

PAOLO MALANIMA

TRANSIZIONE ENERGETICA E CRESCITA IN ITALIA  
1800-2010

SOMMARIO: Introduzione – 1. Il trend. 1.1. Economie vegetali ed economie moderne. 1.2. I consumi di energia in Europa. 1.3. Il trend dei consumi in Italia. – 2. La struttura. 2.1. Fonti moderne e dipendenza energetica. 2.2. Il cambiamento strutturale. – 3. Energia e Pil. 3.1. Le tendenze del consumo energetico e del Pil. 3.2. Energia e crescita. 3.3. Intensità energetica e produttività dell'energia. 3.4. Un esercizio di scomposizione. – 4. Conclusioni.

1. *Introduzione*

Nel 1861, alla data dell'Unità, l'economia italiana era relativamente arretrata rispetto ad altre economie dell'Europa occidentale. Il prodotto pro capite era la metà di quello del Regno Unito; l'agricoltura era il settore produttivo più importante e occupava il 65 per cento della forza lavoro.<sup>1</sup> Dalla fine dell'Ottocento, anche in Italia iniziò il processo della crescita moderna: la capacità produttiva aumentò decisamente; cambiamenti rilevanti avvennero sia nella struttura del prodotto che dell'occupazione.<sup>2</sup>

In Italia, come altrove, questa trasformazione economica si verificò contemporaneamente alla trasformazione della base energetica. All'epoca dell'Unità venivano sfruttate quasi soltanto le energie tradizionali. Il carbon fossile rappresentava il 7 per cento del consumo totale.

<sup>1</sup> Daniele-Malanima (in corso di stampa).

<sup>2</sup> Fra i più recenti contributi, si vedano: Fenoaltea (2006), Ciocca (2007), e la rapida sintesi di Malanima-Zamagni (2010).

Per il resto, tre erano le fonti di energia più importanti: la legna, il cibo per gli uomini e il cibo per gli animali da lavoro. Un modesto contributo proveniva dalle cadute d'acqua per azionare mulini, segherie e frantoi e dal vento per le vele. Insieme, acqua e vento contribuivano per l'1 per cento al fabbisogno di energia. Il consumo di energia dipendeva, dunque, quasi interamente, dalla produzione dei campi, dei pascoli e delle foreste, che fornivano le fonti di energia di tipo *vegetale*. Dalla fine dell'Ottocento, la sostituzione ad esse di fonti minerali come il carbon fossile, liquide, come il petrolio, gassose, come il gas naturale, e dell'idroelettricità procedette rapidamente. Si verificò una vera *transizione energetica*.

Per quanto la disponibilità di energia venga sempre riconosciuta fra le basi della crescita moderna, paradossalmente il suo ruolo nella trasformazione dell'economia italiana è stato solo marginalmente ricordato dagli storici dell'economia e dagli economisti.<sup>3</sup> Nelle pagine successive si concentrerà l'attenzione sull'andamento dei consumi energetici (sezione 1), sul cambiamento nel tipo di fonti utilizzate (sezione 2), e sulle relazioni fra input di energia e crescita (sezione 3).

La tesi che verrà sostenuta è che la transizione energetica costituì la *condizione necessaria (anche se non sufficiente)*, della crescita moderna dell'economia italiana. La crescita moderna si basa sull'aumento decisivo della capacità produttiva e la capacità produttiva può crescere solo con l'aumento dell'energia consumata e con la trasformazione nel tipo dei convertitori di energia utilizzati. Fonti moderne di energia e macchine hanno costituito il fondamento della crescita avvenuta nell'ultimo secolo e mezzo. In questo contributo si utilizzeranno serie dei consumi energetici costruite di recente, che includono le energie tradizionali accanto a quelle moderne.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Si vedano, tuttavia, Bardini (1991) e (1998) e Toninelli (2010).

<sup>4</sup> Malanima (2006). I dati utilizzati nel presente contributo sono tratti da questo volume.

## 1. Il trend

### 1.1. Economie vegetali ed economie moderne

La base energetica delle economie tradizionali che precedono la crescita moderna era costituita dall'irradiazione solare, che è una riserva illimitata di energia (dato che il Sole continuerà a illuminare la Terra per qualche miliardo di anni, come ci dicono i fisici).<sup>5</sup> Era la luce solare che generava la biomassa che nutriva uomini e animali, riscaldava le case ed era la causa dello spostamento dell'aria e dell'acqua sfruttate da mulini e vele. Tutto il lavoro compiuto e il calore generato erano il risultato della conversione di prodotti vegetali da parte di uomini, animali da lavoro, focolari, fucine...<sup>6</sup>

Se la disponibilità di energia era illimitata, molto modesto era, invece, il flusso di energia solare a cui si poteva attingere ogni anno per svolgere le attività economiche. Il vincolo fondamentale di queste società del passato era rappresentato dalla disponibilità di terreni (campi, boschi, prati) per la produzione, tramite l'energia solare, di vegetali sfruttati poi come fonti di energia. Come A. Wrigley ha mostrato in diverse occasioni, un'economia che si fonda sull'energia "organica",<sup>7</sup> è soggetta a quei rendimenti decrescenti che gli economisti classici inglesi consideravano come il limite invalicabile di ogni processo di crescita.

Nelle economie agrarie pre-moderne la dotazione di risorse è limitata e può essere rappresentata, nel grafico di una funzione di produzione, da una linea verticale,  $R^*$  (Figura 1);<sup>8</sup> pur ammettendo che le variazioni climatiche e il lavoro degli uomini possano modificare la disponibilità di risorse (in misura modesta, tuttavia). La combinazione produttiva di lavoro e risorse può avvenire solo sulla linea verticale delle risorse disponibili (in  $E$  ad esempio). Un maggiore livello di produzione può essere ottenuto solo con un aumento di lavoro rispetto

<sup>5</sup> Sul tema sono importanti i contributi di Wrigley (1988) e (2010).

<sup>6</sup> Il tema è trattato più ampiamente in Malanima (2010).

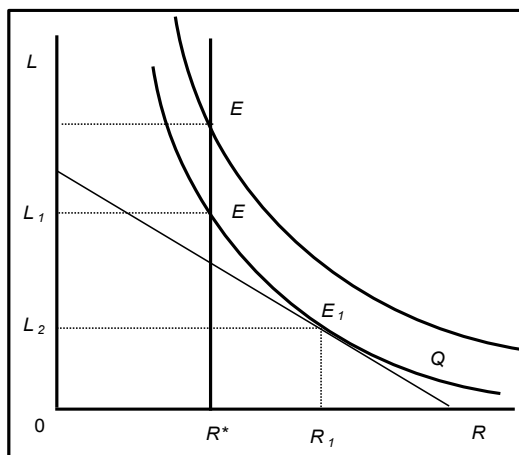
<sup>7</sup> Si veda soprattutto in Wrigley (1988) e (2010).

<sup>8</sup> Nella Figura 1, in  $R$ , sono incluse anche le risorse prodotte, e cioè beni capitali. Nelle economie agricole del passato  $R$  era costituito soprattutto da risorse naturali, mentre, nelle economie moderne,  $R$  è formato soprattutto da beni capitali.

alla risorsa fissa (e con combinazioni produttive sempre sulla stessa linea verticale  $R$ ). Le conseguenze sono i rendimenti decrescenti del fattore lavoro e l'aumento del prezzo dei beni prodotti (delle risorse energetiche, cioè).

Con la transizione energetica le fonti di energia non sono più vincolate dalla disponibilità di terra, ma variabili: l'energia fossile può essere accresciuta con facilità e i convertitori (che ora sono soprattutto beni capitali) possono adattarsi rapidamente alla domanda. Si passa da una linea retta  $R$  verticale a una linea inclinata che permette diverse combinazioni di  $L$  ed  $R$  (da  $E$  a  $E_1$  e ad altre combinazioni). Questo cambiamento è il fondamento della crescita moderna. Si crea la possibilità di molteplici combinazioni di lavoro e beni capitali in rapporto con l'evoluzione delle conoscenze tecniche e con la disponibilità di fattori (e, dunque, del loro prezzo).

FIGURA 1. Combinazioni di lavoro ( $L$ ) e risorse ( $R$ ) nel sistema di energia delle economie agrarie tradizionali e in quelle moderne.



