finale), che si presume rimanga costante. Questa quantità di energia prodotta

rappresenterebbe il 34% del consumo finale di energia elettrica, l'7% sul totale dei consumi lordi del 2005 ed il 7% sul totale dei consumi finali.

L'energia elettrica prodotta complessivamente da fonte rinnovabile si può stimare in circa 103,7 TWh al 2020 cioè 9,5 MTEP sul consumo finale in linea con quanto riportato dalle stime effettuate da diversi enti di ricerca e dal Position Paper del Governo del 2007 (Tabella 4).

Tabella 4. Stime sulla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile al 2020

Fonte dati	TWh
<i>FOSS</i>	108
<i>Position Paper del Governo (2007)</i>	104,2
<i>CESI (2009)</i>	97
<i>Società Italiana di Fisica (2008) [28]</i>	96
<i>ENEA (2008)</i>	91,5
<i>Assoelettrica</i>	95,1

Interessante notare che la potenza nominale di energia elettrica da fonte rinnovabile risulterebbe di 52,3 GWp cioè l'equivalente dei 51 GW richiesti dalla rete nazionale intorno alle 11 di un generico giorno lavorativo del mese di maggio 2007, come riportato dalla rete elettrica nazionale di TERNA. Questa potenza sarebbe suddivisa in 21,6 GW di potenza costante legata agli impianti idroelettrici, geotermici e biomasse solide, ovvero il 41,8%. La restante parte sarebbe invece di energia variabile e quindi legata prevalentemente alle condizioni climatiche. La quota di potenza costante garantirebbe una copertura del 68% durante la notte, quando la domanda di potenza scende intorno a 32 GW. Il rimanente 32% notturno può essere coperto dai 35 GW di potenza massima delle centrali termiche attualmente in funzione. Così come già avviene oggi durante le ore notturne, le varie fluttuazioni legate alle fonti variabili fotovoltaiche ed eoliche potranno essere gestite almeno in parte attraverso i pompaggi.

9. Previsioni sui consumi finali lordi al 2020

Come già notato, le previsioni dei consumi calcolate dal Ministero dello Sviluppo Economico nel 2005 non sono più attendibili in quanto la crisi economica ha cambiato completamente il quadro di riferimento. L'Osservatorio sull'Energia AIEE riporta che l'effetto della crisi economica ha fatto precipitare la domanda di energia da fonti primarie a 191,3 MTEP del 2008 e a 180,3 MTEP del

2009. La riduzione della domanda complessiva di energia ha riportato il sistema energetico italiano sui livelli del 1997/1998. Su questa base possiamo quindi pensare che la domanda energetica nazionale, per effetto di un'eventuale ripresa economica, si assesti nel 2020 sui valori del 2007, e cioè:

Consumo Interno Lordo₂₀₂₀ = 194,2 MTEP

Consumo Finale Lordo₂₀₂₀ = 135,2 MTEP

Si può anche ipotizzare che avremo la stessa domanda energetica del 2005, mentre la Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile [29] ha previsto un Consumo Finale Lordo al 2020 di 131 MTEP.

Se manteniamo come ipotesi quella da noi ipotizzata, allora il 17% di energia da fonti rinnovabili richiesto dalla Unione Europea dovrebbe corrispondere a circa 23,0 MTEP, da cui devono essere sottratti i 7,0 MTEP del 2005 che corrispondono ad una copertura del 5,2% di energia da fonte rinnovabile sul consumo finale lordo.

Consumo finale al 2020:	135,2 MTEP
Riduzione dell'intensità energetica:	-26,9 MTEP
Totale:	108,3 MTEP

Energia termica rinnovabile:	7,0 MTEP
Energia elettrica rinnovabile:	9,5 MTEP
Totale:	16,5 MTEP

Questo scenario ci porterebbe ad una quota di energia rinnovabili sul consumo finale del 15% non ancora in linea con il 17% richiesto dalla Unione Europea. Questo dato è comunque soggetto a forti variabilità tanto che, se prendessimo la previsione di consumi della Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, la copertura sarebbe prossima al 16%, soddisfacendo di fatto quanto richiesto dalla direttiva europea.

10. L'evoluzione dei trasporti nella Road-Map

Le azioni previste nella Road-Map avrebbero come risultato quello di liberare un surplus di gas naturale che è stimabile in 41 miliardi di metri cubi, il 40% dell'intera piattaforma, cioè circa 33 MTEP. Questo gas potrebbe essere utilizzato per coprire il 74% dell'energia necessaria per i trasporti rispetto ai consumi del 2005 e l'87% dopo l'azione di mitigazione prevista. Quindi,

attraverso un'azione integrata di prevenzione dei consumi e di produzione di energia da fonte rinnovabile si potrebbe liberare metano in quantità tale da coprire quasi completamente la domanda energetica dei trasporti, riducendo la dipendenza dal petrolio senza incrementare l'importazione di gas naturale.

La messa in opera di questo risultato implicherebbe una riconversione quasi completa del parco automobilistico. Si potrebbe pensare ad una ragionevole quota di riconversione di 1,5 milioni di automezzi/anno, che porterebbe ad avere 15 milioni di automobili a metano nel 2020, ovvero il 42% dell'intero parco.

I 3,7 miliardi di biometano immessi nella rete potrebbero essere utilizzati per l'autotrazione e rappresenterebbero, con 3,0 MTEP, il 7% del fabbisogno rispetto ai consumi del 2005 ed il 10% dopo l'azione di mitigazione prevista, in linea quindi con quanto richiesto dalla Comunità Europea.

11. Aspetti economici della Road-Map

La strategia descritta nelle sezioni precedenti porta per il 2020 ai risultati descritti nella Tabella 5, dove sono specificati gli investimenti necessari ad eccezione di quelli, difficilmente valutabili, richiesti dalla trasformazione della rete elettrica.

Tabella 5. Aspetti economici della Road-Map

Azioni	Energia risparmiata sul consumo finale	Energia termica prodotta	Nuova Potenza elettrica installata	Costi in euro	Risparmi in euro da importazioni combustibili
Prevenzione					
Risparmio energetico	25 TWhe				3 miliardi
Lavatrici e lavastoviglie	3 TWhe			1,5 miliardi	0,36 miliardi
Boiler elettrici	4 TWhe			4,1 miliardi	0,49 miliardi
Efficienza energetica	70 TWhe			70 miliardi	8,54 miliardi
Certificazione energetica residenziale	81 TWht			162 miliardi	2,8 miliardi
Certificazione energetica terziario/industriale	64 TWht			128 miliardi	2,56 miliardi
trasporti	6,4 MTEP				3,3 miliardi
SUB-TOTALE	27,4 MTEP			365,6 miliardi	21,1 miliardi
Fonti rinnovabili					
idroelettrico			2,6 GW	7,3 miliardi	5,4 miliardi
Solare termico		2 MTEP		35,3 miliardi	0,9 miliardi
Fotovoltaico			14 GWp	39 miliardi	0,7 miliardi
eolico			16 GWp	25,6 miliardi	1,1 miliardi
geotermia			1,3 GW	2,5 miliardi	0,4 miliardi
Biomasse solide		1,6 MTEP	0,7 GW	1,8 miliardi	1,4 miliardi
Biometano		3,0 MTEP		5,4 miliardi	1,4 miliardi
Biocombustibili liquidi		0,4 MTEP			0,2 miliardi
SUB-TOTALE		7,0 MTEP	52,3 GWp	116,9 miliardi	11,5 miliardi
TOTALE	27,4 MTEP	7,0 MTEP	52,3 GWp	482,5 miliardi	32,6 miliardi

NOTA 1. La Road-Map prevede la realizzazione di almeno 5 impianti per la produzione di 300 MW di silicio solare per alimentare il fabbisogno nazionale di 1400 MW/anno (vdie infra).

NOTA 2. Gli impianti per la produzione di biometano e l'utilizzo di biomasse solide sono quelli con costo di investimento più conveniente. Come abbiamo visto in dettaglio, il tasso di crescita del biometano potrebbe anche essere doppio, portando la quantità di energia termica al 2020 a 6 MTEP. In questo caso, la produzione di energia da fonte rinnovabile arriverebbe a 19,5 MTEP, rispetto ai 21,8 MTEP richiesti dalla Comunità Europea sulla base delle azioni di mitigazione previste. L'incremento sulla componente biometano permetterebbe all'Italia di centrare l'obiettivo del 17% di energia da fonte rinnovabile sul consumo finale.

I costi della Road-Map ricadrebbero ovviamente sui cittadini e sulle imprese attraverso non solo costi diretti per l'acquisto di tecnologia e realizzazione infrastrutture, ma anche costi indiretti per sostenere gli incentivi delle azioni da mettere in atto. Gli incentivi dal canto loro devono essere tarati al fine di garantire un incremento medio anno di FER ed un decremento dell'intensità dei consumi tali da centrare l'obiettivo richiesto dalla Comunità Europea. L'entità dell'investimento totale può spaventare, ma distribuito in un arco di un decennio sarebbe di circa 48 miliardi/anno, cifra che impressiona molto meno se paragonata ai 37 miliardi di euro che vengono mediamente spesi in Italia ogni anno soltanto per l'acquisto dei 2,5 milioni di automobili nel turn-over del mercato automobilistico. D'altra parte bisogna considerare che l'enorme indotto generato dalla road-map permetterebbe l'apertura di una nuova era industriale paragonabile a quella avviata negli anni '60 con lo sviluppo dell'automobile. Con la differenza che, mentre un'automobile è un bene "deperibile", le attività messe in atto per l'incremento delle energie rinnovabili e quelle per la riduzione dei consumi si valorizzano nel tempo, specialmente dopo il punto di pareggio che dal nostro scenario si potrebbe stimare dopo 15 anni.

12. La Road-Map Industriale

La strategia delineata nella Road-Map per un Sistema Integrato di Gestione dell'Energia implica lo sviluppo di un sistema industriale in grado di supportare la Road-Map stessa.

A chi opera nel settore energia è evidente, oggi, la mancanza di un tessuto industriale in grado di sostenere appieno le enormi opportunità offerte dal mercato energetico. E' necessario, quindi, mettere in atto nuove linee di indirizzo politico/culturale per una Road-Map Industriale che permetta di entrare in modo proficuo in questo mercato. Alcuni principi fondamentali sono qui di seguito elencati.

1. Attivare una campagna di sensibilizzazione per una migliore educazione energetica che porti la popolazione ad essere più consapevole della necessità di ridurre gli sprechi per diminuire l'uso dei combustibili fossili.
2. Imporre l'uso di lavastoviglie e lavatrici alimentate direttamente da acqua calda sanitaria. Questo porterebbe allo sviluppo di nuove linee di elettrodomestici, dotati di dispositivi di miscelazione, che, se incentivati, porterebbero ad un completo ricambio di tutto il parco.
3. Imporre la copertura dell'80% della produzione di acqua calda sanitaria a energia da fonte rinnovabile in tutte le compra-vendite di immobili privilegiando il solare termico, ove possibile, rispetto alle caldaie a biomassa solida e al teleriscaldamento da impianti in cogenerazione alimentati da biomasse solide. Occorre rivedere e definire nuove norme relative ai tetti ubicati in centri storici e a quelli di rilevanza storica. Inoltre, occorre avviare un programma per l'utilizzo dei combustibili a biomassa come legna da ardere, pellets e cippato nel settore residenziale in caldaie ad alto rendimento (>75%) conformi alla legislazione relativa alla qualità dell'aria. L'utilizzo delle biomasse legnose per il riscaldamento diretto migliorerebbe notevolmente il rapporto tra l'energia recuperata e l'incentivo corrisposto rispetto alla tariffa omnicomprensiva relativa alla produzione in cogenerazione di energia elettrica da biomasse.
4. Imporre 2 kWp di energia fotovoltaica in tutte le compra-vendite di immobili utilizzando, ove necessario, specifiche piattaforme fotovoltaiche in regime di scambio ubicate in aree industriali o altri luoghi opportuni. Per questo motivo è opportuno normare una variante del regime di Scambio sul Posto per le piattaforme fotovoltaiche collettive in cui venga dimostrato l'auto-consumo.
5. Normare la possibilità di immettere il biometano nella rete di distribuzione del gas naturale, cioè il biogas purificato e portato ai requisiti minimi per essere equiparato al gas naturale. In questo caso sarebbe indispensabile introdurre un Conto Energia specifico legato al biometano, come esiste già in Germania dal 2008. Questo rappresenterebbe una considerevole opportunità per tutte quelle Regioni fortemente metanizzate come la Lombardia e l'Emilia-Romagna. Il biometano permetterebbe di incrementare notevolmente l'energia recuperabile in quanto verrebbe utilizzato nelle caldaie ad alto rendimento portando in questo modo l'energia rinnovabile direttamente nei centri storici senza l'aggravio di investimenti in nuove opere per l'interramento di reti di teleriscaldamento, decisamente poco efficienti in un Paese temperato come l'Italia. Questa azione migliorerebbe notevolmente il rapporto tra energia recuperata e l'incentivo corrisposto

rispetto a quello della tariffa omnicomprensiva prevista per l'energia elettrica prodotta da biogas.

6. Incentivare la sostituzione delle auto a benzina e gasolio con auto a metano. Questo permetterebbe di ridurre i consumi complessivi e le emissioni di gas serra rispondendo direttamente a quanto richiesto dal Protocollo di Kyoto. Inoltre, le auto a metano abbinate alla normativa di immissione del biometano nella rete di distribuzione del gas naturale permettono di contabilizzare il biometano come quota di energia rinnovabile per alimentare i trasporti, rispondendo così anche ai requisiti richiesti dalla Direttiva Europea 28/2009
7. Incentivare lo sviluppo di almeno 5 nuovi stabilimenti per la produzione di silicio di grado solare da 300 MWp/anno capaci di alimentare a regime la domanda annuale di 1.400 MWp di fotovoltaico installato, che si raggiungerà già alla fine del 2010, dimostrando come l'obiettivo descritto nella Road-Map sia assolutamente raggiungibile. Ai prezzi odierni, prossimi ad 1.2 €/Wp, un tale volume d'installazione corrisponde ad un investimento di 720 M€ anno (nel 2009 a causa della sovrapproduzione di silicio dovuta a nuovi impianti realizzati, il prezzo del modulo fotovoltaico a silicio policristallino – la tecnologia standard – si è sostanzialmente dimezzato da circa 3 USD/Wp a 1.7 USD/Wp). Oggi, per la sostanziale mancanza di produttori nazionali, l'installazione di impianti fotovoltaici corrisponde ad un'uscita di capitale verso le nazioni produttrici di silicio (il costo del modulo è per il 50% imputabile al costo del semiconduttore), ossia Germania e Cina. Una linea produttiva di silicio solare da 3.000 ton/anno richiede un investimento dell'ordine dei 300 M€. Tale produzione, tenendo conto di un consumo di circa 10 kg Si/kWp, corrisponde a una potenza installabile di circa 300 MWp/anno. Pertanto, per soddisfare le installazioni in precedenza indicate (600 MWp/anno) sarebbero necessarie solo 2 linee produttive. Quindi, nell'orizzonte temporale in esame (10 anni), una tale linea sarebbe in grado di fornire silicio per 3 GWp. In realtà, tenendo conto del tempo di costruzione dell'impianto (2 anni) la potenza finale sarebbe pari a 2.4 Gwp, pur sempre superiore a quella precedentemente prevista. Tenendo conto degli ammortamenti per gli impianti chimici (10 anni), il costo d'investimento per la costruzione di un impianto incide per 0.1 €/Wp. Quindi supponendo di promuovere la costruzione dell'impianto anziché dell'energia prodotta, si potrebbe eliminare l'incentivo sull'energia e imporre la fornitura di silicio a prezzi tali da garantire direttamente la cosiddetta “grid parity”. Il vantaggio di una tale procedura sarebbe di legare le aziende produttive al territorio italiano e non disperdere all'estero le tasse del contribuente nazionale. Nella mappa seguente (Figura 10) vengono mostrate le localizzazioni degli attuali impianti per la produzione di celle e di wafer e vengono indicate le aree industriali che sono

in grado di accogliere gli impianti per la produzione di silicio iperpuro previsti dalla Road-Map.

