

## Energia e crisi alle origini della crescita moderna 1650-1850

Il XIX secolo segnò una discontinuità nelle capacità produttive delle economie europee. La popolazione del continente, escludendo la Russia, era di 150 milioni di abitanti all'inizio dell'Ottocento. Nel 1900 era raddoppiata. Nel corso dello stesso secolo, la produzione di beni e di servizi aumentò di quasi 6 volte. Alla vigilia della I Guerra Mondiale, ogni abitante disponeva, dunque, di un reddito che era circa tre volte superiore a quello dei suoi antenati un secolo prima. L'aumento rapido della popolazione e l'aumento ancora più rapido della produzione rappresentano i due caratteri distintivi del processo della crescita moderna. Per la prima volta nella storia dell'umanità, a partire dall'inizio dell'Ottocento si verificò in Europa una crescita sostenuta e durevole del prodotto pro capite. Aumenti del reddito pro capite si erano avuti anche in precedenza. Essi erano stati, però, molto meno forti e, soprattutto, molto meno duraturi.

La discontinuità economica che si verificò in Europa ebbe come effetto un aumento delle disuguaglianze fra regioni su scala mondiale. All'inizio dell'Ottocento, le differenze nei livelli del prodotto pro capite erano molto contenute. Il reddito medio in Cina, ad esempio, era analogo a quello in Europa.<sup>1</sup> Né poteva non esserlo, dal momento che, sia in Cina che in Europa, che in ogni parte del mondo, esso superava di poco lo stretto necessario per sopravvivere; che non era molto diverso nelle varie regioni.<sup>2</sup> Le cose cambiarono profondamente all'epoca della crescita moderna. Mentre l'economia europea avanzava con rapidità, altrove il prodotto pro capite rimase stazionario. In alcune zone del mondo, come ad esempio in Cina, si ebbe addirittura una diminuzione, dal momento che la popolazione aumentava più della produzione.<sup>3</sup> Fra l'Europa in crescita e le economie del resto del mondo si aprì una frattura. Solo più tardi la crescita economica ha interessato anche le regioni extra-europee. Non tutte, però!

**1. Le civiltà vegetali.** Le economie d'ieri erano basate su fonti di energia vegetali –i cereali, il cibo per gli animali e la legna- e su convertitori biologici d'energia –gli uomini, gli animali, le piante-.<sup>4</sup> Le economie d'oggi, invece, dipendono soprattutto da fonti di energia fossili –il carbon fossile, il petrolio e il gas naturale- e da convertitori di energia meccanici –le macchine e gli strumenti di cui ci serviamo per compiere ogni genere di lavoro-. Potremmo definire le economie delle epoche che precedono la crescita moderna come «economie vegetali». Questo concetto corrisponde a quello di «economia organica»,<sup>5</sup> utilizzato spesso da E.A. Wrigley, che l'ha coniato alla fine degli anni Ottanta.<sup>6</sup> Nelle economie vegetali del passato, le fonti di energia che venivano trasformate in lavoro e calore, provenivano, per usare le parole di Wrigley, «dal processo della fotosintesi, che imbrigliava l'irradiazione solare per formare la materia vegetale». Essa costituiva «il fondamento della piramide della vita, i cui livelli superiori erano collegati dalla catena del cibo alla loro base fotosintetica».<sup>7</sup>

La più antica e, per almeno tre milioni di anni di storia dell'uomo, unica fonte di energia è stato il cibo.<sup>8</sup> Ogni lavoro veniva allora compiuto dalla forza degli uomini, che costituiva una trasformazione degli alimenti. Un progresso decisivo avvenne quando, fra un milione e mezzo milione di anni fa, si cominciò ad utilizzare il fuoco. Da allora in avanti il calore e la luce, ottenuti bruciando la legna, la seconda importante fonte di energia, costituirono una decisiva integrazione del bagaglio tecnologico degli uomini. Un altro contributo alle disponibilità di energia venne, in seguito, dagli animali da lavoro, che cominciarono ad essere utilizzati su larga scala nei grandi imperi agrari della Mezzaluna fertile a partire dal IV millennio a.C. Si passava all'uso di una fonte di energia meccanica che costituiva un'integrazione assai importante del lavoro dell'uomo. Possiamo considerare gli animali come vere e proprie macchine agricole e da trasporto e il cibo da esse consumato come il combustibile che consentiva il loro lavoro.

Erano queste le fonti vegetali delle economie agrarie del passato. Rimasero la base energetica delle società fino all'epoca della crescita moderna. Con poche integrazioni. Fra queste possiamo ricordare la diffusione dello sfruttamento del vento per la navigazione tramite le vele,

avvenuta 4 millenni avanti Cristo. Dal VII secolo d.C. si cominciò a utilizzare il vento anche per azionare mulini. Dal III secolo a.C. comparve il mulino ad acqua.<sup>9</sup> Anche in questo caso, si ebbe una diffusione sempre più ampia di questa macchina e un suo sfruttamento per attività industriali di vario tipo. Il vento e l'acqua furono integrazioni importanti nel bagaglio della dotazione energetica delle civiltà agrarie del passato. Il loro contributo in termini quantitativi fu, però, nel complesso, assai modesto.<sup>10</sup>

Una fonte di energia importante, e spesso dimenticata, è quella della polvere da sparo, usata in Europa dal XIV secolo e in Cina ancora prima. Fu la fonte di energia il cui uso crebbe più rapidamente di tutti, nei secoli dell'Età Moderna. Prima del vapore essa rappresentò, inoltre, il primo caso di trasformazione del calore in movimento.

La base energetica delle economie vegetali del passato era costituita dall'irradiazione solare, che, in un certo senso, è una fonte di energia illimitata. Il sistema solare esiste da 4 miliardi e mezzo di anni e, a quanto ci dicono i fisici, continuerà ad esistere ancora per 4-5 miliardi di anni. Tempi di estinzione così lunghi per la fonte energetica di base dei sistemi vegetali significano, a tutti gli effetti, una disponibilità illimitata. In queste economie vegetali era, però, assai modesto il flusso di energia solare a cui si poteva attingere ogni anno per svolgere le attività economiche. Aumentare la produzione significa, prima di tutto, disporre di energia per svolgere il lavoro necessario a produrre beni e servizi. Dell'irradiazione che raggiunge la superficie terrestre solo una parte minima, meno dell'1 per cento, veniva e viene fissata nella biomassa tramite la fotosintesi. Della biomassa complessiva che si formava, una parte modestissima veniva appropriata da uomini e animali da lavoro. Né era agevole accrescere questa porzione. Occorreva ampliare gli arativi, ingrandire i pascoli per gli animali da lavoro, raccogliere la legna dei boschi. Tutte operazioni assai faticose, lente e, per di più, in conflitto l'una con l'altra. Più arativi potevano significare meno boschi e meno pascoli. Ma dei boschi e dei pascoli non si poteva fare a meno, perché erano altrettanto importanti degli arativi. La loro riduzione o eliminazione comprometteva la sostenibilità futura del sistema economico. Certo si poteva accrescere la produttività dei campi e dei pascoli. Non oltre un certo limite, però, all'interno del mondo vegetale del passato. Un balzo in avanti decisivo nella produttività in agricoltura si è verificato solo coi moderni trattori e coi moderni fertilizzanti; con macchine o prodotti che necessitano dell'uso dei combustibili fossili e che sono fuori della portata delle economie vegetali.

