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

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (1998)

Heft: 2

Artikel: L'effetto serra

Autor: Romer, Arturo

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-131402

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: 13.07.2025

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

L'effetto serra

Arturo Romer

The greenhouse effect

1. Introduzione

L'equilibrio climatico si è spezzato: è quanto si è portati a credere se si presta attenzione alla letteratura, alle cronache sui giornali e in televisione e più in generale al dibattito su quel fenomeno che la stampa ha battezzato «effetto serra». Il mantenimento di un ambiente incontaminato e conforme alle esigenze della vita è uno dei compiti prioritari dell'umanità. I cambiamenti climatici hanno superato negli ultimi 50-100 anni quantitativamente le fluttuazioni verificatesi negli ultimi 10'000 anni. Anche se non sono ancora valutabili singolarmente con precisione, essi costituiscono dal punto di vista delle ripercussioni ecologiche, economiche e sociali, certamente un rischio e una minaccia per l'umanità. Questo rischio è aggravato dal fatto che il fenomeno «effetto serra» si insinua in modo quasi invisibile – perlomeno per l'uomo comune – invece di manifestarsi come una violenta catastrofe. Considerati i lunghi tempi durante i quali si verificano i cambiamenti climatici, le precauzioni non sono dettate – come spesso accade – dalla ricerca di un profitto a breve termine, bensì da un profondo atteggiamento etico. Faremmo un pessimo gesto nei confronti dei nostri figli e nipoti se ci fissassimo unicamente sugli eventi istantanei e non fossimo in grado di riconoscere in anticipo i pericoli che prendono lentamente forma e di adottare le misure necessarie.

Il presente articolo si propone di analizzare con occhio critico e realismo il fenomeno dell'effetto serra e di indicare possibilità concrete di ridurlo. Le strategie di risposta ai rischi dell'effetto serra dipendono dall'orizzonte temporale che si intende considerare. Per orizzonti temporali che non superano i 10-15 anni, si può fare riferimento a proiezioni, costruite estrapolando al futuro i comportamenti del recente passato e del presente. Per orizzonti che si estendono a 50 anni e più, conviene far capo a metodologie in grado di fornire anticipazioni sulle possibili modifiche dei sistemi e delle tecniche energetiche.

Nel corso della storia, l'uomo è riuscito a migliorare costantemente la sua qualità di vita grazie ad una crescente disponibilità di energia primaria, il fuoco, l'agricoltura, l'animale, il carbone, il petrolio, il gas, l'acqua, il vento, l'uranio. Se la sua inventiva, il suo agire e la sua ricerca saranno guidati ed accompagnati da uno spirito etico, la sua sopravvivenza e la sua qualità di vita saranno salvaguardati anche in futuro. Se l'obiettivo di uno sviluppo sostenibile sarà compreso fino in fondo dagli scienziati, dai tecnici, dai politici e dalla società civile, allora gli scenari apocalittici non avranno più ragion d'essere.

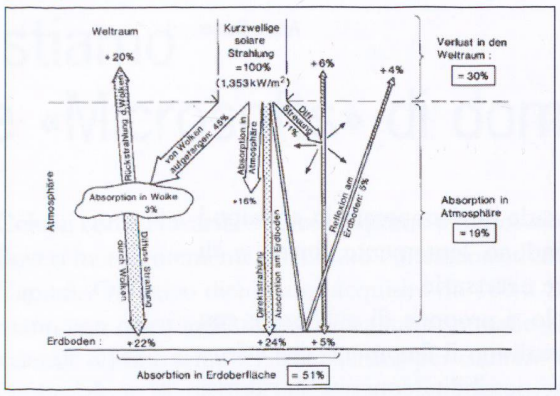
> Il cambiamento climatico globale è un problema serio.
>
> Non possiamo più permetterci di imparare solamente per esperienza vissuta.
>
> La scienza ci ha messo a disposizione degli strumenti per guardare verso il futuro e per prevedere gli effetti a medio e lungo termine.

1 — Una riflessione di fondo

2. L'effetto serra

Si distingue tra un effetto serra naturale della terra e un effetto serra antropogenico, causato o accentuato dall'emissione sempre maggiore di determinati gas a effetto serra.

Desidero prima parlare dell'effetto serra naturale. Le riflessioni partono dalla constatazione seguente: il sole, che, con una temperatura centrale di circa 20 milioni di Kelvin, trasforma in energia 4,2 milioni di tonnellate di materia al secondo in base all'equazione che collega massa ed energia ($E = mc^2$), presenta una temperatura superficiale di circa 6000 K ed emette enormi quantità di energia sotto forma di radiazioni di fotoni visibili.



2 — La radiazione solare entrante e quella riflessa (fonte: W. Seifritz, p. 20)

Una parte di questa energia elettromagnetica, che viene irraggiata in tutte le direzioni, è assorbita dalla terra, la quale avrebbe una temperatura di 255 K (= –18°C) se fosse priva di atmosfera, benché la sua superficie riceva pur sempre un flusso radiativo pari a 1367 ± 0,5 W/m² (costante solare S_O).