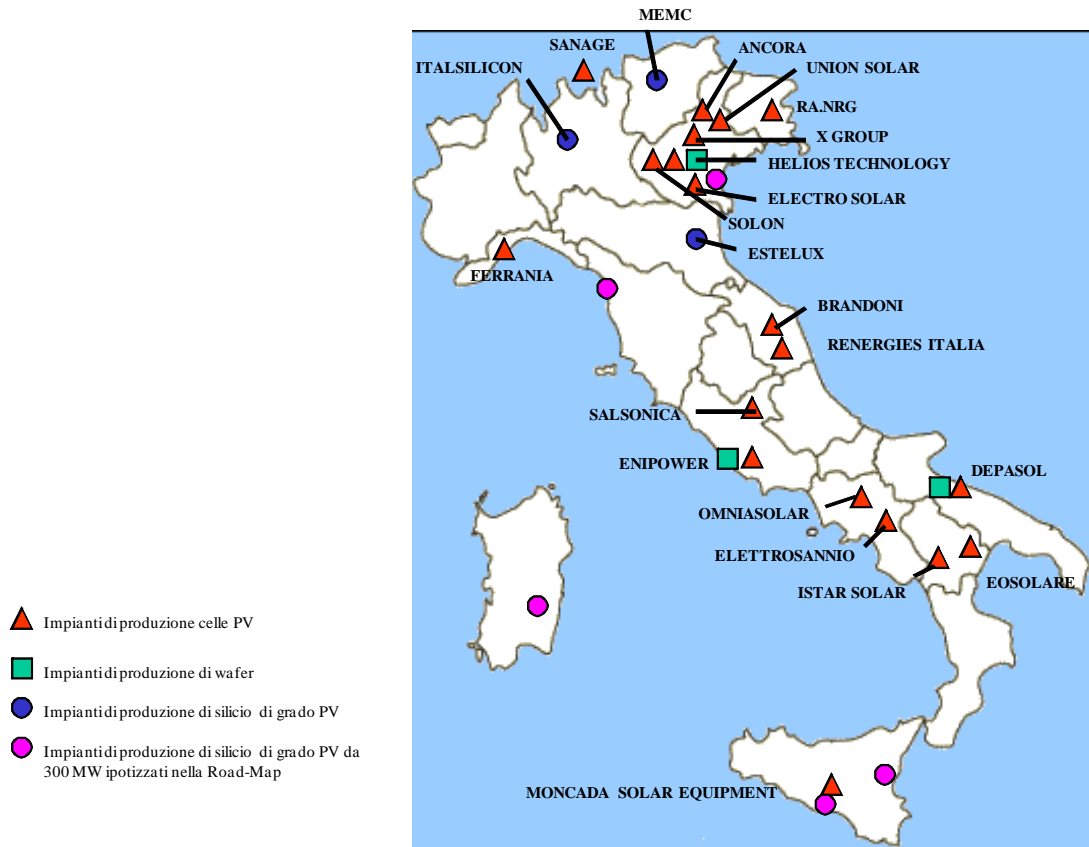


Figura 10. Localizzazioni degli attuali impianti per la produzione di celle e di wafer, e aree industriali che sono in grado di accogliere gli impianti per la produzione di silicio iperpuro.

8. Sviluppare almeno 5 nuovi stabilimenti per la produzione di moduli solari termici in grado di sopperire alla domanda annuale di circa 2,4 milioni di metri quadrati di collettori. Il solare termico a bassa temperatura richiede l'attivazione di un indotto notevole nella fabbricazione dei collettori, ma anche nella realizzazione sia dei boiler solari, stimabili in circa 600 mila ogni anno, che delle pompe di movimentazione dei termo vettori, che si possono stimare in 600-1200 mila pezzi ogni anno.
9. Promuovere la riqualificazione energetica degli edifici. Questa azione richiede l'introduzione della certificazione energetica obbligatoria e di un meccanismo premiale per chi rivende una casa in cui sia stata migliorata la classe energetica di appartenenza. Il 50% del parco edilizio necessiterebbe di lavori di riqualificazione che vedrebbero il coinvolgimento delle Energy Service Company e delle piccole/medie imprese edili. Queste

ultime vivranno disagi enormi nei prossimi dieci anni e molto probabilmente sono destinate ad un forte ridimensionamento in quanto la grande opera di urbanizzazione e cementificazione del Paese è giunta al limite. Un piano di riqualificazione energetica darebbe ossigeno al settore edile garantendo attività per oltre una decina di anni e muovendo tutto l'indotto ad esso connesso.

10. Sviluppare piccoli impianti locali per la produzione delle biomasse pellettizzate con una produzione minima di 1.200 tonnellate/anno in grado di sopperire ai fabbisogni locali. Questa azione muoverebbe un indotto enorme intorno alla produzione delle caldaie automatiche ad alto rendimento ed alla gestione del verde. Essa è certamente quella più semplice da implementare a breve termine in quanto sia la disponibilità della materia prima che l'offerta di tecnologia sono sufficienti a livello nazionale. Inoltre, verrebbero immediatamente mitigate le difficoltà economiche nella gestione del verde pubblico.
11. La transizione energetica guidata dai punti precedenti permetterebbe di risparmiare una grande quantità di gas naturale che durante l'estate potrebbe essere in parte conservato in circa 10 impianti di liquefazione da 2 miliardi mc/anno, per essere poi disponibile d'inverno. Questa strategia permetterebbe di mitigare il gioco della domanda e dell'offerta durante i mesi invernali, riducendo significativamente il costo del vettore energetico.
12. La capacità di accumulo del gas costituisce un elemento importante anche per il settore dei trasporti, ora dipendente per oltre il 95% da gasolio/benzina. La graduale transizione ad alimentazione basata su metano è probabilmente inevitabile nei prossimi dieci anni. Favorire questa transizione significherebbe rilanciare tutto il settore automobilistico proprio su un segmento di mercato caratteristico della tecnologia bifuel sviluppata in Italia dalla FIAT. Una campagna informativa mirata in questa direzione potrebbe portare alla vendita di circa 500 mila auto a metano ogni anno ovvero il 20% del turnover annuale

13. Conclusioni

Il piano delineato in questo documento permetterebbe di ottemperare alle Direttive Europee del Pacchetto clima-energia: riduzione del consumo di energia attraverso risparmio ed efficienza, maggiore ricorso all'energia da fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra. Cosa ancor più importante, avvierebbe il nostro Paese su un percorso di politica energetica sostenibile che, essendo da un lato auspicabile e dall'altro inevitabile, è già stato imboccato dai Paesi più lungimiranti. Proprio perché si tratta di una strada in parte già percorsa da altre nazioni, alcune a noi simili e vicine, il compito è alla nostra portata e per svolgerlo in molti casi è sufficiente

mutuare le singole azioni che sono già state messe in opera con maggior successo da altri. Ad esempio, la certificazione degli edifici come in Danimarca, la costruzione di Zero Energy Building [29] come in Inghilterra, dove un “policy statement” si propone di rendere obbligatoria a partire dal 2016 [30] il solare termico come in Austria o in Grecia, il fotovoltaico come in Germania, l’eolico come in Danimarca e Germania, l’uso delle biomasse solide come in Francia e del biogas come in Gran Bretagna, Germania e Svezia.

Il nostro Paese ha inoltre sue specificità da sfruttare, come una sviluppata industria di elettrodomestici facilmente convertibile per facilitare il risparmio energetico e l’uso del solare termico, e una grande fabbrica di automobili già pronta per permettere passare gradualmente da una alimentazione a benzina/diesel ad una alimentazione a metano. L’attività produttiva italiana è caratterizzata da una piccola/media industria ed un gran numero di artigiani pronti a sviluppare l’occupazione che sarebbe indotta da una nuova politica energetica basata su aumento dell’efficienza nell’uso dell’energia e sviluppo delle energie rinnovabili. Chi conosce l’attività in corso nel settore delle energie rinnovabili o delle Energy Service Company, sa che recentemente molte piccole medie-imprese e/o imprese artigiane si sono rapidamente convertite per entrare in questi settori. Questa rapida risposta testimonia che c’è potenzialmente una forte capacità di implementazione e che non dovrebbe essere difficile sviluppare il tessuto industriale necessario a garantire la messa in atto della road-map

L’attuazione del piano proposto comporta molti benefici oltre a quelli di natura prettamente ecologica. Esso infatti ha importanti implicazioni politiche (maggiore sicurezza nell’approvvigionamento energetico), sociali (creazione di posti di lavoro), economiche (stabilizzazione dei prezzi dell’energia) e tecnico-scientifiche (promozione di ricerca e sviluppo per l’innovazione tecnologica).

L’incremento della percentuale di energia da fonte rinnovabile nel settore elettrico richiederà, come discusso in una precedente sezione, una ottimizzazione della rete elettrica, non ulteriormente rinviabile. Da parte sua, l’immissione del biometano nella rete di distribuzione del gas naturale richiederà un adattamento della rete di distribuzione del gas.

Infine, è importante ricordare che la realizzazione della Road-Map proposta dovrà essere basata, e nel contempo contribuirà anche a realizzare, un benefico progresso culturale dell’intero Paese riguardo l’uso consapevole delle risorse e il doveroso rispetto per l’ambiente.

14. Note e riferimenti bibliografici

1. Pacchetto Clima-Energia dell'Unione Europea, www.europarl.europa.eu/
2. Energy = Future: Think Efficiency, American Physical Society, 2008, available online at <http://www.aps.org/energyefficiencyreport/>
3. America's Energy Future: Technology and Transformation, The National Academies Press, Washington, D.C., 2009.
4. Rapporto energia su "Sicurezza degli approvvigionamenti energetici per l'Italia – Stato dei Progetti e degli Accordi Internazionali al 2008" - Ministero dello Sviluppo Economico, 2008
5. I dati energetici sono spesso espressi in Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP) e non in unità SI (TWh) per agevolare la lettura dei non esperti.
6. Rapporto energia su "Sicurezza degli approvvigionamenti energetici per l'Italia – Stato dei Progetti e degli Accordi Internazionali al 2008" - Ministero dello Sviluppo Economico, 2008 - www.sviluppoeconomico.gov.it
7. Il processo di urbanizzazione, caratterizzato da una crescita disordinata delle città, attiva un anomalo incremento dei fabbisogni energetici nella stagione estiva dovuto al fenomeno dell'Isola Climatica o Isola di Calore Urbana . Questo fenomeno, caratterizzato da un rilevante innalzamento della temperatura delle città (circa 3-4°C) rispetto a quanto avviene nelle zone circostanti, può ridurre in modo considerevole i benefici conseguibili con una politica basata sull'efficienza energetica di edifici e impianti. Una attenzione a questo tema di notevole peso energetico, richiede azioni che coinvolgano le politiche di pianificazione e urbana e territoriale nelle aree a maggiore densità di popolazione. A questo riguardo il Giappone e la città di Tokio costituiscono un caso di studio esemplare a cui fare riferimento. Per ciò che attiene alle potenzialità legate a politiche di mitigazione dell'isola di calore, uno studio del Lawrence Berkeley National Laboratory ha evidenziato come un aumento del 7,5% dell'albedo della città di Los Angeles (tetti riflettenti) e una politica di inverdimento (tetti, strade, marciapiedi) siano in grado di determinare un abbassamento della temperatura massima di 2,8 °C e una riduzione di circa 1.5 GW del picco di potenza estivo, corrispondente al 15% di quanto attualmente richiesto dagli impianti di condizionamento.
8. ENEA – Report Energia e Ambiente 2006 – www.enea.it
9. TERNA – Report 2008 – www.terna.it

10. “La rivoluzione dell’efficienza”, Energy Research Group del Politecnico di Milano, Febbraio 2007.
11. Qui e altrove il risparmio, in prima approssimazione, viene distribuito fra le fonti in proporzione alla percentuale con cui ogni fonte contribuisce ai consumi.
12. Piano d’Azione italiano sull’Efficienza Energetica (PAEE), presentato nel Settembre 2007 ed elaborato da ENEA e CESI-Ricerca (oggi ERSE-ENEA Ricerca Sistema Elettrico) nell’ambito di una task-force istituita dal Ministero dello Sviluppo Economico: Tecnologia e misure per la riduzione delle emissioni di gas serra: il ruolo dell’efficienza energetica. - Energia, Ambiente e Innovazione – Bimestrale dell’ENEA 4/2009
13. In Danimarca, dove sono state oggi compilate quasi 50.000 etichette energetiche e dove circa il 70% delle abitazioni monofamiliari sono certificate all’atto della compra-vendita, i certificatori accreditati sono circa 500. Tali certificatori sono ingegneri, architetti, geometri e periti edili con almeno 5 anni di esperienza che hanno frequentato un corso abilitante del costo di circa 2500 euro, che frequentano corsi di aggiornamento annuali e che svolgono il loro lavoro sotto il controllo della Danish Energy Agency [M. Filippi, C. Maga – La certificazione energetica degli edifici – Procedure nei Paesi Europei – CDA , 10, 2004]. Nel 2005, la Danimarca aveva una popolazione di 5.431.000 abitanti, l’equivalente degli abitanti della Regione Emilia-Romagna.
14. Dati interessanti sono riportati su Report RSE/2009/161 Analisi statistica sul parco edilizio non residenziale ENEA
15. Si è tuttora in attesa della emissione di criteri consolidati di calcolo per la certificazione della efficienza energetica degli edifici in stagione estiva. Sarebbe necessario attivare azioni per sanare rapidamente tale deficit.
16. Rapporto GSE su “Statistiche sulle energie rinnovabili, 2008” – www.gse.it
17. 9th EUROBSERV’ER Report – “The State of Renewable Energies in Europe” 2009 – www.eurobserv-er.org.
18. “Il potenziale eolico italiano” – Rapporto ANEV, 2008 – www.anev.it
19. Position Paper del Governo Italiano del 2007
20. Rapporto Foss.
21. La Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation (**TREC**) è stata fondata nel 2003 dal Club di Roma, l’Hamburger Klimaschutz-Fonds e il Centro Nazionale Giordano per la Ricerca sull’Energia (**NERC**). TREC ha sviluppato e investigato, congiuntamente al **DLR**, il progetto DESERTEC. – www.desertec.org/
22. UN-ECE/FAO, 2000

23. Rapporto ITABIA 2003.

24. Le reti di teleriscaldamento sono state particolarmente sviluppate in Nord Europa dove l'energia termica per il riscaldamento è richiesta per oltre il 50-60% dell'anno e dove la disponibilità di biomasse solide è abbondante. L'Italia, invece, avendo un clima temperato, ha una elevata richiesta di energia termica concentrata in 4-6 mesi durante l'anno. Questo significa che le centrali a cogenerazione rischiano un surplus di energia termica nei mesi primaverili/estivi, ovviamente non immagazzinabile. Ecco quindi la necessità di puntare a piccole centrali di quartiere che producano energia elettrica ed energia termica per la copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria per il settore residenziale. Tale fabbisogno può essere comunque coperto attraverso impianti solari termici, da cui si evince la scarsa utilità di puntare al teleriscaldamento nel residenziale, mentre rimane un'importante opportunità per il settore industriale, specialmente per quei distretti produttivi che fanno uso di grandi quantità di calore come cartiere, lavorazioni alimentari, ecc. Per questo motivo, tutti i Paesi Europei che si affacciano al bacino del Mediterraneo hanno un elevato rapporto tra energia primaria prodotta (MTEP) ed energia elettrica (TWh/anno), cioè prevale l'utilizzo della biomassa legnosa per la produzione di energia termica, mentre i Paesi del Nord Europa presentano un rapporto tendente all'unità ad indicare un vasto uso della cogenerazione.

