

**ENEA**

# CLIMA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

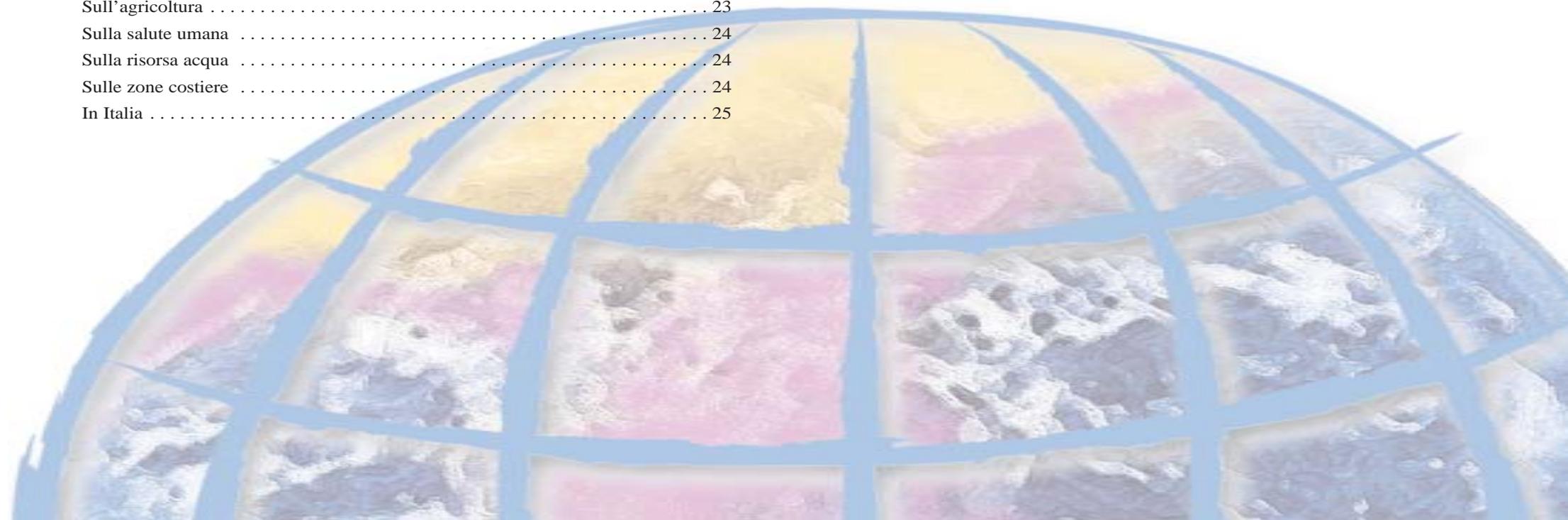
21



# sommario

<b>1</b>	<b>Clima e cambiamenti climatici</b> .....	<b>4</b>
	Clima o “tempo meteorologico” .....	4
<b>i</b>	<i>I principali tipi di clima: varietà e caratteristiche principali</i> .....	5
<b>i</b>	<i>Le componenti dell’equilibrio energetico</i> .....	6
	Le oscillazioni storiche del clima .....	10
<b>i</b>	<i>Storia dello studio del clima</i> .....	12
<b>2</b>	<b>Le attività umane come causa dei cambiamenti climatici</b> .....	<b>13</b>
	L’effetto serra naturale .....	13
<b>i</b>	<i>Effetto serra su base 100</i> .....	13
	L’effetto serra antropogenico .....	15
<b>3</b>	<b>Effetti dei cambiamenti climatici a livello globale</b> .....	<b>18</b>
	Gli scenari futuri .....	19
<b>4</b>	<b>Gli effetti dei cambiamenti climatici</b> .....	<b>22</b>
	Sui sistemi naturali .....	22
	Sull’agricoltura .....	23
	Sulla salute umana .....	24
	Sulla risorsa acqua .....	24
	Sulle zone costiere .....	24
	In Italia .....	25

<b>5</b>	<b>Cosa si fa a livello mondiale e nazionale</b> .....	<b>27</b>
	La Convenzione Quadro, il Protocollo di Kyoto, la Cooperazione Internazionale ..	27
	Le misure nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra .....	28
<b>6</b>	<b>La ricerca e le nuove tecnologie</b> .....	<b>29</b>
	Le fonti di energia rinnovabili .....	29
	L’idrogeno .....	30
<b>7</b>	<b>Cosa si può fare?</b> .....	<b>32</b>
	In casa .....	32
	Nei trasporti .....	33
	L’industria .....	33



# 1 CLIMA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

Il clima sta cambiando... È questo l'allarme che sempre più spesso occupa i titoli delle prime pagine dei giornali, quasi sempre in occasione di eventi meteorologici disastrosi.

Ma cosa vuol dire "che il clima sta cambiando"?  
Cosa provoca queste mutazioni?  
Cosa dobbiamo aspettarci e cosa possiamo fare?

Questo opuscolo si pone l'obiettivo dare alcune risposte a queste domande, sulla base delle opinioni della comunità scientifica nazionale ed internazionale.



## CLIMA O "TEMPO METEOROLOGICO"

Spesso la parola "clima" viene impropriamente utilizzata per parlare di "tempo meteorologico". Prima di affrontare i meccanismi e le problematiche relative alle mutazioni del clima, è opportuno chiarire la differenza tra questi due concetti:

- Il tempo "meteorologico" è lo stato dell'atmosfera in un dato luogo e in un dato momento. Esso varia da luogo a luogo e nel corso dei giorni in relazione ai movimenti delle grandi masse d'aria e dei loro scambi con la superficie terrestre;
- Il "clima" è la combinazione delle condizioni meteorologiche prevalenti in una regione, su lunghi periodi di tempo (25-30 anni).

L'osservazione, prolungata nel tempo, di parametri come la temperatura, le precipitazioni, l'umidità consente di ottenere valori medi statisticamente significativi che descrivono il clima di una determinata regione.

### **i** I principali tipi di clima: varietà e caratteristiche principali

#### **Climi umidi tropicali (almeno 6 mesi di precipitazioni e temperatura del mese più freddo superiore ai 15°C)**

- clima equatoriale o della foresta pluviale;
- clima della savana.

#### **Climi aridi (più di 6 mesi con scarse precipitazioni)**

- clima arido caldo o desertico;
- clima steppico o arido con inverno freddo.

#### **Climi mesotermici (temperatura del mese più freddo compresa tra 2°C e 15°C)**

- clima umido temperato caldo con inverno secco o tropicale montano;
- clima umido temperato con estate secca o mediterraneo;
- clima temperato umido.

#### **Climi microtermici (temperatura del mese più freddo superiore o uguale a 2°C)**

- clima boreale freddo con inverno secco;
- clima boreale freddo con inverno umido.

#### **Climi nivali (temperatura del mese più caldo sempre inferiore a 10°C)**

- clima nivale o delle tundre;
- clima del gelo perenne.

Alla base dei complessi meccanismi che regolano il clima sulla terra, c'è un solo motore: l'energia del sole. Essa viene assorbita dal sistema terrestre in modo diverso a seconda della latitudine, della conformazione geografica dei continenti e degli oceani, dell'orografia, ecc.