Con un raggio terrestre R = 6378 km, la potenza di radiazione complessiva P assorbita dalla sezione terrestre è quindi di

$$P = \pi R^2 S_O = 175 \text{ PW} = 175 \cdot 10^{12} \text{ kW},$$

mentre il flusso radiativo medio che colpisce la superficie totale della terra nel ritmo notte-giorno è di

$$P = S_O / 4 = 343 \text{ W/m}^2.$$

Una parte di questo calore viene assorbito dalla terra, la quale raggiunge così una temperatura di superficie di 288 K (≈ 15°C). Per mantenere questa temperatura media, la terra deve a sua volta riflettere la maggior parte dell'energia ricevuta dal sole – altrimenti sarebbe come un forno – il che è perfettamente possibile in uno spazio cosmico con una temperatura di soli 3 K.
Tale energia viene irradiata dalla terra sotto forma sia di luce visibile che di calore (radiazione infrarossa), percepibile non con la vista ma con il tatto. Per quanto riguarda l'energia luminosa, il 51% dell'energia incidente è assorbito dalla superficie terrestre, il 19% dall'atmosfera, mentre il 30% viene riflesso nello spazio (la cosiddetta albedo della terra), principalmente tramite la diffusione delle nubi. Il tenore di vapore acqueo dell'atmosfera ha quindi un forte influsso sul bilancio delle radiazioni di luce visibile.
Siccome il bilancio delle radiazioni deve quadrare anche a livello globale, occorre indagare sul «resto» dell'energia. Infatti, solo il 30% della radiazione incidente è riflesso sotto forma di luce visibile; di conseguenza, il 70% deve essere riflesso sotto forma di raggi infrarossi, di cui il 64% proviene dall'atmosfera. Qui si verifica uno scambio di energia complesso, che non comprende unicamente processi d'irraggiamento, ma anche fenomeni di altra natura (convezione, turbolenza, evaporazione, condensazione).
La legge di Stefan-Boltzmann fornisce il seguente bilancio:

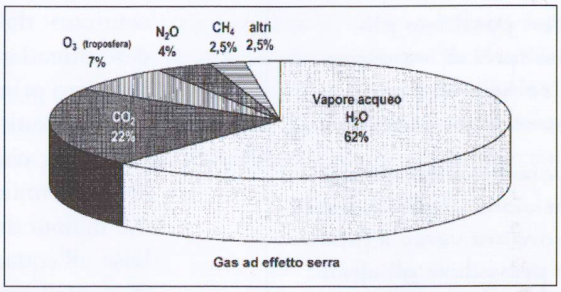
$$\frac{S_O (1-A)}{4} = \frac{1367\,(1-0{,}3)}{4} = 239{,}2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = \sigma T_O^4$$

dove σ è la costante di Stefan-Boltzmann

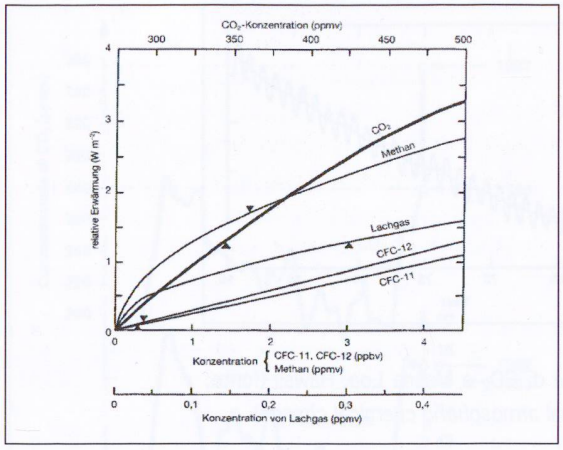
$$(= 5{,}67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

e A la albedo della terra.

In base all'equazione si ottiene una temperatura della superficie della terra T_O = 255 K. Ma siccome la terra presenta una temperatura media di 288 K, si ha un innalzamento della temperatura per effetto dell'atmosfera terrestre di 33 K. È proprio grazie a questo effetto serra naturale dell'atmosfera che la terra è abitabile, pur presentando notevoli differenze locali di temperatura.
La figura 3 rappresenta i gas che costituiscono l'effetto serra naturale. Si noti il ruolo essenziale del vapore acqueo.



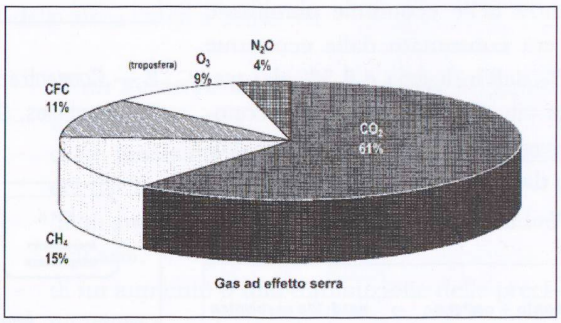
3 — L'effetto serra naturale (ΔT = 33°C) (fonte: Ch. Schönwiese, Klimaänderungen, 1995; disegno: A. Romer)



4 — La forzatura radiativa (in W · m²) in funzione della concentrazione volumetrica (ppmv) di alcuni gas a effetto serra (fonte: T.E. Graedel, P.J. Crutzen, *Chemie der Atmosphäre*)