## 1.2. I consumi di energia in Europa

Nel calcolo dei consumi energetici delle economie tradizionali, uomini e animali da lavoro vengono considerati come vere e proprie macchine che consumano le calorie del cibo; così come tante macchine moderne consumano il carbone o petrolio... A questi input di energia, viene aggiunta la legna, sia quella consumata direttamente che quella trasformata in carbone. Per quanto riguarda il consumo dell'energia delle cadute di acqua e del vento si procede valutando la potenza dei convertitori d'energia (i mulini ad acqua, le navi, e i mulini a vento, dove questi esistevano) e stimando il tempo in cui venivano sfruttati nel corso di un anno. Il risultato finale della moltiplicazione della potenza per il tempo in cui viene usata costituisce il consumo di energia idraulica ed eolica.<sup>9</sup> Benchè di modesta importanza in termini quantitativi, queste fonti minoritarie erano, tuttavia, significative in quanto uniche fonti di energia meccanica non animale in un'economia in cui il lavoro era quasi interamente compiuto da organismi viventi tramite il metabolismo del cibo. Se queste due fonti rappresentavano assieme l'1 per cento dell'energia consumata, esse costituivano il 2,5 per cento di tutta l'energia meccanica generata e il 100 per cento dell'energia meccanica generata da fonti non vegetali. La loro importanza economica era assai superiore al semplice rilievo quantitativo nel bilancio energetico.<sup>10</sup>

In tutta l'Europa occidentale, l'avvio della crescita moderna e dell'industrializzazione avvennero contemporaneamente all'espansione della base energetica (Figura 2) e si verificarono prima nel paese, l'Inghilterra, in cui il passaggio al carbon fossile era avvenuto più precocemente. Il carbon fossile di per sé non determina un aumento rilevante della capacità produttiva (se usato per riscaldamento e fusione dei metalli). Solo quando la disponibilità di energia si combina con macchine capaci di trasformare il calore in movimento meccanico si ha un aumento decisivo della capacità di compiere lavoro.

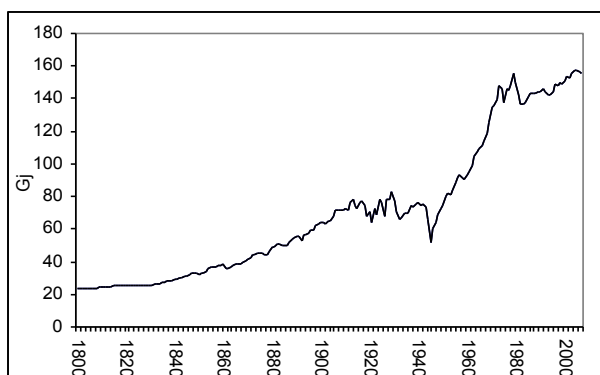
Nel 2010 il consumo di energia pro capite in Europa occidentale era di 155 Gigajoule all'anno (100.000 calorie al giorno), includendo le

<sup>9</sup> Una lampada della potenza di 40 watt, che funziona per un'ora, consuma 40 wattora di energia elettrica.

<sup>10</sup> Si veda, ad esempio, il caso esaminato da Barca (2010).

fonti tradizionali (che costituivano il 5-6 per cento). Nel 1800 era di 23 Gigajoule all'anno (o 15.000 calorie al giorno). L'aumento è stato, negli ultimi due secoli, di poco meno dell'1 per cento all'anno. Come il grafico rivela, l'aumento fu debole fino al 1840. Diventò rapido da allora fino alla Prima Guerra Mondiale. Fra le due guerre ristagnò per la crisi dell'economia mondiale. La crescita annua fu rapidissima dal 1950 al 1973. Da questa data in poi l'aumento è stato modesto: solo del 5 per cento (in termini pro capite) fra il 1973 e il 2010. Nel 1979 si consumava la stessa quantità di energia consumata nel 2007.

FIGURA 2. Il consumo pro capite di energia in Europa occidentale dal 1800 al 2007 (Gj).



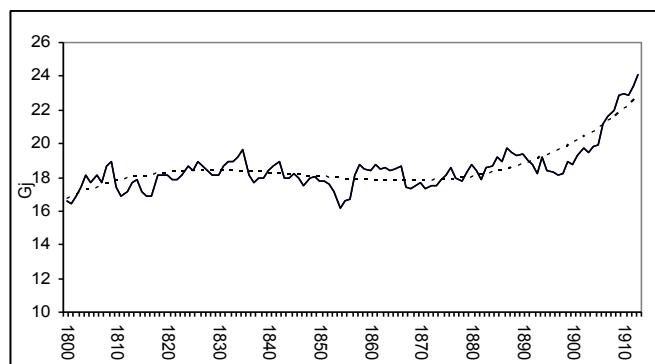
*Fonti:* solo di recente è stato possibile ricostruire una serie bisecolare dei consumi di energia annuali in Europa occidentale grazie ai seguenti lavori: Svezia (Kander 2002), Inghilterra (Warde, 2007), Paesi Bassi (B. Gales), Francia (B. Gales), Germania (P. Warde), Italia (Malanima 2006), Spagna (Rubio), Portogallo (Teives Henriques 2009), Gales, Kander, Malanima, Rubio (2007). Le serie di Francia e Germania non sono state ancora pubblicate. Per l'Italia serie delle fonti moderne sono state elaborate da Bartoletto (2005).

### 1.3. *Il trend dei consumi in Italia*

All'inizio del XIX secolo l'economia italiana era ancora di tipo tradizionale. Le fonti utilizzate, escludendo acqua e vento, erano tutte di tipo vegetale. Il consumo annuo, di 16-18 Gigajoule (o 10-12.000 calorie al giorno), non rivelava alcun trend verso l'alto (Figura 3). Notevole era la volatilità dei consumi, soggetti alle forti variazioni dei raccolti agricoli. Il

trend rivela un aumento a partire dal 1880 circa, contemporaneamente, cioè, all'avvio della crescita moderna in Italia (che gli storici economici collocano oggi proprio in quegli anni).<sup>11</sup> Siamo all'epoca della cosiddetta Seconda Rivoluzione Industriale, quando l'Italia comincia a importare le tecniche sviluppate durante la prima fase d'industrializzazione e le fonti di energia che consentivano il funzionamento di quelle tecniche.<sup>12</sup>

FIGURA 3. Consumo pro capite di energia in Italia 1800-1913 (Gj).



*Fonti:* i dati relativi al consumo di energia dal 1861 sono quelli ricostruiti in Malanima (2006). Si veda anche Bartoletto (2005) per i consumi di fonti moderne. I dati dal 1800 al 1860 sono ricavati dalla serie del prodotto agricolo presentato in Malanima (2011). Si è assunto che l'andamento del prodotto agricolo pro capite in termini monetari approssimi bene l'andamento del consumo di energia (più o meno uguale al prodotto agricolo) e, dalla corrispondenza prodotto agricolo-calorie consumate pro capite nel 1861, si è effettuato il calcolo per gli anni 1800-1860. In base a Lupo (in corso di stampa) si è aggiunto il carbon fossile, assumendo che, come dopo l'Unità, il carbone arrivato a Genova rappresentasse il 35 per cento del totale importato in Italia.

I dati annuali utilizzati in questo lavoro sono riportati in [www.paolomalanima.it](http://www.paolomalanima.it)

L'introduzione delle fonti fossili di energia fu accompagnata da un aumento dei consumi complessivi del paese. Nel trend dei consumi, a partire dall'Unità, si possono individuare le tre grandi fasi che caratterizzano anche l'Europa occidentale nel suo complesso (Figura 4):

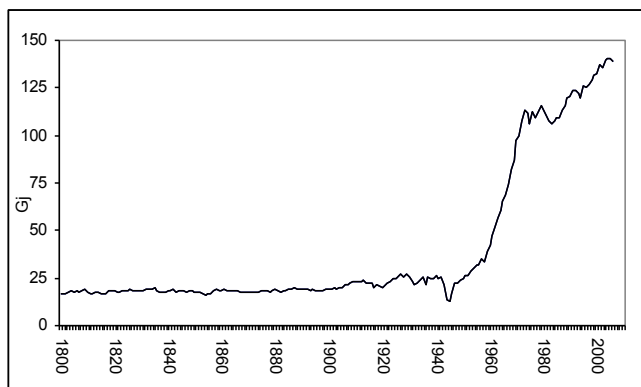
<sup>11</sup> Sulla periodizzazione dell'avvio della crescita moderna in Italia, si veda ora Fealtea (2002) e (2006).

<sup>12</sup> Giannetti (1998) sulle innovazioni tecniche in Italia e Giannetti (1985) sull'elettricità, che appartiene alla seconda fase d'industrializzazione.

- una prima fase di lenta crescita, quasi impercettibile in termini pro capite, ebbe luogo fino alla Seconda Guerra Mondiale. Si passò da un consumo di 18 Gigajoule pro capite nel 1860-70 a 25 nel 1937-38, con un aumento annuo dello 0,4-0,5 per cento;
- seguì un'epoca di crescita rapida, fra il 1950 e il 1973, da 25 Gigajoule per abitante a 113, con un aumento del 6,5 per cento all'anno. È l'epoca del miracolo economico e della motorizzazione di massa, dell'invasione delle città e delle strade da parte delle automobili, l'epoca dell'elettricità, con la radio, la televisione e i frigoriferi, che entravano nelle case degli Italiani;
- dal 1973 in poi, anche in Italia, come altrove in Europa, i consumi di energia sono aumentati ancora, ma assai più lentamente di prima. L'aumento è stato da 113 a 140 Gigajoule pro capite, e cioè dello 0,5 per cento annuo dal 1973 al 2010 (un tasso analogo a quello fra 1860 e 1940).