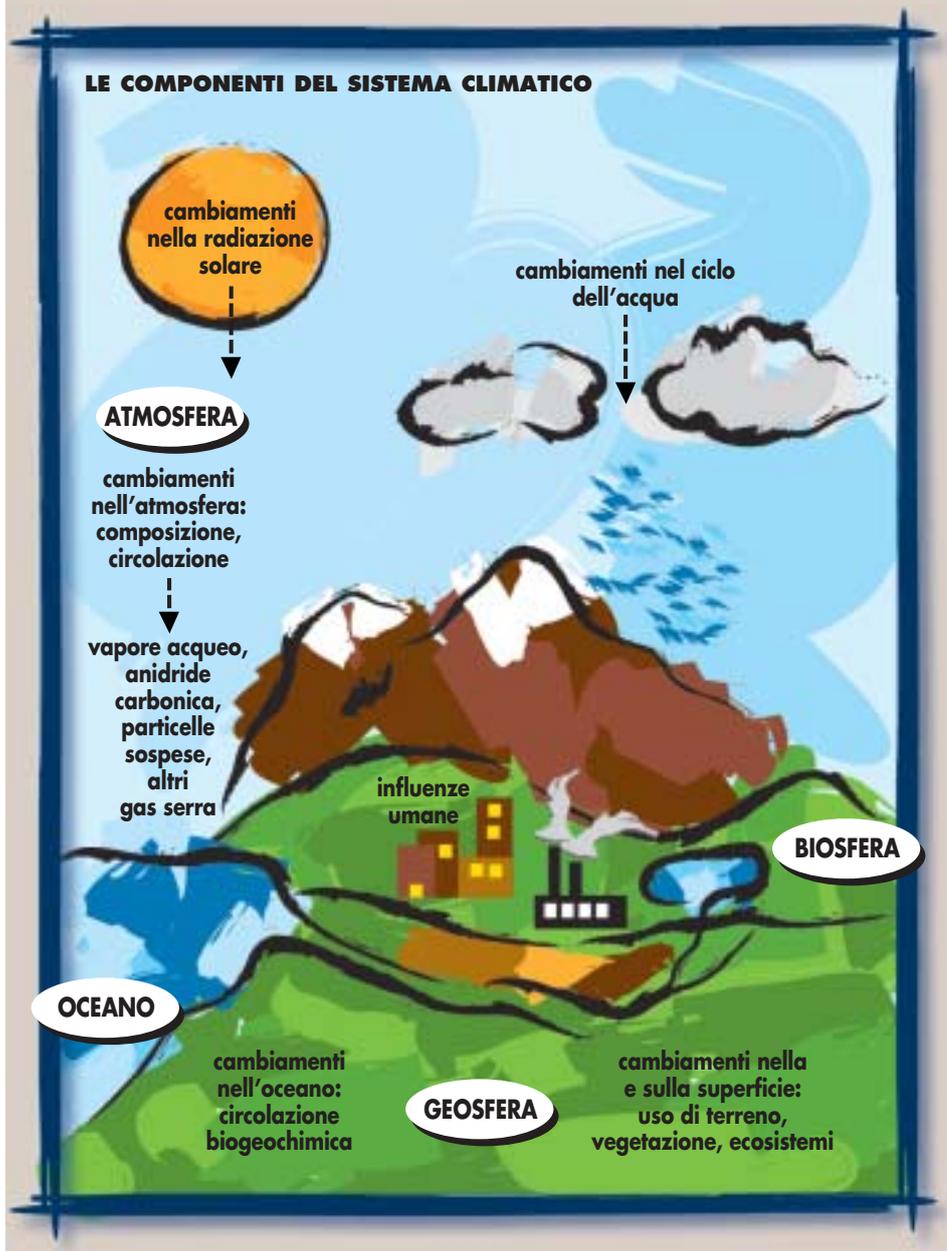
L'energia solare si trasforma in altre forme di energia che danno origine ai movimenti dell'atmosfera, dei mari, ecc. e in varie forme di energia bio-chimica che sono alla base della evoluzione della vita sulla terra. Dopo tutte queste trasformazioni l'energia solare, ormai "degradata", ritorna nello spazio. Tra l'energia che entra sulla terra e l'energia che esce, si stabilisce un equilibrio complessivo rappresentato dal "clima", a sua volta composto da equilibri regionali e locali.

Pertanto, mentre nella pratica il clima è definito dalle **condizioni meteorologiche medie** (temperatura, precipitazioni, vento, umidità) in un arco di tempo di almeno trent'anni, nell'attività di ricerca scientifica è definito come lo **stato di equilibrio energetico** tra flusso di energia solare entrante sul nostro pianeta e flusso di energia uscente dal nostro pianeta.



## Le componenti dell'equilibrio energetico

Lo stato di equilibrio energetico della Terra è il risultato delle interazioni fra le diverse componenti che incessantemente si scambiano flussi di calore, di energia e di materia:

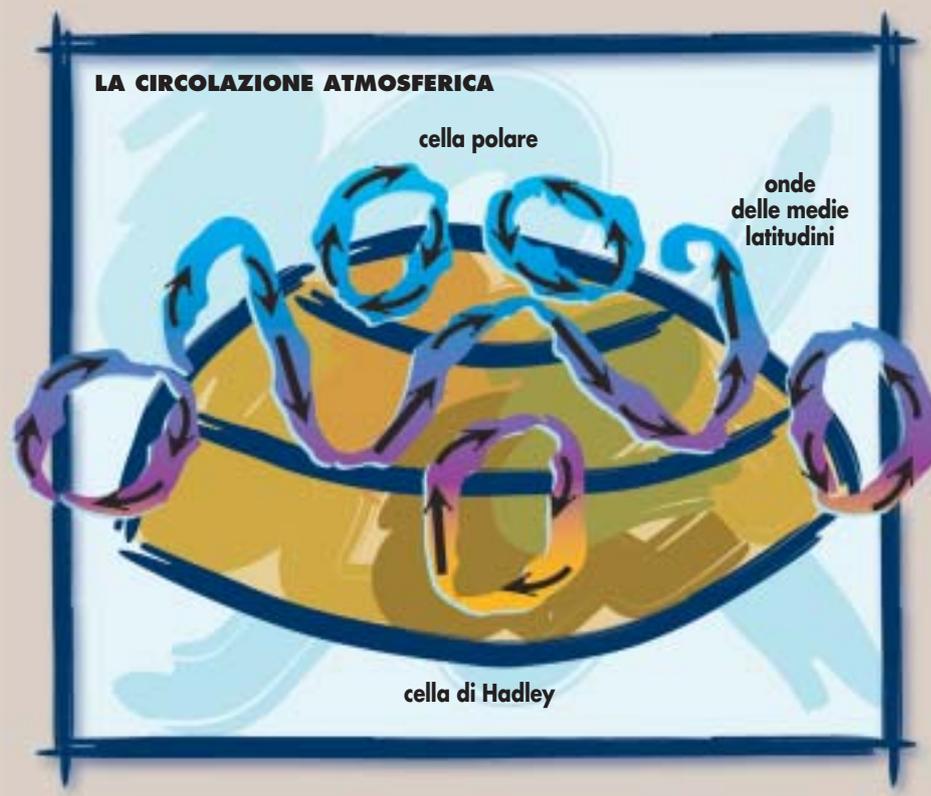


## ● L'atmosfera:

l'atmosfera trasferisce calore dall'equatore ai poli. Questo trasporto di energia non avviene in maniera semplice; infatti la circolazione che riceve una maggiore quantità di energia solare, generale delle masse d'aria che dall'equatore si dirigono verso i poli -il sistema dei venti- è complicata dalla rotazione della Terra che ne devia il percorso. La circolazione generale delle masse d'aria risulta quindi composta dalla combinazione di tre circolazioni minori:

- 1) la circolazione tropicale, detta cella di Hadley, che effettua lo scambio di calore tra l'equatore e i tropici;
- 2) la circolazione delle latitudini medi, e che grazie al suo andamento ondulato effettua lo scambio di calore tra i tropici e le latitudini medie (60°);
- 3) la circolazione polare, che effettua lo scambio tra le latitudini medie ed i poli.

Oltre ai movimenti delle masse d'aria al suo interno, anche la composizione dell'atmosfera influenza il clima: la concentrazione di determinate sostanze, come i "gas serra", infatti, ne modifica la capacità di trattenere il calore.



- **Gli oceani:**

anche gli oceani trasportano calore dall'equatore ai poli, aiutando così a equilibrare la disparità termica tra le due regioni. Ciò avviene grazie alla corrente calda che si forma nelle regioni equatoriali e sale fino all'Islanda, dove incontra i venti gelidi provenienti dal Canada. Qui l'acqua del mare si raffredda, cedendo calore all'aria e mitigando quindi l'effetto che tali venti avrebbero sul Nord Europa.