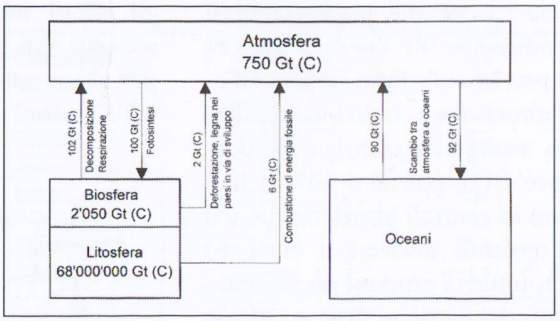
Passiamo ora all'effetto serra antropogenico.
Quanto descritto finora si riferisce a un effetto serra naturale, non influenzato dall'uomo, come si verifica sulla terra da milioni di anni: in base alle annotazioni del Medioevo, infatti, non emerge alcun influsso dell'uomo sul clima. Le cause risiedono da un canto nella popolazione della terra, in passato relativamente poco densa (ha superato la soglia dei 2 miliardi solamente nel 1925), e dall'altro nel fatto che i manufatti realizzati fino al ventesimo secolo, anche se molto inquinanti in base agli attuali parametri, anche se responsabili di grandi quantità di rifiuti nocivi, erano presenti sulla terra in misura tanto limitata e sparsa che era impensabile un qualsiasi effetto sul clima. Tutto ciò, però, è cambiato con l'avvento dell'industrializzazione, un processo che in Inghilterra e in Germania iniziò già all'inizio del diciannovesimo secolo ed è tuttora in corso.
Dall'inizio dell'industrializzazione, quindi, l'uomo ha creato un quarto livello energetico, che si situa tra 288 e 800 K circa, in alcuni casi (altiforni, caldaie di centrali elettriche, ecc.) raggiunge anche 1500 K, e che completa i tre livelli energetici naturali sole (5700 K), terra (ca. 288 K) e universo (ca. 3 K). Il calore liberato da questo quarto livello energetico viene irradiato a sua volta nell'universo o viene riflesso dalle nubi, il che rafforza ulteriormente l'effetto serra: l'anidride carbonica prodotta dalla combustione di vettori fossili ostacola la radiazione infrarossa nello spazio, provoca una congestione termica e di conseguenza tutta una serie di reazioni, che fanno ulteriormente salire la temperatura. L'aumento di concentrazione dei gas a effetto serra di lunga durata ha provocato un disturbo dell'equilibrio delle radiazioni pari a 2,34 W/m².

La figura 5 rappresenta i «gas serra» dovuti all'attività umana.



5 — L'effetto serra dovuto all'attività umana (fonte: Ch. Schönwiese, *Klimaänderungen*, 1995, disegno: A. Romer)

Il CO_2 costituisce il principale gas a effetto serra antropogenico. Le sue fonti sono ben note e possono essere stimate con buona approssimazione (nel 1997: 8 Gt (C), corrispondenti a ca. 30 Gt (CO_2)). L'aumento attuale del CO_2 nell'atmosfera ammonta a circa 1,8 ÷ 1,9 ppmv all'anno, pari allo 0,5%. In questo aumento sono compresi la deforestazione e il consumo di energia fossile non commerciabile (p.es. «dung» e legna nei paesi in via di sviluppo).



6 — Il ciclo annuo del carbonio nel 1997. 1 Gt (C) corrisponde a 3,67 Gt (CO_2) (fonte: World Energie Council, disegno: A.Romer)

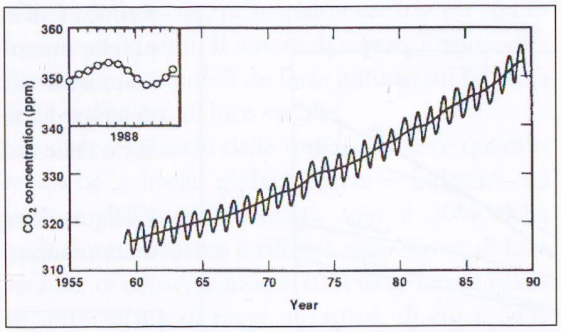
Tra le fonti principali del CO_2 prodotto dall'uomo figurano la combustione dei vettori energetici fos-

sili, i disboscamenti e, in misura minore, la produzione di cemento. Nei paesi industrializzati, il consumo energetico si ripartisce in parti grosso modo equivalenti tra economie domestiche (32%), industria (35%) e trasporti (33% circa), ma non si può dire lo stesso per le emissioni di CO_2, per via delle differenze tra i vari vettori energetici. Nelle economie pianificate europee, finora, il 60% dell'energia era consumato dall'industria e il 13% dai trasporti, mentre nelle economie pianificate asiatiche il 50% era consumato dalle economie domestiche, il 45% dall'industria e il 5% dai trasporti; nei paesi in via di sviluppo con un'economia di mercato, invece, il 49% era consumato dall'industria, il 27% dai trasporti e il 24% dalle economie domestiche.