Nel complesso, il consumo pro capite di energia in Italia è aumentato di 7-8 volte fra la prima metà dell'Ottocento e l'inizio del XXI secolo. In Europa occidentale, nello stesso arco di tempo, la crescita è stata di poco meno di 7 volte, come si è visto. In termini aggregati l'aumento è stato, in Italia, di 26 volte dal 1800 al 2010 e di 17 dal 1861 al 2010.

FIGURA 4. Consumo pro capite di energia in Italia 1800-2010 (Gj).



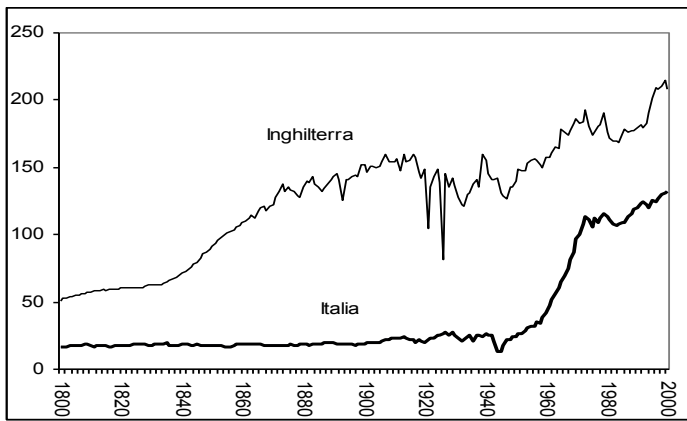
Fonte: la stessa della Figura 3.

Un confronto fra il trend dell'Italia e quello dell'Inghilterra rivela chiaramente le differenze nel consumo pro capite durante gli ultimi due secoli. In Inghilterra il consumo di carbon fossile era già rilevante



all'inizio dell'Ottocento (rappresentava l'80 per cento delle energie consumate); quando il consumo di energia in Italia continuava a essere caratterizzato dalle fonti tradizionali di tipo vegetale (Figura 5). L'Italia si avvicinò all'Inghilterra solo dopo la Seconda Guerra Mondiale. Le differenze che permangono all'inizio del XXI secolo sono l'effetto delle differenti condizioni climatiche da una parte e della diversa struttura e specializzazione dell'industria dall'altra.

FIGURA 5. Consumo pro capite di energia in Italia e Inghilterra fra 1800 e 2000 (Gj).



Fonti: le stesse della Figura 3 per l'Italia, e Warde (2007) per l'Inghilterra.

## 2. La struttura

### 2.1. Fonti moderne e dipendenza energetica

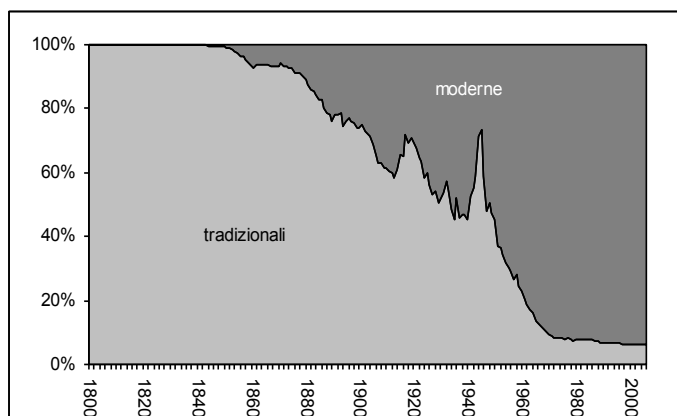
La crescita dei consumi di energia avvenne contemporaneamente alla trasformazione della loro struttura. Ogni economia che si modernizza attraversa una transizione energetica. Si passa, in ogni caso, da un'offerta anelastica di fonti di energia ad una elastica.<sup>13</sup>

Le prime importazioni di carbone nel porto di Genova dalla Francia (Tarn, Herault), via Marsiglia, sono documentate nel corso degli

<sup>13</sup> Come mostrato nella Figura 1.

anni '20 dell'Ottocento.<sup>14</sup> Negli anni '30 cominciano gli arrivi dall'Inghilterra (Cardiff e Newcastle). Per quanto continuino le importazioni di carbon fossile francese, quelle dall'Inghilterra divengono da allora prevalenti. Verso il 1850, tuttavia, il carbon fossile in Italia rappresenta meno del 2 per cento dei consumi complessivi di energia. La sua importanza cresce nel decennio precedente l'Unità ed è pari al 7 per cento del totale nel 1861 (Figura 6). Nel 1866 arrivano in Italia i primi quantitativi di petrolio; nel 1887 abbiamo l'avvio dell'idroelettricità; nel 1897 inizia anche il consumo di gas naturale. La gamma delle fonti di energia che è possibile sfruttare si amplia rapidamente.<sup>15</sup>

FIGURA 6. Percentuale delle fonti tradizionali di energia e di quelle moderne sul totale dei consumi in Italia.



Fonte: le stesse della Figura 3.

Ebbe a scrivere Carlo M. Cipolla che l'Italia è ricca solo di marmo.<sup>16</sup> Col marmo si costruiscono le chiese, le statue e i palazzi nell'età del Rinascimento. All'epoca della Rivoluzione Industriale, c'era, invece, bisogno di ferro e di fonti di energia per costruire le macchine moderne e per alimentarle. Ma di ferro e di energia l'Italia è sempre

<sup>14</sup> Lupo (in stampa).

<sup>15</sup> Sul tema delle fonti di energia moderne sfruttate in Italia dall'Unità in poi si veda Bartoletto (2002) e (2005), che ha elaborato le serie dei consumi moderni di energia.

<sup>16</sup> Cipolla (1995), p. XIV.

stata povera. Quando il sistema energetico era di tipo vegetale, il paese era autosufficiente. Con l'avvento delle fonti moderne, gli Italiani dovettero cominciare a importare: l'epoca dell'autosufficienza finì e cominciò quella della dipendenza, dal momento che l'Italia manca quasi del tutto di combustibili fossili. E la dipendenza può essere costosa, almeno in termini relativi. Alla fine dell'Ottocento il carbon fossile, tutto d'importazione, aveva in Italia un prezzo 3-5 volte superiore a quello dell'Inghilterra, del Belgio, della Germania (Tabella 1).

Tabella 1. Prezzi del carbon fossile nel 1883, 1900 e 1912 nel Regno Unito, in Germania, Francia, Stati Uniti e Italia (scellini correnti per tonnellata).

	<b>Regno Unito</b>	<b>Germania</b>	<b>Francia</b>	<b>USA</b>	<b>Italia</b>
<b>1883</b>	5,63	5,25	10,1	6,46	23,7
<b>1900</b>	10,80	8,83	12,0	5,31	37,7
<b>1912</b>	9,06	10,50	12,7	6,08	34,9

Fonte: Bardini (1998), p. 52.

L'industria italiana dovette, per forza di cose, specializzarsi in settori leggeri, con uso ridotto di energia. L'industria dei metalli e, in particolare, la siderurgia, i settori che consumano grandi quantitativi di energia, hanno avuto sempre vita difficile.<sup>17</sup> Nel primo decennio del XXI secolo, l'Italia ha consumato 6-7 volte più energia di quanta ne abbia prodotta. In Europa occidentale, solo il Portogallo è in una situazione simile a quella dell'Italia, mentre la Spagna, pure fortemente dipendente dalle importazioni, consuma 4-5 volte di più di quanto produca, e quindi è meno dipendente dall'estero di quanto lo sia l'Italia. La Francia, che consumava, negli anni '70 del Novecento, 4 volte più energia di quanta ne producesse, ha ridotto la sua dipendenza grazie alla diffusione del nucleare. Nel 2010 consuma circa il doppio di quanto produce.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> Della dipendenza energetica dell'Italia si occupa Toninelli (2010).

<sup>18</sup> Il tema della dipendenza energetica dei paesi del Mediterraneo è affrontato più ampiamente in Bartoletto, Malanima (in corso di stampa).

Ricorrendo a fonti d'importazione care, si è dovuto imparare a risparmiare. Ancora oggi il consumo di energia è più basso in Italia che in altri paesi avanzati. Il consumo pro capite al giorno, includendo le fonti tradizionali ancora in uso, è poco meno di 90.000 kcal. Negli USA e Canada esso supera le 200.000 kcal. Nei paesi avanzati di tutta Europa si è quasi sempre al di sopra delle 150.000. Il consumo più modesto dell'Italia dipende in parte dal clima. Per il resto è la conseguenza di un lungo processo di sviluppo durante il quale, dovendo usare combustibili cari (almeno rispetto ai concorrenti), si è imparato a risparmiare. Si è dovuto sfruttare quello che si aveva in abbondanza –il lavoro umano- e risparmiare quello di cui si era e si continua a essere assai poveri.

