

**Zeitschrift:** Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

**Herausgeber:** Società Svizzera Ingegneri e Architetti

**Band:** - (2001)

**Heft:** 6

**Artikel:** Futuro energetico e sviluppo sostenibile

**Autor:** Romer, Arturo

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-132235>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 19.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Futuro energetico e sviluppo sostenibile

Arturo Romer

Dai tempi del vertice di Rio (1992) non esiste niente di più sostenibile del parlare e discutere sullo sviluppo sostenibile. Tra il dire e il fare purtroppo c'è di mezzo il mare, come si suol dire. Se da un lato i vari movimenti e la pluralità degli Stati accettano a grandi linee il concetto di «sviluppo sostenibile», si deve constatare dall'altro che esistono grandi divergenze e differenze nell'interpretazione del concetto e nella traduzione in pratica della filosofia di fondo. La famosa commissione «Brundtland» ha coniato una definizione di sviluppo sostenibile messa in evidenza nella figura 1.

L'obiettivo dello sviluppo sostenibile consiste quindi nel dare un'eredità a tutte le future generazioni, un'eredità che permetta a queste di usufruire di una qualità di vita della stessa potenzialità di possibilità e di scelte di cui gode l'odierna società dei paesi industrializzati. Si tratta pertanto di riuscire a conciliare a lungo termine il miglioramento delle condizioni economico-sociali umane con le basi vitali ambientali. Con questa definizione di sostenibilità non è però chiarito come raggiungere in concreto gli obiettivi. Ciò vale in particolar modo nel campo energetico. Ricordiamo che il concetto di sviluppo sostenibile poggia su tre pilastri o dimensioni: una dimensione economica, una ecologica e una sociale.

Oggi purtroppo c'è la tendenza che ognuno interpreta il concetto di sviluppo sostenibile a proprio piacimento, mettendo l'accento sulla dimensione o sulle dimensioni che meglio corrispondono alla propria visione o ideologia. C'è chi dà la priorità all'aspetto economico, trascurando gli aspetti ecologici e sociali e viceversa. L'interpretazione non può comunque ignorare le leggi fisiche, ossia, le leggi della natura. In questo contesto il secondo principio della termodinamica è di fondamentale importanza.

In parole semplici il Secondo Principio della termodinamica afferma che «è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di assorbire una quantità di calore  $Q$  da una sorgente di calore e trasformarla completamente in energia meccanica  $L$  (= lavoro)». Clausius ha dato

*Uno sviluppo si dice sostenibile se soddisfa le esigenze di tutti i paesi e gruppi di popolazioni dell'odierna generazione, senza compromettere la possibilità a future generazioni di soddisfare le proprie esigenze. Uno sviluppo degno del termine „sostenibile“ garantisce il mantenimento della molteplicità della natura (animali e piante).*

*Commissione Brundtland*

Fig.1 – Sviluppo sostenibile, Commissione Brundtland

una definizione equivalente: «È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia il passaggio di calore da un corpo a una data temperatura ad un altro di temperatura più alta». Per capire meglio le trasformazioni nei sistemi termodinamici, i fisici hanno introdotto il concetto di «Entropia», che è una misura del grado di ordine, rispettivamente di disordine. Il concetto di entropia aiuta a comprendere in quale direzione i sistemi termodinamici evolvono. È noto che il Secondo Principio pone delle limitazioni ai processi naturali. Per esempio: due corpi, inizialmente a temperature diverse, se messi a contatto raggiungono dopo un certo lasso di tempo la stessa temperatura. Non si è mai osservato il processo inverso. Nell'universo in cui viviamo, l'energia si conserva, ma si trasforma, assumendo forme che non sono tutte ugualmente pregiate. Infatti, 1 kWh di energia elettrica è molto più pregiato di 1 kWh di energia termica.

È evidente che l'interesse particolare che l'uomo ha nell'energia sta nel fatto che può ottenerne lavoro (= exergia). E il lavoro è equivalente a energia elettrica. È dunque un fatto essenziale che in natura non tutte le forme di energia siano ugualmente pregiate ai fini di ottenere lavoro. Più è pregiata l'energia, minore è la variazione di entropia. Quando una conversione energetica avviene da forme di energia più pregiate (= più ordinate) a forme di energia meno pregiate (= più disordinate), si

genera un aumento di entropia (= aumento del disordine) nell'universo. Il Secondo Principio della termodinamica dice dunque nell'essenza quanto segue: la realizzazione di maggiore complessità (= maggiore ordine) come p.e. la nascita di vita, la costruzione di oggetti, di impianti e di macchine ecc. è inevitabilmente legata globalmente a un degrado di energia, ossia a un aumento di entropia (= aumento di disordine) nell'universo. Organismi viventi mantengono o aumentano il loro stato d'ordine (= stato di complessità) grazie all'exergia (= lavoro) che prelevano dall'ambiente, per esempio tramite il cibo con conseguente aumento del disordine (= aumento di entropia) nell'ambiente.