I dati del 2007/2008 presentano un sostanziale rallentamento nella produzione di energia elettrica da impianti in cogenerazione ed anche nei Paesi del Nord Europa si registrano incrementi annuali medi di 0,4 TWh/anno. In Italia è stato registrato nel 2008 un aumento dell'energia elettrica prodotta da biomassa solida di 0,27 TWh/anno che corrisponde a circa 55 KTEP. Ipotizzando il medesimo incremento annuale fino al 2020, allora si potrebbe registrare una produzione di energia elettrica di 2,7 TWh/anno che si sommerebbe agli attuali 2,8 TWh/anno dando complessivamente 5,5 TWh/anno che corrispondono a 0,7 miliardi di metri cubi di gas naturale. Dal 1 Gennaio 2009 anche la Germania ha avviato un programma calore per l'utilizzo dei combustibili a biomassa come legna da ardere, pellets e cippato nel settore residenziale in caldaie ad alto rendimento (>75%) conformi alla legislazione relativa alla qualità dell'aria.

25. "Il Legno Energia 2008" – rapporto dell' Associazione Italiana per l'Energia Agro-forest ale

26. R.Caldon, G.Celli, R.Cicoria, B.Colombo, A.Invernizzi, F.Pilo, G. Pisano, S. Pugliese, M. Venturino, "Le reti di distribuzione attive e la loro applicabilità nello scenario italiano", Atti Giornata Studio AEIT, Milano, 25 Maggio 2005.

27. (a) European SmartGrids Technology Platform "Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future" Document EUR 22040, 2006; (b) U.S. Department of Energy. Smart Grid, available online at <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>
28. Società Italiana di Fisica. "Energia in Italia: Problemi e Prospettive (1990-2020)", Aprile 2008
29. Rapporto 2009 della Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile.
30. On 31st March 2009, the European Parliament's Industry Committee (ITRE) declared that, from 2019, all newly constructed buildings must produce as much energy as they consume on-site². The Committee also wants Member States to set intermediate national targets for existing buildings, i.e. to fix minimum percentages of buildings that should be zero energy by 2015 and by 2020 respectively. The Committee's recommendations were overwhelmingly approved by the European Parliament on 23rd April 2009.
31. Department for Communities and Local Government: Building a Greener Future: policy statement

SETTORE GEOLOGIA

BRUNO ZANETTIN

Settore Geologia - Delle fonti energetiche prese in considerazione dalla Commissione quella che maggiormente richiede l'intervento di competenze geologiche è la nucleare (se si escludono per il momento la idroelettrica per la quale le prospettive sono già note, e quella geotermica che è forse meno urgente).

Spetta infatti alla geologia l'individuazione di siti idonei sia alla ubicazione di centrali nucleari che allo stoccaggio dei loro rifiuti radioattivi.

Le esigenze fondamentali che vengono richieste per la scelta di tali siti sono ben note: oltre alla disponibilità dell'acqua necessaria per il raffreddamento degli impianti si dovrà tener conto del grado di sismicità dell'area considerata e dovranno essere garantite le dimensioni e la impermeabilità dei siti destinati allo smaltimento delle scorie radioattive (un problema, questo, non sempre risolto nei Paesi già dotati di nucleare).

In Italia già esistono li strumenti di base per poter escludere, già in via preliminare, determinate aree dalla possibilità di essere prese in considerazione come sede di impianti nucleari:

- a) le carte sismiche, che consentono di leggere il grado di massima intensità che può essere raggiunto da un terremoto in un certo territorio;
- b) le carte geologiche, anche di dettaglio, che mostrano la natura (e quindi anche le proprietà tecniche) delle rocce affioranti in superficie;
- c) le carte strutturali, che talora completano quelle geologiche fornendo informazioni sulla maggiore o minore complessità tettonica (faglie, pieghe, ecc...) di certe aree (e quindi sulla loro potenziale instabilità, locale franosità, ecc...)
- d) gallerie stradali, ferroviarie, idroelettriche e perforazioni più o meno profonde effettuate a scopi diversi (ricerche di idrocarburi, ecc...) che

consentono di conoscere la natura e l'assetto delle formazioni rocciose sepolte.

Si può ritenere che sulla base delle informazioni fornite dagli strumenti sopra citati, studi ed indicazioni relativi al tema qui trattato siano già stati compiuti, ma in assenza di notizie ufficiali, si deve pensare che essi abbiano avuto carattere riservato, confidenziale.

Ad oggi le notizie, sia pure scontate, che circolano nella comunità geologica italiana sono le seguenti:

a) tenuto conto delle ricorrenti fasi di "magra" che hanno interessato anche negli ultimi anni i fiumi italiani, si è rafforzata la convinzione che per assicurare una costante sufficiente disponibilità di acqua per il loro raffreddamento, gli impianti debbano essere ubicati in prossimità del mare;

b) per quanto riguarda i siti per lo smaltimento delle scorie radioattive, alcune difficoltà recentemente sperimentate in alcuni Paesi fanno sorgere qualche dubbio che gli antichi depositi di sale offrano sempre garanzie di impermeabilità. In alternativa l'attenzione va posta alla preparazione di camere scavate in rocce ben confinate e di adeguate dimensioni;

c) la Sardegna, ma anche la Puglia, sono le aree a più basso rischio sismico;

d) dopo l' 11 settembre 2001 si è fatta più urgente la necessità di difendere gli impianti nucleari da possibili attacchi terroristici. A tale scopo alcune centrali in attività o in preparazione sono state dotate di opportuni, costosi scudi metallici.

E' opinione di questa Commissione che al fine di una seria valutazione dei requisiti di ordine geologico preliminarmente richiesti per la messa in opera di centrali nucleari sia opportuno che vengano fatte emergere, e quindi rafforzate e coordinate, le competenze che in Italia già esistono in questo campo.

Il compito degli esperti, una volta individuati, sarebbe quello di valutare la validità delle indicazioni già fornite (magari in via confidenziale) da singoli geologi, da studi tecnici o da Enti vari per il possibile avvio di un'attività nucleare. Quale esempio di tale impegno si può citare la verifica della reale fattibilità di progetti che prevedono la sistemazione di centrali nucleari

"sepolte", cioè sistemate ad una profondità tale dall'essere al riparo da possibili attacchi terroristici.

Progetti di questo tipo prenderebbero in considerazione la possibilità che anche le scorie prodotte da una centrale possano essere sistemate in adiacenti depositi ricavati ad opportune profondità, evitandone così il trasporto sub-aereo.

Bruno Zanettin

ALLEGATO 4

**Tematiche di ricerca scientifica e
tecnologica da sviluppare nel
campo della fusione nucleare.**

F. Pegoraro
Dipartimento di Fisica, Università Pisa

Indice

1	Introduzione	5
1.1	Richiesta energetica	5
1.2	Motivazione scientifica	5
1.3	Fusione magnetica e fusione inerziale	6
1.4	Quadro internazionale	6
1.5	Osservazioni sulla sicurezza	7
2	Tematiche di ricerca da sviluppare	9
2.1	Ricerche di fisica di base	9
2.1.1	Fusione magnetica	9
2.1.2	Fusione inerziale	10
2.2	Ricerche sui materiali	11
2.2.1	Danneggiamento e attivazione dei materiali	11
2.2.2	Magneti superconduttori ad alta temperatura	11
2.3	Ricerche in ottica ed in fisica dei laser	12
2.3.1	Sviluppo di sistemi di laser di potenza ad alta ripetizione	12
2.3.2	Laser ad impulsi ultracorti	12
2.4	Ricerche di natura ingegneristica	12

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Richiesta energetica

La fusione termonucleare può offrire, sul tempo di alcuni decenni, una risposta concreta ad una crescente richiesta energetica su scala mondiale.

La realizzazione di un reattore di potenza basato sulla fusione termonucleare richiede tuttavia la soluzione di alcuni importanti problemi di fisica e di tecnologia come brevemente illustrato nel seguito.

1.2 Motivazione scientifica

Lo scopo della ricerca sulla fusione termonucleare in laboratorio è di riuscire a ridurre alla scala di una centrale elettrica il processo che tiene accese le stelle. Le condizioni fisiche in cui questo processo può avvenire in maniera efficiente sono quelle di un plasma di alta temperatura, dell'ordine di un centinaio di milioni di gradi.

I meccanismi fisici coinvolti nella produzione di energia in un plasma di laboratorio e in una stella presentano differenze sostanziali che derivano dalla miniaturizzazione necessaria per passare dalle dimensioni stellari a quelle di un laboratorio e per fare in modo che l'energia venga prodotta in maniera controllata.

Questo ha come conseguenza il fatto che la “accensione” di un plasma in laboratorio è più difficile che in una stella e richiede combustibili diversi e temperature più alte. In questo senso il semplice fatto che le stelle producano energia attraverso processi di fusione non è di per sé garanzia del fatto che un plasma possa essere acceso, più precisamente ignito, in laboratorio.

1.3 Fusione magnetica e fusione inerziale

Due principali linee di ricerca competono per raggiungere l'ignizione: la fusione a confinamento magnetico e la fusione a confinamento inerziale.

Nella fusione magnetica il plasma viene racchiuso all'interno di bottiglie magnetiche e riscaldato fino a portarlo alle condizioni richieste.

Nella fusione inerziale una pallina di materia inizialmente solida viene compressa e riscaldata da impulsi laser di grandissima energia.

La reazione che, avendo la più alta sezione d'urto, verrà per prima utilizzata per produrre energia, coinvolge un nucleo di Deuterio ed uno di Trizio che si fondono formando un nucleo di $^4\text{Elio}$ (particella α) con il rilascio aggiuntivo di un neutrone. A parità di massa questo processo produce circa dieci milioni di volte più energia di quanta ne sia prodotta in un processo chimico di combustione.

Sia nello schema magnetico che in quello inerziale, l'energia prodotta verrà estratta con un procedimento di scambio termico da una camicia di Litio esterna alle strutture che confinano il plasma. Così come il Deuterio, il Litio è facilmente reperibile in natura e, quando colpito dai neutroni prodotti dalle reazioni di fusione, produce Trizio che viene estratto e quindi riusato.

Si può giungere all'ignizione anche in plasmi di solo Deuterio o di Deuterio $^3\text{Elio}$, con una sostanziale riduzione del numero di neutroni prodotti, ma le temperature richieste sono più elevate.

1.4 Quadro internazionale

L'approccio magnetico e quello inerziale alla fusione sono attualmente studiati in centri di ricerca ed università negli Stati Uniti, in Europa, Russia, Giappone ed in maniera minore in altre nazioni (in particolare in India, Corea, Cina), ma la maggior parte dei progetti sperimentali, in particolare per quanto riguarda la fusione magnetica, hanno ora carattere internazionale. La Cina è di recente entrata nel campo della fusione termonucleare in maniera molto determinata e con forti investimenti.

Le problematiche fisiche, ingegneristiche e tecnologiche che devono essere affrontate sono complesse e in parte diverse per i due approcci, il che giustifica forse lo sviluppo parallelo e sotto certi aspetti competitivo della fusione a confinamento magnetico e dalla fusione a confinamento inerziale.

In entrambi gli approcci, il collegamento tra la ricerca mirata alla produzione di energia e la ricerca di base sulla fisica dei plasmi e sulle sue applicazioni è di fondamentale importanza.

In ambito italiano le ricerche sulla fusione e sulla fisica dei plasmi sono svol-

te dall'Enea in associazione, insieme al CNR, all'Euratom e presso gruppi universitari e gruppi misti CNR-università principalmente, scorrendo da nord a sud, a Torino, Milano, Padova, Pisa e Napoli. Di recente l'INFN ha manifestato interesse per la ricerca sulla fusione.

A livello internazionale sono in corso o sono stati proposti esperimenti sia in fusione magnetica, che inerziale che hanno come scopo lo studio di un plasma termonucleare in condizioni vicine a quelle dell'accensione o che mirano direttamente a raggiungerla.

Contrariamente ad affermazioni correnti, nessuno di essi può essere considerato come un prototipo di reattore a fusione. Si tratta infatti di importanti esperimenti di fisica e tecnologia della fusione.

1.5 Osservazioni sulla sicurezza

In entrambi gli approcci alla fusione termonucleare un fattore intrinseco di sicurezza è rappresentato dal fatto che la quantità di combustibile presente nella camera di reazione è estremamente limitata e dalla impossibilità quindi di qualsiasi forma di reazione a catena. In caso di malfunzionamento infatti il plasma presente nella camera semplicemente si spegne.

Un discorso in parte analogo vale per la produzione di scorie radioattive. Le reazioni di fusione non lasciano scorie, ma possono rendere radioattive le strutture di contenimento del plasma a causa dei neutroni prodotti (il numero di neutroni liberati per unità di potenza prodotta in un reattore a fusione a Deuterio-Trizio è maggiore che in un reattore a fissione).

Il problema della attivazione delle strutture di confinamento richiederà sviluppi tecnologici e, ad esempio, una scelta accurata dei materiali usati. Tuttavia appare molto più facilmente risolvibile, e con minor costi, del problema delle scorie radioattive prodotte dalla fissione.

Capitolo 2

Tematiche di ricerca da sviluppare

Lo sviluppo della ricerca sulla fusione termonucleare controllata ha importanti fattori di sinergia con lo studio di sorgenti di neutroni, di radiazione elettromagnetica nella regione dei raggi X, con applicazioni tecnologiche per processi industriali e in medicina e per alcuni aspetti in campo militare.

Il suo raggiungimento ed utilizzazione richiedono inoltre importanti sviluppi nel campo della scienza dei materiali (superconduttori ad alta temperatura, superconduttività in presenza di elevato flusso di neutroni, studio del danneggiamento dei materiali in presenza di elevato flusso di neutroni) e dello sviluppo di laser di elevata energia e ad alta ripetizione.

2.1 Ricerche di fisica di base

2.1.1 Fusione magnetica

Nello schema magnetico pressione del plasma viene controbilanciata dalla pressione esercitata da un campo magnetico. In pratica, per motivi di resistenza dei materiali agli sforzi termici ed in particolare meccanici, non è possibile generare campi magnetici stazionari più grandi di una decina (massimo fin quasi a due decine) di Tesla. Ne consegue che la pressione che il campo magnetico può controbilanciare è limitata da un vincolo difficilmente sormontabile. Quindi, a temperatura fissata, la densità (numerica) del plasma, è limitata.

In concreto, per un plasma con una temperatura dell'ordine delle decine di KeV la densità numerica del plasma non può superare $10^{21} m^{-3}$, densità che corrisponde a quella di un gas molto rarefatto.