Il modesto flusso di energia di cui gli uomini si potevano servire limitava le possibilità di crescita dei sistemi economici del passato. Di solito, nelle economie vegetali, la disponibilità di energia non teneva il passo con l'aumento demografico. Diminuivano, perciò, la produttività del lavoro e il prodotto pro capite. Nelle economie vegetali i redditi pro capite erano, nella media mondiale, circa 5-6 volte inferiori a quelli attuali. Nei paesi oggi avanzati essi erano inferiori di 15-20 volte.<sup>11</sup> Le economie vegetali erano sostenibili, nel senso che consentivano più o meno la riproducibilità del sistema. La loro capacità di sostenere popolazioni in rapido aumento era, però, assai modesta.

Il passaggio ai combustibili fossili ha comportato l'utilizzazione di una fonte energetica destinata a esaurirsi. Che la «foresta sotterranea», di cui parlava un giurista tedesco del Settecento con riferimento ai fossili, non sia inesauribile,<sup>12</sup> è evidente. Lo ricordò per la prima volta in modo documentato l'economista inglese W.S. Jevons nel 1865.<sup>13</sup> Il flusso annuale di combustibili fossili a cui gli uomini hanno potuto e possono attingere per accrescere le proprie attività può essere, invece, aumentato con facilità. Il benessere delle economie moderne dipende proprio dall'utilizzazione della foresta sotterranea. Le economie che nell'Ottocento cominciarono a svilupparsi in senso moderno adottarono una dopo l'altra il nuovo sistema energetico fondato sui combustibili fossili. La discontinuità nelle basi energetiche delle società si tradusse in una discontinuità nel campo dell'economia, come hanno ben messo in evidenza studiosi come C.M. Cipolla<sup>14</sup> e E.A. Wrigley. Si passò dal mondo dei rendimenti decrescenti al mondo della crescita. Il sistema energetico vegetale non avrebbe potuto consentire la crescita moderna, intesa come capacità di accrescere il prodotto più velocemente dell'aumento di popolazione. Con le fonti tradizionali, sfruttate al più alto livello che l'economia vegetale del passato consentiva, sarebbero oggi necessari 5-6 pianeti come la Terra per fare fronte al fabbisogno energetico. La transizione energetica ha, dunque, costituito una «condizione necessaria», anche se non sufficiente, della crescita moderna dell'economia.

**2. Le risorse energetiche.** Quanto al consumo pro capite di risorse energetiche, nel mondo euro-mediterraneo esistevano profonde differenze da area ad area. Il consumo medio giornaliero pro capite poteva oscillare, nel sei-settecento fra le 15 e le 20.000 calorie. Date, però, le differenze esistenti da zona a zona, è preferibile proporre il campo di variazione all'interno del quale potevano collocarsi i valori delle diverse regioni (Tabella).<sup>15</sup> Per un confronto, si consideri che, nell'anno 2000, la media europea a persona era di 142.000 calorie al giorno.

**Tabella.** Il consumo di energia in Europa nell'Età Moderna (in Cal. pro capite al giorno).

Fonti di energia	Minimo	Massimo
<i>Cibo per gli uomini</i>	2.000	4.000
<i>Combustibile</i>	3.500	30.000
<i>Alimenti per animali da lavoro</i>	2.800	3.800
<i>Acqua e vento</i>	100	700
<b>Totale</b>	<b>8.400</b>	<b>38.500</b>

Sfortunatamente non disponiamo di informazioni dirette sul consumo di energia in altre civiltà agrarie del passato. Le testimonianze indirette suggeriscono che:

- per ragioni climatiche, il consumo di combustibile nelle regioni europee era superiore a quello di altre civiltà agrarie dato il carattere sempre più settentrionale della civiltà euromediterranea rispetto alle altre. In Europa le temperature medie in gennaio si collocano fra -10 e +10 gradi centigradi, mentre nelle altre civiltà agrarie sono fra 0 e +20. Nel mondo euro-mediterraneo, i consumi salivano man mano che da Sud si procedeva verso Nord, soprattutto per l'aumento dei bisogni di riscaldamento con la diminuzione delle temperature medie, e per l'uso più ampio di animali in agricoltura nella grande pianura del Nord;
- il consumo di cibo era, naturalmente, più o meno lo stesso in tutto il mondo, ma, come si è visto, il suolo necessario per nutrire una persona era assai superiore nel mondo euro-mediterraneo rispetto a quello necessario delle civiltà agrarie basate sull'irrigazione e in cui gli alimenti erano costituiti da cereali con più alto rendimento del grano e da patate;
- in Europa lo spazio agricolo destinato al pascolo era maggiore che nelle civiltà irrigue, data la maggiore, inevitabile presenza di animali da lavoro nel mondo europeo in rapporto con la popolazione.

Tutto questo induce a supporre che, mentre il consumo medio di energia nel mondo euro-mediterraneo era di 15-20.000 calorie al giorno, in altre società agricole esso doveva essere inferiore alle 10.000 e, nelle regioni più calde, poteva anche collocarsi intorno alle 5000. Quindi: *nell'area euro-mediterranea consumi maggiori e, nel Nord, consumi maggiori che nel Sud.*

Un'altra considerazione da fare riguarda le differenze fra Mediterraneo ed Europa settentrionale. Evidentemente l'aumento della popolazione e delle densità demografiche nel Centro-Nord dell'Europa significò lo spostamento dell'equilibrio verso regioni nelle quali il consumo di energia era maggiore. Proprio per questa maggiore necessità di energia il mondo euro-mediterraneo, e soprattutto la parte settentrionale di questo mondo, risultava più vulnerabile di altre civiltà agricole. Tutto considerato, nel tardo Medioevo e all'inizio dell'Età Moderna, l'Europa non poteva apparire come la zona del mondo più favorita sotto il profilo della disponibilità di risorse e destinata ad accrescere enormemente la sua ricchezza, come invece accadde nell'Ottocento. La prevalenza di un cereale con bassa resa come il grano, i lunghi mesi di temperature basse, i numerosi animali da lavoro: tutto questo faceva sì che l'ambiente in cui le popolazioni europee operavano fosse più difficile di quello di altre regioni del mondo.

Quale fu l'influenza dei cambiamenti nella popolazione e nel clima sulla disponibilità di risorse energetiche nel mondo euro-mediterraneo?