Evaporando l'acqua diventa più densa e tende a scendere generando una corrente profonda: in pratica si tratta di un grande nastro trasportatore di acqua fredda e salata che nasce nei mari del nord e visita tutti gli oceani in un viaggio che dura all'incirca 1.000 anni. La portata di tale corrente è equivalente a 100 volte la portata del Rio delle Amazzoni.

- **La geosfera:**

l'evoluzione del clima sulla terra è strettamente legata, sul lungo periodo, alla storia dei continenti; infatti i climi dipendono strettamente dalla posizione delle terre emerse. Possiamo dire che, ad ogni stadio della deriva dei continenti, corrisponde un clima particolare. Ma il clima è anche influenzato, sul breve periodo, dall'attività vulcanica; forti eruzioni immettono nell'atmosfera quantità considerevoli di polveri e di gas (aerosol) che hanno l'effetto di riflettere l'energia solare e quindi provocano un raffreddamento della superficie terrestre.

Ad esempio, quando ai poli non c'erano delle terre emerse, il clima era globalmente più caldo poiché l'oceano poteva trasportare calore verso i poli in maniera più efficace.

- **La biosfera:**

boschi, foreste, organismi vegetali marini, il fitoplancton, attraverso i processi di fotosintesi, sottraggono anidride carbonica ( $CO_2$ ) all'atmosfera e la trasformano in biomassa e quindi costituiscono, di fatto, la principale fonte di assorbimento e di riciclo della  $CO_2$  atmosferica.

- **L'energia solare:**

l'intensità dell'energia solare varia con una ciclicità di circa undici anni anche se tale variazione non sembra avere un'influenza notevole sul clima terrestre.

- **L'orbita terrestre:**

le variazioni dell'eccentricità dell'orbita terrestre, la precessione degli equinozi, la variazione dell'inclinazione dell'asse di rotazione della Terra, influenzano il clima terrestre.

In generale si può dire che i periodi più freddi sono quelli nei quali l'obliquità dell'asse terrestre è minore, l'eccentricità maggiore e la precessione degli equinozi tale che la Terra è lontana dal Sole e con l'asse di rotazione inclinato in verso opposto al Sole durante l'inverno nell'emisfero Nord.

### IL "NASTRO TRASPORTATORE"



## LE OSCILLAZIONI STORICHE DEL CLIMA

L'età della Terra viene oggi stimata in circa 5 miliardi di anni, ed è ormai accertato che, sin dalle sue origini, il pianeta ha subito un alternarsi di periodi freddi, culminati in diversi episodi di glaciazione durati anche milioni di anni, e periodi di clima temperato o caldo, lunghi centinaia di milioni di anni.

Continue oscillazioni sono sempre state la norma, come dimostrato dalle piccole glaciazioni, d'intensità minore e di breve durata, che avrebbero a loro volta interrotto i lunghissimi periodi caldi.

Ovviamente le ricostruzioni dei climi del passato sono approssimative e basate su esami geologici e sullo studio di reperti paleontologici.

Il clima ha modificato la superficie della Terra, ma soprattutto ha condizionato la vita degli organismi che la abitano.

Ad ogni sua variazione piante, animali e uomini hanno dovuto trovare nuove forme di adattamento, spesso migrando in cerca di ambienti più ospitali. L'abilità dei primi esseri umani di adattarsi a condizioni climatiche anche estreme è stata una delle chiavi della sopravvivenza della specie.

I dati disponibili permettono di dare informazioni più dettagliate sul clima dell'ultimo milione e mezzo di anni, quella che viene chiamata dai geologi l'Era Quaternaria.

Questo periodo è caratterizzato da quattro glaciazioni maggiori e tre fasi interglaciali; durante questa Era i continenti presero la posizione attuale e apparve l'uomo moderno.

L'ultima glaciazione ha permesso la diffusione dell'uomo su tutto il pianeta, facilitata dai corridoi di terre emerse sorti a causa dell'abbassamento del livello del mare.

Finita l'era glaciale, circa 18-20 mila anni fa, il clima tornò, con diverse oscillazioni, ad essere più caldo e umido.

Avvicinandosi ai giorni nostri, le informazioni a disposizione diventano sempre più precise; attorno al 6000 a.C. sulla regione del Sahara si rovesciarono grandi quantità di pioggia che andarono a formare i grandi fiumi i cui letti sono ancora oggi visibili.

Poi, intorno al 3000 a.C., le precipitazioni diminuirono e il Sahara tornò ad essere una regione arida e inospitale.

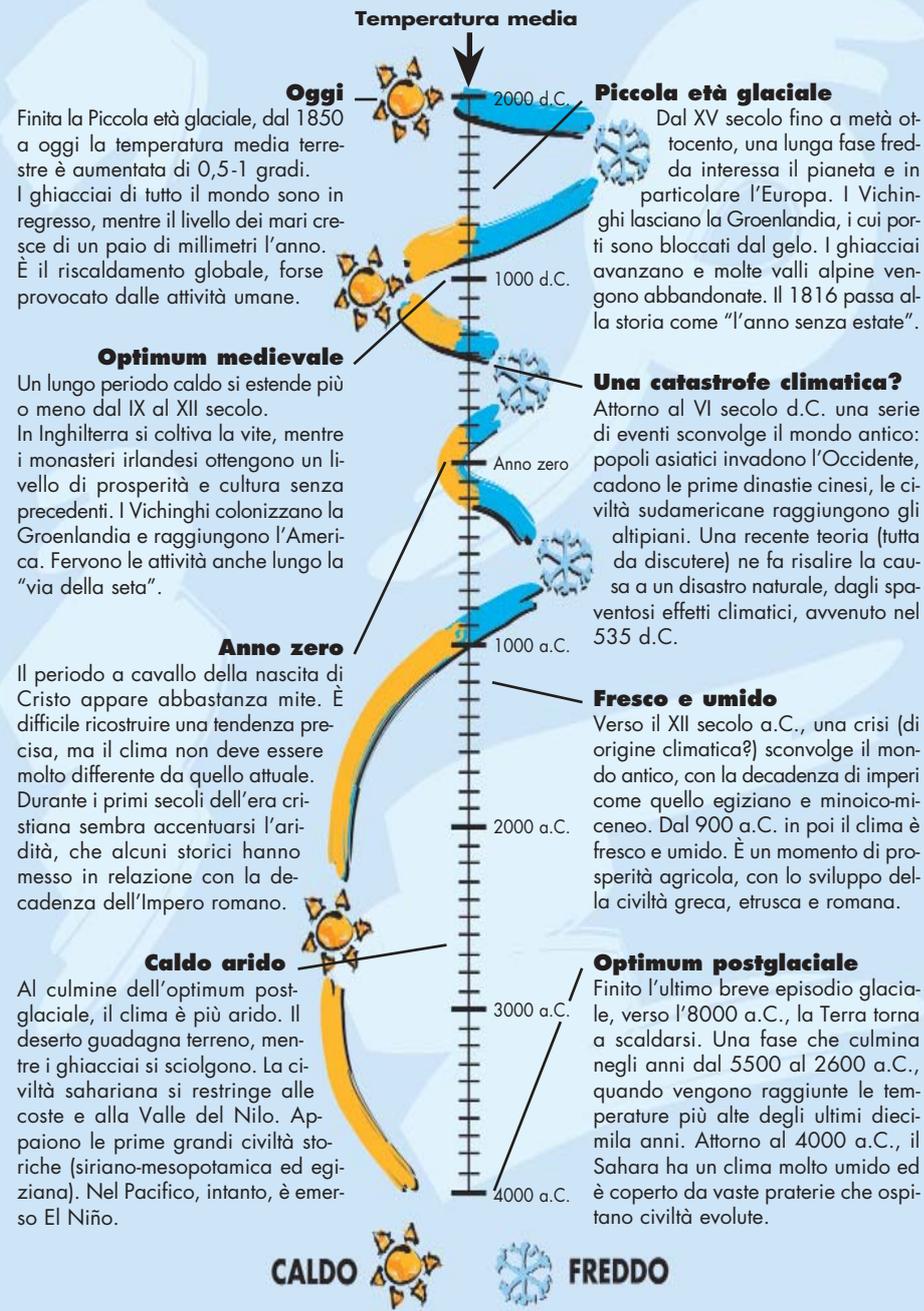
In epoca greco-romana, le oscillazioni tra caldo e freddo si fecero più frequenti e meno ampie. I primi secoli dell'era cristiana sembrano essere caratterizzati da un clima mite ma arido.