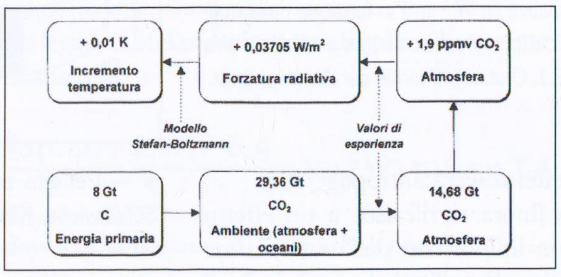
Reazione chimica:	**carbonio + ossigeno**	**→**	**anidride carbonica**
Simboli:	$C + O_2$	→	CO_2
Masse molari [g . mole⁻¹]:	12 + 32	→	44
Rapporto tra le masse molari:	$(CO_2 : C) = (44 : 12) \cong 3{,}67$		

7 — La formazione di CO_2 (disegno: A. Romer)

Il consumo energetico in un'economia nazionale (diverso da un paese all'altro) dipende dalla popolazione, dal clima, dal livello e dalla struttura della produzione, dall'efficienza dell'utilizzazione dell'energia e dalla ripartizione della produzione. In Francia e in Brasile, per esempio, il settore della produzione di energia genera pochissimo CO_2, perché si fa forte ricorso all'energia nucleare e idroelettrica. In Svizzera, addirittura, il settore energetico-elettrico praticamente non produce CO_2, poiché il 60% dell'elettricità è generato in centrali idroelettriche e il 40% restante in centrali nucleari; i circa 40 milioni di t di CO_2 tuttavia prodotti provengono dal petrolio (83%), dal carbone (8%) e dal gas naturale (9% circa).
In Europa, i combustibili fossili coprono più dell'80% del fabbisogno di energia primaria.
Negli ultimi 250 anni la concentrazione di CO_2 nell'atmosfera è cresciuta in modo esponenziale. Se attorno al 1750 si situava ancora sulle 270 ppmv, oggi raggiunge 365 ppmv.

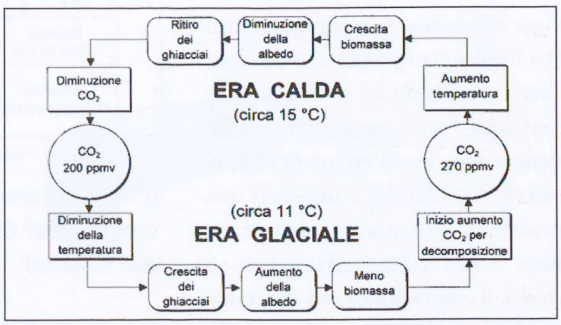


8 — Concentrazione di CO_2 a Mauna Loa, Hawaii (fonte: D.J. Wuebbles, *Global atmospheric chemical change*)

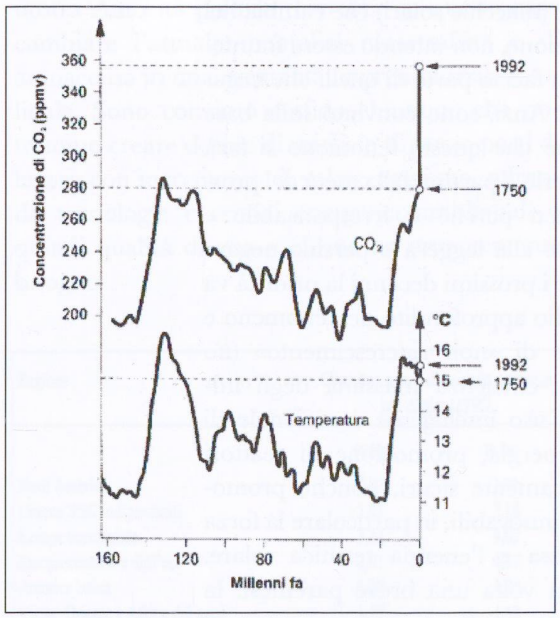


9 — L'effetto serra antropogenico dovuto all'aumento di CO_2. Non sono considerati gli effetti retroattivi. (disegno: A. Romer)

Il solo CO_2 implica oggi un aumento annuo della temperatura terrestre di 0,01 K. Ammettendo l'attuale consumo energetico per 100 anni, l'aumento della temperatura terrestre sarebbe di 1 K. Ma vi sono anche gli altri «gas serra» come pure gli effetti indiretti (p.es. aumento di vapore acqueo). Gli attuali modelli climatici prevedono perciò un aumento medio che si situa tra 2,5 e 4,5 K entro l'anno 2100.



10 — La variazione del CO_2 durante le ere glaciali (disegno: A. Romer)



11 — La correlazione tra la concentrazione di CO_2 (risp. CH_4) e la variazione della temperatura sulla base delle misurazioni effettuate su carote di ghiaccio estratte in Antartide (fonte: F. Gassmann, Was ist los mit dem Treibhaus Erde)

3. Le conseguenze dell'effetto serra

Presumibilmente, dal punto di vista biosferico-ecologico e socioeconomico, il principale problema per l'umanità è costituito dalle ripercussioni dei cambiamenti climatici antropogenici previsti a livello mondiale. È questo il problema di cui ci si dovrà occupare in maniera approfondita, forse spinti più da motivi emotivi che non razionali, e ciò nonostante l'incognita legata al suo verificarsi. Se i modelli climatici sono già abbastanza insicuri, lo saranno ancora di più se li si assocerà con i cosiddetti modelli d'impatto, volti a rilevare gli effetti dai cambiamenti climatici. Ma anche qui è d'obbligo la prudenza, soprattutto quando si parla di previsioni regionali. Analizzando l'impatto sul clima in termini di zone climatiche e classi di vegetazione, si constata una tendenza alla riduzione delle superfici boschive (misurate in base al potenziale bosco naturale, senza considerare i disboscamenti e i danni causati da sostanze nocive) con una velocità a volte drammatica, così come al netto aumento dei deserti, della steppa e della savana. Ciò rappresenta una grave minaccia per l'agricoltura, che rischia di subire siccità, fenomeni di carsismo, dilavamenti del suolo o il dilagare di organismi nocivi grazie alle condizioni più calde e umide alle latitudini medie. Altri effetti del genere, magari ancora sconosciuti, potrebbero a loro volta sommarsi in seguito all'utilizzazione di sostanze nocive o nutritive, creando effetti combinati non ancora noti dettagliatamente, ma che celano un notevole pericolo potenziale.