In queste condizioni la dinamica ed in particolare le proprietà di trasporto dell'energia del plasma sono dominate da processi collettivi che si sviluppano in assenza di equilibrio termodinamico.

Di essenziale importanza è quindi lo studio della dinamica dei sistemi a multicorpi ad interazione a lungo raggio in assenza di equilibrio termodinamico: formazione di strutture coerenti, turbolenza in regimi cinetici, trasporto "anomalo" di particelle ed energia.

Questi studi sono riconducibili alla fisica dei plasmi magnetizzati, richiedono esperimenti dedicati e, accanto ad indagini teoriche, un ampio sviluppo di progetti di simulazioni numeriche su piattaforme di calcolo dedicate del tipo di quelle richieste per le predizioni meteorologiche e climatiche, ma in un ambito descrittivo più complesso (simulazioni cinetiche).

Queste indagini hanno una stretta sinergia con lo studio della fisica dello spazio e di sistemi di interesse astrofisico.

2.1.2 Fusione inerziale

Nello schema a fusione inerziale un pallina di combustibile di dimensioni millimetriche viene compressa a densità molto superiori a quelle di un solido dalla pressione prodotta dalla forza di reazione dovuta alla espulsione degli strati esterni della pallina stessa riscaldati da radiazione elettromagnetica di grandissima intensità (o di ioni in alcuni esperimenti).

L'irraggiamento della pallina può essere diretto, nel qual caso fasci laser distribuiti simmetricamente vengono focalizzati direttamente sulla pallina, o indiretto, nel qual caso i fasci irradiano la superficie interna di una capsula fatta di un materiale ad elevato numero atomico e la pallina, che si trova all'interno della capsula, viene compressa per effetto dei raggi X prodotti dalla capsula. In questo senso la fisica della fusione a confinamento inerziale è più vicina alla fisica delle armi termonucleari. Per questa "somiglianza" la ricerca sulla fusione a confinamento inerziale è rimasta "classified" ben più a lungo della fusione magnetica e in alcune nazioni è tuttora finanziata per lo meno in parte dai dipartimenti della difesa in connessione a programmi di "Nuclear Weapons Stockpile Stewardship".

Nelle condizioni richieste dalla fusione inerziale la dinamica del plasma è ancora dominata da processi collettivi che si sviluppano tuttavia su tempi caratteristici molto più brevi di quelli di interesse per la fusione magnetica.

In questo caso gli studi richiesti sono riconducibili alla fisica dei plasmi (non ideali) ad alta densità di energia e dei plasmi relativistici, e dell'interazione non lineare della radiazione con la materia. Richiedono esperimenti dedicati e, accanto ad indagini teoriche, un ampio sviluppo di progetti di simulazioni numeriche su piattaforme di calcolo dedicate.

Queste indagini hanno una stretta sinergia con lo studio della materia compressa da onde d'urto (equazione di stato a pressioni elevate) e con la fisica di sistemi di interesse astrofisico di alta energia in condizioni relativistiche. Inoltre apriranno la strada allo studio dei comportamenti collettivi della materia in regimi governati dall' elettrodinamica quantistica.

2.2 Ricerche sui materiali

A parità di energia sviluppata, il numero di neutroni prodotti della fusione è circa cento volte maggiore che nella fissione. Questo intenso flusso neutronico comporta, anche se l'energia cinetica dei neutroni da fusione è minore di quelli da fissione, diversi problemi tecnologici e di attivazione radioattiva delle strutture di un futuro reattore a fusione che devono essere studiati.

2.2.1 Danneggiamento e attivazione dei materiali

Un problema importante si pone ad esempio nel caso dei magneti nel caso della fusione magnetica.

In presenza di un elevato flusso neutronico l'uso di magneti superconduttori rappresenta una difficile sfida scientifica e tecnologica che lo sviluppo di un reattore a fusione dovrà affrontare.

In particolare sia le proprietà meccaniche dei materiali ("polverizzazione" della struttura cristallina) che le proprietà stesse di superconduttività vengono danneggiate in presenza di elevati flussi neutronici.

Il problema del danneggiamento delle strutture cristalline si pone ovviamente in termini severi anche per quanto riguarda la resistenza agli sforzi e l'affaticamento dei materiali strutturali del reattore.

Per quanto riguarda l'attivazione, usando ad esempio leghe di vanadio invece di acciaio o sostituendo nell'acciaio componenti come il nichel e il molibdeno con manganese o tungsteno senza degradarne le proprietà termo-meccaniche, si può fare in modo che non vengano prodotti radioisotopi con tempi di decadimento molto lunghi (decine invece di migliaia di anni).

2.2.2 Magneti superconduttori ad alta temperatura

Per ottenere campi magnetici dell'ordine dei Tesla su dimensioni dell'ordine del metro in un reattore a fusione magnetica sono necessarie correnti dell'ordine o superiori al MegaAmpere (MA). Sono richiesti inoltre magneti esterni per produrre un intenso campo magnetico toroidale, di alcuni Tesla, che è necessario per la stabilità della configurazione.

Sono quindi importanti studi su materiali avanzati capaci di essere superconduttori a temperature relativamente elevate.

In questo campo sono stati ottenuti risultati interessanti in ricerche nate da uno spinoff INFM (uso di composti complessi contenenti boro).

2.3 Ricerche in ottica ed in fisica dei laser

2.3.1 Sviluppo di sistemi di laser di potenza ad alta ripetizione

Per ignire una pallina di combustibile ed ottenere un guadagno netto di energia dal processo di fusione nel suo complesso, si stima di dover fornire alla pallina un'energia di alcuni MegaJoule nell'appropriato intervallo di lunghezze d'onda (nell'intorno del micron).

E' necessario concepire e realizzare sistemi di laser di elevata energia per impulso (qualche MegaJoule) ed elevata potenza media (corrispondente ad un tasso di ripetizione dell'ordine della decina di Hz).

Al momento attuale esistono diversi progetti che soddisfano o che prevedono di soddisfare il criterio sull'energia, ma non quello sul tasso di ripetizione.

2.3.2 Laser ad impulsi ultracorti

La ricerca sui laser per la fusione è sinergica con lo sviluppo di laser di potenza ad impulsi ultracorti (amplificati con tecniche CPA e OPCPA) che non richiedono le grandi strutture richieste dai laser per la fusione.

Questi impulsi ultracorti permettono applicazioni importanti alla generazione di sorgenti di radiazione elettromagnetica ad esempio negli X e di "bunch" di particelle ad altissima risoluzione temporale (dai picosecondi fino, in condizioni appropriate, agli attosecondi per radiazione elettromagnetica corrispondente alle armoniche della frequenza dell'impulso laser, permettendo ad esempio visioni stroboscopiche dello sviluppo di reazioni chimiche).

Queste nuove sorgenti di radiazione e di particelle sono state studiate anche in vista di applicazioni mediche, in particolare oncologiche

2.4 Ricerche di natura ingegneristica

A queste tematiche di ricerca in fisica si aggiungono importanti problemi di ingegneria quali il sostentamento della scarica in fusione magnetica su tempi lunghi (per far funzionare il sistema in "continua" con generazione

non induttiva della corrente), il problema degli sforzi termici sulle pareti della camera che confina il plasma (fino ad una decina di Megawatt per metro quadro), la rimozione delle ceneri (cioè delle particelle α dopo che hanno ceduto la loro energia al plasma termalizzandosi).

Nel caso della fusione inerziale ci sono simili problemi di carichi termici sulle pareti del contenitore, nonché di collimazione dei fasci sulla pallina mentre cade attraverso il contenitore in un sistema ad alta ripetizione ($\sim 10Hz$).

In entrambi gli schemi, nel caso di un reattore, devono venir studiati in dettaglio i metodi di recupero dell'energia prodotta e depositata dei neutroni nella camicia di Litio. Nel caso di reazioni aneutroniche è possibile pensare ad uno schema di conversione diretta dell'energia dei prodotti di fusione in corrente elettrica.

Come già accennato uno dei principali problemi che la ricerca sulla fusione deve affrontare è lo studio delle proprietà dei materiali nelle condizioni estreme di un reattore a fusione. Questo aspetto della ricerca sulla fusione è sostanzialmente indipendente da quello volto ad individuare in dettaglio il regime di plasma ottimale per raggiungere l'ignizione.

Questo aspetto della ricerca sulla fusione è molto impegnativo e richiede che sia disponibile una intensa sorgente di neutroni con proprietà opportune. A questo scopo è in programma la realizzazione di un International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) cui partecipano il Giappone, la Unione Europea gli stati Uniti e la Russia il cui scopo è di testare il comportamento di materiali esposti ad un intenso flusso di neutroni con uno spettro in energia simile a quello dei neutroni da fusione.

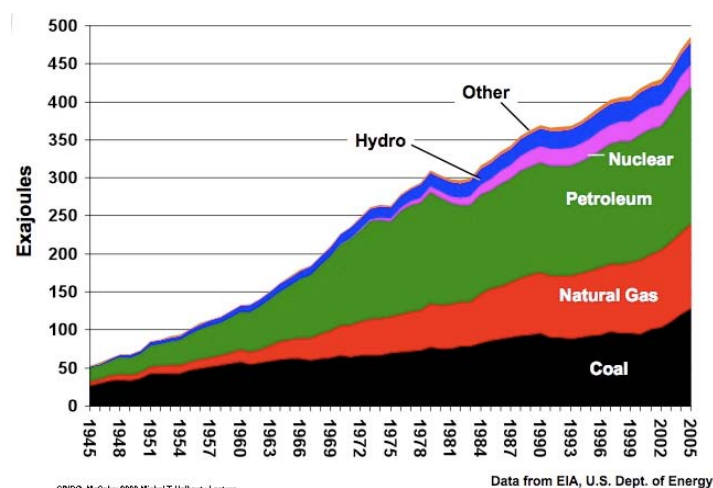
PROSPETTIVE DI SVILUPPO E RICERCA NEL SETTORE DELL'ENERGIA

Sergio Carra'

- 1- Quadro di riferimento
- 2- Prospettive della ricerca
 - 2-1 Risparmio
 - 2-2 Rinnovabili
 - 2-3 Nucleare
- 3- Uno sguardo verso il futuro

1-Quadro di riferimento

Attualmente nel mondo viene consumata una quantità di energia pari a 15 TW di potenza con aumento di circa 0,2 TW/anno, con tendenza alla diminuzione per effetto della crisi economica. Tutto ciò in accordo alla figura seguente, che ripercorre l'evoluzione del fabbisogno energetico, distribuito nelle diverse fonti, sino al 2005, anno in cui la situazione non era molto lontana dall'attuale.



La parte del leone spetta ai combustibili fossili, con contributi importanti da parte del nucleare e dell'idroelettrico. La sottile zona gialla chiamata *Other* comprende l'eolico e il solare con un contributo globale nel 2009 dell'ordine del 2%.

Le prospettive energetiche sono condizionate da due fattori che riguardano rispettivamente l'approvvigionamento dei combustibili fossili e l'evoluzione climatica. Per quanto riguarda il primo di essi sembra assodato che i combustibili fossili saranno ancora i protagonisti dello scenario energetico del presente secolo, per cui molti sforzi verranno dedicati alle indagini geologiche e di ingegneria sulla ricerca e sullo sfruttamento di nuovi giacimenti, ponendo particolare attenzione ai metodi di controllo e sicurezza per impedire incidenti come quello del golfo del Messico. Inoltre sono in corso ricerche intese a recuperare il gas naturale dai depositi d'idrati di metano, di cui esiste una vasta quantità nei sedimenti marini ai margini dei ripiani continentali. E' dominante comunque la piena consapevolezza che per soddisfare le future necessità energetiche ed ecologiche del pianeta sarà necessario individuare, o far emergere, una fonte che surroghe il petrolio.

Per quanto riguarda il clima, anche se la comunità scientifica è divisa poiché esiste disaccordo sull'entità dell'influenza antropica sul riscaldamento globale, viene comunque riconosciuta la necessità di controllare la produzione di anidride carbonica, anche se si ritengono improbabili evoluzioni catastrofiche.

La situazione energetica italiana è atipica per scelte sostanzialmente politiche, poiché non comprende il nucleare, penalizza il carbone e privilegia il metano. L'Italia produce in Basilicata l'8% del suo consumo d'idrocarburi; secondo stime ragionevoli dispone di un apprezzabile potenziale di gas naturale e di petrolio distribuito essenzialmente lungo il lato destro dello stivale e nell'Adriatico. Si tratta di una risorsa economica non indifferente che viene solo marginalmente sfruttata

Nella tabella sono riportate le percentuali dei contributi delle diverse fonti di energia alla produzione di energia elettrica in Italia nell'anno 2009 (fonte Terna), corrispondente ad una potenza di circa 0.042 TW su un totale di circa 0,26 TW:

Idrico	17,85%
Eolico	2,10%
Geotermico	1,84%
Fossile	77,95%

Fotovoltaico

0,26%

Le potenzialità idriche sono importanti ma il loro sfruttamento è al limite, inoltre esiste ampio spazio per la geotermia mentre quelle eoliche sono limitate. Le potenzialità solari sono invece elevate e per questa ragione il solare fotovoltaico ha avuto un apprezzabile aumento negli ultimi anni poiché il parco installato al 2009 è dell'ordine dei 900 MW di picco, anche se il contributo globale resta marginale perché dell'ordine dello 0,04%.

2- Prospettive della ricerca

Dato lo specifico contenuto tecnologico delle ricerche riguardanti l'energia è opportuno ricondursi ai suoi due aspetti tradizionali ovvero quella di sviluppo e quella fondamentale. La prima riguarda in particolare gli idrocarburi, il carbone, il nucleare, l'eolico, il solare e si manifesta attraverso attività integrative associate al consolidamento e all'espansione di tecnologie già affermate. La seconda riguarda il solare innovativo, la fusione nucleare e la biologia sintetica, e coinvolge quindi gli aspetti esplorativi, non ancora praticati o praticati solo in forma parziale per quanto concerne le loro potenzialità.

Il mercato non è sufficiente per indirizzare e condizionare, lo sviluppo di tecnologie energetiche innovative. Pertanto i governi hanno il ruolo vitale di crearne le condizioni necessarie, identificando una cornice di percorsi su cui orientare le attività, attraverso opportuni incentivi e dispositivi di controllo. Soprattutto cercando di coinvolgere le attività accademiche in modo tale da far convergere la ricerca con la indispensabile formazione.

Cio' premesso, tenendo conto della attuale struttura della nostra società, al primo posto si colloca la ricerca di nuove sorgenti naturali di idrocarburi, perseguite in gran parte dalle *major* petrolifere fruendo della collaborazione di strutture accademiche che operano nei settori della geologia, e dell'ingegneria di processo. Le scienze della terra sono inoltre coinvolte nelle ricerche sulle risorse minerarie che interessano l'energia nucleare.

I menzionati problemi climatici impongono però di coprire la domanda di energia anche con una frazione *carbon-free*, destinata ad

aumentare nel tempo, mediante un *mixing* di tecnologie diversificate, che include:

- Il miglioramento dell'efficienza e del risparmio
- L'aumento delle sorgenti rinnovabili
- Una adeguata collocazione della fissione nucleare

Per quanto riguarda l'Italia dalla panoramica precedente ne emerge l'opportunità di sfruttare le sue risorse e di uniformare la politica energetica a quella dei paesi con i quali esistono rapporti culturali ed economici. Un inadeguato allineamento al *mixing* potrebbe penalizzare severamente il nostro futuro energetico.