Il medioevo appare come un periodo caldo ben definito e ciò è confermato dal fatto che in Inghilterra si produceva vino, 500 chilometri più a Nord rispetto a oggi.

Terminato quello che viene chiamato l'optimum climatico medievale, attorno al 1200 il clima tende a raffreddarsi, inizia quella che viene chiamata dai climatologi la "Piccola età glaciale" che culmina nel 1816, passato alla storia come "l'anno senza estate".

A metà ottocento le temperature tornano ad aumentare, inaugurando un periodo caldo che dura ancora oggi.

## IL CLIMA NEGLI ULTIMI 6000 ANNI



## **i** Storia dello studio del clima

Le attività umane sono sempre state influenzate dagli eventi meteorologici e per questo motivo gli uomini, fin dall'antichità, scrutavano il cielo, osservavano il comportamento degli animali e si affidavano a saperi e credenze varie per cercare di rispondere alla domanda "che tempo farà domani?".

I primi ad effettuare osservazioni meteorologiche regolari sono i cinesi, nel 1300 a.C. Nello stesso periodo i Babilonesi formulano vere e proprie regole climatiche poste sotto gli auspici del dio Marduk, dio del cosmo.

I Greci si interessano molto alla meteorologia e Aristotele, con il testo "Meteorologia", servirà da riferimento a tutto il mondo occidentale per molti secoli. Con l'impulso dato dai pensatori greci e poi romani, la meteorologia diviene una scienza vera e propria che però, durante il medioevo non fa passi in avanti.

Come per la maggior parte delle scienze è durante il Rinascimento, tra il XVII e il XVIII secolo, che vengono costruiti numerosi strumenti di misura quali il termometro a mercurio, il barometro ed infine un importante strumento che servirà a Fourier per misurare l'effetto serra: l'eliotermometro.

Infatti, nel 1824, lo scienziato francese definisce l'atmosfera come una serra compressa tra la superficie della Terra e lo spazio interstellare: "È così che la temperatura della Terra viene aumentata dall'interposizione dell'atmosfera, perché il calore nello stato di luce trova meno resistenza nel penetrare l'aria, che nel ripassare quando viene convertita in calore non luminoso".

Nel 1895 Arrhenius presenta la sua memoria "Sull'influenza dell'anidride carbonica atmosferica sopra le temperature terrestri" nella quale la descrizione dell'effetto serra fatta da Fourier si arricchisce di nuovi particolari individuando gli elementi dell'atmosfera che sono causa di tale effetto.

Le ricerche sull'influenza dell'anidride carbonica sul clima proseguono per tutta la prima metà del 1900 e culminano nel 1958, con la costruzione alle Hawaii di un osservatorio per monitorare la concentrazione della CO<sub>2</sub> in atmosfera.

Le conoscenze sul clima sono molto progredite dai tempi di Fourier, sono cambiati gli strumenti e i metodi di ricerca, nonché il numero di persone coinvolte; ogni anno le riviste scientifiche pubblicano migliaia di articoli che riportano i risultati di ricerche sul clima, le misurazioni dei principali parametri, le statistiche degli eventi meteorologici estremi, ecc.

È anche per vagliare i risultati di tali ricerche e per sintetizzarli che, alla fine degli anni '80, viene istituito l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), il comitato di esperti delle Nazioni Unite incaricato di studiare i cambiamenti climatici.

## **2** LE ATTIVITÀ UMANE COME CAUSA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

### L'EFFETTO SERRA NATURALE

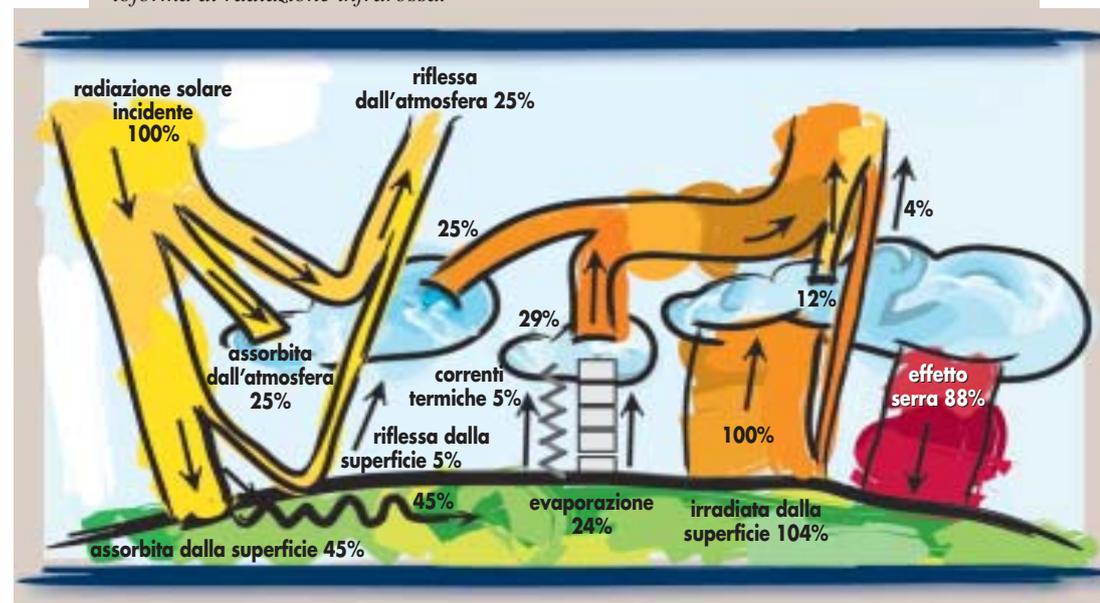
L'effetto serra è il fenomeno naturale determinato dalla capacità dell'atmosfera di trattenere sotto forma di calore parte dell'energia che proviene dal Sole.

Come aveva intuito Fourier, il fenomeno è dovuto alla presenza nell'atmosfera di alcuni gas, detti "gas serra", che "intrappolano" la radiazione termica che viene emessa dalla superficie terrestre riscaldata dal Sole.

Proprio come i vetri di una serra, infatti, l'atmosfera è "trasparente" alla radiazione solare che proviene dal Sole, mentre è parzialmente "opaca" a quella termica emessa dalla superficie terrestre. Grazie a questo fenomeno, la temperatura media della terra si mantiene intorno ai 15°C, contro i -19°C che si avrebbero in assenza dei "gas serra".

### **i** Effetto serra su base 100

Dalle radiazioni solari entranti solo il 45% viene assorbito dalla terra: infatti il 25% viene riflesso dall'atmosfera, il 5% dalle superfici riflettenti della Terra (ghiacciai, oceani), mentre il 25% viene assorbito dall'atmosfera che lo rimette sotto forma di radiazione infrarossa (calore). Anche la Terra emette energia come radiazione infrarossa, di questa il 4% viene irradiata direttamente nello spazio, il 100% viene invece assorbita dai gas serra e viene poi re-radiata dall'atmosfera terrestre (88%). Quest'ultimo valore rappresenta l'effetto serra. La superficie della Terra emette energia anche attraverso l'evaporazione 24% e le correnti termiche 5%; questa energia viene assorbita dall'atmosfera e poi rimessa sotto forma di radiazione infrarossa.



