

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

**Herausgeber:** Società Svizzera Ingegneri e Architetti

**Band:** - (2004)

**Heft:** 1

**Artikel:** L'effetto serra

**Autor:** Romer, Arturo

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-132928>

#### **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:** 11.01.2026

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

# L'effetto serra

*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. Introduzione

Il presente articolo si propone di analizzare con occhio critico e realismo il fenomeno dell'effetto serra e di indicare possibilità concrete per 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. In pochi anni, l'effetto serra è passato da tema di ricerca scientifica generica al problema ambientale, economico e sociale di primo piano. Oggi la comunità scientifica non ha più dubbi, l'effetto serra è una minaccia reale. Gli equilibri ecologici e climatici del pianeta Terra sono seriamente minacciati dalle attività dell'uomo.

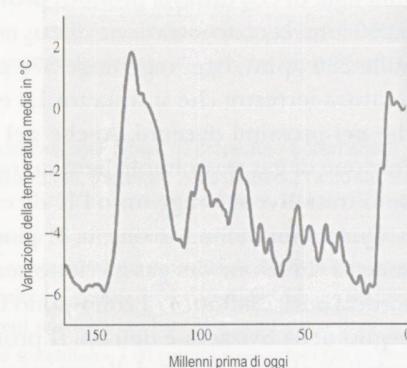
Nel corso della storia, l'uomo è riuscito a migliorare costantemente la sua qualità di vita grazie ad una crescente disponibilità di energia primaria, il fuoco, l'agricoltura, l'animale, il carbone, il petrolio, il gas, l'acqua, il vento, l'uranio. Se la sua inventiva, il suo agire e la sua ricerca saranno 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.

## 2. Gli aspetti fenomenologici dell'effetto serra

Si distingue tra un effetto serra naturale della terra e un effetto serra antropogenico, causato o accentuato dall'emissione sempre maggiore di de-

Gas	Formula	% in volume
Azoto	N <sub>2</sub>	78.084
Ossigeno	O <sub>2</sub>	20.947
Argo	Ar	0.93
Biossido di carbonio	CO <sub>2</sub>	0.037 (in crescita)
Metano	CH <sub>4</sub>	0.0002 (in crescita)
Altri gas	-	<0.01

Tab. 1 – Composizione dell'atmosfera terrestre al di fuori del vapore acqueo



1 – Variazione della temperatura media terrestre negli ultimi 150'000 anni

Fonte: Paul Crutzen

terminati 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 gradi 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 6'000 K ed emette enormi quantità di energia sotto forma di radiazioni di fotoni visibili.

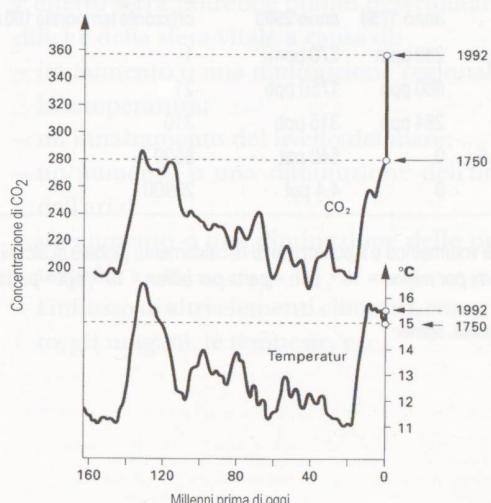
Una parte di questa energia elettromagnetica, che viene irraggiata in tutte le direzioni, è assorbita dalla terra, la quale avrebbe una temperatura di 255 K (= -18 °C) se fosse priva di atmosfera, benché la sua superficie riceva pur sempre un flusso radiativo pari a  $1367 \pm 0,5 \text{ W/m}^2$  (costante solare  $S_0$ ).

Il flusso radiativo medio che colpisce la superficie totale della terra nel ritmo notte-giorno è di  $343 \text{ W/m}^2$ . Una parte di questo calore viene assorbito dalla terra, la quale raggiunge così una temperatura di superficie di  $288 \text{ K} (\approx 15^\circ \text{C})$ . 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  $3 \text{ K}$ .