1-2 Risparmio ed efficienza

Il risparmio e il miglioramento dell'efficienza di tutti i processi coinvolgenti le attività umane costituisce il più efficace ed economico approccio per perseguire gli obiettivi energetici e la compatibilità ambientale. Si tratta di un settore che coinvolge molti aspetti delle attività produttive e della nostra vita pubblica, in particolare il trasporto e l'edilizia. Inoltre è strettamente dipendente da direttive politiche che si estrinsecano attraverso la pubblica amministrazione.

Tali risultati possono essere perseguiti mediante ricerche di sviluppo che coinvolgono soprattutto competenze di ingegneria gestionale e di economia, associate ad una intensificazione delle corrispondenti attività educative.

2-2 Sorgenti rinnovabili

L'eolica, la geotermica e, allo stato attuale, le biomasse possono dare solo supporto integrativo alla domanda di energia.

Una valutazione del potenziale geotermico nazionale rivela che esso ammonta a circa 5 GW con una distribuzione che favorisce particolari aree. Il costo dell'energia geotermica dipende dalla situazione geologica, poiché le risorse accessibili sono rare e distribuite in modo irregolare. Il suo sfruttamento privilegia gli approcci a bassa entalpia che forniscono un fluido intorno ai 70 °C, ovvero tale da essere impiegato per il riscaldamento domestico. L'auspicabile incremento nella sua applicazione può essere perseguito con ricerche geologiche fondamentali e ingegneristiche di sviluppo concernenti l'ingegneria e le tecniche di valutazione

economica. L'attuale capacità potrebbe agevolmente espandersi di un ordine di grandezza.

L'energia solare è potenzialmente in grado di soddisfarne le future richieste, anche perché esistono diverse idee innovative sulle sue applicazioni. Tuttavia se, quando e come rivoluzioneranno il business energetico rimane ancora una incognita.

Il sole riversa sul pianeta una quantità di energia quattro ordini di grandezza superiore a quella richiesta dalle attività umane, per cui è allettante pensare di poterla impiegare per alimentare il fabbisogno del pianeta. Nella costruzione delle celle fotovoltaiche competono diversi materiali quali il silicio, l'arseniuro di gallio, il tellururo di cadmio e altri. Attualmente la strategia più opportuna è quella di puntare sui materiali meno costosi sfruttando l'economia di scala. In questa impostazione il silicio, nella sua forma policristallina, offre la migliore opzione ed esistono ragionevoli presupposti che attraverso l'ingegneria di processo in meno di dieci anni si possa raggiungere la convergenza economica con le fonti fossili. Un ulteriore vantaggio rispetto agli altri materiali è costituito dall'affidabilità delle celle ottenute perché presentano un degrado delle prestazioni limitato nel tempo.

Le ricerche sui processi fotovoltaici, sono focalizzate in gran parte sulla chimica e fisica dei materiali semiconduttori inorganici ed organici.

Esse sono volte al superamento dei limiti individuati nel classico lavoro di Queisser – Shockley del 1961, conseguenti soprattutto dall'uso di una singola giunzione *p-n* e dall'illuminazione con radiazioni non concentrate. Le innovazioni riguardano pertanto la preparazione di celle inorganiche a più strati, l'impiego di celle organiche polimeriche le cui proprietà ottiche possono essere calibrate sulla base delle dimensioni di *Quantum Dot* e l'impiego di sensibilizzatori metallorganici per agevolare la cattura delle radiazioni.

Dal punto di vista scientifico i risultati ottenuti risultano d'indiscutibile interesse, ma esistono incertezze sullo *scaling-up* dei risultati sperimentali alle dimensioni industriali, che penalizzano il costo degli impianti. Un importante obiettivo è infatti quello di sviluppare le conoscenze ingegneristiche ed economiche necessarie per la progettazione di grandi centrali solari di almeno 0,1 GW.

In realtà però la vera strozzatura allo sviluppo delle energie rinnovabili, in particolare quella periodica fornita dal sole, è costituita dalla mancanza di adeguate metodologie per l'immagazzinamento dell'energia elettrica. Le batterie elettrochimiche, anche le più recenti a base di solfuro di sodio ed a ioni litio, hanno una densità energetica bassa, dell'ordine di 3MJ/L; inoltre sono troppo costose e non del tutto affidabili. Per superare queste limitazioni sono in corso ricerche volte all'impiego di nuovi materiali i cui elementi costituenti siano però accessibili in natura senza restrizioni.

Fra le diverse proposte di tecnologie, talora stravaganti, per immagazzinare l'energia elettrica la più efficace appare quella di minimizzarne l'impiego mediante *smart grid* intese ad aggiustare le forniture di elettricità in risposta alle eccentricità della produzione e della domanda.

Il dato precedente sulla densità di energia delle batterie, se confrontato con quello della benzina che ammonta a circa 30MJ/L, mette laconicamente in evidenza le difficoltà che si incontrano per avvicinare l'attuale sistema di trasporto impiegando energia elettrica.

2-3 Nucleare

Il *mix* energetico che si sta delineando comprende anche una quota nucleare. Le ricerche in corso, in gran parte di sviluppo, riguardano la diminuzione dei costi, l'impiego del ciclo chiuso del combustibile, la riduzione del volume delle scorie, e la protezione da attacchi terroristici e dalla proliferazione di ordigni.

Per l'Italia, che ha avuto un passato di primo ordine in questo settore, si tratta di recuperare una cultura smarrita ed il percorso più efficace resta quello dell'acquisizione di impianti da società mondiali all'avanguardia, cercando però di trarre il massimo vantaggio nella formazione degli scienziati e tecnici che saranno addetti a tale attività'.

3- Uno sguardo al futuro

Le ricerche nel settore energetico sta anche fronteggiando la sfida di provocare nell'attuale società una transizione verso una economia *post petroleum*. Tre strade meritano di essere menzionate.

La prima di esse riguarda la fusione nucleare con contenimento magnetico. Annunciata sin dal dopoguerra per succedere alla fissione, e'

tuttora in fase interlocutoria poiché non è stata ancora realizzata l'accensione della miscela reagente. Viene studiata negli USA, Europa, Russia e Giappone in progetti internazionali in cui è coinvolta anche l'Italia. Le problematiche affrontate, con contenuto fisico e ingegneristico, sono complesse e si basano sugli aspetti più sofisticati della fisica del plasma sia dal punto di vista sperimentale che teorico. Inoltre vengono intensificate le indagini sulla stabilità dei materiali, in particolare superconduttori, in condizioni fisiche e chimiche estreme. Costituisce una linea di ricerca di indiscutibile interesse, che presenta però ancora incertezze per le difficoltà di ottenere plasmi stabili, di lunga vita, con elevata densità a temperature dell'ordine di 100,000,000 K. Si tratta di condizioni sino ad ora mai raggiunte che non hanno ancora permesso di preconizzare in modo ragionevole le caratteristiche dei possibili reattori industriali.

La seconda strada riguarda il solare avanzato inteso ad emulare la fotosintesi naturale, almeno per la cattura dell'energia solare, mediante macchine molecolari costruite collegando in modo gerarchico strutture supramolecolari che risultino efficienti e robuste. Pregiudiziale è l'approfondimento dei meccanismi chimico fisici di cattura delle radiazioni e trasferimento delle cariche elettroniche che stanno alla base del processo naturale. Le ricerche in corso sono interessanti ma ancora remote dalle applicazioni.

La terza strada, la più attuale, viene perseguita attraverso ricerche interdisciplinari, nell'ambito della *synthetic biology*, volte a sintetizzare protocellule in grado di svolgere nuove funzioni cellulari grazie alla presenza di genomi opportunamente progettati per essere in grado di esercitare un controllo su sistemi catalitici complessi, ispirati da noti cammini metabolici. Isolandone e connettendone i passaggi rilevanti si prospetta infatti la possibilità di produrre da biomasse, trasformando la stabile cellulosa in etanolo, e producendo quindi idrogeno alcoli differenziati e gli stessi idrocarburi e quindi, nel contempo, catturare CO₂ dall'ambiente.

Si tratta di una tematica che sta suscitando grande interesse in tutto il mondo (si veda l'accordo dell'ordine del miliardo di dollari tra Exxon Mobil e Synthetic Genomics) e che in Italia dovrebbe essere incentivata in modo adeguato, superando anche molte resistenze di natura etica.

ALLEGATO 6

11. IL SISTEMA ENERGETICO ITALIANO

L'Italia utilizza meno energia per unità di prodotto della maggior parte dei paesi industriali. Questo vantaggio, che da tempo caratterizza il nostro paese, si è però assottigliato negli ultimi vent'anni, durante i quali il consumo di energia è aumentato sostanzialmente in linea con il PIL, mentre è cresciuto assai più lentamente del prodotto negli altri paesi. Il preminente utilizzo di combustibili fossili, quasi interamente importati, rende il costo dell'energia particolarmente sensibile alle quotazioni internazionali del greggio: in percentuale del PIL gli oneri per l'approvvigionamento sono aumentati nella media dell'ultimo quinquennio di 0,8 punti percentuali, raggiungendo il 3,8 per cento nel 2008.

I prezzi pagati dagli utenti finali sono più elevati di quelli medi dell'Unione europea (UE). I costi di produzione dell'energia elettrica sono in larga misura legati alle quotazioni del gas, fonte con cui l'Italia genera oltre la metà dell'energia elettrica contro un quarto nella UE, risultate in forte crescita nel corso del decennio. La struttura produttiva e dei mercati, nonostante i processi di liberalizzazione, è ancora condizionata da pochi operatori e limitata da carenze nelle infrastrutture di rete in particolare nel Mezzogiorno. Il livello dell'imposizione fiscale sui prodotti energetici è tra i più alti d'Europa: rapportando le imposte sull'energia ai consumi energetici complessivi, l'incidenza risulta essere in Italia superiore di oltre il 40 per cento a quella media della UE.

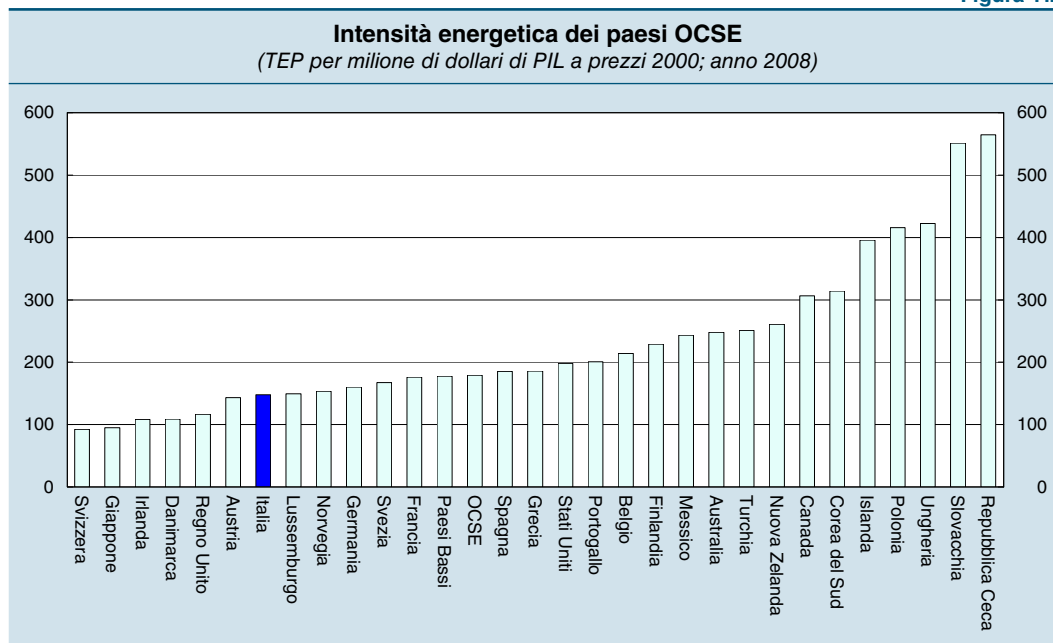
Per contenere gli effetti negativi legati alle emissioni di gas serra e migliorare la sicurezza degli approvvigionamenti, nei primi mesi del 2009 è stato approvato in ambito comunitario il cosiddetto pacchetto clima-energia, che fissa obiettivi in termini di innalzamento dell'incidenza delle fonti rinnovabili e di riduzione delle emissioni di gas serra da raggiungere entro il 2020. Per il perseguimento di questi obiettivi sono state adottate a livello nazionale misure di incentivazione delle fonti rinnovabili e dell'efficienza energetica e sono state tracciate le linee guida per la ripresa della produzione elettronucleare. Fissando gli obiettivi di medio e di lungo termine, la definizione della Strategia energetica nazionale fornirà un quadro di riferimento entro cui coordinare le iniziative locali e nazionali e programmare con maggior certezza le attività di investimento pubbliche e private.

L'approvvigionamento e la trasformazione di energia

Nel 2008 il consumo interno lordo di risorse energetiche (CIL) era in Italia pari a 191,3 MTEP (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio), per oltre l'86 per cento soddisfatto con combustibili fossili (petrolio per il 41,4 per cento, gas naturale per il 36,3 e carbone e altri solidi per l'8,8) e per la rimanente parte con fonti rinnovabili e importazioni di energia elettrica (rispettivamente, l'8,9 e il 4,6 per cento; cfr. nell'Appendice

la tav. a11.1). Nel 2009, secondo stime preliminari, il CIL si è ridotto di circa il 6 per cento, in particolare per la minore richiesta degli utenti industriali conseguente alla crisi. L'energia per unità di prodotto (intensità energetica) è inferiore a quella osservata in gran parte dei paesi dell'OCSE (fig. 11.1), ma la sua riduzione negli ultimi quindici anni è stata assai più contenuta di quanto avvenuto nei principali paesi europei (fig. 11.2).

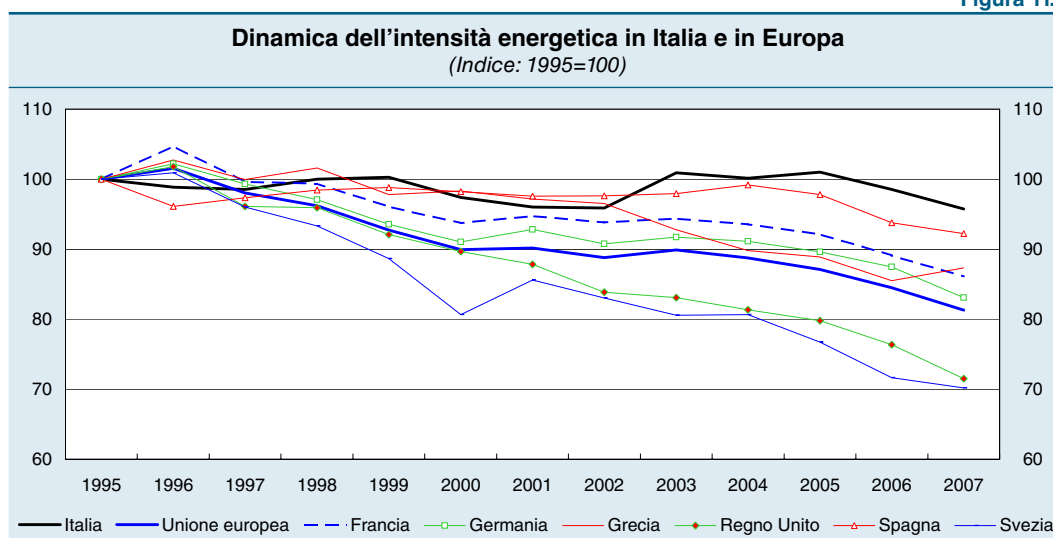
Figura 11.1



Fonte: IEA, *Energy balances of OECD countries* (2009 ed.), 2009.