## 2.2. *Il cambiamento strutturale*

Alla metà dell'Ottocento il bilancio energetico dell'Italia era per una metà costituito dal consumo di legna e, per l'altra metà, dai consumi di cibo da parte di uomini e animali da lavoro. Come si è visto, il vento e l'acqua rappresentavano l'1 per cento e il carbon fossile l'1-2. Nell'anno 1900, durante la prima fase dell'industrializzazione, le fonti moderne di energia costituivano più del 25 per cento del consumo totale<sup>19</sup> (Tabella 2).

Tabella 2. Struttura del consumo di energia in Italia 1861-2000 (%).

	1861	1900	1950	2000
<b>Cibo</b>	22.92	20.48	15.37	3.89
<b>Legna</b>	50.41	33.88	16.50	2.39
<b>Animali</b>	18.32	18.31	11.62	0.00
<b>Vento</b>	0.24	0.15	0.00	0.00
<b>Acqua</b>	0.73	0.32	0.10	0.00
<b>Combustibili fossili</b>	7.38	26.77	46.95	88.19
<b>Electricità primaria</b>	0	0.09	9.46	5.53

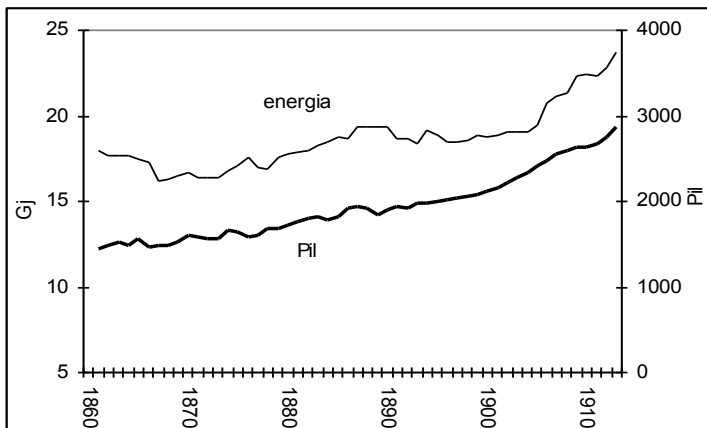
Fonte: Malanima (2006).

<sup>19</sup> I consumi di fonti moderne di energia sono ricostruiti da Bartoletto (2005).

Fra l'aumento dei consumi di energia, determinato essenzialmente dal carbon fossile, e l'aumento della produzione pro capite esiste un chiaro parallelismo. In Italia, come in tutti gli altri paesi dell'Europa occidentale, la crescita moderna si verifica contemporaneamente all'aumento dei consumi di fonti moderne (Figura 7). La capacità produttiva aumenta quando cominciano ad essere adoperate macchine e fonti moderne di energia per alimentarle.

Il consumo di fonti moderne era il 40 per cento alla vigilia della Prima Guerra Mondiale, più del 50 per cento alla vigilia della Seconda e sfiorava il 90 per cento nel 1970. Nel 2000-10 le fonti moderne rappresentano il 94 per cento. L'elettricità di origine idrica o geotermica, pur importante in Italia, non ha mai superato il 10 per cento del consumo totale.

FIGURA 7. Consumo pro capite di energia all'anno (Gj) e prodotto pro capite (in dollari internazionali 1990 PPA) in Italia (1861-1913).



Fonte: Malanima (2006a e 2006b).

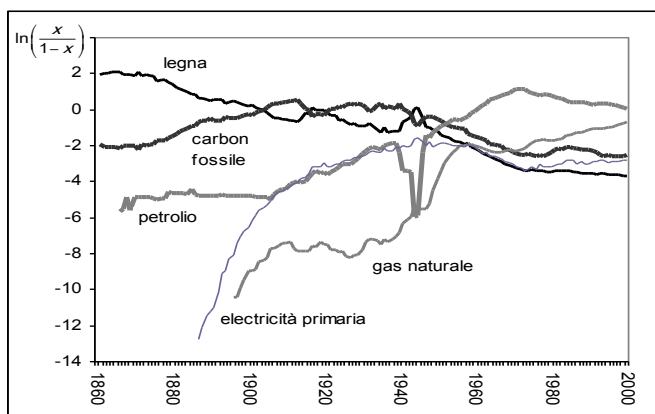
Mentre le fonti nuove crescevano d'importanza, quelle tradizionali andavano scomparendo. Da più del 90 per cento nel 1861, erano passate a meno del 50 alla vigilia della Seconda Guerra Mondiale. Una caduta verticale si ebbe poi negli anni '50 e '60. Il cibo per gli uomini, quello per gli animali e la legna costituivano l'8 per cento del totale nel 1970; meno del 5 nel 2010. Anche l'uso dell'acqua per i mulini e del vento per le vele è scomparso gradualmente.

Il modello di Fisher-Pry<sup>20</sup> è stato spesso utilizzato per valutare la penetrazione di una nuova tecnica o un nuovo prodotto nel mercato. Viene riassunto dall'equazione:

$$y_{i(t)} = \ln \left( \frac{x_{i(t)}}{1 - x_{i(t)}} \right)$$

dove la penetrazione della tecnica nel mercato dipende dalla quota percentuale della tecnica  $x_i$  sul totale delle tecniche in competizione meno la quota della tecnica considerata. Secondo la precedente equazione, la quota del mercato occupata da una nuova tecnologia o un nuovo prodotto è proporzionale alla frazione del mercato non ancora coperta dall'innovazione. Nel nostro caso, vediamo come le quattro fonti di energia moderne abbiano guadagnato terreno, mentre la fonte tradizionale, la legna, abbia ridotto la sua quota sul totale (Figura 8).<sup>21</sup>

FIGURA 8. Quota di 5 fonti di energia sul consumo totale di energia dal 1860 al 2000 (ln l'asse delle ordinate).



Fonte: Malanima (2006).

Nota:  $x$ , sull'asse verticale, si riferisce al logaritmo naturale della quota (%) di ogni fonte di energia sul totale delle 5 fonti, meno la fonte considerata.

<sup>20</sup> Fisher, Pry (1971).

<sup>21</sup> Il modello Fisher-Pry è stato applicato diverse volte all'energia da C. Marchetti (1977). Il cambiamento energetico in Italia è stato presentato in Marchetti, Nakicenovic (1979), p. 66. Come si vede nella Figura 8, tuttavia, i risultati che si ottengono descrivono una traiettoria più complessa di quella individuata da Marchetti.

### 3. Energia e Pil

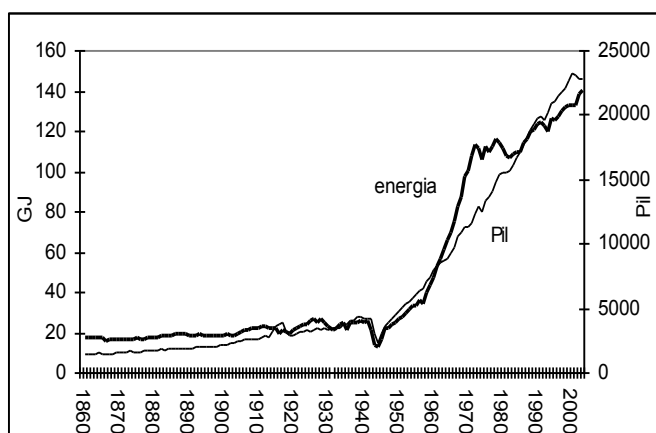
#### 3.1. Le tendenze del consumo energetico e del Pil

È necessario, a questo punto, rivolgere l'attenzione alle relazioni fra consumi di energia e crescita, valutando, dapprima, il rapporto fra Pil e input totale di energia e, quindi, l'efficienza nello sfruttamento delle fonti di energia. Dal punto di vista dell'energia, la capacità produttiva aumenta, infatti:

- per l'aumento dell'input di energia;
- per la maggiore efficienza nel suo sfruttamento grazie a tecniche più avanzate.

Cominciando con il trend generale, si può, anzitutto, notare come, fra l'Unità e il 2005, il prodotto pro capite sia aumentato in Italia di 13,5 volte, al tasso annuo dell'1,8 per cento e, come, nello stesso periodo, il consumo pro capite di energia sia cresciuto di 7,5 volte, al tasso annuo dell'1,4 per cento.

FIGURA 9. Consumo di energia pro capite (Gj) e prodotto pro capite (in dollari intern. 1990 PPA) in Italia (1860-2006).