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 riflessa 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 ra-

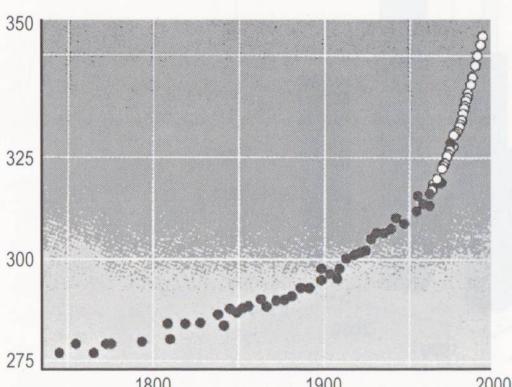
diazioni deve quadrare anche a livello globale, occorre indagare sul «resto» dell'energia. Infatti, solo il 30% della radiazione incidente è riflesso sotto forma di luce visibile; di conseguenza, il 70% deve essere riflesso sotto forma di raggi infrarossi, di cui il 64% proviene dall'atmosfera. Qui si verifica uno scambio di energia complesso, che non comprende unicamente processi d'irraggiamento, ma anche fenomeni di altra natura (convezione, turbolenza, evaporazione, condensazione). In base ai calcoli si ottiene una temperatura della superficie della terra  $T_0 = 255 \text{ K}$ . Ma siccome la terra presenta una temperatura media di  $288 \text{ K}$ , si ha un innalzamento della temperatura per effetto dell'atmosfera terrestre di  $33 \text{ K}$ . 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.



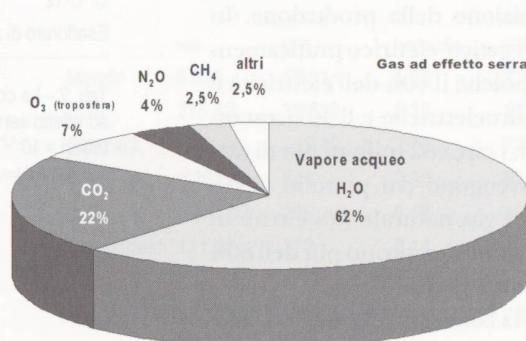
2 – Correlazione tra la concentrazione atmosferica di  $\text{CO}_2$  e la temperatura media terrestre.

Fonte: Fritz Gassmann



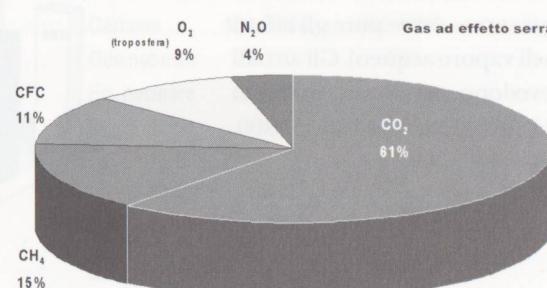
4 – Aumento della concentrazione di  $\text{CO}_2$

Fonte: Paul Crutzen



3 – Effetto serra naturale ( $\Delta T = 33^\circ\text{C}$ )

Fonte: Ch. Schönwiese, Klimaänderungen, 1995, disegno: A. Romer



5 – L'effetto serra dovuto all'attività umana

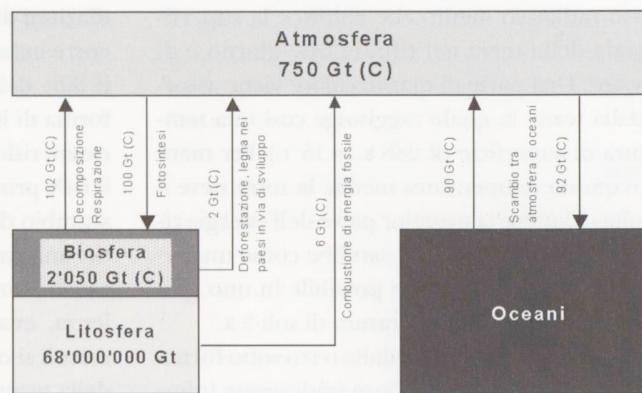
Fonte: Ch. Schönwiese, Klimaänderungen, 1995, disegno: A. Romer

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 1'500 K, e che completa i tre livelli energetici naturali sole (6000 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/m<sup>2</sup>. Il CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>)). L'aumento attuale del CO<sub>2</sub> nell'atmosfera ammonta a circa 1,8 ± 1,9 ppmv all'anno, pari allo 0,5%.