Nel 2008 la produzione interna di greggio copriva il 2,7 per cento del CIL, quella di gas naturale il 4 e quella da fonti rinnovabili l'8,5. La rimanente parte del fabbisogno energetico, circa l'85 per cento, veniva soddisfatta con importazioni. Ad eccezione dei combustibili solidi, i principali fornitori di materie prime energetiche del nostro paese sono al di fuori dell'area dell'OCSE.

Figura 11.2



Fonte: elaborazioni su dati Eurostat.

Nel 2008 il 38,6, il 32 e il 25,6 per cento del greggio importato provenivano rispettivamente dall'Africa, dal Medio Oriente e dalla Russia (inclusi alcuni paesi della Comunità degli Stati indipendenti - CSI); quasi la metà del gas proveniva dall'Africa, oltre un quarto dalla Russia e un quinto dall'Europa. Nel 2009 è cresciuto il contributo della Russia in termini sia di greggio sia di gas, di cui è diventata il nostro principale paese fornitore.

Circa il 26 per cento del CIL è impiegato nel processo di trasformazione delle fonti energetiche primarie per gli utenti finali (principalmente, raffinazione del greggio e produzione di energia elettrica). Nel 2008 il settore della trasformazione dell'energia, ad alta intensità di capitale, impiegava il 3 per cento degli occupati dell'industria in senso stretto e generava il 12,7 per cento del valore aggiunto del settore. Tra il 1998 e il 2008, il valore aggiunto per addetto è cresciuto in termini reali del 24,1 per cento: gli addetti del comparto sono diminuiti dell'11,5 per cento, mentre il valore aggiunto (ai prezzi del 2000) è aumentato del 9,7 per cento.

Il nostro paese è un esportatore netto di prodotti petroliferi raffinati. Il settore della raffinazione del petrolio nel 2008 contava 16 impianti e aveva una capacità di lavorazione pari a 2,5 milioni di barili al giorno (il 2,8 per cento della capacità mondiale e il 15,7 per cento di quella interna alla UE). Per quanto riguarda l'energia elettrica, nel 2008 era installata una capacità di generazione di 102 GW. Tra il 1990 e il 2008, la produzione lorda è cresciuta in media di oltre il 2 per cento all'anno (da 217 a 319 TWh). Lo scorso anno si è registrata una riduzione del 9,2 per cento.

Comparata a quella di altri paesi, la produzione italiana di energia elettrica si caratterizza per la preminenza del gas naturale. Nel 2008, la produzione termoelettrica con gas rappresentava il 54,4 per cento di quella complessiva contro il 22 nella media dell'OCSE (4 in Francia, 14 in Germania e 46 nel Regno Unito, che può contare su un'importante produzione nazionale di gas).

Le centrali alimentate a gas si caratterizzano per una migliore efficienza dei processi di conversione energetica e per più ridotte emissioni di CO₂. Le emissioni di CO₂ associate alla generazione di un kWh di energia elettrica nel 2007 in Italia ammontavano a 388 grammi, contro 427 in Germania, 500 nel Regno Unito, 549 negli Stati Uniti e 448 nell'area dell'OCSE.

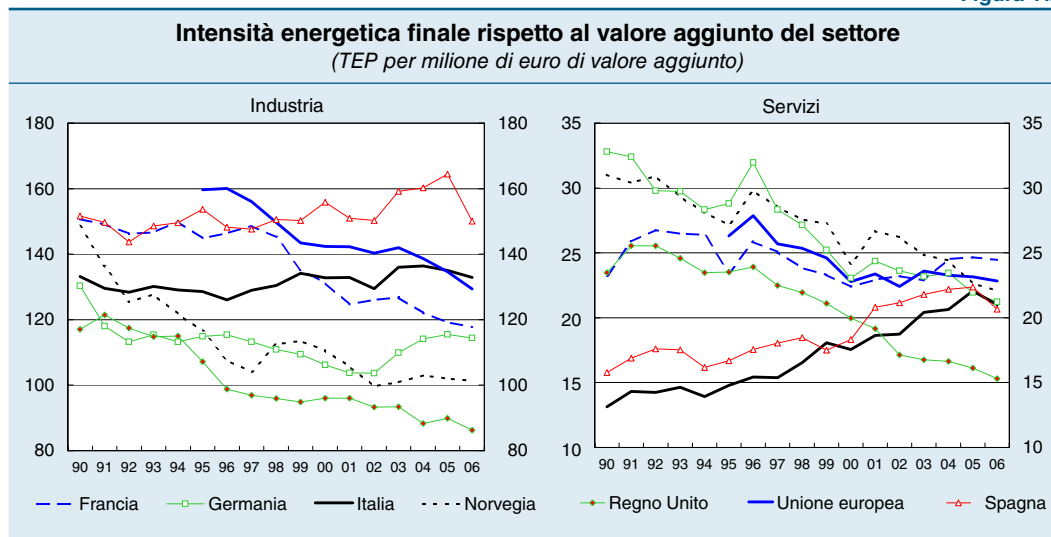
La domanda di energia

Sottraendo dal CIL l'energia dissipata nei processi di trasformazione, si ottiene l'ammontare che può essere sfruttato dagli utilizzatori finali (nel 2008 141,1 MTEP) (cfr. nell'Appendice la tav. a11.1). Gli usi civili (famiglie e terziario) e i trasporti (persone e merci) assorbono ciascuno circa il 30 per cento degli impieghi finali, il settore industriale ne utilizza poco più di un quarto, il 5,5 per cento è destinato ad usi non energetici, in particolare nell'industria petrolchimica, mentre la parte rimanente è impiegata dal settore agricolo e in scorte di carburante per il trasporto marittimo internazionale (cosiddetti bunkeraggi).

Nel periodo 1990-2008, la domanda energetica dell'industria è rimasta sostanzialmente invariata, rallentando nel tempo sia per un uso più efficiente delle risorse, indotto dalle dinamiche dei prezzi dei prodotti energetici e dall'introduzione di più severe norme ambientali, sia per fattori strutturali come il calo dell'incidenza dell'industria pesante. Nel settore dei servizi, che assorbe circa l'11 per cento degli impieghi finali di energia, la crescita annua è stata invece assai più sostenuta (oltre il 3 per cento), anche se in diminuzione negli ultimi anni; vi ha contribuito l'aumento dei consumi di energia elettrica, legato sia alla diffusione della climatizzazione estiva degli ambienti, sia allo sviluppo della grande distribuzione commerciale.

Tra il 1990 e il 2008, l'intensità energetica è cresciuta di quasi il 60 per cento nei servizi, mentre è rimasta sostanzialmente invariata, con una dinamica altalenante, nell'industria. Questi andamenti sono in controtendenza rispetto a quelli di progressiva riduzione osservati nei principali partner europei (esclusa la Spagna). Le differenze risultano particolarmente marcate per i servizi (fig. 11.3).

Figura 11.3



Fonte: ENEA, Rapporto energia e ambiente 2007-2008: i dati.

Utilizzando le informazioni dell'Indagine sugli acquisti di prodotti energetici delle imprese industriali dell'Istat, del censimento dell'industria e del registro statistico delle imprese (archivio ASIA), si stima che nel 2007 le spese energetiche delle imprese industriali (escluse quelle dei settori energetici) ammontassero a 21,3 miliardi di euro, circa 5.000 euro per addetto. Tra il 2000 e il 2007 esse sono aumentate del 22 per cento, ma la loro incidenza sul valore della produzione è rimasta sostanzialmente invariata, poco al di sopra del 2 per cento. La spesa media per addetto è cresciuta del 32 per cento, più intensamente tra le imprese con meno di 100 addetti (45 per cento). Oltre il 40 per cento delle spese energetiche è sostenuto dai settori metallurgico e dei minerali non metalliferi (ceramica, vetro e cemento).

Gli impieghi di energia delle famiglie (per riscaldamento, trasporto privato e utilizzi di energia elettrica) ammontano a oltre il 30 per cento della domanda finale complessiva. Nel periodo 1990-2008, la loro domanda è cresciuta dello 0,6 per cento all'anno ed è migliorata l'efficienza energetica della spesa per consumi, rafforzando una tendenza avviata negli anni settanta. Nel 2008 l'intensità energetica della spesa per consumi era di 63 TEP per milione di euro ai prezzi del 2000, rispetto a un valore medio di 88 negli anni settanta.

Secondo l'Indagine sui consumi delle famiglie dell'Istat, la spesa per l'acquisto di beni energetici nel 2008 era poco meno di 300 euro mensili per famiglia. La loro incidenza sulla spesa complessiva per consumi, rimasta sostanzialmente invariata intorno all'11 per cento nel decennio 1997-2007, ha raggiunto quasi il 12 per cento nel 2008 (tav. 11.1). La metà della spesa energetica è destinata all'acquisto di carburante per il trasporto privato, poco meno di un terzo alla spesa per il riscaldamento e un quinto a quella per l'energia elettrica.

Gli impieghi finali di energia per i trasporti, inclusi quelli delle famiglie che si stima incidano per circa il 40 per cento, rappresentano il 30 per cento del totale e sono

cresciuti dal 1990 a un tasso medio annuo dell'1,5 per cento. Per quasi il 90 per cento sono legati al trasporto su strada di persone e di merci. L'Italia ha un numero elevato di vetture per abitante (nel 2007, 598 ogni 1.000 abitanti, a fronte di 464 nella media della UE), caratterizzate però da un livello contenuto di consumi energetici unitari (nel 2007 il 17,5 per cento in meno della media europea). Relativamente poco efficienti dal punto di vista energetico, oltre che molto diffusi, sono invece i veicoli industriali. L'86 per cento delle merci (73 per cento nella UE) è trasportato su gomma da una flotta di veicoli con un'età media superiore a quella riscontrata nei principali paesi europei e movimentati con livelli di carico inferiori.

Tavola 11.1

Spesa per consumi energetici delle famiglie italiane (1) (valori in percentuale della spesa complessiva)				
VOCI	1997	2002	2007	2008
Livello di spesa equivalente (2)				
1° quarto di famiglie	12,2	12,2	12,3	13,1
2° quarto di famiglie	12,1	12,1	11,8	12,6
3° quarto di famiglie	11,3	11,4	11,0	11,8
4° quarto di famiglie	8,6	8,5	8,6	9,4
Dimensione familiare				
1 componente	9,7	9,9	10,0	10,8
2 componenti	11,1	11,1	11,0	11,7
3 componenti	11,7	11,6	11,6	12,3
4 o più componenti	11,5	11,6	11,5	12,6
Dimensione dell'abitazione				
1 stanza	8,9	9,4	10,3	10,1
2 stanze	9,8	10,0	9,7	10,8
3 stanze	10,5	10,6	10,7	11,3
4 stanze	11,1	11,1	11,0	11,7
5 stanze e oltre	11,6	11,5	11,3	12,2
Area geografica				
Nord	11,0	11,1	10,6	11,5
Centro	11,2	11,0	10,9	11,5
Sud e Isole	11,0	11,0	11,5	12,3
Totale	11,0	11,0	10,9	11,7

Fonte: elaborazioni su dati Istat. Indagine sui consumi delle famiglie; cfr. nell'Appendice la sezione: *Note metodologiche*.

(1) Include le spese per l'acquisto di energia elettrica, di carburanti per il trasporto privato e di combustibili per il riscaldamento dei locali. –
(2) La spesa equivalente è data dalla spesa familiare totale divisa per la radice quadrata del numero dei componenti della famiglia.

I prezzi dei prodotti energetici

Il peso delle importazioni di petrolio e gas sugli approvvigionamenti energetici rende i prezzi interni dell'energia dipendenti dagli andamenti dei mercati internazionali, in particolare delle quotazioni del greggio, in forte crescita nell'ultimo decennio. L'incidenza dei costi energetici è di conseguenza aumentata dal 2,3 per cento del PIL nel periodo 2000-04 al 3,1 nel periodo 2005-09; ha raggiunto un picco del 3,8 per cento nel 2008, anno in cui i prezzi del greggio hanno toccato i 140 dollari al barile, per poi scendere al 2,8 per cento nell'anno successivo.

Il livello medio dei prezzi energetici per gli utenti finali è tendenzialmente superiore a quello che si registra negli altri paesi europei. Secondo nostre stime, dal gennaio

2008 al giugno 2009, rispetto alle concorrenti europee, le imprese italiane hanno pagato prezzi sostanzialmente in linea per il gas naturale, ma molto superiori per l'energia elettrica (31 per cento). I corrispondenti differenziali per le famiglie erano pari al 16 per cento per il gas naturale e al 27 per l'energia elettrica. Sulla base dei consumi del 2008, i differenziali medi tra i prezzi italiani e quelli europei corrispondono a un onere aggiuntivo di 5,6 miliardi di euro per le imprese industriali (0,51 per cento del valore medio della produzione industriale) e di 4,4 miliardi per le famiglie (0,47 per cento della spesa complessiva per consumi delle famiglie).

Questo differenziale di prezzo dipende dalla struttura di approvvigionamento delle fonti energetiche, dal grado di concorrenza dei mercati, dall'adeguatezza delle infrastrutture e dal livello dell'imposizione fiscale.

Data la predominanza del gas nella produzione termoelettrica, i costi di generazione sono in larga parte determinati dalla componente variabile legata al costo del combustibile. Quest'ultimo incide infatti per il 70 per cento sui costi complessivi degli impianti a gas, contro il 28 di quelli a carbone e il 16 di quelli elettronucleari. Di conseguenza, gli andamenti dei costi di produzione sono influenzati dalla dinamica delle quotazioni del gas – in prevalenza a valere su contratti a lungo termine indicizzati al prezzo del petrolio – particolarmente sostenuta nel decennio in corso.

I mercati dei prodotti petroliferi sono liberi, mentre quelli del gas e dell'energia elettrica sono condizionati dal ruolo delle reti di trasporto che configurano alcune fasi della filiera come un monopolio naturale. Dalla seconda metà degli anni novanta è stato avviato a livello comunitario un processo di liberalizzazione delle attività potenzialmente contendibili (l'approvvigionamento e la vendita di gas ed energia elettrica) e di regolamentazione delle restanti (la distribuzione mediante rete).

L'Italia ha adottato la separazione proprietaria per la rete elettrica, con un gestore della rete nazionale ad alta tensione (Terna) sotto il controllo pubblico (circa il 30 per cento delle azioni è detenuto dalla Cassa depositi e prestiti), mentre ha optato per un regime di separazione legale per il gas, dove il gestore della rete è Snam rete gas, una società del gruppo Eni che rimane l'operatore dominante nell'approvvigionamento e nello stoccaggio.

