

SULLA SCELTA DELLE FONTI PRIMARIE PER LA PIANIFICAZIONE

ENERGETICA STRATEGICA ITALIANA

Enzo Zanchini, Gian Luca Morini

*Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Energetica Nucleare e del Controllo Ambientale
(DIENCA)*

SOMMARIO

Viene studiato in modo sintetico il problema energetico e ambientale globale, analizzando serie storiche di dati e proiezioni sui consumi energetici mondiali, stime delle riserve di combustibili fossili, misure delle concentrazioni di biossido di carbonio in atmosfera e della temperatura media della superficie del pianeta. Poi, vengono discussi i motivi che relegano ad un ruolo marginale alcune fonti rinnovabili e viene proposto un nuovo metodo per il calcolo del tempo di autofinanziamento energetico di sistemi per la produzione di energia elettrica o termica. Viene quindi analizzata la situazione energetica nazionale, evidenziando in particolare i gravi problemi del sistema elettrico italiano, con produzione basata pesantemente su combustibili fossili importati, importazione massiccia di energia elettrica prodotta all'estero, totale assenza di produzione termonucleare.

Sulla base di questo quadro di analisi, vengono fornite chiare indicazioni sulla scelta delle fonti primarie su cui fondare la pianificazione energetica strategica italiana.

1- INTRODUZIONE

Un processo tecnologico non “consuma” energia, ma “trasferisce” energia da una porzione di materia all’atmosfera terrestre; il processo consuma una grandezza fisica detta *exergia*, che rappresenta il lavoro massimo ottenibile da una porzione di materia che può scambiare calore e particelle materiali con l’atmosfera terrestre [1-3]. Tuttavia, seguendo il linguaggio corrente, parleremo di fonti e di consumi di energia, intendendo fonti e consumi di *exergia*.

Ogni anno, una grande quantità di energia proveniente dal Sole, circa $5.46 \cdot 10^{24}$ J, colpisce gli strati più esterni dell’atmosfera del pianeta e viene in gran parte assorbita dalla Terra. Una quantità di energia pari a quella assorbita viene irraggiata ogni anno dalla Terra verso lo spazio. Questo scambio di energia genera il ciclo dell’acqua e i venti, sostiene la crescita delle piante e la vita di tutto l’ecosistema, ha prodotto, in milioni di anni, le riserve di combustibili fossili e mantiene costante nel tempo la temperatura media della superficie terrestre. Il consumo energetico annuo mondiale (energia trasferita dalle fonti energetiche primarie all’ambiente) è pari a circa $4.26 \cdot 10^{20}$ J. Se gli obiettivi tecnologici fossero realizzati mediante processi di fusione nucleare, cioè trasformando l’idrogeno (o gli isotopi deuterio e trizio) in elio, il flusso di energia termica versato nell’ambiente avrebbe un effetto climatico trascurabile. Inoltre, l’idrogeno, ottenuto dall’acqua mediante elettrolisi, costituirebbe una fonte energetica praticamente inesauribile per la fusione nucleare. Purtroppo, questa tecnica non è ancora disponibile. La nostra società, industriale e tecnologica, è fondata quasi esclusivamente sui combustibili fossili, e principalmente sul petrolio. Il consumo annuo di questo combustibile dovrà presto diminuire, per il depauperamento delle riserve. Il gas naturale non potrà sostituire il petrolio per

molto tempo. Le riserve di carbone sono molto più abbondanti, ma l’uso del carbone come fonte energetica principale renderà gravissimi i problemi ambientali.

Così, per garantire un adeguato livello di benessere alle prossime generazioni, l’uomo dovrà affrontare e risolvere in tempi piuttosto brevi problemi drammatici e complessi, legati alla corretta individuazione e al corretto impiego delle fonti energetiche primarie. Scopo della presente nota è analizzare in modo sintetico questi problemi e, alla luce del quadro generale a livello mondiale, dare alcune indicazioni sulla scelta delle fonti energetiche primarie su cui fondare la pianificazione energetica strategica del nostro Paese.

2 - IL PROBLEMA ENERGETICO MONDIALE E IL GLOBAL WARMING

2.1 – Il consumo energetico mondiale.

Un’interessante serie storica di dati sul consumo energetico mondiale, nel periodo 1990-2003, è stata recentemente pubblicata dall’ENEA, sul “Rapporto Energia e Ambiente 2004” [4]. Rielaborando questi dati è stata ottenuta la Figura 1, che illustra il consumo energetico mondiale in EJ (1 EJ = 10^{18} J = 23.885 Mtep), suddiviso per fonti, nel suddetto periodo. La figura mostra che il consumo energetico mondiale è aumentato, dal 1990 al 2003, del 21.1% e che il fabbisogno energetico è soddisfatto in larga parte dai combustibili fossili. Il contributo percentuale delle singole fonti al fabbisogno totale è rimasto quasi invariato in questo periodo, con cambiamenti apprezzabili solo per il carbone (-0.8%), per il petrolio (-1%), per il gas naturale (+1.4%) e per il nucleare (+0.5%). Secondo i dati ENEA, il fabbisogno energetico del 2003, pari a 446,3 EJ, è coperto per l’80.4% dai combustibili fossili (24.3% carbone, 35.5% petrolio, 20.6% gas naturale),

per il 6.5% dalla fonte nucleare, per il 10.6% dalle biomasse, per il 2.1% dalla fonte idroelettrica, per lo 0.5% da tutte le altre fonti rinnovabili, fra cui predomina nettamente la fonte geotermica. Il contributo delle fonti eolica e solare è trascurabile (0.075%).