L'effetto serra potrebbe determinare modifiche della sfera vitale a causa

- di un aumento o una diminuzione regionale della temperatura,
- di un innalzamento o anche un abbassamento del livello del mare,
- di un aumento o una diminuzione dell'umidità dell'aria,
- di un aumento o una diminuzione delle precipitazioni e
- dell'influsso di altri elementi climatici, come il vento, gli uragani, le tempeste, ecc.

4. Il vertice di Kyoto

Due anni dopo la Conferenza delle Nazioni Unite per la Convenzione sui cambiamenti climatici di Berlino si è svolto a Kyoto in Giappone dal 1° all'11 dicembre 1997 il vertice sul clima. L'obiettivo era l'accettazione di una proposta di protocollo che dovrebbe impegnare in particolare le nazioni industrializzate nella riduzione di emissioni di gas ad effetto serra, prima di tutto CO_2.

Paese	*Emissione pro capite in t CO_2 (1990)*	*Quota parte mondiale in %*
Gran Bretagna	10,4	2,8
Italia	7,1	1,8
Canada	16,4	2,3
Giappone	8,6	4,9
Austria	7,6	0,3
Svezia	6,5	0,3
Svizzera	6,5	0,2
USA	20,0	23,5
Australia	15,9	1,3

12 — Emissione di CO_2 di alcuni paesi (1990) (Tabella: A. Romer, fonte: AIE, 1993)

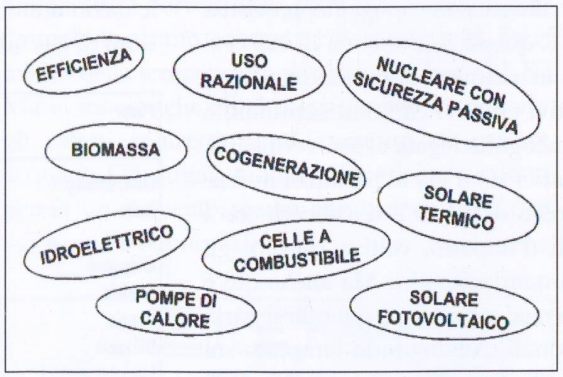
Dopo faticose ed estenuanti trattative si è raggiunto l'11 dicembre 1997 a Kyoto il primo accordo mondiale sulle riduzioni dei così detti «gas

serra». Questa «maratona» è durata 11 giornate. Si tratta comunque del primo passo operativo dopo cinque anni di negoziati. Le quote di riduzione dei gas a effetto serra (anidride carbonica, metano, protossido di azoto, idrofluoroidrocarburi, perfluorocarburi, esafluoro di zolfo) sono circa del 5,2% entro l'anno 2010, sempre riferite alle emissioni dell'anno 1990. L'impegno della Svizzera è dell'8%, quello degli USA del 7%. Ricordiamo che gli USA rappresentano circa il 4% della popolazione mondiale, ma emettono globalmente circa il 24% dei «gas serra». I paesi in via di sviluppo sono per ora esclusi dagli obiettivi di riduzione, possono ovviamente contribuire alla riduzione su base volontaria. Il protocollo di Kyoto entrerà in vigore soltanto se sarà sottoscritto da 55 nazioni responsabili di almeno il 55% delle emissioni di «gas serra» a livello mondiale.
Chi oggi in materia di «Effetto serra» assume la posizione del catastrofismo e dell'isterismo ad oltranza, attribuendo ogni uragano, ogni temporale e ogni alluvione ai gas ad effetto serra, dimentica o ignora che durante gli ultimi 10'000 anni la temperatura media della terra (15°C) ha subito variazioni importanti, indipendentemente dall'agire dell'uomo:

Epoca	Temperatura media Emisfero nord [°C]
10'000 anni fa	14,5
6'500 anni fa	15,8 ÷ 16,2
5'800 anni fa	14,5
4'500 anni fa	16,0
2'400 anni fa	13,8
2'000 anni fa	15,6 ÷ 15,8
1'600 anni fa	14,8
1'000 anni fa	15,6
325 anni fa	14,0 ÷ 14,2
oggi	15,3

13 — Le oscillazioni della temperatura media dell'emisfero nord (Tabella: A. Romer)