Nella realizzazione dello sviluppo sostenibile contano essenzialmente tre fattori:

- la disponibilità di energia, possibilmente energia pregiata;
- la disponibilità di materie prime;
- la disponibilità di sapere.

Va sottolineato che il sapere è fondamentale. Il sapere è limitato in ogni epoca, ma non si consuma, non degrada e può essere incrementato grazie alla ricerca. Una domanda di particolare interesse e importanza è la questione della sostenibilità delle varie fonti energetiche (rinnovabili e non rinnovabili). Molte persone considerano (in buona fede) unicamente le fonti rinnovabili conciliabili con lo sviluppo sostenibile. Tale ragionamento non tiene per due motivi: primo, le fonti rinnovabili dipendono anch'esse da risorse non rinnovabili (p.e. dalle materie prime per la costruzione degli impianti) e, secondo, la rinuncia ai vettori fossili da parte della società di oggi implicherebbe per motivi di coerenza anche la rinuncia ad essi da parte delle future generazioni. Rispettare i principi dello sviluppo sostenibile vuol dire invece lasciare ai posteri in eredità una base di risorse energetiche, tecniche, economiche, scientifiche e materiali che permettano ad essi di godere di un livello di vita almeno equivalente al nostro. Decisivo è il fatto dell'efficienza in senso lato, ossia: una determinata prestazione energetica è più efficiente di un'altra se richiede globalmente meno risorse, compresa la risorsa «ambiente». Ecco perché è necessario valutare i vari sistemi energetici sulla base della così detta verità dei costi, compresi i costi esterni (= costi sociali), di cui fanno parte i costi ambientali. Ma ritorniamo al tema, cioè al futuro energetico: oggi, e anche nei prossimi decenni, il grosso dell'energia primaria sarà consumato sotto forma di vettori fossili (carbone, petrolio, gas, legna). Le rispettive risorse non sono infinite, anzi, le riserve di petrolio e di gas sono in realtà assai limitate (60 - 70 anni). Le riserve di carbone sono più consistenti,

	Milioni di abitanti [mio]	PNL/capite [US\$]	Consumo annuo [tep/capite]	Consumo annuo di elettricità [kWh <sub>el</sub> /capite]	t CO <sub>2</sub> /tep	Emissione annua di CO <sub>2</sub> [t CO <sub>2</sub> /capite]
Mondo	5'839	4'443	1,64	2'252	2,35	3,86
USA	269	26'176	8,11	13'388	2,48	20,1
Canada	30,3	22'004	7,73	16'349	2,04	15,75
Giappone	126,49	26'117	4,03	8'008	2,21	8,92
Germania	82,02	22'864	4,2	6'482	2,49	10,45
Russia	146,91	2'276	3,96	4'873	2,43	9,64
Italia	56,98	21'039	2,95	4'949	2,54	7,48
Svizzera	7,11	33'314	3,74	7'482	1,53	5,74
Brasile	165,87	3'475	1,05	1'851	1,69	1,78
Cina	1'238,6	650	0,83	872	2,77	2,3
India	979,67	510	0,49	416	1,9	0,93
Bangladesh	125,63	343	0,16	86	1,19	0,19

Tab.1 – Dati energetico-ambientali specifici per alcuni paesi (anno 1998). Fonte: IEA  
tep = tonnellata equivalente petrolio, PNL = prodotto nazionale lordo