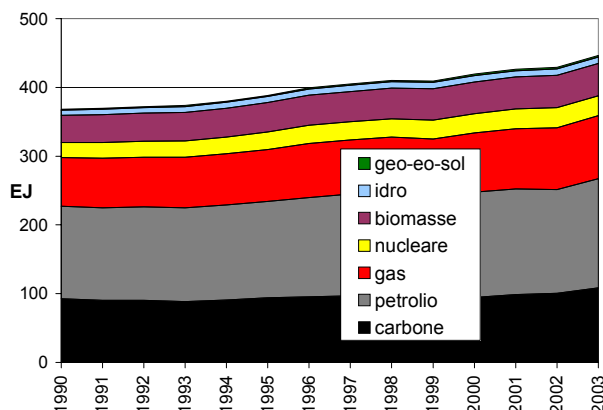


Figura 1. Consumo energetico mondiale per fonti, nel periodo 1990-2003, da dati ENEA (Rapporto Energia e Ambiente 2004).

Un'altra importante serie storica di dati sul consumo energetico mondiale, nel periodo 1970-2001, pubblicata dall'Energy Information and Administration (EIA) degli Stati Uniti d'America [5], è illustrata in Figura 2. Questa serie è in perfetto accordo con quella riportata in [4] per quanto riguarda il consumo complessivo, ma si differenzia per il minore peso attribuito alle fonti rinnovabili (rispetto a [4], la fonte biomasse è parzialmente riassorbita dai combustibili fossili).

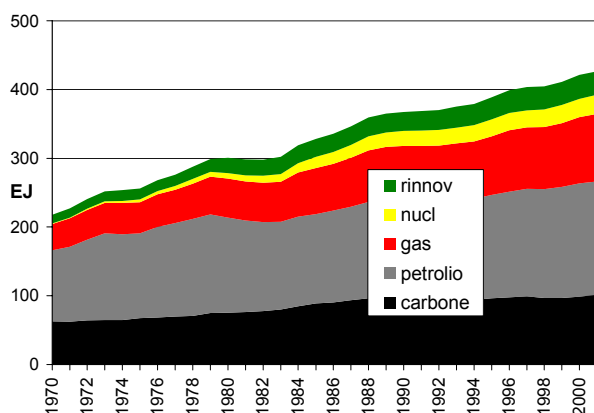


Figura 2. Consumo energetico mondiale per fonti, nel periodo 1970-2001, da dati EIA (USA).

Secondo l'EIA, dal 1971 al 2001 il consumo energetico mondiale è passato da 218.1 EJ a 426.4 EJ (valore confermato dai dati ENEA, 426.5 EJ), con un incremento del 95.5%. Nonostante i progressi nell'impiego della fonte nucleare (quasi assente nel 1971) e delle altre delle fonti rinnovabili, gran parte del fabbisogno energetico è ancora soddisfatto dai combustibili fossili. Secondo l'EIA, nel 2001 il fabbisogno è stato coperto per l'85.5% dai combustibili fossili, per il 6.5% dalla fonte nucleare, per l'8.0% dalle fonti rinnovabili. Le previsioni per il 2025 riportate in [4] indicano un ulteriore incremento del consumo energetico mondiale del 54% rispetto al 2001, con una percentuale di fabbisogno fornita dai combustibili fossili dell'87%.

2.2 – Le riserve di combustibili fossili

La stima delle riserve di petrolio, carbone e gas naturale presenti sulla terra è effettuata mediante un calcolo probabilistico ed è fortemente incerta. Anche i dati sulle sole riserve accertate sono talvolta inaffidabili. Ad esempio, i Paesi membri dell'OPEC sono motivati a gonfiare le cifre relative alle riserve di greggio, poiché maggiori sono le riserve, maggiore è la quantità di petrolio esportabile in base agli accordi internazionali. Una stima dell'energia ottenibile dalle riserve accertate e presunte di combustibili fossili è stata recentemente pubblicata da Beretta [6]. In Tabella 1, i valori riportati da Beretta sono confrontati con le stime effettuate da altri autori. Si può osservare come sussista una forbice notevole tra le cifre pubblicate, il che conferma la notevole incertezza dei dati sulle riserve. In Tabella 1 viene anche riportato, per ciascuna fonte, il consumo annuo nel 2001, dedotto mediando fra i dati riportati in [4] e in [5].

Come si può notare, l'incertezza è notevole soprattutto nella stima delle riserve di gas naturale e carbone. Per quanto riguarda le riserve di petrolio, le stime riportate in Tabella 1 concordano tra loro e con i dati di Campbell e Laherrere del 2002 riportati in [7], in cui le riserve di petrolio erano stimate in 12300 EJ.