Queste oscillazioni sono dovute ai così detti parametri orbitali (traiettoria della terra, inclinazione dell'asse della terra, precessione dell'asse della terra). Un influsso sul clima viene esercitato pure dall'attività solare (macchie solari) che cambia nel tempo. Ma attenzione, non intendo essere frainteso dal lettore, non faccio parte di quelli che negano l'effetto serra. Anzi, sono convinto sulla base delle mie ricerche che questo fenomeno si farà sentire in modo serio a partire dalla metà del prossimo secolo. Ecco perché è irresponsabile e rischioso prendere alla leggera o persino negare l'effetto serra. Per i prossimi decenni la priorità va dedicata allo studio approfondito del fenomeno e alle misure dette di «non rincrescimento» (no regret measures): efficienza massima degli impianti energetici, uso intelligente e razionale di ogni forma di energia, promozione di reattori nucleari intrinsecamente sicuri, nonché promozione di energie rinnovabili, in particolare la forza idrica, la biomassa e l'energia termica solare. Apro ancora una volta una breve parentesi: la delegazione svizzera di Kyoto si è presentata al vertice con un obiettivo ambizioso: ridurre le emissioni di CO_2 del 10% entro l'anno 2010. Ha però sottaciuto che le emissioni svizzere aumenterebbero subito del 35% se rinunciassimo oggi all'opzione nucleare. Non intendo strumentalizzare il lettore, il mio è semplicemente un obiettivo informativo. Per poter decidere democraticamente e liberamente, il cittadino deve innanzitutto sapere, sapere tutta la verità.



14 — L'effetto serra e le strategie di risposta. (Disegno: A. Romer)

La Svizzera potrebbe dare a livello mondiale un contributo importante nell'ambito della riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Un contributo soprattutto indiretto, esportando tecnologia e «know-how» nei paesi in via di sviluppo. Certo, la

nostra Autorità politica dovrebbe in questo caso cambiare l'attuale mentalità catastrofista e di autoaccusa in una mentalità imprenditoriale e solidale. Sono convinto e sfido chiunque che potremmo creare decine di migliaia di nuovi posti di lavoro con incremento di valore aggiunto, offrendo tecnologie e servizi energetico-ambientali e quindi qualità di vita a chi ne ha urgentemente bisogno.

Regione	*Consumo annuo di energia primaria pro capite (1990)*	
	in tep	*in tec*
Nord America	7,82	11,21
Unione Stati Indipendenti	5,01	7,18
Europa occidentale	3,22	4,62
Europa centrale e dell'est	2,91	4,17
America latina	1,29	1,85
Vicino Oriente e Africa del nord	1,17	1,68
Pacifico	1,02	1,46
Africa sub-sahariana	0,53	0,76
Asia del sud	0,39	0,56
Media mondiale	**1,66**	**2,38**

15 — Il consumo di energia primaria nel 1990 (fonte: AIE 1993, tabella: A. Romer) (tep = tonnellata equivalente petrolio, tec = tonnellata equivalente carbone)

Ma torniamo al vertice di Kyoto. Se le decisioni prese saranno ratificate dai singoli paesi, allora il vertice di Kyoto rappresenta un buon punto di partenza. Non dimentichiamo che il cambiamento climatico è solamente una delle tante emergenze planetarie: esplosione demografica, fame, acqua, energia, malattie, guerre, fondamentalismi, clima, istruzione, mercato globalizzato privo di regole etiche, ecc...

5. La situazione svizzera

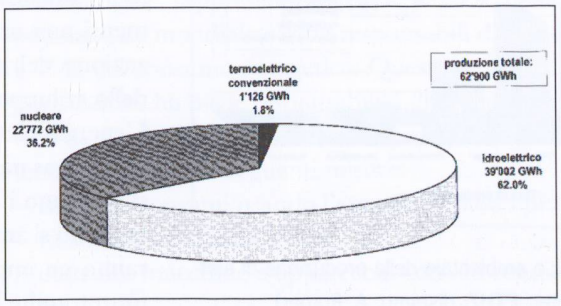
La Svizzera dipende dal punto di vista energetico in larga misura dall'estero. L'unica e importante fonte primaria indigena è la forza idrica. Vi è naturalmente un'altra risorsa, ossia un immenso know-how nel campo energetico e ambientale. La figura 16 dimostra che praticamente l'80% dell'energia finale è costituita dai vettori fossili (petrolio, gas naturale, legna e carbone).

VETTORE	CONSUMO		CONSUMO IN TJ	%
Prodotti petroliferi	11'670'000	t	488'150	60.9
Elettricità	47'882	GWh	172'380	21.5
Gas naturale	26'539	GWh	95'540	11.9
Carbone	284'000	t	7'910	1.0
Legna	1'993'000	m^3	17'520	2.2
Calore a distanza	3'330	GWh	11'970	1.5
Rifiuti industriali	---		8'450	1.0

16 — Consumo di energia finale - CH, 1995 (Fonte: ufficio federale dell'energia; tabella: A. Romer)

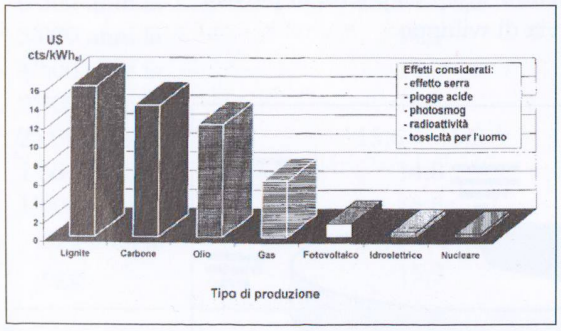
L'elettricità assume a livello di energia finale il 21,5%. Nell'anno idrologico 1993/94 il 62% dell'energia elettrica è prodotto con la forza idrica, il 36,2% con impianti nucleari e l'1,8% con energia fossile.