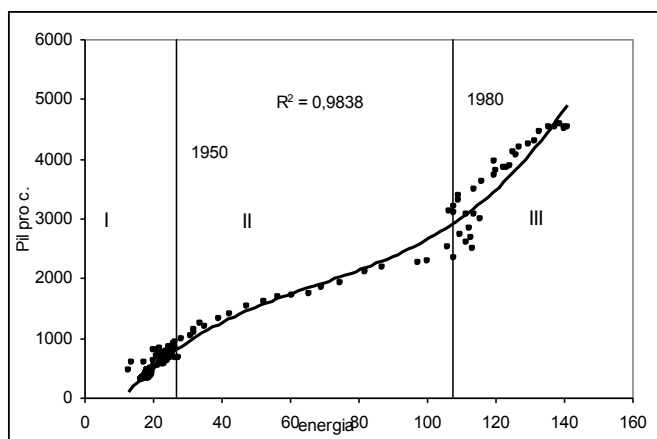
Fonti: quelle della Figura 3 per l'energia e Daniele-Malanima (2007) per il Pil.

La Figura 9 rivela come il trend del prodotto pro capite e quello del consumo pro capite di energia siano volti verso l'alto, lentamente all'inizio della serie e più rapidamente dopo la Seconda Guerra Mon-

diale. Il prodotto cresce più dell'energia nella prima fase e meno nella seconda. Dopo il 1973 la crescita del consumo di energia è meno forte e meno continua di quella del prodotto. In sostanza si distinguono tre periodi: nel primo (1861-1949) e nel terzo (1980-2010) la crescita del consumo di energia è inferiore a quella del Pil, mentre nel secondo (1950-1979) essa è maggiore.

Una visione sintetica della relazione fra Pil pro capite e consumo di energia pro capite può essere fornita da un grafico a dispersione (Figura 10).<sup>22</sup> I tre periodi sono separati da linee verticali (poste approssimativamente negli anni 1950 e 1980). Nel complesso dei due secoli l'aumento di 1 Gigajoule del consumo pro capite è correlato con un aumento di 31,16 lire (del 1911) nel Pil pro capite.

FIGURA 10. Pil pro capite (lire 1911) come funzione del consumo di energia pro capite (Gj) 1800-2007.



Fonti: le stesse della Figura 3.

La relazione prodotto-energia, come si vede, non è lineare. La curva di regressione che meglio si adatta a descriverla è un polinomio

<sup>22</sup> Un grafico come quello della Figura suggerisce che la relazione fra energia e prodotto vada dall'energia al prodotto (che, cioè, il prodotto dipenda dall'energia). In realtà non è sempre così. Ritornerei su questo aspetto del problema nel par. 3.2. Il grafico ha qui soltanto la funzione di evidenziare l'esistenza di una relazione fra i due processi in esame.



di terzo grado.<sup>23</sup> Possiamo calcolare l'elasticità prodotto-energia in periodi diversi con la seguente equazione:

$$\eta = \frac{dy}{de} \cdot \frac{e}{y}$$

dove:  $\eta$  è l'elasticità prodotto-energia;  $y$  è il Pil pro capite ed  $e$  è il consumo di energia pro capite. Nel primo periodo l'elasticità prodotto-energia è intorno a 2. Nel secondo periodo, che comprende gli anni 1950-80 circa (a sinistra della seconda linea verticale del grafico), l'elasticità è inferiore a 1 (intorno a 0,80): l'aumento dell'energia è correlato con un minore aumento del Pil. Nel terzo periodo, l'elasticità sale di nuovo e raggiunge il livello di 1,50. Come si vede nel grafico, questo terzo periodo è preceduto da una vera discontinuità col periodo precedente. La relazione prodotto-energia si sposta bruscamente verso l'alto.

### 3.2. Energia e crescita

Il tema del rapporto fra energia e crescita nel breve periodo è stato studiato di recente con l'applicazione di tecniche econometriche (soprattutto la causalità di Granger e la cointegrazione).<sup>24</sup> Dato che l'input di energia è fondamentale per la crescita, in questi studi ci si chiede se la causalità vada dall'offerta di energia al Pil o, viceversa, dal Pil all'offerta di energia. A questa domanda sono state date risposte diverse. In un articolo del 2010 vengono elencati 31 contributi che si sono occupati delle relazioni fra energia e crescita fra gli anni Settanta e il 2010.<sup>25</sup> Gli articoli si riferiscono a diversi paesi del mondo e sono basati quasi sempre sulla documentazione prodotta dall'International Energy Agency (Iea), che ha messo a disposizione serie che iniziano per lo più dal 1971 (in qualche caso dal 1960). In 5 di questi 31 articoli la crescita economica è stata individuata come la variabile chiave che influisce sul consumo di energia (quindi è la domanda a generare l'of-

<sup>23</sup> L'equazione interpolante è la seguente:  $y = 0,0042e^3 - 0,8594e^2 + 78,015e - 746,22$ ; dove  $y$  è il prodotto pro capite ed  $e$  è il consumo di energia pro capite.

<sup>24</sup> Si veda la rassegna di Stern (2003) sui rapporti energia-economia.

<sup>25</sup> Belke, Dreger, De Haan (2010), p. 7.

ferta); in 11 è l'energia che costituisce la determinante decisiva della crescita economica (quindi l'offerta determina la domanda); in 12 fra crescita ed energia, secondo gli autori, esiste un'interrelazione, ma non un rapporto di causalità; in 3 la relazione non risulta chiara.

Usando metodi simili a quelli adoperati in questi studi (l'analisi della cointegrazione e il test Engle-Granger), possiamo chiederci, anche nel caso dell'Italia, quale sia la direzione della causalità fra Pil e consumo di energia. Il vantaggio è, in questo caso, che possiamo abbracciare un arco di tempo assai più ampio di quello esaminato in questi studi (che di solito si riferiscono a qualche decennio). Si è diviso il periodo 1861-2006 in tre sottoperiodi, più o meno corrispondenti a quelli individuati nelle precedenti sezioni: 1861-1949, 1950-79, e 1980-2006. In ognuno dei tre periodi, la relazione Pil-energia può essere approssimata da un'equazione lineare.<sup>26</sup>

Il metodo seguito prevede di sottoporre le due serie del Pil e del consumo di energia al test Dickey-Fuller aumentato. Dato che gli effetti del consumo di energia sul Pil o del Pil sul consumo di energia sono rapidi (come risulta visivamente dall'analisi dei grafici), si assume il ritardo di un solo anno in tutti i test effettuati. Qualora l'ipotesi nulla di radice unitaria non venga rifiutata per le due variabili, e quindi le serie non siano stazionarie, si procede a stimare l'equazione di cointegrazione e si effettua, infine, il test Dickey-Fuller aumentato sui residui. Qualora l'ipotesi di radice unitaria venga rifiutata sui residui, ci si trova di fronte a una relazione di cointegrazione, che può andare dall'energia ( $e$ ) al prodotto ( $y$ ) oppure dal prodotto all'energia.

Le due equazioni utilizzate per valutare la causalità di breve periodo sono le seguenti:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 e_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$e_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

dove  $y$  rappresenta il Pil pro capite ed  $e$  il consumo di energia pro capite. La domanda a cui vogliono rispondere le due equazioni è se il li-

<sup>26</sup> Si noti che la suddivisione in tre periodi, pure opportuna per distinguere fasi omogenee, riduce il numero degli anni in cui si effettuano i test a solo 29 nel secondo periodo e 26 nel terzo.

vello e il trend del Pil è funzione dell'energia disponibile (l'eq. 1), oppure se è l'energia a disposizione ad essere funzione del Pil (l'eq. 2). Nel primo caso la direzionalità va dall'energia disponibile alla produzione  $e$ , quindi, la variabile energia ritardata è in grado di spiegare il trend del prodotto; nel secondo è il Pil ritardato che spiega il consumo attuale di energia.

Dato che la relazione che si vuole esaminare riguarda l'andamento dei consumi di energia rispetto all'andamento del prodotto e dato che la dinamica dei consumi dipende dai consumi di fonti moderne, la  $e$  nelle precedenti due equazioni si riferisce solo alle fonti moderne di energia.

Il test Dickey-Fuller aumentato (ADF) rivela che sia il prodotto che l'energia non sono stazionari, essendo sempre il p-value superiore a 0,05 (Tabella 3).

Tabella 3. Test Dickey-Fuller aumentato. P-value del prodotto pro capite e del consumo di energia pro capite nel 1860-1949, 1950-79 e 1980-2006.

	$y$	$e$
<b>1860-1949</b>	0,54	0,49
<b>1950-1979</b>	0,99	0,95
<b>1980-2006</b>	0,94	0,60

Conformemente alla procedura Engle-Granger relativa alla causalità di energia su Pil o di Pil su energia, i risultati della Tabella 4 evidenziano come nel primo periodo vi sia cointegrazione fra le variabili e come esista una relazione mutua fra variabile indipendente e variabile dipendente; nel secondo periodo i risultati relativi alle precedenti equazioni 1 e 2 non rivelano nessun rapporto fra le due variabili. Nel terzo periodo l'energia è la determinante del prodotto.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> I risultati delle regressioni di cointegrazione sono riportati nell'Appendice.