Tabella 1 – Riserve accertate presunte di combustibili fossili.

Fonte energetica	Riserve [EJ]			Consumo del 2001 [EJ]
	Wilson e Jones [8]	Lazzarin [9]	Beretta [6]	
Petrolio	12850	10300	12000	159
Gas naturale	8300	7500	16500	93
Carbone	134000	40000	135000	100

I dati riportati in Tabella 1, per quanto imprecisi, forniscono indicazioni interessanti. In particolare, si può notare che il petrolio dovrà subire una forte diminuzione di consumi entro questo secolo, e che le riserve stimate di carbone sono di un ordine di grandezza superiori a quelle di petrolio e di gas naturale.

Tabella 2 – Confronto tra le diverse previsioni del picco di produzione del greggio [7].

Autore	Picco di produzione di greggio.
Hubbert (1982)	2000
Bartlett (1994)	2004
Ivanhoe (1997)	2010
Youngquist (1998)	2010
Wood e Long (2000)	2037
Duncan (2001)	2006
Laherrere (2001)	2005
Bentley (2002)	2005

I dati relativi alle riserve accertate e presunte vengono utilizzati anche al fine di stabilire quando la produzione di una data fonte raggiungerà il suo massimo, mediante modelli di tipo logistico (Hubbert [10]). Le previsioni sono afflitte dall'incertezza dei dati sulle riserve disponibili. Per questo motivo, differenti autori hanno stimato date diverse per il raggiungimento della massima produzione mondiale di greggio, come riportato in Tabella 2. Tuttavia, si può osservare l'accordo dei diversi autori (a parte Wood e Long) nel

prevedere il picco di produzione del greggio entro il decennio 2000-2010.

Relativamente alle altre fonti di combustibili fossili, Campbell [11] ha stimato il massimo della produzione intorno al 2040 per il gas naturale e intorno al 2100 per il carbone. Complessivamente, le stime sulle riserve e sui picchi di produzione fanno prevedere una “doppia transizione energetica” nel corso del prossimo secolo, in cui al petrolio si sostituirà come fonte dominante dapprima il gas naturale e quindi il carbone. Questa seconda transizione appare estremamente inquietante dal punto di vista ambientale.

2.3 – Il global warming

Il massiccio consumo di combustibili fossili produce una forte immissione in atmosfera di gas serra e, in particolare, di biossido di carbonio (CO_2). Le immissioni mondiali di CO_2 in atmosfera dovute all'impiego dei combustibili fossili sono passate da 14029 miliardi di tonnellate nel 1970 a 23922 miliardi di tonnellate nel 2001, con un incremento del 70.5%. Le previsioni indicano per il 2025 un incremento del 165% rispetto al 1970 [4]. A partire dal 1958, vengono effettuate accurate misure della concentrazione di CO_2 in atmosfera, in un centro allestito dall'Università di California sulle pendici del vulcano Mauna Loa dell'isola Hawaii (o Big Island). La località è stata scelta per la sua grande distanza dai luoghi di immissione di biossido di carbonio da parte dell'uomo. In Figura 3 sono illustrati i valori della concentrazione media mensile e della concentrazione media annua di CO_2 , in parti per milione (ppm), misurati sul Mauna Loa nel periodo 1959-2003 [12].

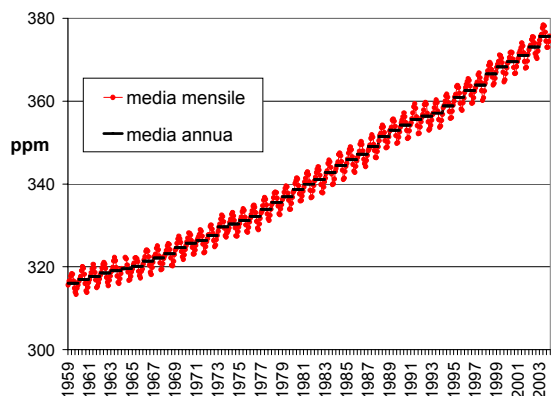


Figura 3. Concentrazione media mensile e media annua di CO_2 in atmosfera, in ppm, nel periodo 1959-2003.

La Fig. 3 mostra che la concentrazione media mensile di CO_2 varia di circa 5 parti per milione, in ciascun anno (con il massimo in maggio ed il minimo in ottobre o in settembre), mentre aumenta nel tempo se si considera lo stesso mese, in anni successivi. In particolare, la concentrazione media annua è passata da 316.0 ppm nel 1959 a 375.6 ppm nel 2003, con un incremento del 18.9%. È opinione consolidata della grande maggioranza degli studiosi di problemi climatici ed energetici che questo incremento della concentrazione di CO_2 sia provocato dall'attività dell'uomo, e prevalentemente dalle immissioni dirette di CO_2 in atmosfera (combustioni) e dall'inquinamento, che riduce la capacità di assorbimento di CO_2 da parte degli oceani. Al riguardo, è interessante notare che, nel 1972, il System Dynamics Group del MIT aveva previsto una concentrazione di CO_2 di circa 375 ppm per l'anno 2000 [13]; tale valore è stato effettivamente raggiunto nel 2003.