Oggi e nei prossimi anni il nostro paese e l'intera Europa disporranno di molta energia elettrica. Questa situazione non è in primo luogo il risultato di programmi d'azione come p.es. il programma «Energia 2000». No, questa situazione ha una sola e gravissima causa: la crisi economica. Con questa osservazione non intendo assolutamente denigrare il programma «Energia 2000». Anzi, sono dell'avviso che si tratti di una delle migliori iniziative nel campo energetico a livello mondiale. Dovremmo però passare dalla fase dell'apprendimento «in casa» alla fase dell'esportazione di questo importante «know-how» all'estero, in particolare nei paesi in via di sviluppo.



17 — Produzione di elettricità in Svizzera nell'anno idrologico 1993/1994. (Fonte: Unione delle Centrali Svizzere UCS; disegno: A. Romer)

Il futuro fabbisogno di elettricità dipenderà da una molteplicità di fattori. Taluni di questi causeranno un aumento della domanda, altri invece una diminuzione. Per esempio, il miglioramento dell'efficienza delle varie macchine (motori, turbine, celle a combustibile, cellule fotovoltaiche, gassificazione del carbone e della biomasssa, ecc.) implicano una certa riduzione, mentre l'aumento della popolazione e la crescente informatizzazione daranno luogo ad un incremento della domanda di energia elettrica.
Nel nostro paese molto dipenderà nel futuro dalla politica energetica che si intende adottare. A partire dal 2010, le attuali centrali nucleari raggiungeranno man mano il limite di età.
Se il sovrano deciderà di non rimpiazzare queste centrali né con altre centrali nucleari, né con centrali termoelettriche fossili, allora si prevede per l'anno 2030 una grave penuria di energia elettrica. Mancheranno annualmente da ca. 20 a 30 miliardi di kWh di elettricità, secondo le previsioni odierne.
Se altre nazioni (p. es. la Francia) dovessero pure rinunciare in futuro alla scelta nucleare, allora l'Europa potrebbe trovarsi ad un tratto in una posizione molto seria e preoccupante.



18 — Costo specifico ambientale della produzione di elettricità. (Fonte: P. Suter, ETHZ; disegno: A. Romer)

Pochi anni or sono molti paesi europei (tra cui la Svizzera, la Germania, l'Italia, la Francia, ecc.) diedero grande e giustificata importanza al rispetto per l'ambiente in generale e alla qualità dell'energia elettrica in particolare. Oggi la parola «qualità» ha ceduto il suo posto al termine «liberalizzazione» del mercato dell'elettricità. Pare che i termini «qualità dell'energia» e «costi esterni» siano stati messi da parte. Siamo disposti ad aprire le frontiere a qualsiasi tipo di «kWh», poco importa se prodotto con il carbone, con la lignite oppure da reattori obsoleti e pericolosi come quelli di Chernobyl. Oggi si guarda unicamente al prezzo basso. Il problema ambiente e quindi il problema dei costi esterni viene rinviato alle generazioni future. La nostra energia idroelettrica e quella di origine termonucleare (tutte e due rispettose dell'uomo e dell'ambiente) devono cedere il posto e la competitività a tecniche energetiche molto meno rispettose dell'ambiente (maggiore emissione di CO_2, maggiore rischio di incidente).
La maggioranza dei cittadini purtroppo non sa che l'energia elettrica svizzera di oggi è particolarmente rispettosa dell'ambiente, il nostro «mix» elettrico produce appena 16 g di CO_2 per ogni kWh di elettricità, mentre a livello europeo vengono raggiunti addirittura 500 g. Con grande miopia rischiamo di prestarci a un baratto che si rivendicherà sui nostri nipoti. Si parla oggi di molti miliardi di franchi di perdite per investimenti non ammortizzabili, e ciò per la liberalizzazione del mercato che ignora gli aspetti etici dello sviluppo sostenibile.
L'energia elettrica prodotta con lignite, con carbone e gas naturale costa molto meno solo perché si ignorano i costi esterni (= costi sociali). Questi impianti si ammortizzano in pochi anni, ma lasceranno un impatto ambientale che punirà soprattutto tramite l'effetto serra le future generazioni.

Personalmente sono convinto che gli impianti idroelettrici e quelli nucleari (intrinsecamente sicuri) saranno di nuovo competitivi sotto ogni punto di vista tra trent'anni. Purtroppo per ora, con l'obiettivo di aprire e liberalizzare i mercati, l'intera Europa sembra di voler ignorare il rispetto per l'ambiente e i principi dello sviluppo sostenibile. Nei prossimi anni conterà solamente il prezzo del prodotto che esce dalla presa elettrica. La qualità della produzione e il rispettivo impatto ambientale non hanno più importanza. Anzi, chi in passato ha investito sulla qualità (vedi forza idroelettrica e impianti nucleari), ora sarà punito dai cosiddetti «Stranded investments» (= investimenti non ammortizzabili).
La natura non ragiona al ritmo delle brevi legislature dei politici. Essa ubbidisce con rigore alle leggi fondamentali della fisica e queste non si lasciano né ignorare né calpestare. La risposta l'avranno i nostri figli e nipoti.