Indicatore	Riserve di combustibile	Consumo di materiale (p.e. minereale di rame)	Gas ad effetto serra	Ossidi di zolfo	Rifiuti per deponia	Scorie di alta e media radio- attività	Costi di produzio- ne dell'e- nergia elettr. del sistema	Costi esterni
Sistema	Anni	kg/GWh <sub>el</sub>	t(CO <sub>2</sub> -eq)/GWh <sub>el</sub>	kg(SO <sub>2</sub> )/GWh <sub>el</sub>	kg/GWh <sub>el</sub>	kg/GWh <sub>el</sub>	cts/kWh <sub>el</sub>	cts/kWh <sub>el</sub>
Carbone	160 - 2'300	14 - 19	950 - 1'200	920 - 25'000	5'800 - 54'000	0,13 - 0,20	5,7 - 7,4	3,1 - 15,8
Gas naturale	70 - 170	16	530	260	1'500	0,04	4,7 - 5,8	0,8 - 5,5
Energia nucleare	120 - 400	7 - 9	8 - 29	56 - 150	650 - 1'200	9,0 - 11,0	5,1 - 7,5	0,2 - 1,3
Forza idrica	–	< 1	4	8 - 10	30	0,006 -	centrale fluviale 3 - 14 centrale ad accumula- zione 4 - 21	centrale fluviale esigui centrale ad accumula- zione 0 - 1,2
Energia fotovoltaica	–	270 - 1'600	110 - 260	700 - 3'600	4'900 - 10'000	0,6 - 1,2	70 - 140	0,1 - 1,5

Tab. 2 – Indicatori rilevanti di sistemi di produzione di elettricità  
Fonte: PSI, Villigen, anno 2000

ma rappresentano aspetti tecnico-ambientali che devono essere seguiti e studiati con la massima attenzione e responsabilità.

Le «nuove energie rinnovabili» vengono oggi spesso sopravvalutate. Si deve sapere che i rispettivi impianti di produzione richiedono molto materiale (quindi molta «energia grigia») e grandi superfici. Ciò è dovuto alla bassa densità energetica delle energie rinnovabili. A lungo termine le nuove

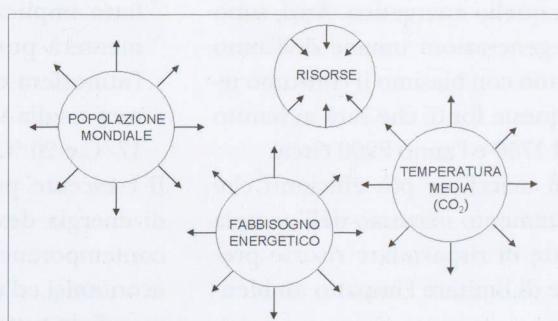


Fig. 2 – Problemi planetari

energie rinnovabili daranno senza dubbio un contributo importante.

In questo articolo non si intende fare il troppo frequente discorso moralistico sul consumo energetico. Vanno assolutamente evitati lo spreco e l'inefficienza. Ma un sufficiente approvvigionamento energetico fa parte dei più elementari diritti umani. Tre quarti dell'umanità non dispongono ancora di quella quantità di energia che garantisce una qualità di vita degna di ogni essere umano. Percorrendo la storia e proiettandola con una reale dose di ottimismo nel futuro, si può pure prevedere che a lungo termine il consumo energetico pro capite aumenterà. Occorre insistere su pochi, ma fondamentali aspetti che contano e conteranno veramente: massima efficienza, niente sprechi, sviluppo sostenibile, distribuzione più equa tra nord e sud, e ricerca, ricerca, ricerca, ...

Nei prossimi decenni il consumo di energia sarà basato secondo le previsioni più autorevoli (World Energy Council, Agenzia Internazionale dell'Energia) innanzitutto sull'energia fossile (oltre l'80%). Questo articolo presenta dei dati concreti riguardanti il consumo odierno e futuro di energia primaria a livello mondiale. Vengono forniti anche dei dati sulle emissioni di CO<sub>2</sub> quale conseguenza della combustione dei vettori fossili. Non si deve comunque dimenticare che la combustione dei vettori fossili (carbone, petrolio, gas naturale e biomassa) comporta inevitabilmente anche emissioni di altri gas nocivi per l'uomo e per l'ambiente, per esempio CO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. Fornendo questi dati desidero porre l'accento sulle seguenti riflessioni:

- l'uso intelligente e razionale dell'energia in generale e dell'energia fossile in particolare ha assoluta priorità indipendentemente dal fatto che le attuali previsioni e timori sull'effetto serra, condivisi dalla maggioranza dell'odierna comunità scientifica, dovessero rivelarsi in definitiva esatte;
- le risorse di carbone, petrolio e gas naturale non dovrebbero essere necessariamente bruciate, e soprattutto non in un breve lasso di tempo, essendo materie prime preziosissime per tanti altri settori oltre a quello energetico. Anzi, sono convinto che le generazioni umane dell'anno 3000 giudicheranno con biasimo il consumo irresponsabile di queste fonti, che sarà avvenuto nel periodo tra il 1750 e l'anno 2200 circa;
- la costruzione di macchine più efficienti che mirino allo sfruttamento massimo dell'energia primaria permette di risparmiare risorse preziose da un lato e di limitare l'impatto ambientale dall'altro;