Inoltre, è opinione consolidata della grande maggioranza degli studiosi che l'aumento della concentrazione di CO_2 e di altri gas serra sia la causa del cambiamento climatico che si sta sviluppando sul nostro pianeta da circa un secolo, e che è diventato particolarmente evidente negli ultimi 20-30 anni. Diversi gruppi di ricerca stanno misurando, in modo sempre più preciso, l'incremento della temperatura media annua della superficie del pianeta (global warming) provocato dall'effetto serra. Uno studio particolarmente accurato viene svolto dalla Climatic Research Unit della University of East Anglia (UK), in collaborazione con l'Hadley Centre (UK Met Office). I risultati di questi studi sono riportati in rete [14,15] e su importanti pubblicazioni scientifiche [16,17]. In Figura 4 è rappresentata, in gradi Celsius, la differenza fra la temperatura media annua della superficie del pianeta ed una temperatura di riferimento, data dalla temperatura media della stessa superficie nel periodo 1961-1990. I dati riportati in figura sono quelli pubblicati in rete dall'Hadley Centre [15]; un diagramma molto simile si ottiene utilizzando i dati pubblicati in [14].

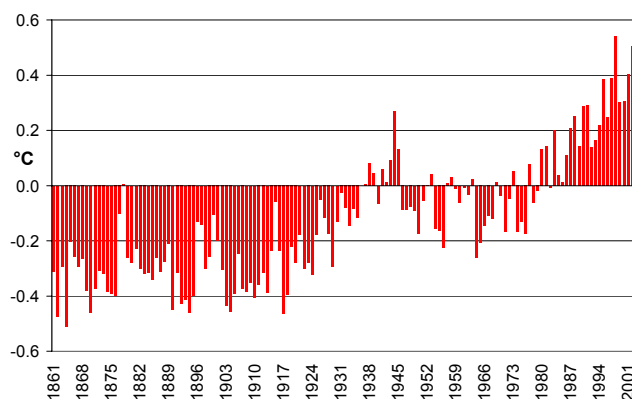


Figura 4. Variazione della temperatura media annua della superficie del pianeta rispetto al suo valore medio nel trentennio 1961-1990.

La Figura 4 illustra un fenomeno preoccupante. Nei primi cinquanta anni considerati, cioè nel periodo 1861-1910, la temperatura media annua della superficie del pianeta fluttuava attorno ad un valore costante, pari a circa -0.32°C rispetto al valore di riferimento (media aritmetica dei dati dal 1861 al 1910). Poi, la temperatura media annua della superficie del pianeta, sempre fluttuando, è aumentata in due ondate (1918-1944 e 1980-2003), raggiungendo nell'ultimo decennio (1994-2003) una media aritmetica di $+0.38^\circ\text{C}$ rispetto al valore di riferimento. Si può quindi valutare in $+0.7^\circ\text{C}$ il riscaldamento globale del pianeta a partire dal 1910-1920. Una variazione climatica così rilevante, in un tempo così breve, ha come causa evidente lo sviluppo industriale che si è verificato proprio in quel periodo. Numerosi studi sull'evoluzione climatica del pianeta sono in corso, ma la previsione dei futuri scenari climatici è molto incerta.

2.4 – Il ruolo marginale di alcune fonti rinnovabili e il “costo energetico pieno”.

I dati storici e le previsioni sul consumo energetico mondiale illustrati nel punto 2.1 indicano come fonti energetiche per i prossimi due o tre decenni: i combustibili fossili, i combustibili per la fissione nucleare, la fonte idroelettrica, le biomasse, l'energia geotermica e, solo marginalmente, le altre fonti rinnovabili (eolica, solare). Considerazioni di carattere termodinamico ed economico inducono a ritenere che il ruolo della fonte eolica e di quella solare sia destinato in futuro a

rimanere marginale.

Si definisca *energy payback time* di un impianto [18, 19], *EPBT*, il rapporto fra l'energia richiesta per il processo di costruzione, *CER* (*construction energy requirement*), e l'energia prodotta in un anno *AEP* (*annual energy production*):

$$EPBT = \frac{CER}{AEP} \quad (1)$$

L'*AEP* deve essere calcolata al netto del costo energetico annuo di gestione. Si definisca *financial payback time* di un impianto, *FPBT*, il rapporto fra il costo economico della sua produzione, *CFR* (*construction financial requirement*) e il valore economico dell'energia prodotta in un anno *AFP* (*annual financial production*), al netto dei costi di gestione:

$$FPBT = \frac{CFR}{AFP} \quad (2)$$

I sistemi di utilizzazione dell'energia solare considerati oggi più promettenti sono gli impianti fotovoltaici di produzione dell'energia elettrica. Secondo studi recenti [18,19], il tempo di autofinanziamento energetico di questi impianti risulta accettabile. Infatti, per impianti connessi direttamente alla rete, con un irraggiamento solare di 3600 MJ/(m²·anno), tipico dell'Italia settentrionale, tale parametro è valutabile in 5-12 anni. Al contrario, il tempo di autofinanziamento economico, nelle stesse condizioni, è valutabile in 68-120 anni, se non si considerano finanziamenti specifici (utili per i privati cittadini, ingannevoli in un'analisi di fattibilità economica su scala mondiale o nazionale). La forte discrepanza fra i risultati dell'analisi energetica e di quella economica viene di solito spiegata affermando che i costi attuali sono molto alti per la scarsa penetrazione nel mercato di questa tecnologia. Tuttavia, sussistono fondati motivi per ritenere che l'analisi energetica normalmente effettuata sia incompleta.