Tabella 4. Test Dickey-Fuller aumentato. P-value relativo alla relazione di causalità di energia su Pil ( $e \rightarrow y$ ) e di Pil su energia ( $y \rightarrow e$ ) nel 1860-1949, 1950-79 e 1980-2006.

		$e \rightarrow y$	$y \rightarrow e$
<b>I</b>	<b>1860-1949</b>	0,023	0,022
<b>II</b>	<b>1950-1979</b>	0,796	0,766
<b>III</b>	<b>1980-2006</b>	0,034	0,128

I risultati che si ottengono, come si vede, confermano quelli che si sono già menzionati e non sono conclusivi.<sup>28</sup> Li possiamo riassumere dicendo che, una volta che l'evoluzione tecnica ha consentito di abbattere l'ostacolo alla crescita dei consumi energetici, domanda di energia da parte delle attività produttive e offerta di fonti moderne si sono condizionate reciprocamente. Un rapporto univoco di causalità non esiste. Negli ultimi due secoli, anche in un paese fortemente dipendente da fonti esterne come l'Italia, l'offerta si è adeguata con flessibilità alla domanda da parte delle attività produttive.

### 3.3. Intensità energetica e produttività dell'energia

Le ricerche relative al rapporto fra energia e crescita fanno riferimento di solito soltanto al volume dell'energia impiegata. In realtà, sarebbe preferibile considerare la quota di energia trasformata in lavoro meccanico e calore utile. L'entità dei beni prodotti dipende, infatti, da questa quota, che è una frazione dell'input totale di energia, soggetta, nel corso del tempo, a modifiche di rilievo. Infatti, l'energia può contribuire all'aumento del prodotto, oltre che con l'aumento del volume delle fonti sfruttate, anche con:

1. una maggiore efficienza dei convertitori (un tempo soprattutto convertitori biologici come gli uomini e gli animali o le piante, più tardi macchine);

<sup>28</sup> Come nota anche Stern (2003).

2. il miglioramento nella qualità dell'energia (inteso come passaggio a fonti di energia utilizzabili con minori costi di produzione: inferiori costi di trasporto e gamma più ampia di attività che possono svolgere);<sup>29</sup>
3. i cambiamenti nella struttura dell'economia (modifiche nel peso dei diversi tipi d'industria -con maggiore o minore intensità energetica- o dei diversi settori -primario, secondario e terziario-. Le diverse produzioni richiedono quantitativi diversi di energia).

In realtà stime dirette sul grado di efficienza dei convertitori, e, quindi, sull'energia utile effettivamente impiegata, sono molto difficili, tante sono le macchine adoperate negli ultimi due secoli e tanto rapide sono state le variazioni nel loro livello di efficienza. Le prime macchine a vapore erano poco efficienti. Alla fine del Settecento il loro rendimento era dell'1-2 per cento. Erano assai più efficienti quando cominciarono a essere utilizzate in Italia nell'industria e nei trasporti (cioè, soprattutto a partire dalla seconda metà dell'Ottocento). Una serie è stata proposta del rendimento di centrali a carbone nella produzione di elettricità. Si tratta di un'approssimazione che suggerisce il trend nell'efficienza delle macchine termiche nel loro complesso. Si sarebbe passati da meno del 10 per cento alla fine dell'Ottocento al 35 per cento intorno al 1980.<sup>30</sup> Si calcola che l'efficienza teorica massima di una macchina termica sia intorno al 42-43 per cento.<sup>31</sup> Le economie dei paesi avanzati hanno un rendimento pari a circa il 30-35 per cento dell'energia sfruttata. Nel corso del tempo è, dunque, raddoppiata l'efficienza delle economie nello sfruttamento delle fonti di energia.

Più semplice è una stima dell'efficienza complessiva dell'economia. L'*intensità energetica*, cioè il rapporto fra input di energia e Pil ( $E/Y$ ), è un concetto importante nello studio delle relazioni economia-energia. Meno usato è il reciproco dell'intensità energetica, cioè il rapporto fra prodotto e input di energia ( $Y/E$ ), o *produttività dell'energia*. Quest'ul-

<sup>29</sup> Ockwell (2008) ha definito di qualità superiore quei combustibili che forniscono "more units of useful work per unit of thermal input" (p. 4602). In realtà ogni combustibile ha un diverso contenuto calorico e può fornire più o meno lavoro in rapporto con la conversione effettuata e con l'efficienza del convertitore. La qualità dell'energia, e cioè la sua efficienza termodinamica, non può essere fatta dipendere dal maggiore o minore contenuto calorico, ma dai costi associati al suo sfruttamento.

<sup>30</sup> Etemad, Luciani (1991), pp. XXXI e XXXV.

<sup>31</sup> Armson, Fells (1985), pp. 12-15.

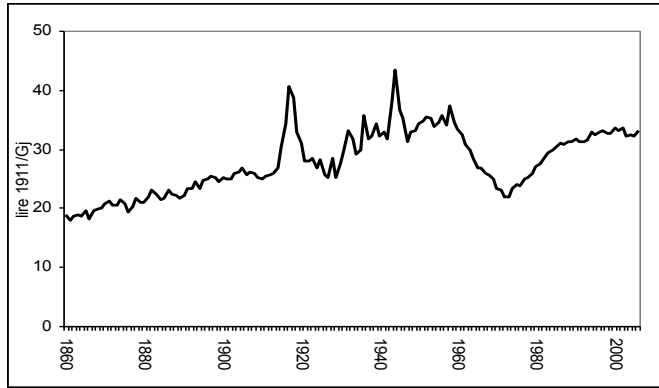
timo rapporto, tuttavia – è bene ripeterlo –, è influenzato anche cambiamenti nel rilievo dei settori produttivi ed anche dal clima. In un paese del nord, specializzato nell'industria pesante, la produttività dell'energia può essere assai più bassa che in una regione meridionale specializzata nell'industria leggera; per quanto questa differenza non implichi affatto una minore produttività di quest'ultima economia. Oggi, per esempio, la produttività dell'energia in Svezia è il 62 per cento di quella in Italia, per quanto la produttività totale dei fattori sia più o meno la stessa e analogo sia anche il livello del prodotto pro capite. Diversa è, però, la temperatura media e diversa anche la specializzazione industriale dei due paesi.

Il grafico della produttività dell'energia consente di cogliere le fasi della crescita economica in Italia e le sue relazioni col consumo di energia (Figura 11).

Nella prima metà dell'Ottocento il rapporto fra prodotto ed energia impiegata era, in Italia, intorno a 20 lire del 1911 per Gigajoule. Si può notare come l'introduzione delle moderne fonti di energia e delle macchine abbia comportato un aumento della produttività dell'energia a partire dall'industrializzazione del paese; dal 1880 in avanti cioè. Un convertitore meccanico è più efficiente di un convertitore biologico: di un uomo o un animale da lavoro. Il lavoro meccanico (o energia utile) che un uomo o un animale da lavoro possono fornire corrisponde al 15 per cento circa dell'input di energia come cibo. Quello di una macchina termica può raggiungere il 40 per cento. Anche l'uso della legna per riscaldamento era in passato assai poco efficiente. Il rendimento era intorno al 10 per cento. Il calore che riscaldava una stanza era una frazione modesta del calore sprigionato durante la combustione. Mulini e navi a vela erano più efficienti nello sfruttamento dell'acqua e del vento; ma trasformavano solo una quota minima dell'energia consumata.

Come si vede nel grafico, la trasformazione dell'Italia da economia vegetale a economia minerale comportò un aumento della produttività dell'energia. L'aumento fu graduale, se si eccettuano le due guerre mondiali; che determinarono forti discontinuità. Lo sforzo bellico comporta sempre uno sfruttamento intensivo delle energie a disposizione e un loro rendimento maggiore. Negli anni immediatamente successivi alla Seconda Guerra Mondiale, la produttività dell'energia continuò ad aumentare. Fino al 1958. Dal 1958 al 1973 si manifestò una

FIGURA 11. Produttività dell'energia 1860-2005 (lire 1911 per Giga-joule).



Fonti: le stesse della Figura 3.

decisa inversione di tendenza. Si è già visto come, proprio in questo periodo, l'elasticità del prodotto al consumo energetico sia diminuita. È l'epoca del "miracolo economico"! Per le famiglie degli Italiani il "miracolo economico" significò l'introduzione nelle case di frigoriferi e televisori, l'acquisto dell'automobile.<sup>32</sup> Per l'economia nel suo complesso questa fu l'epoca della vera industrializzazione. Gli occupati nell'industria erano il 26 per cento del totale della forza lavoro alla vigilia delle Seconda Guerra Mondiale. Raggiunsero il 44 per cento nel 1971.<sup>33</sup> La quota del prodotto dell'industria sul prodotto totale era meno del 30 per cento prima della Seconda Guerra Mondiale. Il punto massimo fu raggiunto nel 1974 col 42,6 per cento.