6. Conclusione

Coprire il fabbisogno energetico futuro non è cosa facile e ciò soprattutto per la forte crescita demografica da un lato e per le conseguenti implicazioni ambientali dall'altro. La soluzione dei problemi energetici rappresenta uno degli obiettivi di sviluppo più importanti. Lo slogan «l'energia è vita, la vita è energia» enuncia in modo sintetico ed efficace una profonda verità. Il progresso dell'umanità dipende in maniera sostanziale dall'approvvigionamento energetico sufficiente e sicuro. Viceversa il forte consumo di energia fossile ha conseguenze di natura ambientale.
L'implicazione più temuta è il così detto «effetto serra». Si deve però sapere che esiste un effetto serra naturale senza il quale non ci sarebbe vita su questa terra. I gas che contribuiscono da sempre a questo effetto naturale sono in primo luogo vapore acqueo (H_2O), anidride carbonica (CO_2), ozono (O_3), metano (CH_4) e protossido di azoto (N_2O). Senza questi gas la temperatura media sulla superficie della terra sarebbe di circa -18°C. La temperatura media è invece di +15°C. L'effetto serra naturale comporta quindi un aumento di 33°C. Tra i gas citati il CO_2 ha un ruolo chiave. Esso funge da filtro delle radiazioni solari. Lascia passare l'energia (incidente) a onde corte e assorbe invece quella a onde lunghe, ossia l'irradiazione termica emanata dalla terra verso lo spazio cosmico. Le attività umane (produzione agricola e industriale, traffico, economie domestiche, ecc.). implicano un forte consumo di energia e causano perciò un sensibile aumento dei gas (CO_2, CH_4, CFC, N_2O, O_3) che rafforzano l'effetto serra naturale. L'anidride carbonica (CO_2) gioca un ruolo centrale. Le misurazioni rivelano che dall'inizio dell'ultimo secolo la concentrazione di CO_2 nell'atmosfera è aumentata di un quarto. In questo periodo la temperatura media è aumentata di 0,7°C. L'incremento della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera è dovuto in primo luogo alla combustione di carbone, olio e gas e in minore, ma non irrilevante misura, alla intensa deforestazione.
Il contenimento delle emissioni di CO_2 deve perciò 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. L'effetto serra può essere contenuto mediante le seguenti misure:

- ridurre i consumi usando l'energia in modo più razionale e più intelligente;
- costruire macchine e apparecchi con alti rendimenti;

- promuovere lo sfruttamento delle energie rinnovabili (forza idrica, collettori solari, pannelli solari, biomassa, vento);
- mantenere l'opzione nucleare (con reattori intrinsecamente sicuri; questa tesi è pure enunciata nell'ultimo libro del Club di Roma, *La prima rivoluzione globale*, 1992);
- investire nella ricerca energetica (compresa la ricerca sulla fusione nucleare);
- informare i cittadini in modo oggettivo su tutte le problematiche energetico-ambientali.

La quasi totale mancanza di energia e di beni in vaste regioni della terra non ammette più soluzioni fittizie e rinvii nel tempo. La sola forza fisica dell'uomo non è in grado di risolvere il problema energetico. Determinante è la forza mentale dell'uomo, il suo senso di responsabilità, la sua capacità creativa e la sua inventiva. Hiroshima e Chernobyl sono veri insulti alla scienza. La scienza deve diventare strumento di pace e di dignità umana e non strumento di distruzione. Questo ovviamente è possibile solo in un mondo libero e democratico nel senso più profondo e autentico. L'obiettivo principale di una politica energetico-ambientale resta in definitiva la qualità di vita che presuppone uno sviluppo sostenibile.

(*) Prof. Dr. Arturo Romer, Direttore Elettricità Svizzera Italiana

Summary

The author describes the physical aspects of the greenhouse effect. He first analyses the main agents of global warming, making a distinction between a natural and an anthropogenic greenhouse effect and considering in particular the long-lived greenhouse gases such as carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O, laughing-gas) and halogenated chlorofluorocarbons (CFCs). One of the most important conclusions is that today's radiative forcing caused by long-lived greenhouse gases, estimated at $2.45 \pm 0.3\ W \cdot m^{-2}$, is already equivalent to an increase in solar radiation of more than 1%.

The author then evaluates the demographic situation and its future development and he presents a set of energy consumption scenarios according to the assumptions described. The most important consequence in this respect is that, for the next decades, more than 80% of primary energy will still be of fossil nature. This means that it will not be easy to reduce emissions of greenhouse gases. Big efforts and agreements between north and south, i.e. between rich and poor countries, are necessary.

The author considers and suggests some interesting possible solutions and strategies, that could help to reduce and limit at least partly the increase of greenhouse gases emissions: adopting a rational and efficient use of energy, higher conversion efficiencies, more efficient engines, encouraging the use of biomass (gasification, hydrogen, methanol and ethanol production), fostering the utilisation of hydropower, clean coal technologies, promoting coal gasification, combined cycles, cogeneration, heat pumps and fuel cells, improvements in the automobile technology, technology transfer from industrialized nations to developing countries, reflecting about a sensible and responsible use of nuclear power (fission and fusion). The electricity sector is expected to play a central role in the effort of reducing CO_2 emission. It is demonstrated that not all the new renewable energies have the same possibilities and chances. Investments have to be realised where money produces the best environmental and social benefits. A number of techniques exist for valuing environmental impacts of energy production plants. Such evaluation approaches must be used to incorporate environmental costs into methodologies for least-cost planning and estimating marginal costs. The greenhouse effect is a very serious problem and we cannot wait for the final proof of its menace.