Infatti, viene attualmente considerato solo il *costo energetico diretto*, cioè il consumo di energia che avviene nelle aziende di produzione o di gestione dell'impianto [18,19]. Si dovrebbe invece considerare il *costo energetico pieno*, includendo il fabbisogno energetico (anche privato) delle persone che sono coinvolte nel processo di realizzazione e di gestione dell'impianto, proporzionalmente al tempo di lavoro dedicato a questa attività. Mostreremo, con un esempio estremo, che trascurare questo costo energetico può condurre a stravolgere completamente il risultato dell'analisi.

Consideriamo il seguente impianto di produzione di energia elettrica: un uomo pedala su una "ciclette" collegata a un generatore connesso direttamente alla rete. Supponiamo che il consumo di energia per la realizzazione dell'apparato sia trascurabile (la ciclette è già disponibile, il generatore è condiviso da molti uomini). Supponiamo che l'uomo produca, in media, 1.8 MJ di energia elettrica al giorno (100 W per 5 ore, incluse le festività) e quindi circa 0.66 GJ di energia elettrica in un anno, e che sul posto di lavoro non consumi fonti energetiche (illuminazione naturale, ambiente non climatizzato). Utilizzando la definizione (1) in modo convenzionale, si troverebbe: $AEP > 0$, $EPBT > 0$, e, nel limite di costo energetico di produzione dell'impianto trascurabile, $EPBT = 0$. L'impianto sembrerebbe estremamente conveniente, dal punto di vista energetico. Utilizziamo ora il costo energetico pieno. Supponiamo che l'uomo sia un cittadino italiano di medio livello economico-sociale, con un consumo annuo di energia elettrica pari al valore medio nazionale nel 2003, cioè 18.1 GJ/anno. L'energia elettrica prodotta in un anno è minore di quella consumata, pertanto $AEP < 0$ e l'energy payback time è negativo (cioè, non ha

significato). Infatti, con la tecnica della "ciclette" l'uomo soddisfa appena il 3.6% del suo fabbisogno personale di energia elettrica, e non può certo produrre energia elettrica per la società in cui vive.

Il *paradosso del ciclista* sopra illustrato evidenzia che il metodo di analisi energetica usato attualmente è ingannevole. Esso può indurre a considerare come possibili soluzioni del problema energetico (mondiale o nazionale) tecniche che sono del tutto inadeguate a coprire fabbisogni energetici dell'ordine di grandezza di quelli attuali.

3 - IL PROBLEMA ENERGETICO NAZIONALE

3.1 – Disponibilità interna lorda e produzione nazionale di energia.

Dati ufficiali sul fabbisogno energetico nazionale nel periodo 1971-2003 sono disponibili sul Rapporto Energia e Ambiente 2004, redatto dall'ENEA [4]. Elaborando questi dati è stata ottenuta la Figura 5, che riporta, in EJ, la disponibilità interna lorda di energia per ciascuna fonte energetica: combustibili solidi, petrolio, gas, fonti rinnovabili, energia elettrica importata.

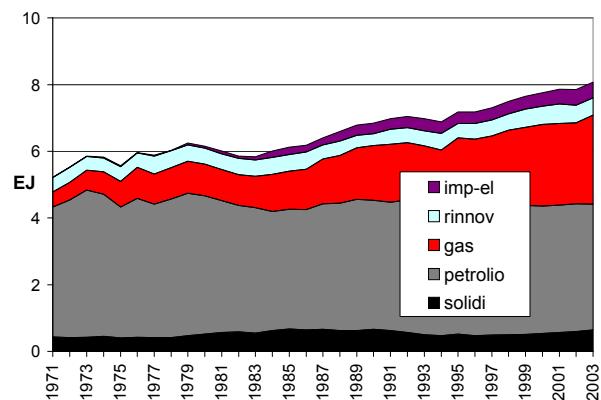


Figura 5. Disponibilità interna lorda di energia per fonti, nel periodo 1971-2003, da dati ENEA [4].