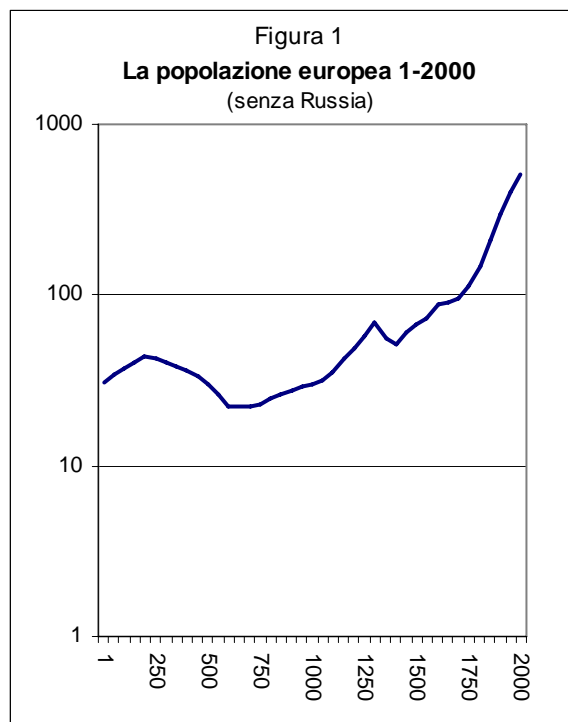
**3. L'onda demografica.** A partire dalla ripresa medievale, verso il X secolo, nell'andamento della popolazione europea si distinguono tre lunghe fasi di 300-400 anni ciascuna (Figura 1):<sup>16</sup>

- *dal X secolo all'inizio del XIV:* l'aumento fu poco meno del 3 per mille all'anno; si passò da 30 milioni di abitanti a circa 70;
- *dal XIV secolo alla seconda metà del XVII:* fu un'epoca di cadute e riprese. Nel complesso la popolazione del continente aumentò, fra il 1300 e il 1700, dello 0,8 per mille all'anno. Si

passò da 70-80 milioni nel 1300 a 90 nel 1700. L'aumento fu, dunque, ben modesto. Dopo la caduta della metà del Trecento, conseguenza soprattutto dell'arrivo in Europa della peste, ci fu una ripresa dalla metà del Quattrocento sino all'inizio del Seicento. Seguirono poi cadute in diverse regioni dell'Europa e stagnazione in altre per alcuni decenni, fino a dopo la metà del secolo;

- *dalla seconda metà del XVII secolo alla fine del XX*: l'aumento annuo fu del 5,6 per mille; quasi doppio rispetto a quello del tardo Medioevo e 7 volte superiore a quello dei 4 secoli precedenti. La crescita, tenue dapprima, divenne assai forte nell'Ottocento e nella prima metà del Novecento. In tutto da meno di 100 milioni nel 1700 a più di 500 nel 2000.

La vicenda europea, almeno nei suoi movimenti di lungo periodo, presenta analogie con quella di altre regioni del mondo. La popolazione mondiale più o meno raddoppiò nei 1600 anni dalla nascita di Cristo al 1600. Il tasso di aumento in questo lungo periodo fu dello 0,04 per cento all'anno; quasi impercettibile. In 200 anni, dal 1650 al 1850, la popolazione mondiale raddoppiò di nuovo passando da 600 a 1200 milioni. Il tasso d'incremento demografico fu dello 0,4 per cento: 10 volte maggiore che nei precedenti 1600 anni. Improvvisamente, un'inattesa onda di popolazione cominciò dalla seconda metà del XVII secolo a sommergere le strutture agrarie esistenti.



In sintesi si potrebbe parlare di un unico, lungo movimento di espansione demografica, iniziato nel X secolo, che accelerò notevolmente dalla seconda metà del Seicento e che si è concluso soltanto alla fine del Novecento.<sup>17</sup>

**4. L'evoluzione del clima.** La disponibilità di risorse fisiche in una certa regione non è affatto costante, come talora si suppone. Si è visto come, in passato, le attività umane dipendessero da un sistema energetico basato sulla riproduzione annuale dei vegetali, che fornivano il cibo per gli uomini e gli animali da lavoro, e la legna, usata per riscaldarsi, per cucinare e per tante attività economiche. Le variazioni della biomassa per ragioni climatiche potevano avere ripercussioni profonde su tutte le attività umane; assai di più di quelle che derivavano dalle attività coscienti degli uomini tese ad accrescere il bagaglio tecnico e sfruttare meglio le risorse dell'ambiente; più della costruzione di tante navi e di tanti mulini, e di tutti i cambiamenti nei metodi di coltivazione. Quando, a proposito delle civiltà agrarie del passato, esaminiamo la loro disponibilità di energia, dimentichiamo spesso l'importanza dei cambiamenti climatici in questo mondo tradizionale, dove tutte le forme di energia derivavano direttamente dalla luce del Sole.

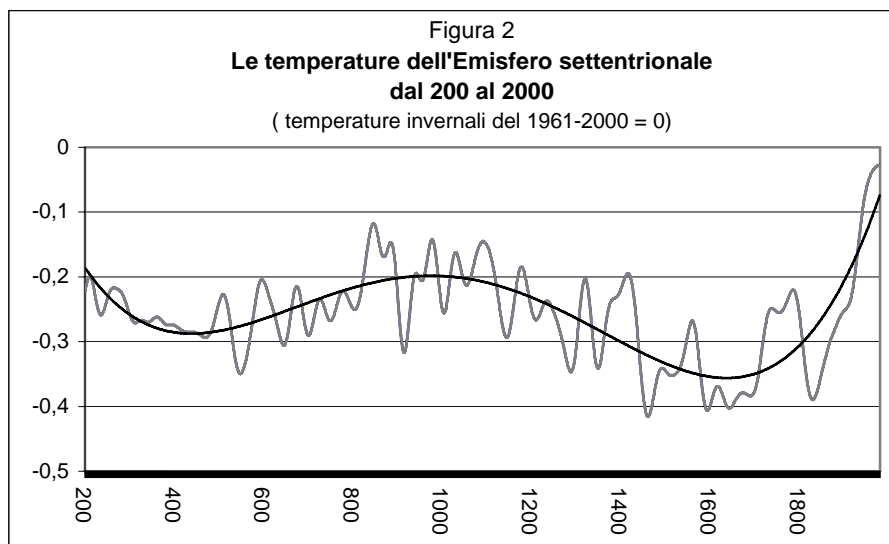
Un aumento delle temperature poteva tradursi nella formazione di capitale e mettere a disposizione degli uomini una quantità assai maggiore di risorse energetiche.<sup>18</sup>

Solo di recente, grazie al lavoro dei paleoclimatologi, è diventato possibile illuminare l'influenza dei cambiamenti nella dotazione di energia come conseguenza delle variazioni nell'irradiazione solare. Per quanto molte siano ancora le differenze di breve periodo fra queste serie, molte sono anche le analogie nei loro movimenti lunghi. Sappiamo oggi che nei 2000 anni prima del Novecento le temperature si mossero, nella media di più anni, nella ristretta fascia di 1-2 gradi. E' da considerare, tuttavia, che la sola differenza di 1 grado in meno nelle temperature medie, quando si protraeva per periodi lunghi di tempo poteva esercitare un'influenza rilevante sul bilancio energetico di una civiltà agraria.<sup>19</sup> Ricordiamo le conseguenze più importanti:

- riduzione delle calorie per centimetro quadrato di suolo di un 10 per cento;
- diminuzione di tre settimane il periodo di crescita dei vegetali sui campi, nei pascoli, nelle foreste;
- aumento della quantità di pioggia e dei pericoli di inondazione nelle regioni soggette a questo tipo di rischio;
- modificazione dell'attività dei microbi nel suolo e quindi del grado di fertilità;
- spostamento verso il basso di 150-200 metri del limite delle terre coltivate a cereali.