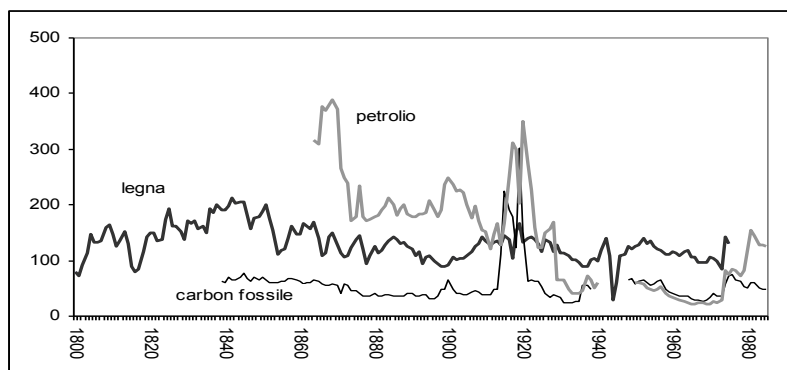
Il trend dell'efficienza nello sfruttamento dell'energia è, evidentemente, correlato col trend dei prezzi dell'energia. Prima della crisi petrolifera del 1973, i prezzi dell'energia erano particolarmente bassi anche in Italia, come altrove nei paesi avanzati.<sup>34</sup>

<sup>32</sup> Importante, su questo periodo, il libro di Cardinale, Verdelli (2008), che presenta numerose serie per settore di attività.

<sup>33</sup> Si veda Daniele-Malanima (in corso di stampa).

<sup>34</sup> Anche nel caso dell'Italia, come in quello di altri paesi, non è stato costruito ancora un indice del prezzo dell'energia (che sarebbe possibile con la conoscenza del prezzo di tutte le fonti anno per anno). Negli esercizi econometrici effettuati per diversi paesi negli ultimi anni, spesso si ovvia a questa mancanza con l'uso dell'indice dei prezzi, assunto come proxy del prezzo dell'energia (anche se l'indice generale dei

FIGURA 12. I prezzi della legna, del carbone e del petrolio in Italia (lire 1911 per Tep= 10 milioni di kilocalorie) 1800-1985.



Fonti: ISTAT (1958, 1976, 1985) per il periodo dal 1861 e De Maddalena (1974) per la legna nel periodo precedente.

Come si vede nella Figura 12, la sostituzione del carbon fossile alla legna era cominciata in un'epoca – la prima metà dell'Ottocento – in cui il prezzo della legna stava salendo. Il carbon fossile, per quanto più caro che in altri paesi del centro-nord dell'Europa, aveva un prezzo di meno della metà di quello della legna, a parità di potere calorico. Il petrolio, all'epoca del suo arrivo in Italia, negli ultimi decenni dell'Ottocento, era assai caro. I prezzi dei due combustibili moderni diminuirono, in seguito, con l'eccezione degli anni della Prima Guerra Mondiale e di quelli immediatamente successivi. Fra la fine della Seconda Guerra Mondiale e il 1973, i prezzi dei combustibili furono bassi come non mai. È questa l'epoca dell'energia a buon mercato. Che bisogno c'era di risparmiare, sia da parte delle famiglie che delle imprese? Come si è visto, la produttività dell'energia subì una caduta improvvisa. L'aumento dei prezzi dei combustibili dal 1973 in poi spinse di nuovo al risparmio (e la produttività dell'energia aumentò di nuovo).

prezzi e quello dell'energia non sono la stessa cosa e rivelano spesso andamenti diversi).



### 3.4. Un esercizio di scomposizione

Un'analisi per scomposizione può aiutarci a quantificare il ruolo svolto dall'input di energia pro capite ( $E/P$ , dove  $P$  è la popolazione) e dalla produttività dell'energia ( $Y/E$ ) nella crescita del prodotto durante gli ultimi 150 anni. Si parte dalla seguente identità, spesso usata negli studi di storia dell'energia,<sup>35</sup> in cui l'energia totale ( $E$ ) è fatta uguale alla popolazione moltiplicata per il prodotto pro capite ( $Y/P$ ) e per l'intensità energetica ( $E/Y$ ):

$$E = P \cdot \frac{Y}{P} \cdot \frac{E}{Y}$$

Sulla base della precedente identità, il prodotto pro capite ( $Y/P$ ) può essere rappresentato come:

$$\frac{Y}{P} = \frac{E}{P} \cdot \frac{Y}{E}$$

Se assumiamo che  $y$ ,  $e$ ,  $\pi$  siano i tassi annui di crescita rispettivamente di  $Y/P$ ,  $E/P$  e  $Y/E$ , possiamo valutare il rilievo sia di  $e$  che di  $\pi$  nella crescita del prodotto nel periodo preso in esame. Detto altrimenti: se facciamo il prodotto pro capite uguale al consumo di energia pro capite moltiplicato per il prodotto generato da un'unità di energia, i tassi di crescita dei fattori nel membro di destra dell'equazione debbono essere uguali al tasso di crescita del membro di sinistra dell'equazione. Cioè:

$$y = e + \pi$$

La successiva Tabella 5 mostra i tassi annui di crescita del prodotto pro capite (colonna 1) e i tassi annui di crescita dell'energia pro capite e della produttività dell'energia (colonne 2 e 3). La somma dei valori nelle colonne 2 e 3 è uguale ai valori della colonna 1.

<sup>35</sup> Si veda l'uso della formula in Gales, Kander, Malanima, Rubio (2007).

Tabella 5. Tassi annui di crescita del prodotto pro capite (1), del consumo di energia (2) e della produttività dell'energia (3) dal 1861 al 2001 (%).

		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
		<i>y</i>	<i>e</i>	<i>π</i>
<b>I</b>	<b>1861-1913</b>	<b>1,31</b>	0,53	0,78
	<b>1920-1936</b>	<b>1,64</b>	0,44	1,20
<b>II</b>	<b>1951-1973</b>	<b>4,30</b>	6,48	-2,18
<b>III</b>	<b>1973-2001</b>	<b>2,26</b>	0,57	1,69

Come si può vedere, nel primo periodo, 1861-1950 (qui diviso in due sotto-periodi 1861-1913 e 1920-36), il ruolo dell'input di energia nella crescita del prodotto fu meno importante di quello della produttività dell'energia. La produttività dell'energia ( $\pi$ ) cresceva al tasso dello 0,78 per cento all'anno fra 1861 e 1913 e al tasso dell'1,20 fra 1920 e 1936; mentre l'input di energia ( $e$ ) pro capite aumentava rispettivamente ai tassi dello 0,53 e dello 0,44. L'introduzione di macchine termiche nell'industria e nei trasporti (le ferrovie) rendeva più efficiente lo sfruttamento del carbone importato, che veniva assumendo un ruolo sempre più importante. Le cose cambiarono drasticamente nel II periodo, che comprende l'epoca della più forte crescita del prodotto in Italia. In quel periodo la crescita dell'economia fu dipendente dall'aumento dell'input, mentre l'efficienza nell'uso dell'energia andava diminuendo del 2,18 per cento all'anno. L'aumento dei prezzi dell'energia, a partire dal 1973, segnò una svolta. La produttività tornò a crescere sensibilmente. In altri termini: il costo dell'energia induceva al risparmio sia le imprese che le famiglie. È possibile che nella fase post-industriale, in cui anche l'economia italiana si trova, la produzione di servizi richieda meno energia che la produzione dei beni fisici (anche se, nei servizi, vi sono anche i trasporti, che richiedono quantitativi considerevoli di combustibili).

#### 4. Conclusioni

Per pochi altri paesi dell'Europa occidentale è, oggi, possibile, come per l'Italia, quantificare il trend e la struttura dei consumi di

energia su un lungo arco di tempo: più di due secoli. Come si è visto, la trasformazione dell'economia, da agricola e tradizionale a moderna, si sviluppò contemporaneamente alla trasformazione nel suo sistema energetico. Transizione economica e transizione energetica furono, in Italia come altrove, due aspetti correlati nel processo della crescita moderna. La transizione energetica, che è consistita nella disponibilità di fonti a basso prezzo, capaci di adeguarsi con flessibilità alla domanda proveniente dalle attività produttive, ha costituito l'elemento chiave del cambiamento economico degli ultimi due secoli.