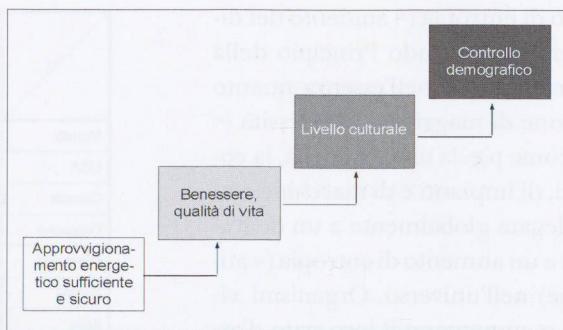


Fig. 3 – Conseguenze logiche di un approvvigionamento energetico sufficiente e sicuro

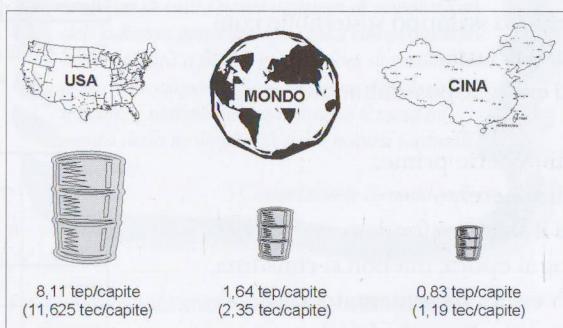


Fig. 4 – Il consumo annuo di energia primaria pro capite (1998)

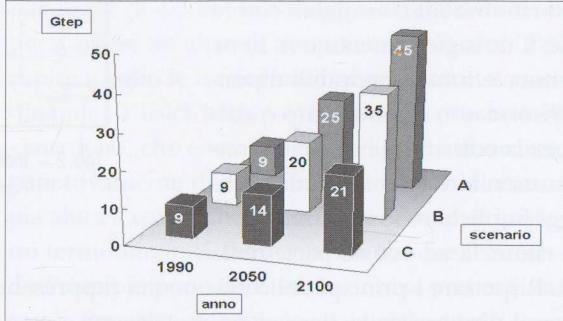


Fig. 5 – Il consumo energetico mondiale (3 scenari)  
1 Gtep =  $4,2 \cdot 10^{18}$  [J]

– la fame di energia è immensa. Il 75 % dell'umanità non dispone di un sufficiente approvvigionamento energetico. Il consumo globale di energia aumenterà per forza. Questo dato di fatto implica però un effetto inevitabile: aumenterà pure l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) nell'atmosfera e negli oceani. L'odierna temperatura media terrestre è di 15,3 °C. Si situerà tra 17 °C e 20 °C entro l'anno 2100.

Il crescente problema dell'approvvigionamento di energia deve essere affrontato considerando contemporaneamente gli aspetti politico-sociali, economici ed ecologici che coinvolgono a livello mondiale tutte le nazioni o regioni geografiche,

ognuna con le sue particolari esigenze e difficoltà. Per avere una chiara idea del problema e per avere delle possibili interpretazioni diversificate dello stesso, lo studio compiuto dall'Agenzia internazionale dell'energia ([www.iea.org](http://www.iea.org)) comprende 3 diversi scenari di previsione, chiamati A, B e C. Ognuno di questi scenari presenta dei parametri diversi per lo sviluppo economico, il risparmio di energia, la circolazione di tecnologie e gli investimenti. A questi scenari corrispondono possibili sviluppi della situazione mondiale nell'ambito energetico. Gli scenari A e C rappresentano il consumo energetico corrispondente alla stima massima e minima, lo scenario B può essere considerato come la via più probabile.

Il fatto che la maggior parte del CO<sub>2</sub> derivi dalla produzione e dal consumo di energia induce a interrogarsi sulle possibilità di limitare, modificare o ridefinire il consumo di energia di oggi e soprattutto quello di domani. Questo non significa necessariamente che il tenore di vita debba diminuire.

Il contenimento delle emissioni di CO<sub>2</sub> deve avvenire sia a livello di produzione che di consumo di energia. Le nazioni industrializzate dovranno fare uno sforzo particolare in questo ambito. Esse rappresentano circa il 25% della popolazione mondiale e sono responsabili di circa il 75% del consumo energetico. Questo quarto di popolazione ha ovvie responsabilità di guida nella ricerca di soluzioni sostenibili.