I gas maggiormente responsabili di questo fenomeno, oltre il vapore acqueo, che è il principale gas serra naturale, sono la  $\text{CO}_2$ , il metano, l' $\text{NO}_2$  (protossido di azoto).

**L'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ )**, uno dei principali composti del carbonio, è presente in natura in quattro grandi "serbatoi":

- La biosfera, nella quale il carbonio è presente nelle molecole organiche (lipidi, glucidi, ecc.) (3.100 miliardi di tonnellate o gigatonnellate);
- Gli oceani, nei quali il carbonio è disciolto sotto forma di carbonati e bicarbonati (40.000 gigatonnellate);
- La geosfera, dove il carbonio si presenta essenzialmente sotto forma di calcare e di combustibili fossili (rispettivamente 40.000 e 12.000 gigatonnellate);
- L'atmosfera, dove il carbonio è presente sotto forma di  $\text{CO}_2$  (600 gigatonnellate).

Questi serbatoi sono legati tra loro da importanti scambi che nel loro insieme costituiscono il "ciclo del carbonio":

- Gli organismi vegetali utilizzano la  $\text{CO}_2$  atmosferica per produrre materia organica attraverso la fotosintesi clorofilliana; la quantità di carbonio così fissata ogni anno è notevole (100 gigatonnellate per anno); il carbonio è poi riemesso dagli ecosistemi attraverso la respirazione di piante e animali;
- La  $\text{CO}_2$  atmosferica entra negli oceani per diffusione e viene convertita in forme diverse; ad esempio viene fissata da alcuni organismi che la utilizzano per costruire i propri gusci che, alla morte dell'animale, si depositano sul fondo degli oceani a formare vasti depositi di materiale calcareo;
- Gli organismi vegetali ed animali decomponendosi in condizioni anaerobiche hanno formato grandi depositi di combustibili fossili. Il carbone, il petrolio e il gas naturale sono infatti essenzialmente formati da composti del carbonio.

In breve, la fotosintesi sottrae anidride carbonica all'atmosfera facendo passare il carbonio dall'ambiente abiotico agli organismi viventi. Da questi ultimi ritorna all'acqua od all'atmosfera attraverso la respirazione cellulare, la combustione e l'erosione. Il bilancio naturale del ciclo del carbonio, in assenza di attività dell'uomo, è pressoché in pareggio.

**Il metano ( $\text{CH}_4$ )** si produce dalla degradazione di materiale organico in assenza di ossigeno (anossia). Esso viene naturalmente emesso da mangrovie e paludi, mentre le emissioni dovute alle attività umane provengono essenzialmente dalle perdite di gas naturale e di altri combustibili fossili durante l'estrazione e il trasporto, dalla combustione di biomasse, dall'agricoltura e dalla zootecnica, ed infine dalle discariche.

**Il protossido di azoto ( $\text{NO}_2$ )** è un gas serra molto potente e con un tempo di permanenza in atmosfera piuttosto elevato (120 anni), ma con una bassa concentrazione; le principali fonti antropiche di emissione derivano dai fertilizzanti azotati usati in agricoltura e in alcune produzioni industriali.

**CFC, HFC,  $\text{CF}_4$** , sono dei composti chimici a base di carbonio che contengono cloro, fluoro, iodio o bromo. Con il Protocollo di Montreal (1987) è stato vietato l'uso di una serie di sostanze tra le quali i clorofluoro - CFC - carburi (responsabili del buco nell'ozono) e quindi si è arrivati ad una diminuzione della loro concentrazione; ma anche i prodotti sostitutivi (HFL e  $\text{CF}_4$ ) sono potenti gas serra.

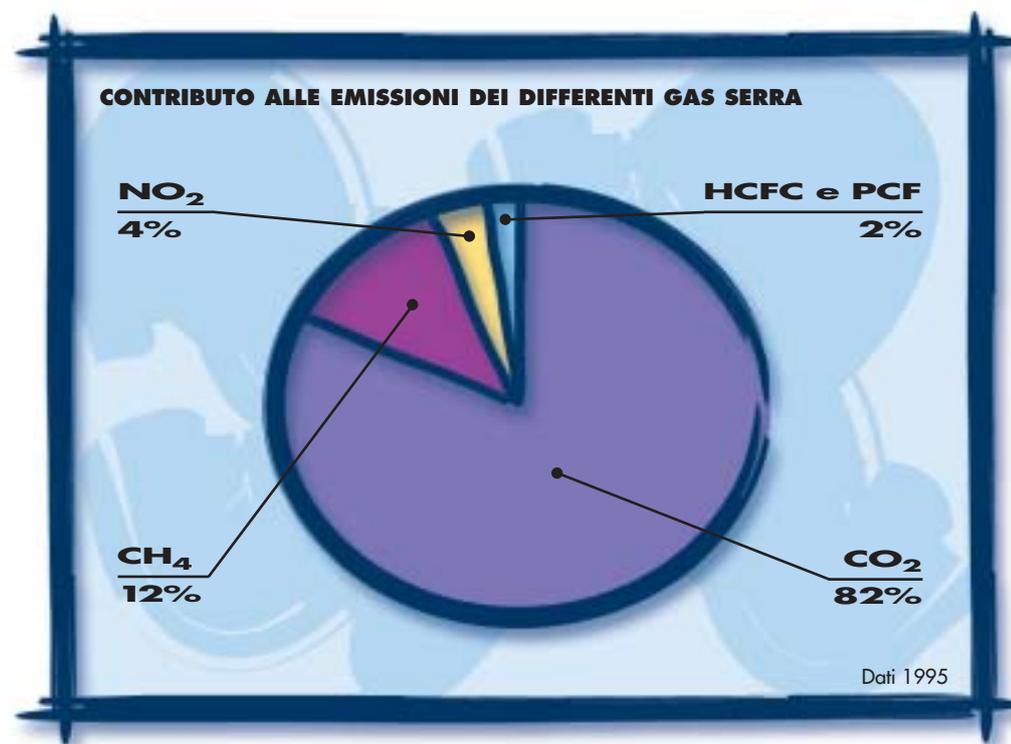
## L'EFFETTO SERRA ANTROPOGENICO

Con le emissioni in atmosfera di grandi quantità di gas serra, le attività umane stanno generando un effetto serra aggiuntivo a quello naturale, che tende ad alterare tutti gli equilibri del sistema climatico.

L'uomo, infatti, modifica costantemente la composizione dell'atmosfera, introducendo nuove sorgenti di gas serra ed interferendo con i serbatoi naturali;

Le emissioni derivano per la maggior parte dal consumo e dalla combustione di fonti fossili, altre vengono da alcune produzioni industriali, dall'agricoltura, dall'allevamento e dalla gestione dei rifiuti.

La diminuzione degli assorbitori di gas serra dipende invece dalla riduzione, per distruzione o per cambiamento d'uso, delle superfici forestali che hanno la proprietà di assorbire la  $\text{CO}_2$ .



## LE EMISSIONI DI GAS SERRA

Nel 1995 l'82% delle emissioni di gas serra sono state di CO<sub>2</sub>. Seguono il metano 12%, l'NO<sub>2</sub> 4%; il rimanente 2% è dato dalla somma delle emissioni dei HCFC e PCF.

Per valutare il contributo all'effetto serra dei differenti gas, bisogna prendere in considerazione tre parametri:

- La loro concentrazione in atmosfera;
- Il forcing radiativo di ciascun gas, ovvero la diversa capacità di intrappolare l'energia che va dalla Terra verso lo spazio;
- Il tempo medio per il quale un certo gas rimane in atmosfera, ovvero la persistenza (ovviamente se un gas serra rimane in atmosfera per poco tempo avrà un effetto minore di un gas serra che rimane in atmosfera molto a lungo).