In particolare, si possono individuare nella transizione energetica italiana, come in quella dell'Europa occidentale nel suo complesso, tre periodi, durante i quali la relazione energia-crescita ha presentato caratteristiche diverse. In una prima fase, che in Italia va dalla fine dell'Ottocento all'indomani della Seconda Guerra Mondiale, i miglioramenti nell'efficienza delle tecniche di sfruttamento dell'energia hanno svolto un ruolo assai importante; superiore a quello del volume dell'energia sfruttata. Nei due-tre decenni dopo la Seconda Guerra Mondiale, la crescita del prodotto è stata sostenuta esclusivamente dall'aumento delle fonti disponibili; non dall'aumento dell'efficienza termodinamica delle tecniche utilizzate. Nella fase post-industriale, che si è aperta dal 1973, lo sforzo per sfruttare meglio l'energia disponibile ha svolto e continua a svolgere un ruolo decisivo.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Armson R., Fells I. (1985), *The limits to power*, in "New Scientist", 6 giugno, pp. 12-15.
- Barca S. (2010), *Enclosing water. Nature and political economy in a Mediterranean valley, 1796-1916*, Cambridge, The White Horse Press.
- Bardini C. (1991), *L'economia energetica italiana (1863-1913): una prospettiva inconsueta per lo studio del processo di industrializzazione*, in "Rivista di Storia Economica", n.s., 8, pp. 81-114.
- Bardini C. (1998), *Senza carbone nell'età del vapore. Gli inizi dell'industrializzazione italiana*, Milano, B. Mondadori.
- Bartoletto S. (2002), *I consumi di energia in Italia (1870-1970)*, Quaderni ISSM, Napoli.
- Bartoletto S. (2005), *I combustibili fossili in Italia dal 1870 ad oggi*, in "Storia economica", 2, pp. 281-327.
- Bartoletto S., Malanima P., *L'energia nei paesi del Mediterraneo 1950-2010* (in corso di stampa).
- Belke A., Dreger C., De Haan F. (2010), *Energy consumption and economic growth. New insights into the cointegration relationship*, Ruhr Economic Papers, 190.
- Cardinale A., Verdelli A. (2008), *Energia per l'industria in Italia. La variabile energetica dal miracolo economico alla globalizzazione*, Milano, F. Angeli.
- Ciocca P. (2007), *Ricchì per sempre? Una storia economica d'Italia (1796-2005)*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Cipolla C.M. (1995), *Storia facile dell'economia italiana dal medioevo a oggi*, Milano, Mondadori.
- Daniele V. Malanima P. (2007), *Il prodotto delle regioni e il divario Nord-Sud in Italia (1861-2004)*, in "Rivista di Politica Economica", 2007, XCVII, pp. 1-49.
- Daniele V. Malanima P. (in corso di stampa), *The changing occupational structure of Italy 1861-2001. A national and regional perspective*.

- De Maddalena A. (1974), *Prezzi e mercedi a Milano dal 1701 al 1860*, Milano, Università Bocconi.
- Etemad B., Luciani J. (1991), *World Energy Production 1800-1985*, Genève, Droz.
- Fenoaltea S. (2006), *L'economia italiana dall'Unità alla Grande Guerra*, Roma-Bari, Laterza.
- Fenoaltea S. (2002), *Production and consumption in post-Unification Italy: new evidence, new conjectures*, in "Rivista di Storia Economica", n.s., XVIII, pp. 251-99.
- Fenoaltea S. (2005a), *La crescita economica dell'Italia postunitaria: le nuove serie storiche*, in "Rivista di Storia Economica", n.s., XXI, pp. 91-121.
- Fenoaltea S. (2005b), *The growth of the Italian economy, 1861-1913: preliminary second-generation estimates*, in "European Review of Economic History", 9, pp. 273-312.
- Fisher J.C., Pry R.H. (1971), *A simple substitution model of technological change*, in "Technological Forecasting and Social Change", 3, pp. 75-88.
- Gales B., Kander A., Malanima P., Rubio, M. (2007), *North versus South. Energy transition and energy intensity in Europe over 200 years*, in "European Review of Economic History", 11, pp. 215-49.
- Giannetti R. (1985), *La conquista della forza. Risorse, tecnologia ed economia nell'industria elettrica italiana (1883-1940)*, Milano, Franco Angeli.
- Giannetti R. (1998), *Tecnologia e sviluppo economico italiano (1870-1990)*, Bologna, Il Mulino.
- Kander A. (2002), *Economic growth, energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in Sweden 1800-2000*, Lund, Lund University.
- ISTAT (1958), *Sommario di statistiche storiche italiane 1861-1955*, Roma, Istat.
- ISTAT (1976), *Sommario di statistiche storiche dell'Italia 1861-1975*, Roma, Istat.
- ISTAT (1985), *Sommario di statistiche storiche italiane 1861-1955*, Roma, Istat.
- Lupo M., *The port of Genoa and the modern growth in Italy: an analysis based on the imports of coal (1820-1913)*, (in stampa).
- Malanima P. (2002), *L'economia italiana. Dalla crescita medievale alla crescita contemporanea*, Bologna, Il Mulino, 2002.

- Malanima P. (2006a), *Energy consumption in Italy in the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries*, Napoli, ISSM-CNR.
- Malanima P. (2006b), *Alle origini della crescita in Italia 1820-1913*, in "Rivista di Storia Economica", n.s., XXII, pp. 306-30.
- Malanima P. (2010), *Energy in History*, in *Encyclopedia of Life Support Systems* (UNESCO-EOLSS).
- Malanima P., Zamagni V. (2010), *150 Years of the Italian Economy, 1861-2010*, in "Journal of Modern Italian Studies", 15, pp. 1-20.
- Malanima P. (2011), *The long decline of a leading economy. GDP in North Italy 1300-1913*, in "European Review of Economic History", pp.
- Marchetti C. (1977), *Primary energy substitution models: on the interaction between energy and society*, "Technological Forecasting and Social Change", 10, pp. 345-56.
- Marchetti C., Nakicenovic N. (1979), *The Dynamics of energy systems and the logistic substitution model*, Laxenburg, IIASA.
- Ockwell D.G. (2008), *Energy and economic growth: grounding our understanding in physical reality*, in "Energy Policy", 36, pp. 4600-04.
- Stern D. (1993), *Energy and economic growth in the USA, a multivariate approach*, in "Energy Economics", 15, pp. 137-50.
- Stern D. (2003), *Energy and economic growth*, Rensselaer Polytechnic Institute, Papers.
- Teives Henriques S. (2009), *Energy consumption in Portugal 1856-2006*, Napoli, ISSM-CNR.
- Toninelli P.A. (2010), *Energy and the puzzle of Italy's economic growth*, in "Journal of Modern Italian Studies", 15, pp. 107-27.
- Warde P. (2007), *Energy consumption in England and Wales 1560-2000*, Napoli, ISSM-CNR.
- Wrigley E. A. (1988), *Continuity, chance and change. The character of the Industrial Revolution in England*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Wrigley E. A. (2010), *Energy and the English Industrial Revolution*, Cambridge, Cambridge University Press.

## Appendice

### Regressioni di cointegrazione energia-Pil (1861-2006)

#### 1860-1949

##### Variabile dipendente: PIL

VARIABILE	COEFFICIENTE	ERRORE STD	STAT T	P-VALUE
const	324,892	13,007	24,97	<0,00001 ***
Energia	35,748	1,752	20,39	<0,00001 ***

R-quadro = 0,82

Statistica Durbin-Watson = 0,47

##### Variabile dipendente: Energia

VARIABILE	COEFFICIENTE	ERRORE STD	STAT T	P-VALUE
const -	6,414	0,645	-9,941	<0,00001 ***
PIL	0,023	0,001	20,397	<0,00001 ***

R-quadro = 0,82

Statistica Durbin-Watson = 0,50

#### 1950-79

##### Variabile dipendente: PIL

VARIABILE	COEFFICIENTE	ERRORE STD	STAT T	P-VALUE
const	697,465	39,211	17,788	<0,00001 ***
Energia	19,155	0,583	32,835	<0,00001 ***

R-quadro = 0,97

Statistica Durbin-Watson = 0,27

##### Variabile dipendente: Energia

VARIABILE	COEFFICIENTE	ERRORE STD	STAT T	P-VALUE
const	-34,015	2,985	-11,392	<0,00001 ***
PIL	0,050	0,001	32,835	<0,00001 ***

R-quadro = 0,97

Statistica Durbin-Watson = 0,27

**1980-2006****Variabile dipendente: PIL**

VARIABILE	COEFFICIENTE	ERRORE STD	STAT T	P-VALUE
const	-1305,160	260,557	-5,009	<0,00004 ***
Energia	45,303	2,258	20,062	<0,00001 ***

R-quadro = 0,94

Statistica Durbin-Watson = 0,65

**Variabile dipendente: Energia**

VARIABILE	COEFFICIENTE	ERRORE STD	STAT T	P-VALUE
const	33,841	4,073	8,308	<0,00001 ***
PIL	0,020	0,001	20,062	<0,00001 ***

R-quadro = 0,94

Statistica Durbin-Watson = 0,69