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 Svizzera il settore energetico-elettrico praticamente non produce CO<sub>2</sub>, poiché il 60% dell'elettricità è generata in centrali idroelettriche e il 40% restante in centrali nucleari; i circa 42 milioni di t di CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> nell'atmosfera è cresciuta in modo esponenziale. Se attorno al 1750 si situava ancora sulle 280 ppmv, oggi raggiunge 370 ppmv.

Il solo CO<sub>2</sub> implica oggi un aumento annuo della temperatura terrestre di 0,01 °C. Ammettendo l'attuale consumo energetico per 100 anni, l'aumento della temperatura terrestre sarebbe di 1 °C. Ma vi sono anche gli altri «gas serra» come pure gli effetti indiretti (es. aumento di vapore acqueo). Gli attuali modelli climatici prevedono perciò un aumento medio che si situa tra 1,4 e 5,8 °C entro l'anno 2100.



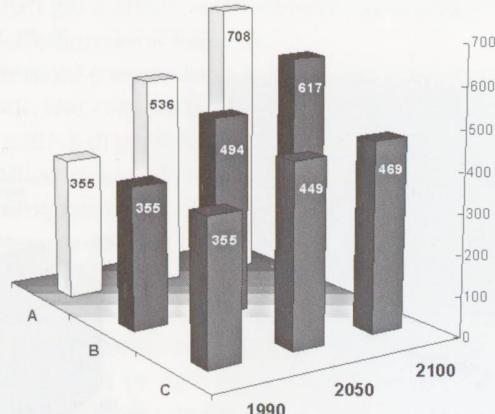
6 – Il ciclo annuo del carbonio nel 1997. 1 Gt (C) corrisponde a 3,67 Gt (CO<sub>2</sub>)

Fonte: World Energy Council, disegno A.Romer

Gas	Formula	Concentrazione volumetrica		Potenziale riscaldamento globale (global warming power) orizzonte temporale 100 anni
		anno 1750	anno 2000	
Biossido di carbonio	CO <sub>2</sub>	280 ppm	370 ppm	1
Metano	CH <sub>4</sub>	800 ppb	1750 ppb	21
Protossido di azoto	N <sub>2</sub> O	284 ppb	315 ppb	310
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0	540 ppt	8500
Esafloruro di zolfo	SF <sub>6</sub>	0	4.4 ppt	23900

Tab. 2 – La concentrazione volumetrica e il potenziale di riscaldamento globale di alcuni gas ad effetto serra (ppm = parts per million = 10<sup>-6</sup>, ppb = parts per billion = 10<sup>-9</sup>, ppt = parts per trillion = 10<sup>-12</sup>)

Fonte: P. Fabian, Leben im Treibhaus, Springer



7 – La concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> (in ppmv), una proiezione fino all'anno 2100. A e C sono due scenari estremi. B rappresenta la proiezione più probabile

Fonte: Agenzia Internazionale dell'Energia

### 3. Le conseguenze dell'effetto serra

La concentrazione di gas ad effetto serra aumenterà anche nei prossimi decenni. Anche nel 2050 oltre il 70% dell'energia primaria mondiale sarà di natura fossile. La maggiore concentrazione di gas serra implicherà un aumento sensibile della temperatura media terrestre. Passeranno secoli finché l'elevata concentrazione di CO<sub>2</sub> sarà ritornata ai livelli normali. Entro la fine di questo secolo la temperatura media terrestre aumenterà di 1,4÷5,8 gradi Celsius. Di conseguenza evaporerà una maggiore quantità di acqua. Globalmente aumenteranno quindi anche le precipitazioni. Nell'atmosfera più calda e più umida potrebbero verificarsi con maggiore frequenza le tempeste tropicali. L'intensificazione delle precipitazioni specialmente nelle latitudini settentrionali rischia di diminuire la concentrazione di sale nei mari settentrionali. Questo fatto potrebbe a sua volta avere implicazioni importanti sulle grandi circolazioni marine. Certi modelli pronosticano persino un affievolimento della famosa corrente del Golfo.