#### Fonti

- [www.iea.org](http://www.iea.org)
- [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)
- [www.psi.ch/GABE](http://www.psi.ch/GABE)
- [www.energie-energy.ch](http://www.energie-energy.ch)
- [www.admin.ch/buwal](http://www.admin.ch/buwal)
- [www.admin.ch/bfe](http://www.admin.ch/bfe)
- [www.elettricità.ch](http://www.elettricità.ch)
- [www.rff.org](http://www.rff.org)
- <http://csf.colorado.edu>
- [www.sustainable.doe.gov](http://www.sustainable.doe.gov)
- [www.globaled.org/sustain/sustain.html](http://www.globaled.org/sustain/sustain.html)
- [www.infoambiente.it/proposte/impresa.htm](http://www.infoambiente.it/proposte/impresa.htm)
- [www.svilupposostenibile.org](http://www.svilupposostenibile.org)
- [www.buwal.ch/i/themen/grundl/nachhalt/index.htm](http://www.buwal.ch/i/themen/grundl/nachhalt/index.htm)
- [www.unifr.ch/environ/](http://www.unifr.ch/environ/)
- [www.novatlantis.ch](http://www.novatlantis.ch)

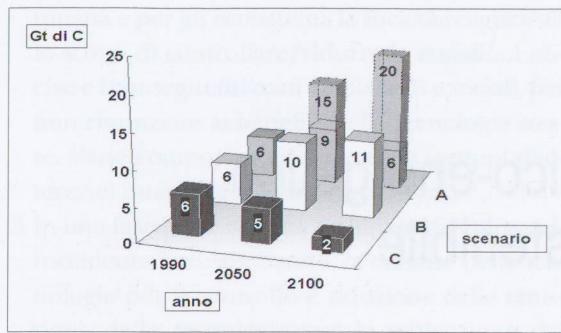


Fig. 6 – Emissione annua di carbonio in Gt di C

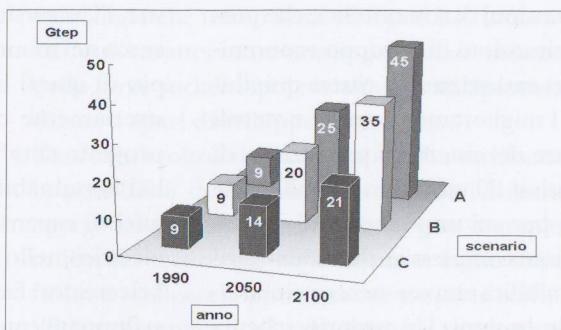


Fig. 7 – Emissione annua di CO<sub>2</sub> in Gt di CO<sub>2</sub>

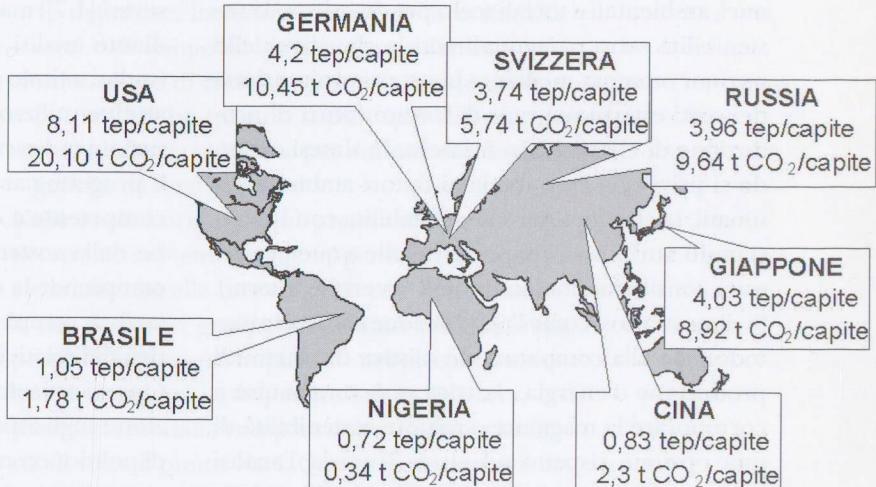


Fig. 8 – Consumo energetico pro capite ed emissioni di CO<sub>2</sub> in varie parti del mondo (anno 1998)  
1 tep = 1 tonnellata equivalente petrolio