Come è consuetudine, un joule di energia elettrica primaria (cioè prodotta senza passaggio attraverso l'energia termica) è stato computato come $2200/860 = 2.258$ J di energia termica [3-4]. I dati relativi alle fonti rinnovabili sono riportati in [4] solo a partire dal 1997. Per gli anni precedenti, i dati sulle fonti rinnovabili riportati in Figura 5 sono stati calcolati sottraendo alla disponibilità interna lorda di energia elettrica la quantità di energia elettrica importata netta (cioè importazione meno esportazione). Per il periodo 1997-2003, questo metodo dà risultati coincidenti con quelli riportati in [4] nella colonna relativa alle fonti rinnovabili. La Figura 5 mostra che il fabbisogno energetico nazionale è passato, nel periodo considerato, da 5.225 EJ a 8.076 EJ (dato 2003, ancora provvisorio), con un incremento del 54,6 %. Il fabbisogno energetico nazionale è soddisfatto, oggi come allora, essenzialmente dai combustibili fossili. Un modesto contributo (8.2% nel 1997, 6.2% ora) è fornito dalle fonti rinnovabili, costituite principalmente dalla fonte idroelettrica. Infine, il grafico rivela lo svilupparsi, specialmente a partire dagli anni '80, di una fonte primaria "fittizia": l'energia elettrica d'importazione (di origine termonucleare), che fornisce attualmente il 5.8% del fabbisogno energetico complessivo.

3.2 – Produzione lorda e richiesta nazionale di energia elettrica

Nell'analisi del sistema energetico nazionale, una particolare attenzione deve essere dedicata alla produzione di energia elettrica, per i seguenti motivi. La penetrazione dell'energia elettrica (quota parte della disponibilità interna lorda di energia dedicata alla produzione di energia elettrica) è notevole nei sistemi energetici moderni, e in aumento. In Italia, tale parametro ha un valore compreso fra il 35.1% e il 36.4% nel quadriennio 2000-2003 [20]. Inoltre la produzione può essere concentrata in grandi centrali di potenza, che possono utilizzare qualsiasi fonte primaria, consentendo così di operare scelte importanti nella pianificazione strategica. Infine, l'energia elettrica è adatta per qualsiasi tipo di uso finale, e può essere impiegata anche per ottenere risparmi di energia (ad esempio, utilizzando sistemi a pompa di calore per il riscaldamento ambientale).

Utilizzando i dati del Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN) [20], è stata illustrata in Figura 6 la produzione interna lorda di energia elettrica nel nostro paese, in EJ (1 EJ = 277.778 TWh), per ciascuna fonte: idroelettrica, termoelettrica tradizionale, geotermoelettrica, termonucleare, eolica e fotovoltaica.

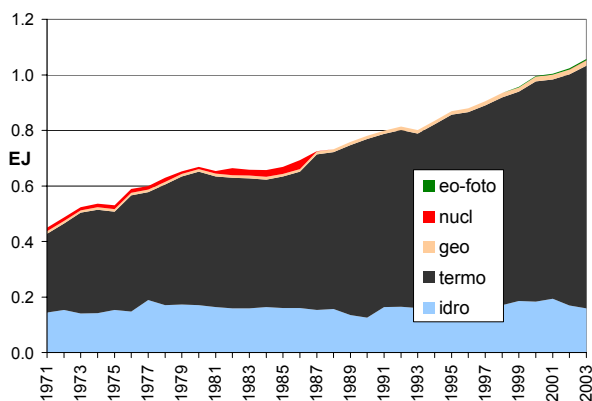


Figura 6. Produzione interna lorda di energia elettrica per fonti, nel periodo 1971-2003, da dati GRTN [20].

Dal 1971 al 2003, la produzione interna lorda è aumentata del 135,4%, passando da 0.4495 EJ a 1.0579 EJ (dato provvisorio). La produzione della fonte idroelettrica è rimasta pressoché costante, e ha quindi avuto un forte decremento percentuale, dal 32.1% al 15.1%. L'incremento di produzione è stato ottenuto quasi interamente mediante la fonte termoelettrica tradizionale, la cui incidenza è passata dal 63.1% all'82.6%. La produzione di energia geo-termoelettrica ha quasi mantenuto la sua incidenza percentuale, passando dal 2.1% all'1.8%. Il grafico illustra, nel 1987, l'interruzione dell'impiego della fonte termonucleare, che nel 1986 forniva il 4.55% della produzione. Il crescente ma sempre modestissimo contributo delle fonti eolica e fotovoltaica, che forniscono ora lo 0.5% della produzione, è quasi impercettibile in Fig.6.

Per un paese che importa gran parte dei combustibili fossili utilizzati, l'aver una produzione di energia elettrica basata per oltre l'80% sulla fonte termoelettrica tradizionale (81.3% nel 2002, 82.6% nel 2003 (dato provvisorio)) è un fatto preoccupante. Un altro dato preoccupante, e fortemente anomalo nel contesto europeo, è avere produzione zero di energia elettrica da fonte nucleare. Un terzo dato preoccupante ed anomalo è che l'importazione netta (importazione meno esportazione) di energia elettrica dall'estero è fortemente

aumentata, specialmente a partire dalla seconda metà degli anni '80, fino a raggiungere il 16% della richiesta, cioè della somma di produzione netta e importazione netta (16.3% nel 2002, 15.9% nel 2003 (dato provvisorio)).