Per poter rendere possibile il confronto tra gas con differenti caratteristiche è stato sviluppato un metodo che permette di valutare i diversi gas evidenziando il loro potenziale di riscaldamento globale (GWP), tenendo dunque conto del tempo di permanenza in atmosfera, della concentrazione e del forcing radiativo; il GWP è una misura dell'effetto serra relativo di un gas utilizzando come gas di riferimento l'anidride carbonica.

LIVELLI DI CONCENTRAZIONE E PERSISTENZA IN ATMOSFERA PER ALCUNI DEI PIÙ IMPORTANTI GAS SERRA						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	CFC-11	HFC-23	CF <sub>4</sub> (PFC)
Pre rivoluzione industriale	~280 ppmv	~700 ppbv	~280 ppbv	-	-	40 pptv
1998	365 ppmv	1.745 ppbv	314 ppbv	268 pptv	14 pptv	80 pptv
Tasso di crescita annuo attuale	0,5	0,6	0,25			
Persistenza media (anni)	50/200	12	114	45	257	50.000
GWP (Potenziale di Riscaldamento Globale)	1	21	310	4.000	11.700	6.300

*ppmv=parti per milione in volume, ppbv=parti per miliardo in volume, pptv=parti per migliaia di miliardi in volume.*

Il Segretariato delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) svolge un'importante funzione di raccolta e di omogeneizzazione dei dati relativi alle emissioni di gas serra of-

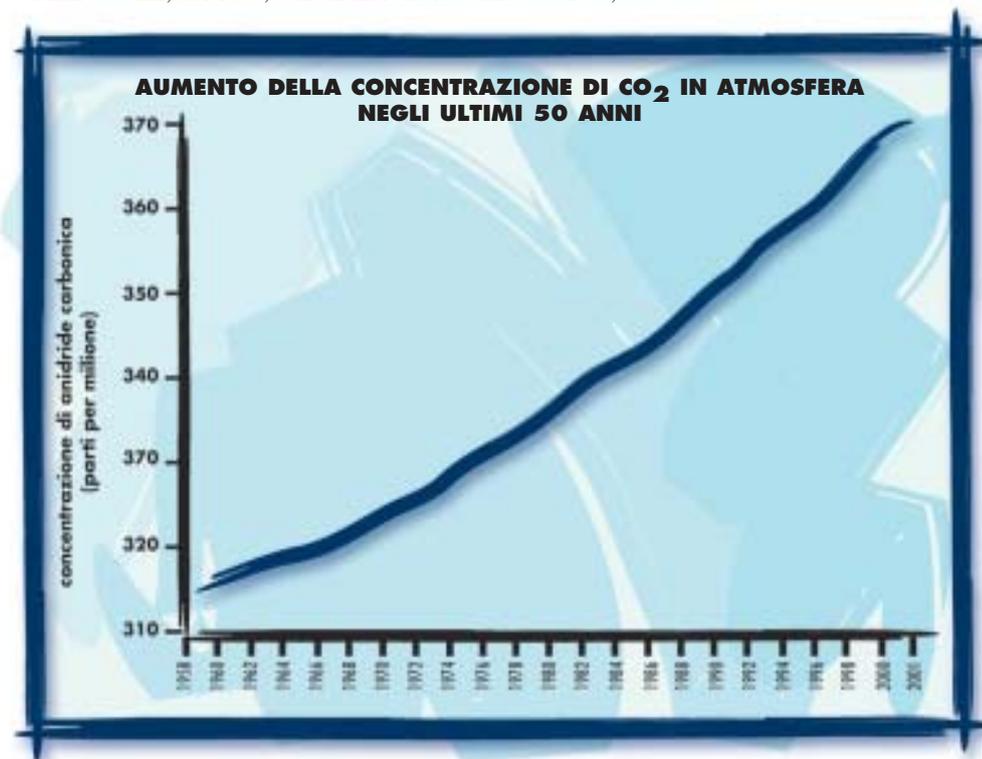
frendo in questo modo una visione di insieme delle emissioni dei paesi industrializzati, oltreché paese per paese.

Secondo l'UNFCCC, nel 1998 la maggior fonte di emissione proviene dall'uso di fonti di energia fossile (96,7%). All'interno di questa categoria sono le industrie energetiche ad occupare la quota più importante (39,1%), segue poi il settore dei trasporti (26,7%).

L'anidride carbonica è dunque il principale gas ad effetto serra di origine antropogenica, ed il principale responsabile delle emissioni di gas serra è il settore energetico.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> legate al settore energetico dipendono sia dal livello della domanda di energia, che dalle fonti utilizzate. Infatti, non tutti i combustibili emettono la stessa quantità di CO<sub>2</sub> (ad esempio a parità di energia termica prodotta, il gas naturale emette quasi la metà del carbone).

Il grafico qui sotto mostra la crescita costante della concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera: negli ultimi 40 anni, del 16%; con un incremento annuo dello 0,5%.

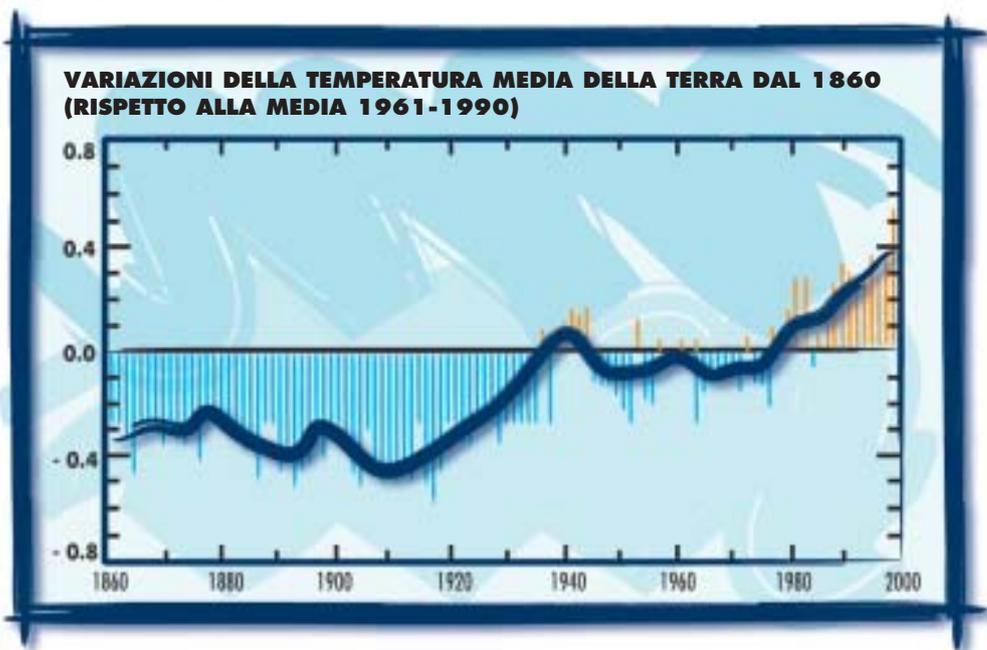


Ogni anno l'uomo immette in atmosfera 7 gigatonnellate di carbonio; confrontando questo dato con l'entità dei flussi che legano l'atmosfera e la biosfera (100 gigatonnellate di carbonio all'anno) si nota che pur essendo molto piccole rispetto alle emissioni totali, le emissioni antropiche sono sufficienti a spostare l'equilibrio del ciclo e a provocare un aumento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera.

### 3 EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI A LIVELLO GLOBALE

Allo stato attuale delle conoscenze scientifiche e sulla base dei più recenti studi dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) la maggior parte degli esperti concorda nel ritenere che, a causa dell'aumento delle concentrazioni di gas serra in atmosfera, nel prossimo futuro potremmo aspettarci i seguenti fenomeni:

- **Aumento della temperatura del pianeta.** Dal 1860, data a partire dalla quale sono disponibili dati attendibili, la temperatura media della Terra è aumentata di 0,6°C. In termini di durata e di ampiezza del fenomeno, il riscaldamento durante il 1900 sembra essere stato il più importante negli ultimi mille anni;



- **Aumento delle precipitazioni**, soprattutto nell'emisfero Nord, e particolarmente alle medie e alte latitudini. Diminuzione delle piogge nelle regioni tropicali e subtropicali;
- **Aumento nella frequenza e nell'intensità di eventi climatici estremi** come alluvioni, tempeste, ondate di caldo o freddo eccessivo;
- **Aumento del rischio di desertificazione** in alcune zone;
- **Diminuzione dei ghiacciai** presenti nelle principale catene montuose mondiali;
- **Crescita del livello del mare.** Negli ultimi 100 anni si è già verificato un innalzamento di circa 10/25 cm.