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

- un aumento o una diminuzione regionale della temperatura;
- un innalzamento del livello del mare;
- un aumento o una diminuzione dell'umidità dell'aria;
- un aumento o una diminuzione delle precipitazioni;
- l'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<sub>2</sub>.

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, l'energia solare termica e l'energia solare fotovoltaica.

	Milioni di abitanti	PNL/capite	Consumo annuo	Consumo annuo di elettricità	t CO <sub>2</sub> /tep	Emissione annua di CO <sub>2</sub>
	mio	US\$	tep/capite	kWh <sub>el</sub> /capite		tCO <sub>2</sub> /capite
Mondo	6'023	5'651	1.68	2'343	2.32	3.89
USA	275.42	32'629	8.35	13'843	2.46	20.57
Svizzera	7.19	46'712	3.70	7'843	1.57	5.80
Cina	1'262.46	824	0.90	993	2.62	2.37
India	1'015.92	459	0.49	393	1.87	0.92
Bangladesh	131.05	373	0.14	102	1.44	0.21

Tab. 3 – Dati energetico-ambientali specifici per alcuni paesi (2000)

Indicatore	Riserve di combustibile	Gas ad effetto serra	Costi di produzione dell'energia elettr. del sistema	Costi esterni (=costi sociali)
Sistema	anni	g(CO <sub>2</sub> -eq)/kWh <sub>el</sub>	cts/kWh <sub>el</sub>	cts/kWh <sub>el</sub>
Carbone	160-2'300	950-1'200	5.7-7.4	3.1-15.8
Gas naturale	70-170	530	4.7-5.8	0.8-5.5
En. nucleare	120-400	8-29	5.1-7.5	0.2-1.3
Forza idrica	∞	4	centrale fluviale 3-14 centrale ad accumulazione 4-21	centrale fluviale esigui centrale ad accumulazione 0-1.2
En. fotovoltaica	∞	110-260	70-140	0.1-1.5

Tab. 4 – Indicatori rilevanti di vari sistemi di produzione di elettricità  
Fonte: PSI, Villigen 2000

## 5. 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  $-18^{\circ}C$ . La temperatura media è invece di  $+15^{\circ}C$ . L'effetto serra naturale comporta quindi un aumento di  $33^{\circ}C$ . 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  $0,7^{\circ}C$ . L'incremento della concentrazione di  $CO_2$  nell'atmosfera è dovuto in primo luogo alla combustione di carbone, olio e gas naturale e in minore, ma non trascurabile, 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. La scienza deve diventare strumento di pace e di dignità umana e non strumento di distruzione. L'obiettivo principale di una politica energetico-ambientale resta in definitiva la qualità di vita che presuppone uno sviluppo sostenibile.

### Siti internet

- [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- [www.nimbus.ch](http://www.nimbus.ch)
- [www.cnrs.fr/dossier/dosclim.ch](http://www.cnrs.fr/dossier/dosclim.ch)
- [www.climnet.org](http://www.climnet.org)
- <http://unfccc.int>
- [www.globalclimate.org](http://www.globalclimate.org)
- [www.globalwarmingcost.org](http://www.globalwarmingcost.org)
- [www.unfccc.de](http://www.unfccc.de)
- [www.minambiente.it](http://www.minambiente.it)
- [www.unep.ch](http://www.unep.ch)
- [www.wmo.org](http://www.wmo.org)
- [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov)
- [www.admin.ch/buwal](http://www.admin.ch/buwal)
- [www.climate.unibe.ch](http://www.climate.unibe.ch)
- [www.climate-change.ch](http://www.climate-change.ch)
- [www.clima-svizzera.ch/faq](http://www.clima-svizzera.ch/faq)
- [www.clima-svizzera.ch/fatti](http://www.clima-svizzera.ch/fatti)