Un confronto fra i sistemi elettrici di molti Paesi d'Europa è illustrato in Tabella 3. Le prime tre colonne mostrano, per ciascun Paese, la percentuale della produzione lorda di energia elettrica ottenuta mediante le fonti: idroelettrica e altre fonti rinnovabili (IDR+R), termoelettrica tradizionale (TERM), nucleare (NUCL). Nella quarta colonna è riportata la percentuale di produzione di energia elettrica di ciascun Paese, rispetto alla produzione mondiale (P/PM). Nella quinta colonna è riportato il rapporto fra l'importazione netta del Paese e la richiesta di energia elettrica (IM/R). I dati si riferiscono all'anno 2002, e sono stati ricavati da quelli disponibili sul sito del GRTN [20]. La tabella mostra che l'Europa produce, complessivamente, il 29.8% della produzione mondiale e che la produzione europea è, rispetto a quella mondiale, maggiormente basata sulla fonte nucleare (25.8%).

È interessante confrontare, per i vari Paesi, la percentuale di produzione termoelettrica tradizionale, che evidenzia la dipendenza del sistema elettrico dai combustibili fossili. Per alcuni Paesi tale parametro è inferiore al 50% (4.3% per la Svizzera, 7.8% per la Svezia, 9.9% per la Francia, 38.6% per l'Austria, 40.4% per il Belgio). Per altri, (Finlandia, ex Jugoslavia, ex Cecoslovacchia, Spagna, Romania, Russia, Ungheria, Germania, Turchia, Regno Unito) è compreso fra il 50% ed il 75%. Questo parametro supera l'80% solo per il Portogallo (81.1%), l'Italia (81.3%), la Danimarca (87.3%), la Grecia (92.3%), l'Irlanda (93.5%), i Paesi Bassi (94.5%), la Polonia (97.2%). Un altro parametro rilevante è il rapporto fra l'energia elettrica importata e la richiesta di energia elettrica. In questo parametro, la Francia primeggia esportando il 16.8% della richiesta.

Tabella 3. Produzione lorda, per fonti, e importazione di energia elettrica dei Paesi europei nel 2002, da dati GRTN [20].

	IDR+R %	TERM %	NUCL %	P/PM %	IM/R %
MONDO	16.9	66.4	16.7	100.0	0,0
EUROPEA	17.7	56.5	25.8	29.8	- 0,1
Austria	61.3	38.6	0.0	0.4	1,1
Belgio	1.8	40.4	57.7	0.5	8,9
Ex-Cecoslov.	7.6	58.6	33.8	0.7	- 17,4
Danimarca	12.7	87.3	0.0	0.2	-6,0
Finlandia	14.5	55.9	29.7	0.5	14,2
Francia	11.9	9.9	78.1	3.5	- 16,8
Germania	7.4	64.3	28.3	3.6	0,5
Grecia	7.7	92.3	0.0	0.3	5,4
Irlanda	6.9	93.5	0.0	0.2	2,0
Italia	18.8	81.3	0.0	1.8	16,3
Paesi Bassi	1.5	94.5	4.1	0.6	15,1
Polonia	2.8	97.2	0.0	0.9	- 5,8
Portogallo	18.6	81.1	0.0	0.3	4,1
Regno Unito	2.3	74.8	22.8	2.4	2,2
Romania	29.4	60.5	10.1	0.3	- 4,3
Russia	18.8	65.5	15.7	5.5	- 2,2
Spagna	14.2	60.2	25.7	1.5	2,2
Svezia	45.5	7.8	46.6	0.9	3,6
Svizzera	55.0	4.3	40.5	0.4	- 7,4
Turchia	26.1	73.9	0.0	0.8	2,6
Ungheria	0.6	60.7	38.8	0.2	11,4
ExYugoslavia	36.4	56.3	7.3	0.5	6,8
Resto Europa	33.9	45.7	18.7	3.7	- 0,9

Sono esportatori anche l'ex Cecoslovacchia, la Danimarca, la Polonia, la Romania, la Russia. Sostanzialmente in pareggio import-export sono l'Austria, la Germania, l'Irlanda, il Regno Unito, la Spagna e la Turchia. L'Italia, con il suo 16.3% di importazione, è il fanalino di coda d'Europa in questa graduatoria. La situazione fortemente critica del sistema elettrico del nostro Paese (81.3% di produzione mediante combustibili fossili, che il Paese importa, e 16.3% di importazione di energia elettrica per far fronte alla richiesta) non richiede ulteriori commenti.

3.3 – Indicazioni per la pianificazione energetica strategica nazionale

Nei prossimi 25 anni, l'Italia dovrà far fronte a un incremento del fabbisogno energetico in linea con quello riscontrato nel periodo 1978-2003, che è stato del 33.9%. Gli interventi di risparmio energetico e di miglioramento dell'efficienza dei sistemi energetici, già in atto da decenni e certamente da potenziare, non potranno condurre a fabbisogni significativamente più bassi di fonti energetiche primarie. L'opportuno potenziamento dell'impiego di biomasse e di altre fonti rinnovabili potrà dare solo un contributo modesto alla produzione di energia elettrica e termica. In particolare, la produzione di energia elettrica del nostro Paese dovrà essere incrementata in modo significativo. Infatti, l'incremento della domanda di energia elettrica in Italia dal 1978 al 2003 è stato del 93%. Inoltre, sarà quanto mai opportuno abbassare la percentuale di energia elettrica importata. Infine, un incremento di disponibilità di energia elettrica permetterebbe di ottenere considerevoli vantaggi energetici e ambientali nei settori della climatizzazione degli edifici e dei trasporti.