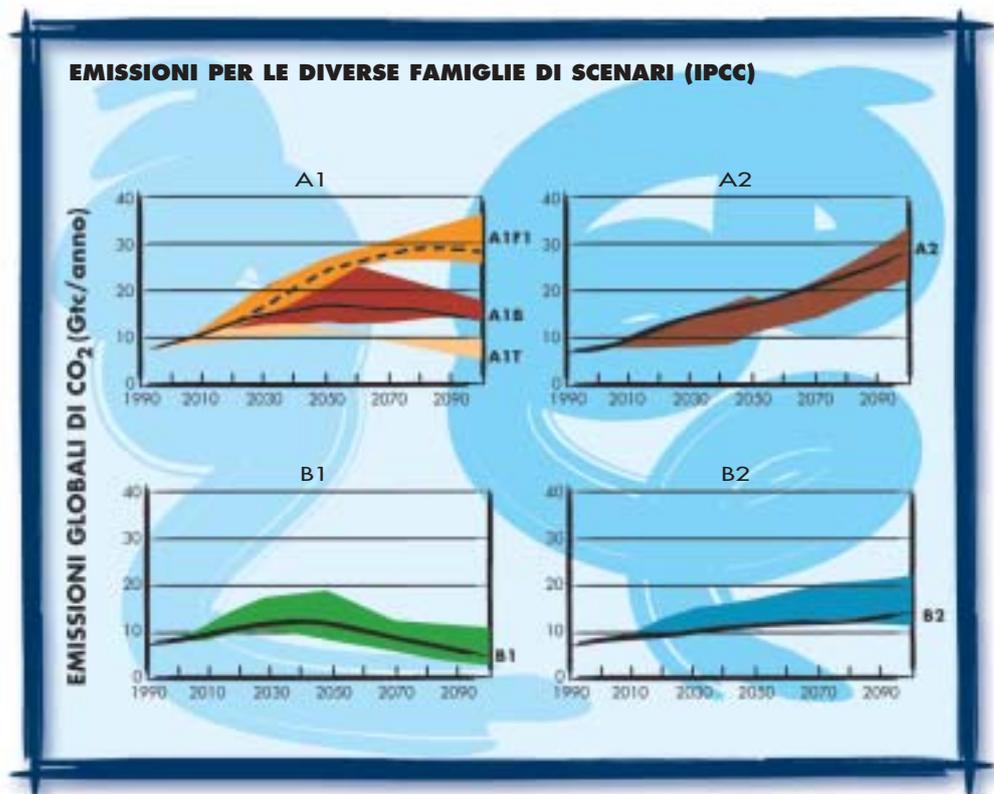
### GLI SCENARI FUTURI

Negli ultimi venti anni, gli scienziati hanno sviluppato modelli di calcolo che cercano di prevedere i cambiamenti climatici. I modelli utilizzati, chiamati GCM (General Circulation Models, modelli di circolazione generale), funzionano su calcolatori molto potenti che utilizzano tutte le conoscenze sul clima per ottenere tali previsioni.

Alcuni studi dell'IPCC prendono in considerazione diverse ipotesi di evoluzione per alcuni parametri fondamentali: crescita demografica, sviluppo economico, risorse disponibili (fonti primarie di energia) e tecnologia. Le diverse ipotesi di evoluzione vengono dette "famiglie di scenari".

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLE 4 FAMIGLIE DI SCENARI DELL'IPCC				
	Famiglia A1	Famiglia A2	Famiglia B1	Famiglia B2
<b>Crescita demografica</b>	8,7 miliardi al 2050 7 miliardi al 2100	15 miliardi al 2100	8,7 miliardi al 2050 7 miliardi al 2100	10,4 miliardi al 2100
<b>Sviluppo economico</b>	Alto nei paesi industrializzati Alto nei paesi in via di sviluppo	Alto nei paesi industrializzati Medio nei paesi in via di sviluppo	Alto nei paesi industrializzati Basso nei paesi in via di sviluppo	Alto nei paesi industrializzati Basso nei paesi in via di sviluppo
<b>Risorse disponibili</b>	Alte	Alte	Alte	Alte
<b>Tecnologie</b>	Evoluzione tecnologica rapida con tre possibilità di sviluppo delle fonti energetiche: A1F1 combustibili fossili A1B equilibrio combustibili fossili altre fonti A1T risorse non fossili	Evoluzione tecnologica frammentaria e lenta	Sviluppo sostenibile, uso contenuto delle risorse	Evoluzione tecnologica differenziata e lenta ma orientata verso lo sviluppo sostenibile

Per ognuna di queste famiglie di scenari, sono stati calcolati diversi livelli di emissione di CO<sub>2</sub>, per il periodo 1990-2100.



I principali cambiamenti individuati dai modelli, a seguito dell'aumento della concentrazione di gas di serra nell'atmosfera, sono essenzialmente tre:

- il riscaldamento globale della bassa atmosfera e della superficie terrestre,
- l'accelerazione del ciclo dell'acqua nell'atmosfera e nel suolo,
- l'aumento del livello dei mari.

### RISCALDAMENTO GLOBALE

Tutti i modelli matematici attualmente disponibili prevedono un generale riscaldamento dei bassi strati dell'atmosfera e della superficie terrestre in un intervallo compreso fra 1,5 e 5,8°C e contemporaneamente un raffreddamento degli strati più alti dell'atmosfera.

Il tasso medio di incremento della temperatura è stimato in circa 0,3°C ogni 10 anni. I tempi in cui tale cambiamento avverrà sono ancora incerti ed incerta è anche la distribuzione che tale aumento assumerà a scala subcontinentale.

Tuttavia, analisi e valutazioni condotte su vari scenari permettono di dire che la distribuzione del riscaldamento climatico alle diverse latitudini avrà le seguenti caratteristiche:

#### ● Alte latitudini (fascia polare e subpolare)

In inverno l'aumento di temperatura previsto alle alte latitudini sarà maggiore dell'aumento medio globale ed interesserà più le terre emerse che la superficie marina. Sui mari polari, in particolare, vi sarà una riduzione dell'estensione del ghiaccio marino; poiché il ghiaccio influenza gli scambi di calore oceanici, il riscaldamento climatico nelle aree artiche ed alle alte latitudini sarà ancora più vistoso. In estate, viceversa, il riscaldamento previsto alle alte latitudini sarà inferiore a quello medio globale a causa della grande capacità termica dell'oceano che distribuisce al suo interno la maggiore parte dell'energia assorbita.

#### ● Medie latitudini (fascia temperata)

Il riscaldamento estivo delle zone continentali alle medie latitudini dell'emisfero nord, sarà maggiore della media globale, mentre quello invernale sarà quasi uguale a quello medio globale. Tale effetto è particolarmente evidente alle medie latitudini dell'emisfero nord dove esiste la più alta percentuale di superfici emerse e dove, proprio per l'elevata presenza dei continenti, l'azione raffreddante della evaporazione marina è limitata. Infatti, alle medie latitudini dell'emisfero sud, il riscaldamento climatico non presenterà apprezzabili variazioni stagionali e sarà più vicino al valor medio globale.

#### ● Basse latitudini (fascia subtropicale ed equatoriale)

Il riscaldamento delle zone intertropicali sarà minimo ed inferiore al riscaldamento medio globale. Inoltre, a differenza delle alte latitudini, si distribuirà pressoché uniformemente su tutte le stagioni. L'area intertropicale è occupata in gran parte dal mare e quindi il riscaldamento superficiale si tradurrà principalmente in un aumento dell'evaporazione oceanica più che della temperatura dell'aria.