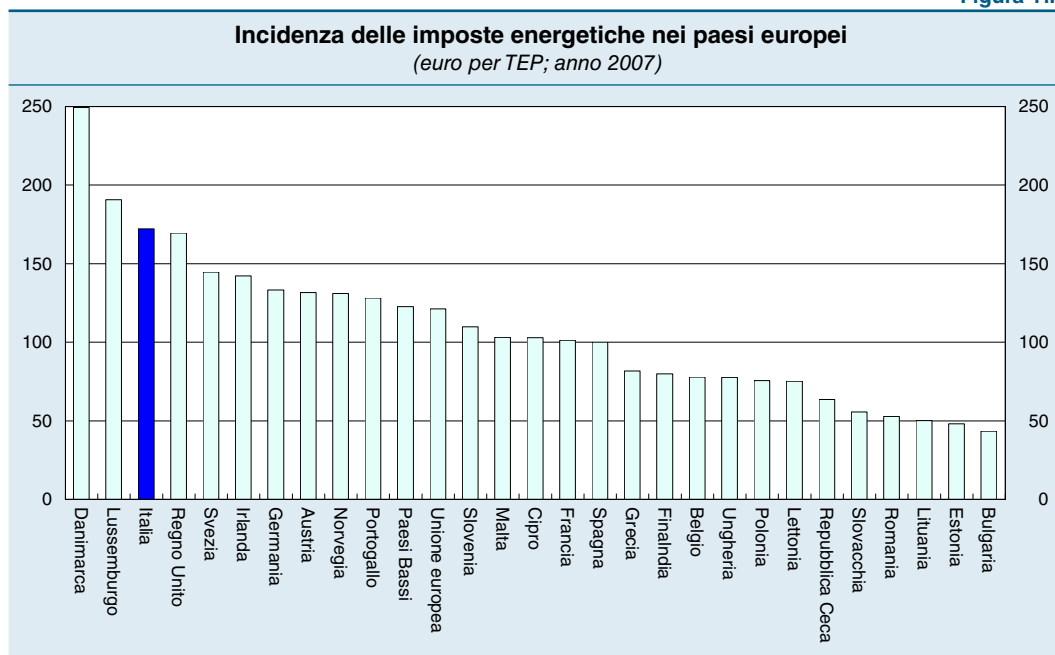
Nel tempo si sono susseguite varie misure (tetti antitrust, gas-release) per limitare il potere di mercato dell'Eni. Attualmente, è in discussione un provvedimento volto all'ampliamento della capacità di stoccaggio a beneficio di operatori diversi dall'Eni (in particolare imprese manifatturiere energy-intensive). Nel marzo 2009 la Commissione europea ha accusato il gruppo Eni di utilizzare il proprio ruolo di gestore della rete del gas per limitare l'accesso dei concorrenti. Pur rigettando tali argomentazioni, il gruppo Eni si è impegnato a vendere le quote di proprietà (ma non i diritti di trasporto) nei gasdotti Tenp e Transitgas e a cedere la partecipazione nel gasdotto Tag, che conduce il gas russo in Italia, alla Cassa depositi e prestiti.

Nel mercato elettrico è cresciuto il numero di attori nella fase di generazione, con un aumento della potenza installata (cresciuta di oltre il 21 per cento tra il 2003 e il 2009), anche per via degli incentivi alla produzione con fonti rinnovabili (cfr. il paragrafo: *Le politiche energetiche per il contenimento delle emissioni di gas serra*). Il prezzo, fissato a livello nazionale sulla base della media dei prezzi zionali determinati dalle transazioni sulla borsa elettrica, risente tuttavia di un'insufficienza strutturale dell'offerta in alcune zone del paese, in particolare nel Mezzogiorno, dovuta a deficit nella capacità di interconnessione della rete.

La possibilità per i consumatori finali di passare al mercato libero, consentita dal 2003 per il gas e dal 2007 per l'elettricità, è stata sfruttata da un numero limitato di utenti. Nel 2008, il 13 per cento delle imprese e il 4,6 per cento delle famiglie avevano modificato il proprio fornitore di energia elettrica; nel mercato del gas, appena l'1,2 per cento degli utenti aveva cambiato il proprio fornitore (per la maggior parte clienti con elevati volumi di consumo). Secondo la terza Indagine sull'andamento del mercato dell'energia elettrica e del gas, oltre un quinto delle famiglie non è a conoscenza della liberalizzazione dei mercati e circa la metà non è informata sulle offerte disponibili.

Il livello di tassazione in Italia è più elevato che nella maggior parte dei paesi della UE. Le imposte sull'energia ammontavano nel 2007 a circa 32 miliardi di euro, corrispondenti a un'imposta su ciascuna unità di energia (TEP) di circa 170 euro, un valore tra i più alti d'Europa, del 42 per cento superiore ai 121 euro nella media della UE (fig. 11.4). Il gettito fiscale gravava per poco meno della metà sulle famiglie, per oltre un quinto sulle imprese dei servizi e per circa un decimo su quelle manifatturiere e del settore energetico, una ripartizione che non si discosta da quella rilevata negli altri principali paesi della UE.

Figura 11.4



Fonte: elaborazioni su dati Eurostat.

La tassazione sui beni energetici contempera l'esigenza di produrre gettito (generava nel 2007 quasi il 5 per cento delle imposte e dei contributi) con quella di fornire un segnale di prezzo atto a limitarne il consumo. L'elevata imposizione fiscale può aver contribuito in Italia a moderare l'intensità energetica. Inoltre, la tassazione costituisce uno strumento di politica ambientale con cui è possibile correggere le esternalità negative legate all'utilizzo dei prodotti energetici.

In ambito comunitario, il rilievo dell'imposizione come strumento di politica ambientale è sottolineato dal sostegno della Commissione all'istituzione di una carbon tax armonizzata a livello europeo. Questa imposta, già presente in alcuni paesi della UE, penalizzerebbe le fonti energetiche in funzione del loro contributo alle emissioni di gas serra nei settori non assoggettati al sistema di negoziazione delle emissioni EU ETS (cfr. infra).

Le politiche energetiche per il contenimento delle emissioni di gas serra

Il quarto rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change delle Nazioni Unite indica che le emissioni di gas serra legate al consumo e alla produzione di energia hanno contribuito all'aumento della temperatura superficiale terrestre di oltre 0,7 °C dagli inizi del ventesimo secolo. Secondo le proiezioni dell'International Energy Agency (IEA), nei prossimi vent'anni le emissioni porterebbero la concentrazione dei gas serra a un livello compatibile con una crescita delle temperature superiore ai 6 °C.

I paesi della UE si sono posti per primi l'obiettivo di limitare le emissioni in modo da contenere la crescita delle temperature entro i 2 °C rispetto ai livelli preindustriali. In concomitanza con la riunione dei paesi del G8 a L'Aquila, questo obiettivo, riconosciuto nel recente Accordo di Copenaghen, è stato condiviso da tutti i paesi aderenti al Major Economies Forum on Energy and Climate, responsabili di circa i tre quarti delle emissioni di gas serra.

Per il perseguimento di tale obiettivo, i paesi della UE hanno dapprima ratificato il protocollo di Kyoto e, nel 2009, hanno approvato il pacchetto clima-energia. Quest'ultimo prevede, per l'UE nel suo insieme, di ridurre le emissioni di gas serra del 20 per cento rispetto al 1990 e di innalzare l'incidenza delle fonti rinnovabili sui consumi energetici al 20 per cento entro il 2020.

Il pacchetto comprende tre direttive relative alla promozione dell'energia da fonti rinnovabili, all'ambito di applicazione del sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione EU ETS e allo stoccaggio geologico di CO₂. È inoltre inclusa una decisione che definisce gli obiettivi al 2020 di ciascuno Stato membro per il contenimento delle emissioni.

L'EU ETS, varato agli inizi del 2005, fissa un tetto massimo al livello delle emissioni complessive di circa 12.000 impianti, che operano nel settore della produzione di energia e della manifattura, con un elevato consumo energetico. I partecipanti, cui è fornita una quota iniziale di permessi, possono acquistare o vendere su un mercato organizzato le quote di emissioni a seconda che queste risultino al di sopra o al di sotto dei tetti preventivamente stabiliti.

Ratificando il protocollo di Kyoto nel 2002 (legge 1° giugno 2002, n. 120), l'Italia si è impegnata a ridurre le emissioni medie di gas serra nel periodo 2008-2012 del 6,5 per cento rispetto al 1990. Secondo gli impegni presi in ambito comunitario, nel 2020 le emissioni dei settori a maggior consumo di energia (soggette a un limite prefissato e concordato in sede europea nell'ambito del sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione EU ETS) dovrebbero ridursi del 21 per cento rispetto al 2005, quelle degli altri settori del 13 per cento.

Nel confronto internazionale, l'economia italiana presenta un basso livello di emissioni di CO₂ per unità di prodotto (nel 2007, 370 g di CO₂ per ogni dollaro di PIL ai prezzi del 2000, rispetto a 400 nella media della UE e 430 nella media dell'OCSE). Negli ultimi anni le emissioni di gas serra sono tuttavia aumentate in modo sostanzialmente ininterrotto: nel 2008 erano cresciute del 4,7 per cento rispetto al 1990.

Nel 2009 le emissioni si sarebbero ridotte del 9 per cento soprattutto a seguito della contrazione degli usi energetici conseguente alla crisi. Per raggiungere gli obiettivi del protocollo di Kyoto le emissioni italiane dovrebbero quindi ridursi, nella media del periodo 2010-12, di un ulteriore 6 per cento rispetto al 2009.

Per raggiungere gli obiettivi prefissati, l'Italia dovrà adottare misure per incrementare l'efficienza energetica degli usi finali e ridurre le emissioni di gas serra dei settori della trasformazione energetica.

Nel primo caso, alle imprese si chiede di adeguare i propri impianti e alle famiglie di acquistare beni durevoli con l'obiettivo di contenere i consumi energetici (ad esempio, attraverso la riqualificazione energetica degli edifici). L'adozione di misure per incrementare l'efficienza energetica presenta il vantaggio che i costi sostenuti vengono successivamente compensati, in tutto o in parte, dai risparmi generati dai minori consumi energetici.

Rientrano in questo tipo di misure gli incentivi introdotti dalla legge 27 dicembre 2006, n. 296, che ha stabilito la possibilità per le persone fisiche e giuridiche di detrarre il 55 per cento della spesa sostenuta per la realizzazione di interventi di riqualificazione energetica del patrimonio immobiliare. Nel 2008, secondo l'ENEA, i soli interventi sull'involucro edilizio (infissi, sistemi di copertura e solai, ecc.) hanno comportato un risparmio annuo di energia pari a circa 495 GWh e una riduzione di emissioni di CO₂ di oltre 100.000 tonnellate all'anno. Nel complesso, la stessa ENEA valuta che l'adozione di misure per l'efficienza energetica consentirebbe di ridurre le emissioni di CO₂ nel 2020 di oltre un decimo rispetto agli scenari tendenziali.

Per l'abbattimento delle emissioni nei settori della trasformazione energetica, i costi variano a seconda della tecnologia adottata (fonte elettronucleare, centrali a carbone con cattura e stoccaggio della CO₂, fonti rinnovabili) e sono le imprese del settore a dover sostenere gli oneri di adeguamento delle infrastrutture di produzione. Tra questo insieme di opzioni, il pacchetto clima-energia ha posto un'enfasi particolare sullo sviluppo delle fonti rinnovabili. L'Italia si è impegnata a elevarne il contributo al 17 per cento degli usi finali lordi di energia entro il 2020 (5,2 per cento nel 2005). Secondo un obiettivo intermedio, la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili dovrebbe raggiungere nel 2010 il 22,55 per cento dei consumi di energia elettrica (15,1 per cento nel 2005). Anche per via della brusca riduzione dei consumi totali causata dalla crisi economica, dati provvisori di Terna darebbero questo obiettivo come pressoché conseguito nel 2009 (21,2 per cento).

Nel 2009 la produzione lorda da fonti rinnovabili è cresciuta del 13 per cento, con incrementi particolarmente marcati per l'eolico e il fotovoltaico (rispettivamente, 289 e 25 per cento). Nel complesso la quota prevalente rimane però costituita dall'idroelettrico (16,4 per cento della produzione di energia elettrica totale), seguito a distanza dalla produzione da biomassa e rifiuti (2,7), dall'eolico (2,1), dal geotermico (1,8) e dal fotovoltaico (0,3; cfr. nell'Appendice la tav. a11.2).

La crescita nella capacità installata delle fonti rinnovabili è stata favorita da numerosi meccanismi di incentivazione, valutati tra i più vantaggiosi in ambito europeo. Essa è finanziata dagli utenti finali attraverso un'apposita componente della tariffa dell'energia elettrica, i cui introiti nel 2008 ammontavano a 1,6 miliardi di euro (escludendo gli incentivi per le cosiddette fonti assimilate o CIP6, che in larga misura remunerano l'energia elettrica prodotta dalla combustione dei rifiuti urbani). L'Autorità per l'energia elettrica e il gas (AEEG) stima che nel 2010 questa spesa possa arrivare a circa 3 miliardi di euro per raggiungere i 7 nel 2020. L'incentivazione delle fonti rinnovabili è stata finora necessaria perché esse hanno costi di produzione dell'energia elettrica superiori alle fonti tradizionali. La necessità di meccanismi di incentivazione si ridurrà con la maturazione delle tecnologie, la crescita dei prezzi dei combustibili fossili e l'inclusione tra i costi di produzione di quelli connessi alla riduzione delle emissioni di gas serra.

Rimangono carenze nell'adeguamento delle reti per favorire l'immissione di energia prodotta da fonti rinnovabili e la commessa gestione dei picchi di produzione. Il loro intenso sviluppo nelle regioni meridionali, favorito dalle maggiori potenzialità di crescita, sconta al momento carenze infrastrutturali della rete elettrica. Nel piano strategico per il 2010-14, Terna ha previsto che oltre il 70 per cento degli investimenti per lo sviluppo della rete sia concentrato nel Centro Sud per rimuovere le congestioni e connettere le fonti rinnovabili.

Nel medio termine un contributo alla riduzione delle emissioni di CO₂ dovrebbe anche venire dalla ripresa della produzione elettronucleare, cui l'Italia aveva rinunciato a seguito degli esiti del referendum del 1987. La legge 23 luglio 2009, n. 99, ha delineato i tratti di una nuova strategia energetica in cui la fonte nucleare dovrebbe a regime coprire il 25 per cento della domanda nazionale di energia elettrica stimata per il 2020 (pari a una capacità installata di circa 13 GW e a una produzione annua di circa 100 TWh). La prima fase di interventi prevede la costruzione di quattro centrali elettronucleari per una potenza installata di 6,4 GW, con una prima centrale operativa entro il 2020.

Secondo gli articoli 25 e 26 della legge, le attività connesse con la realizzazione delle nuove centrali elettronucleari non dovranno comportare oneri per la finanza pubblica.

La Commissione europea valuta che i costi derivanti dagli impegni presi dall'Italia per la riduzione dei gas serra e la promozione delle fonti rinnovabili siano compresi tra lo 0,49 e l'1,05 per cento del PIL al 2020. Questi costi non tengono però conto dell'eventuale perdita di competitività delle imprese che, per i vincoli derivanti dal sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione (EU ETS), potrebbero delocalizzare le proprie attività in altri paesi (*carbon leakage*).

Secondo le evidenze disponibili, il sistema EU ETS non avrebbe innescato un fenomeno di carbon leakage. Questo risultato potrebbe essere legato alla capacità delle imprese europee di guadagnare competitività grazie a un uso più efficiente delle risorse energetiche. Occorre però tenere presente che i costi aggiuntivi imposti dal sistema di negoziazione delle emissioni sono stati finora limitati: nella prima fase infatti i permessi di emissione sono stati rilasciati agli impianti a titolo gratuito e sono stati distribuiti in soprannumero.