Solo quest'ultimo cambiamento poteva tradursi in una riduzione drastica delle disponibilità energetiche in regioni con tante montagne e colline come ad esempio quelle del Mediterraneo: gli arativi potevano ridursi di migliaia di chilometri quadrati. La conseguenza poteva essere una drastica diminuzione delle disponibilità di energia.

Esaminando la tendenza di lungo periodo delle temperature nell'emisfero settentrionale, si nota innanzitutto una caduta delle temperature medie dall'inizio della serie, che culmina nei secoli V e VI e che dura, più o meno, fino al IX (Figura 2). E' l'epoca in cui la popolazione diminuisce in tutto il mondo e l'attività economica si riduce. Popolazione e produzione tendono di nuovo ad aumentare dal IX-X secolo sia in Europa che in Asia: comincia il cosiddetto *Optimum* climatico medievale, che mise a disposizione terreni da coltivare e prodotti vegetali più abbondanti.



Temperature medie più elevate che in precedenza e in seguito continuano fino al XIII secolo. Per la crescita economica medievale furono forse più importanti delle scoperte tecniche e dei cambiamenti nelle istituzioni che gli storici conoscono bene. Comincia, poi, quella che viene definita la *Piccola età glaciale*. Con alti e bassi prosegue fino all'inizio dell'Ottocento. Durante il Seicento questo grafico riconferma un livello assai basso delle temperature. E' l'epoca in cui gli astronomi notarono la quasi totale scomparsa delle macchie solari, di solito associata con livelli bassi di attività del Sole e con temperature più rigide. Dall'Ottocento, come si vede, comincia un'epoca di temperature elevate. Il trend della curva raggiunge nel Novecento livelli assai superiori a quelli dei precedenti 1800 anni.

Nella serie delle temperature, si può cogliere, in particolare, la tendenza discendente che culmina nel Seicento. Si può notare, poi, come le temperature siano alquanto aumentate alla fine del secolo, quando anche la popolazione, come si è visto, cominciava ad aumentare, dopo la stagnazione o caduta seicentesca. Quindi, la prima fase di ripresa demografica ebbe luogo parallelamente all'aumento delle temperature, che è testimoniata sia per l'Inghilterra, che per la Francia, che per l'Italia da fine Seicento al 1750 circa.<sup>20</sup> Le cose cambiarono dal 1760-70 circa. Le macchie solari, la cui presenza è associata a periodi di attività solare e di alte temperature, quasi scomparvero fra il 1790 e il 1820-30.<sup>21</sup> Si ritornò per qualche decennio ai valori del XVII secolo. In questo periodo, i ghiacciai avanzarono di nuovo in Tirolo fino a raggiungere la loro massima espansione nel 1816-18.<sup>22</sup> In Svizzera la temperatura diminuì di 1,5 gradi dal 1760 al 1780. Aumentò fra il 1780 e il 1795, per diminuire di nuovo e raggiungere il minimo fra il 1810 e il 1820.<sup>23</sup> Lo stesso trend mostra l'andamento delle gelate nel Mar Baltico, che aumentò dal 1750 in avanti e raggiunse i valori massimi dal 1790 al 1820.<sup>24</sup>

**5. Una crisi energetica.** Quando si osservano le economie del passato è sempre bene precisare se l'approccio che adottiamo è di carattere aggregato o pro capite. Se si esaminano le vicende delle economie tradizionali secondo una prospettiva o secondo l'altra, le conclusioni possono cambiare radicalmente. Ciò vale anche per il consumo di risorse energetiche. Dal momento che la popolazione europea (senza la Russia) era di 50 milioni nel Quattrocento e di 150 nel 1800, osservando ogni settore dell'economia si può sempre trovare una crescita del prodotto di beni e servizi. Come potrebbe essere altrimenti? Se ciò non fosse accaduto, ogni abitante dell'Europa si sarebbe trovato nel 1800 con una disponibilità annua di beni e servizi pari a un terzo di quella di 4 secoli prima. Con la riduzione di due terzi di un tenore di vita già modesto nel Quattrocento e con consumi, dunque, drasticamente ridotti, non avrebbe potuto sopravvivere nel 1800. Ciò vale anche per i consumi di risorse energetiche, che erano una parte consistente della spesa complessiva di ogni famiglia. Dobbiamo, però, chiederci se nel tempo –dal Quattrocento al 1800- la disponibilità di beni e di servizi aumentò anche in termini pro capite, oltre che in termini aggregati. Se osserviamo i consumi di energia in questa prospettiva, pur con le differenze inevitabili da zona a zona, la risposta non può che essere negativa: durante l'Età Moderna i consumi di energia pro capite diminuirono. Una caduta particolarmente forte si verificò nel Settecento e soprattutto nella seconda metà.

Cerchiamo di vedere come andarono le cose cominciando dai consumi di risorse energetiche quantitativamente meno rilevanti. Si prenderanno dopo in considerazione quelli più significativi.

L'andamento dei consumi di energia idraulica ed eolica, che, ricordiamolo, rappresentavano l'1 per cento del totale, sembra subito smentire quanto appena affermato. Se guardiamo, infatti, allo sfruttamento di energia idraulica in termini aggregati, fra il 1200 e il 1800 il numero delle ruote idrauliche aumentò di continuo e aumentò, quindi, l'energia meccanica tratta dalle cadute d'acqua. Fu raggiunto il numero di 750.000, con una crescita, rispetto al 1200, del 150 per cento. Nel 1800 il numero delle ruote che alimentavano impianti diversi dai mulini era cresciuto: erano almeno 250.000 (un terzo di tutte le ruote in attività). Dal momento che fra 1200 e 1800 anche la popolazione crebbe pressappoco del 150 per cento, il numero delle ruote per persona rimase stabile: una ruota ogni 250 abitanti. Nel corso dei sei secoli considerati, però, aumentò la potenza di ogni ruota. La conclusione è che nel 1800 ogni persona disponeva di una maggiore potenza idraulica di quanto non fosse nel 1200: 1 cavallo-vapore ogni 83 persone, anziché ogni 125.<sup>25</sup> Al proposito le stime indipendenti di F. Braudel e L. Makkai coincidono. Si ebbe, dunque, un aumento, sia pure modesto.<sup>26</sup>