Nell'ambito del condizionamento ambientale, un incremento della disponibilità di energia elettrica consentirebbe di incentivare l'impiego di sistemi di riscaldamento a pompa di calore. Nell'ambito dei trasporti, l'uso di motori elettrici permetterebbe di ridurre drasticamente le emissioni diffuse di gas serra e di inquinanti in atmosfera, risolvendo anche il problema dell'inquinamento da traffico nei centri abitati. La produzione nazionale di energia idroelettrica non potrà aumentare in modo significativo.

Nella pianificazione energetica italiana di medio-lungo termine, relativamente al settore strategicamente più importante, quello della produzione di energia elettrica, si prospettano quindi due alternative.

La prima alternativa è basare l'incremento della produzione quasi esclusivamente sui combustibili fossili e, in particolare, sul gas naturale e sul carbone. Questa linea, pur percorribile, presenta forti problemi economici (resi ancor più stringenti dall'adesione al Protocollo di Kyoto) e non apre alcuna prospettiva di allineamento, nella politica energetica, con i Paesi europei più impegnati sul tema del contenimento delle emissioni di gas serra in atmosfera. I problemi economici e di impatto ambientale si ripresenterebbero poi, aggravati, nei decenni seguenti.

La seconda alternativa è realizzare l'incremento della produzione di energia elettrica con un piano strategico che affianchi progressivamente ai combustibili fossili la fonte term nucleare per fissione e riprenda, sia pur lentamente e con difficoltà, il cammino malauguratamente interrotto nel 1987 senza avere un chiaro progetto per il futuro.

Questa seconda strada avrebbe evidenti vantaggi sia economici che ambientali, non fruibili immediatamente, ma già sensibili in un paio di decenni. Riporterebbe gradualmente il sistema energetico italiano in linea con quello degli altri

principali Paesi europei. Potrebbe anche costituire la base per un grande rilancio tecnologico, economico e culturale del Paese.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1 E.P. Gyftopoulos and G.P. Beretta, *Thermodynamics: Foundations and Applications*, Macmillan, New York, 1991.
- 2 E. Zanchini, *Termodinamica*, Pitagora, Bologna, 1993.
- 3 G. Comini e G. Cortella, *Energetica Generale*, SGE, Padova, 2001.
- 4 ENEA, *Rapporto Energia e Ambiente 2004*, <http://www.enea.it>
- 5 Energy Information and Administration (Official Energy Statistics from the US Government), *International Energy Outlook 2004*, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/highlights.html>
- 6 G.P. Beretta, *Prospettive Energetiche del Prossimo Futuro*, Atti del XXII Congresso Nazionale UIT sulla Trasmissione del Calore, pp.9-16, Genova 21-23 Giugno, 2004.
- 7 U. Bardi, *La Fine del Petrolio*, Ed. Riuniti, Roma, 2003.
- 8 R. Wilson, W.J. Jones, *Energia Ecologia e Ambiente*, Ed. Ambrosiana, Milano, 1978.
- 9 R. Lazzarin, *Fabbisogno e Risorse di Energia in Italia e nel Mondo*, SGE, Padova, 1997.
- 10 M.K. Hubbert, *Resources and Man*, Freeman, S. Francisco, 1969.
- 11 C. Campbell, *Aspo Newsletter*, <http://www.asponews.org> 2003.
- 12 Carbon Dioxide Research Group, *Scripps Institution of Oceanography*, University of California, <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>
- 13 D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers, W.W. Behrens III, *I Limiti dello Sviluppo*, Mondadori, Milano, 1972.
- 14 Climatic Research Unit, University of East Anglia, UK, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/cru.htm>
- 15 Hadley Centre for Climate Prediction and Research, UK met Office, <http://www.met-office.gov.uk/research/hadleycentre/obsdata/globaltemperature/html>
- 16 P.D. Jones, M. New, D.E. Parker, S. Martin and I.G. Rigor, *Surface air temperature and its changes over the past 150 years*, *Reviews of Geophysics*, **37**, 173-199, 1999.
- 17 P.D. Jones and A. Moberg, *Hemispheric and large-scale surface air temperature variations. An extensive revision and an update to 2001*, *Journal of Climate*, **16**, 206-223, 2003.
- 18 P. Frankl and M. Gamberale, *Analysis of energy and CO₂ aspects of building integration of photovoltaic systems*, in "Photovoltaics and the Environment", 1999, BNL/NREL, Keystone, CO.
- 19 K. Knapp, T. Jester, *Empirical investigation of the energy payback time for photovoltaic modules*, *Solar Energy*, **71**, 165-172, 2001.
- 20 Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN): http://www.grtn.it/ita/statistiche/documenti/annuario03/08_storici.pdf