Le politiche di contenimento delle emissioni di gas serra aiuterebbero a ridurre il grado di dipendenza dall'estero e, date le proiezioni a lungo termine delle quotazioni del greggio, i costi di approvvigionamento energetico. Tali politiche inoltre incoraggierebbero lo sviluppo del settore delle energie rinnovabili.

Secondo un rapporto redatto per la Commissione europea, le attività legate allo sviluppo delle fonti rinnovabili in Europa potrebbero comportare nel 2020 un aumento del PIL compreso tra lo 0,11 e lo 0,25 per cento e portare gli addetti del settore oltre 2 milioni di unità. Recenti valutazioni per l'Italia indicano che la crescita dell'occupazione nell'industria delle fonti rinnovabili sarebbe compresa tra 100.000 e 175.000 unità entro il 2020.

In Italia circa il 70 per cento degli investimenti in energie rinnovabili consiste nell'importazione dall'estero di sistemi e apparati tecnologici per la realizzazione di impianti. A fronte di una significativa presenza italiana nella produzione di tecnologie per le fonti rinnovabili tradizionali quali l'idroelettrico, il geotermico e le biomasse, i componenti per la generazione di energia elettrica con fonte eolica e fotovoltaica sono per la maggior parte prodotti all'estero. Oltre allo sviluppo della produzione nazionale in questi comparti, potrebbero avere ripercussioni positive per l'occupazione gli

interventi nel campo della riqualificazione energetica degli edifici, secondo il Piano di azione per l'efficienza energetica uno dei settori da cui conseguire i più elevati risparmi di energia.

L'efficacia delle misure adottate può essere incrementata stabilendo un piano d'azione complessivo, come raccomandato anche dall'ultima *policy review* della IEA. Uno strumento con cui definire gli obiettivi energetici nel medio e nel lungo termine e il quadro di riferimento entro cui coordinare le diverse iniziative energetiche, a livello locale e nazionale, è rappresentato dalla Strategia energetica nazionale, prevista dalla legge 6 agosto del 2008, n. 133.

Bilanci dell'energia
(milioni di tonnellate equivalenti di petrolio)

VOCI	Combustibili solidi	Gas naturale	Petrolio	Rinnovabili (1)	Energia elettrica (2)	Totale
1995						
Produzione	0,3	16,5	5,2	10,2	–	32,2
Importazioni	13,1	28,6	106,6	0,2	8,5	157,0
Esportazioni (-)	0,1	0,0	16,8	..	0,3	17,2
Variazione delle scorte (-)	0,8	0,2	-0,7	..	–	0,3
Consumo Interno Lordo (3)	12,5	44,9	95,7	10,4	8,2	171,7
<i>Composizione percentuale</i>	7,3	26,2	55,7	6,1	4,8	100,0
Trasformazione in energia elettrica	-6,4	-9,4	-25,4	-9,2	50,4	–
Consumi e perdite (4)	-1,1	-0,5	-6,5	-0,1	-38,0	-46,2
Totale impieghi finali (3)	5,1	34,9	63,9	1,1	20,6	125,6
<i>Composizione percentuale</i>	4,1	27,8	50,9	0,9	16,4	100,0
di cui: <i>industria</i>	3,8	11,9	5,3	0,2	8,2	29,4
<i>trasporti</i>	–	0,2	29,4	..	0,6	30,1
<i>usi civili (5)</i>	0,1	15,0	6,5	0,7	7,6	29,9
<i>agricoltura</i>	–	0,1	2,2	..	..	2,3
<i>usi non energetici</i>	0,2	0,8	5,4	–	–	6,3
2000						
Produzione	0,3	13,7	4,6	12,4	–	31,0
Importazioni	13,2	47,4	110,6	0,5	9,9	181,6
Esportazioni (-)	0,1	0,0	21,4	..	0,1	21,6
Variazione delle scorte (-)	0,6	2,7	1,8	..	–	5,1
Consumo Interno Lordo (3)	12,9	58,4	92,0	12,9	9,8	185,9
<i>Composizione percentuale</i>	6,9	31,4	49,5	6,9	5,2	100,0
Trasformazione in energia elettrica	-7,2	-18,8	-19,4	-11,3	56,8	–
Consumi e perdite (4)	-1,4	-0,7	-5,8	-0,1	-43,1	-51,0
Totale impieghi finali (3)	4,2	38,9	66,8	1,5	23,5	134,8
<i>Composizione percentuale</i>	3,1	28,8	49,5	1,1	17,4	100,0
di cui: <i>industria</i>	3,0	12,4	5,6	0,2	8,7	29,8
<i>trasporti</i>	–	0,2	30,0	..	0,5	30,7
<i>usi civili (5)</i>	..	15,3	5,3	0,9	7,9	29,4
<i>agricoltura</i>	–	0,1	1,9	0,1	0,3	2,4
<i>usi non energetici</i>	0,1	0,7	4,7	–	–	5,6
2005						
Produzione	0,6	10,0	6,1	12,7	–	29,4
Importazioni	16,6	60,6	108,4	0,8	11,1	197,4
Esportazioni (-)	0,2	0,3	28,9	..	0,2	29,7
Variazione delle scorte (-)	..	-0,9	0,3	..	–	-0,6
Consumo Interno Lordo (3)	17,0	71,2	85,2	13,5	10,8	197,8
<i>Composizione percentuale</i>	8,6	36,0	43,1	6,8	5,5	100,0
Trasformazione in energia elettrica	-11,9	-25,3	-9,4	-11,6	58,2	–
Consumi e perdite (4)	-0,5	-0,8	-6,6	-0,1	-43,2	-51,2
Totale impieghi finali (3)	4,6	45,1	69,2	1,8	25,9	146,6
<i>Composizione percentuale</i>	3,2	30,7	47,2	1,2	17,6	100,0
di cui: <i>industria</i>	3,0	11,6	5,1	0,2	8,1	28,0
<i>trasporti</i>	–	0,3	29,0	0,1	0,6	30,0
<i>usi civili (5)</i>	..	18,1	4,5	0,9	8,6	32,1
<i>agricoltura</i>	–	0,1	1,8	0,1	0,3	2,3
<i>usi non energetici</i>	0,1	0,7	4,4	–	–	5,2

Fonte: ENEA e Ministero dello Sviluppo economico (le tabelle sono state tutte riviste rispetto agli anni precedenti in quanto i dati sulla produzione idroelettrica sono al netto dei pompaggi). Eventuali discrepanze sono dovute ad arrotondamenti. I combustibili solidi includono anche espansione di gas compresso, gas di acciaieria ad ossigeno e residui di processi chimici.

(1) Energia elettrica primaria (idroelettrica, geotermoelettrica, eolica) e importazioni/esportazioni dall'estero valutate a input termoelettrico, convenzionale e costante, di 2.200 kcal per kWh. E' inclusa energia elettrica da biomasse, rifiuti e fotovoltaico. – (2) In conformità con altre fonti statistiche è stato adottato per l'energia elettrica, nella parte del bilancio riguardante gli impieghi dell'energia, il coefficiente di conversione di 860 kcal per kWh. Pertanto le differenze tra i coefficienti convenzionali adottati per l'energia elettrica primaria o di importazione (2.200 kcal per kWh) e quelli effettivi delle centrali termoelettriche, rispetto al coefficiente assunto di 860 kcal per kWh, sono incluse nella riga "Consumi e perdite" alla colonna totale. – (3) Includono i bunkeraggi marittimi internazionali. – (4) Fra i consumi e le perdite figurano quelli convenzionali attribuiti alla trasformazione termoelettrica. – (5) Comprende i consumi del settore domestico, del commercio, dei servizi, della Pubblica amministrazione.

continua

Bilanci dell'energia
(milioni di tonnellate equivalenti di petrolio)

VOCI	Combustibili solidi	Gas naturale	Petrolio	Rinnovabili (1)	Energia elettrica (2)	Totale
2006						
Produzione	0,5	9,1	5,8	13,4	-	28,7
Importazioni	16,8	63,9	107,0	0,8	10,3	198,7
Esportazioni (-)	0,2	0,3	27,3	..	0,4	28,2
Variazione delle scorte (-)	..	2,9	0,2	..	-	3,1
Consumo Interno Lordo (3)	17,2	69,7	85,2	14,2	9,9	196,2
<i>Composizione percentuale</i>	8,7	35,5	43,4	7,3	5,0	100,0
Trasformazione in energia elettrica	-11,9	-26,0	-9,5	-12,2	59,5	-
Consumi e perdite (4)	-0,7	-0,8	-6,0	-0,1	-42,9	-50,5
Totale impieghi finali (3)	4,6	42,8	69,7	2,0	26,5	145,7
<i>Composizione percentuale</i>	3,1	29,4	47,9	1,4	18,2	100,0
di cui: <i>industria</i>	3,0	11,3	5,3	0,2	8,3	28,1
<i>trasporti</i>	-	0,3	29,6	0,1	0,6	30,6
<i>usi civili (5)</i>	..	17,1	4,1	0,9	9,0	31,1
<i>agricoltura</i>	-	0,1	1,8	0,1	0,3	2,3
<i>usi non energetici</i>	0,1	0,7	4,8	-	-	5,5
2007						
Produzione	0,5	8,0	5,9	13,6	-	28,0
Importazioni	16,8	61,0	107,8	0,7	10,8	197,2
Esportazioni (-)	0,2	0,1	30,8	..	0,6	31,6
Variazione delle scorte (-)	..	-1,1	0,5	..	-	-0,6
Consumo Interno Lordo (3)	17,2	70,0	82,5	14,3	10,2	194,2
<i>Composizione percentuale</i>	8,9	36,1	42,5	7,4	5,2	100,0
Trasformazione in energia elettrica	-11,9	-28,3	-7,2	-11,7	59,2	-
Consumi e perdite (4)	-0,8	-1,3	-6,1	-0,1	-42,8	-51,0
Totale impieghi finali (3)	4,5	40,5	69,1	2,5	26,6	143,2
<i>Composizione percentuale</i>	3,1	28,3	48,3	1,7	18,6	100,0
di cui: <i>industria</i>	3,0	11,0	5,0	0,3	8,4	27,7
<i>trasporti</i>	-	0,3	30,3	0,1	0,6	31,4
<i>usi civili (5)</i>	..	16,2	3,6	1,2	9,2	30,3
<i>agricoltura</i>	-	0,1	1,7	0,2	0,3	2,3
<i>usi non energetici</i>	0,1	0,5	5,2	-	-	5,9
2008						
Produzione	0,5	7,6	5,2	16,3	-	29,7
Importazioni	16,8	63,0	101,7	0,8	9,6	191,8
Esportazioni (-)	0,2	0,2	28,7	0,1	0,7	29,9
Variazione delle scorte (-)	0,4	0,8	-1,0	..	-	0,3
Consumo Interno Lordo (3)	16,7	69,5	79,2	17,0	8,8	191,3
<i>Composizione percentuale</i>	8,8	36,3	41,4	8,9	4,6	100,0
Trasformazione in energia elettrica	-11,9	-27,8	-6,2	-13,8	59,7	-
Consumi e perdite (4)	-0,7	-1,2	-6,2	-0,1	-41,9	-50,2
Totale impieghi finali (3)	4,1	40,5	66,8	3,1	26,6	141,1
<i>Composizione percentuale</i>	2,9	28,7	47,3	2,2	18,8	100,0
di cui: <i>industria</i>	2,8	10,2	5,0	0,3	8,2	26,5
<i>trasporti</i>	-	0,4	29,4	0,5	0,7	31,0
<i>usi civili (5)</i>	..	17,5	3,6	1,3	9,6	32,1
<i>agricoltura</i>	-	0,1	1,7	0,2	0,3	2,3
<i>usi non energetici</i>	0,1	0,5	4,9	-	-	5,5

Fonte: ENEA e Ministero dello Sviluppo economico (le tabelle sono state tutte riviste rispetto agli anni precedenti in quanto i dati sulla produzione idroelettrica sono al netto dei pompaggi). Eventuali discrepanze sono dovute ad arrotondamenti. I combustibili solidi includono anche espansione di gas compresso, gas di acciaieria ad ossigeno e residui di processi chimici.

(1) Energia elettrica primaria (idroelettrica, geotermoelettrica, eolica) e importazioni/esportazioni dall'estero valutate a input termoelettrico, convenzionale e costante, di 2.200 kcal per kWh. E' inclusa energia elettrica da biomasse, rifiuti e fotovoltaico. - (2) In conformità con altre fonti statistiche è stato adottato per l'energia elettrica, nella parte del bilancio riguardante gli impieghi dell'energia, il coefficiente di conversione di 860 kcal per kWh. Pertanto le differenze tra i coefficienti convenzionali adottati per l'energia elettrica primaria o di importazione (2.200 kcal per kWh) e quelli effettivi delle centrali termoelettriche, rispetto al coefficiente assunto di 860 kcal per kWh, sono incluse nella riga "Consumi e perdite" alla colonna totale. - (3) Includono i bunkeraggi marittimi internazionali. - (4) Fra i consumi e le perdite figurano quelli convenzionali attribuiti alla trasformazione termoelettrica. - (5) Comprende i consumi del settore domestico, del commercio, dei servizi, della Pubblica amministrazione.

Produzione e richiesta di energia elettrica in Italia
(GWh e valori percentuali)

VOCI	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009 (1)
Produzione lorda	284.401	293.865	303.321	303.672	314.090	313.888	319.130	289.914
Consumi dei servizi ausiliari	13.618	13.682	13.298	13.064	12.864	12.589	12.065	11.034
Produzione netta (a)	270.783	280.183	290.023	290.608	301.226	301.299	307.065	278.880
Destinata ai pompaggi (b)	10.654	10.492	10.300	9.319	8.752	7.654	7.618	5.727
Importazioni nette (c)	50.597	50.967	45.634	49.154	44.985	46.283	40.034	44.449
Energia elettrica richiesta sulla rete (a-b+c)	310.726	320.658	325.357	330.443	337.459	339.928	339.481	317.602
Produzione lorda da fonti rinnovabili	49.013	47.967	55.263	49.893	52.239	49.411	59.720	67.458
	<i>(composizione percentuale)</i>							
<i>Idrica da apporti naturali</i>	80,6	76,4	76,6	72,3	70,8	66,4	69,7	70,5
<i>Eolica</i>	2,9	3,0	3,3	4,7	5,7	8,2	8,1	9,0
<i>Fotovoltaica</i>	..	..	..	..	..	..	0,3	1,1
<i>Geotermica</i>	9,5	11,1	9,8	10,7	10,6	11,3	9,2	7,9
<i>Biomasse e rifiuti</i>	7,0	9,4	10,2	12,3	12,9	14,1	12,6	11,5
Produzione termoelettrica lorda (2)	231.069	242.784	246.125	253.073	262.165	265.764	261.328	225.987
	<i>(composizione percentuale)</i>							
<i>Solidi</i>	15,3	16,0	18,5	17,2	16,9	16,6	16,5	17,3
<i>Gas naturale</i>	43,0	48,3	52,7	59,0	60,3	65,0	66,1	64,5
<i>Prodotti petroliferi</i>	33,3	27,1	19,2	14,2	12,9	8,6	7,3	8,0
<i>Altri (3)</i>	8,4	8,6	9,6	9,6	9,9	9,8	10,1	10,2

Fonte: Terna.

(1) Preconsuntivi. – (2) Esclude la produzione geotermica. – (3) Include i gas derivati, gli altri combustibili solidi e gassosi e le altre forme di energia.