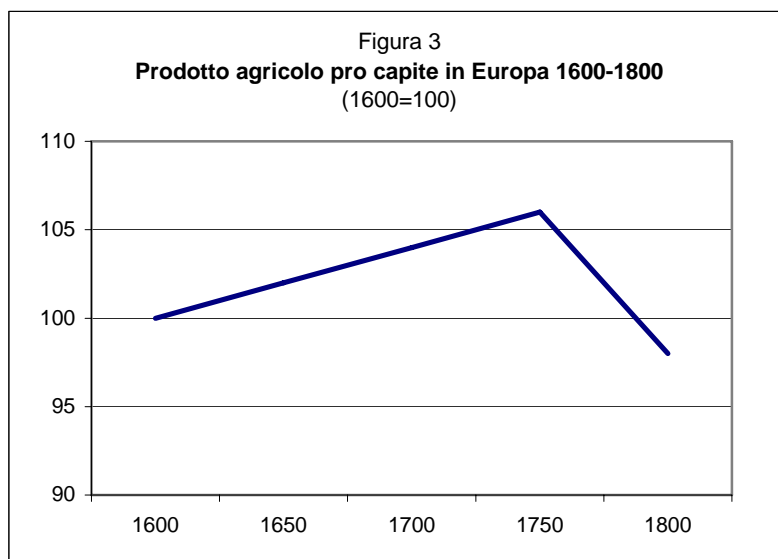
Ancora di più crebbe lo sfruttamento del vento per i mulini. Su scala europea il numero di questi impianti era assai inferiore a quello dei mulini ad acqua. E' stato stimato che la loro potenza complessiva fosse, alla fine del Settecento, pari a un terzo o un quarto di quella delle ruote idrauliche: la prima poteva andare da 1 milione e mezzo fino a 3 milioni di cavalli-vapore; la seconda da un minimo di 300.000 a un massimo di 1 milione. Il loro numero, accettando questi calcoli, poteva essere compreso, dunque, fra i 30.000 e i 100.000 circa, mentre quello delle ruote idrauliche (per mulini o altri congegni) poteva anche raggiungere il milione. Nella prima metà dell'Ottocento i mulini a vento in Francia, Inghilterra, Germania, Paesi Bassi, Belgio, Finlandia, erano fra i 50 e i 60.000.<sup>27</sup>

Per quanto riguarda lo sfruttamento del vento per la navigazione, la crescita fu assai più forte; anche in termini pro capite. Fra la fine del Quattrocento e la fine del Settecento, il tonnell-

laggio delle navi europee crebbe di 10-15 volte, mentre la popolazione aumentava soltanto di 2 volte.<sup>28</sup> Si trattò dell'aumento più considerevole nello sfruttamento di fonti di energia. Nel 1780 si può stimare pari a 150-250.000 cavalli-vapore l'energia che le navi riuscivano a sfruttare. Se alle navi mercantili europee aggiungessimo la marina da guerra insieme ai piccoli vascelli e alle barche, queste cifre si dovrebbero aumentare di molto.

Purtroppo non disponiamo neppure di ordini di grandezza a proposito di un'altra fonte importante di energia, quale la polvere da sparo. Se il suo andamento fu lo stesso della costruzione di cannoni e armi di altro genere, si può allora sostenere, come scrisse C.M. Cipolla, che la quantità di polvere da sparo «aumentò in maniera drammatica».<sup>29</sup>

Le vele e i cannoni, i mezzi, cioè, dell'affermazione della potenza europea nel mondo si andavano moltiplicando rapidamente. A fronte di tutto questo, stava, invece, verificandosi una flessione, in termini pro capite, della disponibilità di energia nella forma di cibo per gli uomini e per gli animali e di legna come conseguenza dell'aumento della domanda, da una parte, e delle difficoltà di accrescere l'offerta, dall'altra. Tutto questo costituiva un freno al potenziale espansivo. Dal 1600 al 1800 la popolazione europea aumentò del 64 per cento, mentre il prodotto agricolo, che quasi coincide con la produzione e il consumo di energia nelle civiltà vegetali del passato, aumentò del 54 per cento.<sup>30</sup> La diminuzione del prodotto agricolo pro capite fu particolarmente forte fra il 1750-60 e il 1820 (Figura 3).<sup>31</sup>



La diminuzione di circa il 15 per cento nel periodo 1750-1820 si ebbe in tutte le regioni europee. In termini pro capite sia la produzione dei campi che quella dei pascoli e delle foreste andò diminuendo. Fino a qualche anno fa potevano esistere dubbi per quanto riguarda l'Inghilterra, in cui, nel Seicento, sia la produttività della terra che del lavoro in agricoltura erano cresciuti considerevolmente. Anche in Inghilterra la seconda metà del XVIII secolo non fu un periodo prospero. «Il consumo di cibo a persona diminuì, e raggiunse il suo punto più basso durante le guerre napoleoniche. In termini di consumi alimentari, l'idea di un impoverimento nella prima fase della rivoluzione industriale non fu un mito».<sup>32</sup> Il prodotto agricolo pro capite cadde in Inghilterra così come cadde in Italia, Belgio, Paesi Bassi.<sup>33</sup> Recenti ricerche sulla Turchia confermano la stessa caduta. Nel campo dell'antropometria storica è stato di recente messo in rilievo come il declino nella disponibilità di cibo si sia tradotto in una diminuzione della statura degli Europei: alcuni centimetri in meno. La tendenza è più o meno la stessa in tutto il continente. È stato notato come esista «una serie di cambiamenti collegati che collegano le temperature invernali più o meno fredde, il consumo più o meno elevato di proteine, l'andamento dei salari e, infine, la statura degli Europei».<sup>34</sup>

Il declino dell'estensione delle foreste è testimoniato dal rapido aumento nel prezzo della legna, di circa 3 volte fra 1700 e 1800.<sup>35</sup> In alcuni casi, l'aumento fu lo stesso di quello dei prodotti alimentari, le fonti di energia principali della popolazione che cresceva. In altri casi fu più forte. Si potrebbe parlare, come pure è stato fatto, di una *crisi ecologica*.<sup>36</sup>

In Inghilterra e Galles l'estensione delle foreste diminuì dal 7,9 per cento della superficie complessiva nel 1700 al 4 per cento nel 1800.<sup>37</sup> E' stato stimato che, fra 1750 e 1850, 146-186.000 kmq di bosco furono abbattuti in Europa (senza la Russia)<sup>38</sup>, il 30-35 per cento di tutta la superficie del continente; poco meno di tutto il suolo disboscato in Europa dal tardo Medioevo al 1650. Crescita demografica, moltiplicazione delle industrie, costruzioni edilizie: tutto questo doveva, a lungo andare, ripercuotersi anche sulla disponibilità complessiva di legname.<sup>39</sup> E la disponibilità di legname poteva, alla lunga, limitare l'attività di cantieri, arsenali, fornaci, e frenare la crescita demografica. Naturalmente, questo problema veniva avvertito di più nelle regioni settentrionali: a partire dal Cinquecento in particolare. La progressiva scarsità del legname è rivelata bene dal movimento dei prezzi. I prezzi inglesi del carbone di legna aumentarono decisamente già a partire dalla fine del Cinquecento e nel primo Seicento. In tutta Europa, nei secoli dell'Età Moderna, il combustibile fondamentale, quello che faceva fronte alla grande maggioranza dell'energia necessaria, cominciava a scarseggiare. Per fare fronte ai consumi di legna della popolazione europea sarebbe stata necessaria, nel 1850, una superficie boschiva pari alla metà del continente europeo e ben il 60-70 per cento intorno al 1900. Ma anche i campi e i pascoli avrebbero dovuto aumentare per fare fronte al nutrimento di uomini e animali da lavoro. Un'intensificazione nel settore agricolo era necessaria e, in effetti, si verificò, ma non sarebbe stata sufficiente a far fronte al fabbisogno energetico. La soluzione poteva essere quella di fronteggiare la situazione utilizzando fonti di energia che non venivano prodotte attraverso il suolo. Era l'unica soluzione del problema. L'alternativa sarebbe stata quella di seguire l'esempio cinese, con un drastico ridimensionamento dei consumi pro capite; con un impoverimento, cioè, delle popolazioni. L'intensificazione aveva limiti difficili da superare in Europa prima dei fertilizzanti chimici e dei trattori. Ma queste tecniche richiedevano, appunto, per essere realizzabili, un cambiamento nel sistema energetico dell'Europa. Sia i fertilizzanti chimici che i trattori, infatti si svilupparono e diffusero grazie ai combustibili fossili e all'elettricità.

**6. Il cambiamento nel sistema energetico.** Anche le fonti non riproducibili di energia hanno avuto origine dalla luce del Sole. Si tratta di giacimenti di combustibile formati nel corso di ere geologiche remote e in particolare nel Carbonifero, fra 360 e 280 milioni di anni fa. Dal momento che allora la vita animale non esisteva fuori dai mari, i vegetali terrestri avevano assorbito la luce solare senza che nessun animale potesse consumarli come fonti di energia. L'energia chimica che le piante possedevano si era accumulata in immensi giacimenti sotterranei, per milioni di anni. Un giurista tedesco –Johann Philipp Bünning–, in un suo libro pubblicato nel 1683, definì questi giacimenti sotterranei di piante fossili una *Sylva Subterranea*.<sup>40</sup> Questa foresta sotterranea ha cominciato ad essere sfruttata su grande scala soltanto in un'epoca recente: negli ultimi due secoli. E' certo che questa foresta si esaurirà; anche se è incerto quando. Al contrario dell'energia riproducibile, questa energia fossile è limitata nel lungo periodo. Nel breve periodo, però, il suo sfruttamento può essere accresciuto semplicemente attingendo in misura maggiore al serbatoio sotterraneo. Proprio per questo motivo l'energia fossile può costituire la base di attività economiche che crescono rapidamente. È una delle radici essenziali della Crescita Moderna. Semplificando, si potrebbe dire che, *mentre il sistema energetico del passato, basato sull'energia che proveniva ogni giorno dal Sole, poneva limiti alla crescita economica, quello dell'epoca contemporanea, basato sull'energia passata del Sole e accumulata nel sottosuolo, è stato ed è la base fondamentale della crescita economica moderna*. La Crescita Moderna coincide con l'epoca dei combustibili fossili. Solo grazie ai combustibili fossili è stato possibile un aumento decisivo nella disponibilità di energia. Se si considerano i consumi reali di energia fra Sette e Ottocento, si può assumere un valore medio di 15-20.000 calorie pro capite al giorno per tutto il continente: più vicino alle 15 che alle 20.000. Con una popolazione complessiva che a metà Settecento era di circa 150 milioni di abitanti (Russia compresa), il consumo annuo europeo può essere valutato fra 82 e 109 milioni di Tep.<sup>41</sup> Alla fine del XX secolo il consumo annuo europeo è stato di 2 miliardi di Tep. L'aumento dei consumi di energia è stato di circa 20 volte in 2 secoli.

Il carbon fossile era quasi del tutto ignoto nel mondo antico. In Europa, più tardi che in Cina, cominciò a essere usato, sia pure in misura modesta, alla fine del XII secolo. Nel Duecento sappiamo che veniva estratto in Inghilterra, in Scozia, nei Paesi Bassi, nei pressi di Aquisgrana, in Franca Contea, nel Lionese, nel Forez, nell'Angiò.<sup>42</sup> Anche la torba, un altro combustibile fossile formatosi nel corso di millenni nelle aree di antiche paludi, veniva già usato nell'XI secolo.



Nel Quattrocento si faceva un impiego piuttosto largo di carbon fossile e torba nei dintorni di Liegi e vicino a Newcastle. In regioni urbanizzate e quindi precocemente disboscate come le Fiandre, il ricorso alla torba era tale che già nel XV secolo alcuni giacimenti furono esauriti.<sup>43</sup> Nel complesso dell'Europa l'impiego di carbon fossile durante il Seicento e anche buona parte del Settecento rimase modesto: privo d'importanza reale sull'economia. Non così accadde, invece, nel caso dell'Inghilterra e in quello dei Paesi Bassi settentrionali. I successi economici di queste due regioni a partire dal Seicento furono in larga misura legati proprio allo sfruttamento di nuove risorse energetiche.<sup>44</sup> In tutta l'Inghilterra la produzione di carbone aumentò di 7-8 volte fra il 1530 e il 1630, grazie anche all'aumento della profondità dei pozzi e al drenaggio più efficiente delle miniere: fra le due date si passò da 200.000 tonnellate all'anno a 1.500.000, poi a 3 milioni nel 1700 e a 11 nel 1800. Si era soltanto all'inizio di una fase di forte espansione.<sup>45</sup>

Le attività industriali che facevano ricorso alla nuova fonte di energia divennero sempre più numerose: dalla produzione del sale, a quella dei vetri, agli arsenali, alla produzione di polvere da sparo e di birra, alle raffinerie di zucchero e alle industrie del sapone, alla lavorazione dell'allume, alla produzione di mattoni e tegole.<sup>46</sup>

Anche la civiltà olandese del Seicento deve gran parte del suo splendore al carbone; a quel particolare carbone che è la torba. Dal Cinquecento in poi la popolazione urbana dei Paesi Bassi settentrionali era cresciuta rapidamente: dal 31 per cento del totale verso il 1500, al 45 nel 1675. Allora i Paesi Bassi erano la zona più urbanizzata di tutta l'Europa. Nella provincia dell'Olanda, la metà della popolazione viveva in città nel Sei e Settecento. In conseguenza di una tale crescita, le foreste erano scomparse del tutto. La salvezza venne dalla torba, di cui esistevano estesi giacimenti nella regione, già conosciuti nel Quattrocento e forse prima, ma poco sfruttati.<sup>47</sup> Nel Seicento, Settecento e Ottocento furono estratti 6,2 miliardi di metri cubi di torba.

Fra Sette e Ottocento, tuttavia, non si verificò soltanto il passaggio da fonti vegetali di energia a fonti minerali. C'è un'altra differenza importante fra i sistemi energetici del passato preindustriale e quello del giorno d'oggi: altrettanto e forse più importante di quella appena ricordata. Nei sistemi energetici del passato il calore e il movimento erano separati. Si otteneva lavoro meccanico –movimento, cioè, che è la base di ogni lavoro produttivo- o attraverso i cibi che gli uomini e gli animali consumavano, o attraverso la capacità d'intercettare il movimento di masse d'aria o d'acqua per mezzo di macchine. Quando si bruciava legna o qualsiasi altro combustibile, quello che si riusciva ad adoperare a fini produttivi era soltanto il calore; che serviva per riscaldarsi, per cucinare i cibi, per l'illuminazione, per fondere i metalli, o per produrre le ceramiche, il vetro... Non c'era modo di trasformare il movimento disordinato degli atomi e delle molecole nel movimento ordinato di una macchina da sfruttare a fini produttivi. E' vero che già nel I secolo d.C. uno scienziato come Erone di Alessandria aveva escogitato meccanismi azionati dal vapore dell'acqua in ebollizione. Si era trattato di un'idea luminosa, che, però, non aveva avuto seguito. Nel Medioevo e nell'Età Moderna dei meccanismi di Erone nessuno si ricordava più.

Oggi siamo circondati da macchine di ogni genere, che sono messe in attività grazie al calore. Il calore viene sfruttato da organismi inanimati che compiono i lavori più diversi e che hanno ormai sostituito quasi del tutto le fatiche di uomini e di animali. Le macchine usate nelle fabbriche trasformano combustibili fossili in calore e generano lavoro; oppure utilizzano elettricità, che, a sua volta, è per lo più prodotta da turbine che consumano carburante. Le automobili, le navi, gli aerei bruciano combustibili che producono movimento. Ieri non era così. Le macchine esistenti erano complessi di parti mobili che trasformavano il movimento –del corpo di un uomo o di quello di animali- in altro movimento. Non esistevano meccanismi capaci di convertire calore in movimento. La possibilità di utilizzare macchine per sostituire il lavoro dei muscoli di uomini e animali era assai limitata. Il problema tecnico da risolvere non era semplice. In natura, infatti, il movimento dà origine spontaneamente al calore –una pietra che rotola; un muscolo che si contrae...-, mentre il calore non dà origine spontaneamente a un movimento ordinato da sfruttare a fini produttivi (anche se il calore è movimento di atomi e molecole). Solo nel Settecento, con la macchina a vapore di Thomas Newcomen prima e di James Watt dopo, inizia veramente l'*età delle macchine*. Si riesce a superare un ostacolo tecnologico fondamentale; che aveva mantenuto le capacità di compiere lavoro, e quindi di crescere, delle economie del passato, entro limiti difficilmente valicabili.

**7. Conclusione.** Possiamo riprendere le fila, sottolineando i punti essenziali:

1. il passaggio dall'economia tradizionale a quella della crescita moderna si verificò in Europa. Sua condizione necessaria, anche se non sufficiente, fu la transizione energetica che avvenne nell'Ottocento: il passaggio, cioè, da fonti vegetali a fonti minerali di energia;
2. la transizione fu, in Europa, la conseguenza di certe caratteristiche strutturali del sistema agricolo europeo e del maggiore bisogno di energia degli Europei; bisogno crescente dal momento che l'equilibrio demografico del continente tendeva sempre di più a spostarsi verso Nord;
3. la transizione fu accelerata dai cambiamenti profondi che avvennero nell'economia fra il 1650 e il 1850 e specialmente dalla crisi energetica che durò approssimativamente dal 1750 al 1820;
4. i cambiamenti nell'economia consistettero nello slancio demografico, da una parte, e dal cambiamento climatico, che determinò un declino nella disponibilità pro capite di energia, dall'altra. Mentre la domanda di energia cresceva, l'offerta di risorse energetiche non teneva il passo con questa crescita.

Per rispondere a questi problemi si ricorse a nuove fonti di energia fossili. I cambiamenti nelle tecniche che ad esse si legarono misero in moto il meccanismo della crescita moderna.

Modena, 7 settembre 2005

---

*Il tema di questo saggio è discusso più ampiamente in P. Malanima, "Energy Crisis and Growth 1650-1850. The European Deviation in a Comparative Perspective", in stampa nel "Journal of Global History" della Cambridge University Press; e in P. Malanima, "Ambiente, clima, risorse", in "Storia d'Europa e del Mediterraneo", diretta da A. Barbero, vol. X, Salerno editrice (in corso di stampa).*

1 E' quanto ha sostenuto K. Pomeranz, La grande divergenza. La Cina, l'Europa e la nascita dell'economia mondiale moderna, Bologna, Il Mulino, 2004 [I ed. 2000].

3 A. Maddison, Chinese economic performance in the long run, Paris, OECD, 1998.

4 Si fa riferimento alle fonti di energia primarie (che non hanno subito trasformazioni) e che hanno un valore economico per l'uomo: esempi, non alla vegetazione che si forma ogni anno in una foresta, ma alla vegetazione che viene sfruttata dagli uomini per riscaldamento, cucina e attività economiche varie; non alla luce del sole, che è una fonte gratuita, ma alla luce del sole trasformata dalla vegetazione. I convertitori di energia sono gli organismi – biologici e meccanici – che trasformano l'energia primaria. Per tutto questo rimando a P. Malanima, Energia e crescita nell'Europa preindustriale, Roma, NIS, 1996.

5 L'espressione di "economia organica", usata da Wrigley, può risultare ambigua. Sappiamo, infatti, dalla chimica, che "organico" è l'aggettivo che si usa per i composti del carbonio. L'economia d'ieri era certamente "organica", nella sua base energetica, in quanto le sue maggiori fonti di energia erano composti del carbonio. Ma anche quella di oggi è un'economia organica, dal momento che il carbon fossile, il petrolio e il gas naturale sono composti del carbonio. Anzi, tutto considerato, se guardiamo al volume dei consumi di energia di oggi, l'economia attuale è assai più "organica" di quella d'ieri.

6 E.A. Wrigley, La rivoluzione industriale in Inghilterra, Bologna, Il Mulino, 1992 [I ed. 1988].

7 E.A. Wrigley, Poverty, progress and population, Cambridge, Cambridge University Press, 2004, p. 75.

8 Sui consumi di energia nelle civiltà del passato si vedano, fra i molti contributi, A. Caracciolo, R. Morelli, La cattura dell'energia. L'economia europea dalla protostoria al mondo moderno, Roma, NIS, 1996, e V. Smil, Storia dell'energia, Bologna, Il Mulino, 2000 [I ed. 1994].

9 Di solito si fa risalire il mulino a acqua al I secolo a.C. Di recente sono state proposte datazioni anteriori. Si veda soprattutto A. Wilson, Machines, power and the ancient economy, in "Journal of Roman Studies", 92, 2002.

10 Si vedano i calcoli in Malanima, Energia e crescita.

11 Si vedano i dati in A. Maddison, The world economy: historical statistics, Paris, OECD, 2003.

12 R.P. Sieferle, The subterranean forest. Energy systems and the Industrial Revolution, Cambridge, White Horse, 2001 [I ed. 1982].

13 W.S. Jevons, The coal question, Kelley, New York 1965 [I ed. 1865].

---

14 C.M. Cipolla, *Uomini, tecniche, economie*, Milano, Feltrinelli, 1966 [I ed. 1962].

15 I dati sono tratti da P. Malanima, *The Energy basis for early modern growth 1650-1820*, in *Early Modern Capitalism. Economic and social change in Europe, 1400-1800*, a cura di M. Prak, London and New York, Routledge, 2000.

16 I dati sulla popolazione sono tratti da J-N. Biraben, *Essai sur l'évolution du nombre des hommes*, in "Population", 34, 1979.

17 Benché sia stato compensato dalla forte immigrazione alla fine del Novecento.

18 Si veda specialmente M. Mann e P.D. Jones, *Global surface temperatures over the past two Millennia*, in "Geophysical Research Letters", 30, N°. 15, August, 2003, (e i dati in IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology. Data Contribution Series #2003-051. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA).

19 Si vedano le considerazioni in L. Bozhong, *Changes in climate, land, and human efforts. The production of wet-field rice in Jiangnan during the Ming and Qing dynasties*, in *Sediments of time. Environment and Society in Chinese History*, a cura di M. Elvin, L. Ts'ui-jung, Cambridge, Cambridge University Press, 1998.

20 A. Michaelowa, *The impact of short-term climate change on British and French agriculture and population in the first half of the 18th century*, in *History and climate. Memories of the future?*, a cura di Ph. Jones, A. Ogilvie, T. Davis, New York, Kluwer, 2001, pp. 201-18, pp. 201 ss. Si veda anche Brian Fagan, *The Little Ice Age. How climate made history 1300-1850*, New York, Basic Books, 2000.

21 M.E. Mann, E. Gille, R.S. Bradley, M.K. Hughes, J. Overpeck, F.T. Keimig, W. Gross, *Global temperatures patterns in past centuries: an interactive presentation*, in "Earth Interactions", 4, n. 4, 2000, presentano un grafico della presenza di macchie solari a partire dal 1600 in poi.

22 E. Corona, *Cambiamento globale del clima: stato della ricerca italiana*, in "Atti dei convegni Lincei", 95, 1992.

23 C. Pfister, *Klimageschichte der Schweiz von 1525-1860. Das Klima der Schweiz und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft*, Bern: Haupt, 1988, pp. 38 ss., e *Monthly temperature and precipitation patterns in Central Europe from 1525 to the present*, in *Climate since 1500 A.D.*, a cura di R.S. Bradley, P.D. Jones, London, Routledge, 1992.

24 G. Koslowski-R. Glaser, *Reconstruction of the Winter severity since 1701 in the Western Baltic*, in "Climatic change", 31, 1995.

25 Riprendo i dati da L. Makkai, *Productivité et exploitation des sources d'énergie (XIIe-XVIIe siècle)*, in *Produttività e tecnologie nei secoli XII-XVII*, a cura di S. Mariotti, Firenze, Le Monnier, 1981, pp. 165-181.

26 Concordano le cifre elaborate indipendentemente da Makkai, *Productivité*, p. 178 e Braudel, *Civiltà materiale economia e capitalismo*, Torino, Einaudi, 1982 [I ed. 1979], I, pp. 325 ss.

27 Davids, *Innovations in windmill technology in Europe, c. 1500-1800*, in *Economia e energia secc. XIII-XVIII*, a cura di S. Cavaciocchi, Istituto Internazionale di Storia economica "F. Datini", Firenze 2003, pp. 271-92.

28 Maddison, *The World economy. A millennial perspective*, Paris, OECD, 2001, p. 77; J.L. Van Zanden, *Early Modern economic growth. A survey of the European economy, 1500-1800*, in *Early Modern Capitalism*, p. 82.

29 C.M. Cipolla, *Vele e cannoni*, Bologna, Il Mulino, 1983 [I ed.1965], p. 64.

30 Da R.C. Allen, *Economic structure and agricultural productivity in Europe, 1300-1800*, in "European Review of Economic History", IV, 2000.

31 La figura è basata sui dati in Allen, *Economic structure (media europea ponderata)*.

32 R.C. Allen, *Tracking the agricultural revolution in England*, in "Economic History Review", II s., LII, 1999, p. 217.

33 Per l'Italia si veda G. Federico-P. Malanima, *Progress, decline, growth: product and productivity in Italian agriculture 1000-2000*, in "Economic History Review", II s., LVII, 2004.

34 J. Baten, *Climate, grain production and nutritional status in Southern Germany during the XVIIIth century*, in "Journal of European Economic History", 30, 2001, p. 43.

35 R.C. Allen, *Was there a timber crisis in early modern Europe?*, in *Economia e energia secc. XIII-XVIII*, a cura di S. Cavaciocchi, Istituto Internazionale di Storia economica "F. Datini", Firenze, Le Monnier, 2003, p. 479 (anche se la conclusione di Allen è diversa dalla mia).

36 Pomeranz, *La grande divergenza*.

---

37 Sieferle, *The subterranean forest*, p. 101.

38 M. Williams, *Forests*, in, *The Earth transformed by human action*, a cura di B.L. Turner, Cambridge (Mass.), Cambridge University Press, 1990, p. 180.

39 Da Malanima, *Energia e crescita*, p. 57.

40 Sieferle, *The subterranean forest*, p. 181.

41 Un Tep (tonnellata equivalente di petrolio) corrisponde a 10 milioni di Calorie.

42 J. Nef, *Le miniere Le miniere e la metallurgia*, in *Storia economica Cambridge*, II, Torino, Einaudi, 1974, p. 495.

43 De Zeeuw, *Peat and the Dutch golden age. The historical meaning of energy-attainability*, in "A.A.G. Bijdragen", 21, 1978.

44 A. Van der Woude, *Introduction*, in *Urbanization in history. A process of dynamic interactions*, a cura di A. Van der Woude, A. Hayami, J. De Vries, Oxford, Clarendon Press, 1990, p. 12.

<sup>45</sup> R. Eden, M. Posner, M. Bending, E. Crouch, J. Stanislaw, *Energy economics. Growth, resources and policies*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 99. Una tonnellata di carbon fossile corrisponde a circa 7 milioni di Calorie o 0,7 Tep.

<sup>46</sup> J. Nef, *A comparison of industrial growth in France and England from 1540 to 1640*, in Id., *The conquest conquest of the material world*, Chicago and London, 1964, pp. 169-70.

<sup>47</sup> Su tutto ciò si veda De Zeeuw, *Peat and the Dutch golden age*.