### CICLO DELL'ACQUA NELL'ATMOSFERA E AL SUOLO

Le precipitazioni atmosferiche aumenteranno a livello globale in conseguenza dell'aumento della temperatura. Questo perché sarà maggiore l'evaporazione (e quindi la quantità di vapor d'acqua contenuta nell'atmosfera) e perché il ciclo dell'acqua nel sistema climatico verrà accelerato ed intensificato.

Tuttavia, l'aumento delle precipitazioni non sarà uniformemente distribuito sulla superficie terrestre. Infatti, si prevede che le precipitazioni aumenteranno apprezzabilmente alle alte latitudini e nella fascia intertropicale, sia nei mesi estivi che in quelli invernali. Alle medie latitudini, invece, l'aumento delle precipitazioni riguarderà solo il semestre più freddo.

L'atmosfera complessivamente più calda e più umida porterà ad una variabilità di situazioni a livello regionale maggiore di quella attuale: in particolare, eventi di siccità e/o di alluvioni si aggraveranno in alcune zone, mentre in altre diventeranno meno gravi.

Inoltre, poiché aumenterà l'intensità delle precipitazioni, le piogge a carattere alluvionale saranno più numerose.

Le conoscenze scientifiche attuali non sono sufficienti per affermare che l'aumento della frequenza di certi fenomeni meteorologici estremi, come alluvioni ed inondazioni (alle medie latitudini), rovesci e tempeste di neve (alle alte latitudini), uragani e cicloni tropicali (alle basse latitudini), aumenteranno di numero o se, invece, avranno solo una diversa distribuzione geografica.

### LIVELLO DEL MARE

Il livello medio del mare si innalzerà, come conseguenza dell'espansione termica degli oceani e dello scioglimento dei ghiacciai e delle banchise. Negli scenari più sfavorevoli il livello del mare potrebbe crescere fino a quasi un metro di altezza rispetto all'attuale livello mentre in quelli più favorevoli sarebbe contenuto entro 10-20 centimetri.

Negli scenari intermedi dei cambiamenti climatici, i modelli prevedono che il livello del mare salirà di circa 50 cm da qui al 2100.

Le incertezze scientifiche sono però ancora molte, ed esistono attualmente parecchi problemi, non solo scientifici, ma anche tecnologici, che limitano la nostra capacità di prevedere il clima futuro e di definire i futuri cambiamenti climatici.

Variazioni future inaspettate, consistenti e rapide del sistema climatico (come già altre volte è accaduto nel passato) sono possibili e per la loro stessa natura difficili da prevedere.

## 4 GLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La salute umana, i sistemi ecologici terrestri ed acquatici, i sistemi socioeconomici sono tutti sensibili sia all'entità che alla velocità dei cambiamenti climatici.

È probabile che molte regioni subiranno conseguenze negative, anche irreversibili, dai cambiamenti climatici, ma è anche probabile che alcuni degli effetti siano positivi e benefici. Questo dipenderà molto dalla floridezza economica e dall'organizzazione istituzionale delle singole nazioni. Infatti, di norma, sono più vulnerabili i paesi in via di sviluppo, dove le condizioni economiche e gli assetti istituzionali sono meno favorevoli.

Le più rilevanti conseguenze dei cambiamenti climatici riguardano i sistemi naturali ed in particolare gli ecosistemi terrestri ed acquatici ed i sistemi antropici come l'agricoltura, le risorse idriche, l'ambiente marino-costiero, la salute umana.

### SUI SISTEMI NATURALI

Gli ecosistemi contengono tutto il patrimonio terrestre di biodiversità genetica e delle specie e costituiscono la fonte primaria della vita sulla terra e della sua evoluzione. Nei processi ambientali, gli ecosistemi giocano un ruolo fondamentale nel ciclo del carbonio, riciclano i rifiuti, depurano le acque, controllano le inondazioni, i fenomeni di degrado del suolo e i processi di erosione delle coste.

La composizione e la distribuzione geografica di molti ecosistemi (foreste, praterie, deserti, sistemi montani, laghi, zone umide, oceani, ecc.) tenderanno a trasformarsi a seconda di come le singole specie risponderanno ai cambiamenti climatici.

Nella fase di trasformazione e di adattamento, probabilmente si perderà molta della diversità biologica attualmente esistente. Alcuni ecosistemi potrebbero non raggiungere un nuovo equilibrio, se non parecchie centinaia di anni dopo lo stabilizzarsi del nuovo assetto climatico.

### Ecosistemi forestali:

si ritiene probabile che una notevole frazione dell'attuale superficie forestale della Terra (un terzo come valore medio globale) subirebbe consistenti variazioni delle principali tipologie di vegetazione. Queste variazioni saranno più pronunciate alle alte latitudini e più blande nella fascia intertropicale. I sistemi forestali potranno subire cambiamenti nella composizione delle specie, e cioè potrebbero scomparire interi tipi di foresta ed insediarsi nuove associazioni di specie vegetali, e dunque nuovi ecosistemi.

### Ecosistemi montani e di alta quota:

la vegetazione collinare e montana tenderebbe a spostarsi verso quote più elevate; alcune specie che non hanno possibilità di spostarsi più in alto, perché già in vetta alle montagne, potrebbero estinguersi a causa della scomparsa del loro habitat.

### Ecosistemi desertici della fascia subtropicale:

tenderanno ad essere probabilmente più estremi; gli aumenti di temperatura potrebbero rappresentare una minaccia per organismi che vivono quasi al limite della tolleranza al calore. Si innescherebbero, invece, processi di desertificazione nelle zone temperate del pianeta dove attualmente sussistono condizioni di siccità ed il suolo è già in fase di degrado.

### Ecosistemi acquatici lacustri e fluviali:

il riscaldamento del clima produrrebbe effetti sia alle alte latitudini, dove aumenterebbe la produttività biologica, sia alle basse latitudini, al confine degli ambienti di vita delle specie di acqua fredda, dove, invece, aumenterebbe l'estinzione delle specie.

### Ecosistemi marini:

a causa della variazione del livello del mare, sono questi i sistemi che subirebbero maggiori conseguenze, soprattutto in termini di perdita della biodiversità. I rischi maggiori saranno corsi da quelli marino-costieri come le paludi salmastre, dagli ecosistemi a mangrovie, dalle zone umide costiere, dalle spiagge sabbiose, dalle scogliere coralline, gli atolli, ed i delta fluviali.

## SULL'AGRICOLTURA

I cambiamenti climatici indurranno, con ogni probabilità, variazioni consistenti nelle rese agricole e nella produttività, modificando pertanto l'attuale quadro mondiale di produzione alimentare. La produttività agricola dovrebbe aumentare in alcune aree, soprattutto alle alte latitudini, dove le condizioni climatiche sono attualmente sfavorevoli, e diminuire in altre, specialmente alle basse latitudini della fascia tropicale e subtropicale.

Tenuto conto della distribuzione mondiale dei Paesi ricchi e dei Paesi poveri, i cambiamenti climatici favorirebbero i primi per quello che riguarda la produzione agricola e agroalimentare. Gli studi finora condotti mostrano che, in totale, la produzione agricola mondiale potrebbe rimanere la stessa di quella attuale, nonostante i cambiamenti climatici previsti. A questa conclusione si è giunti però senza tener conto degli effetti derivanti eventuali da variazioni delle infestazioni di parassiti o di altre conseguenze negative sull'agricoltura collegate con i cambiamenti climatici, effetti estremamente difficili da valutare.

## SULLA SALUTE UMANA

Anche se prevedere le conseguenze sanitarie dei cambiamenti climatici è molto difficile, perché l'eventuale incremento delle affezioni indotte dal riscaldamento terrestre dipende da numerosi fattori, che coesistono ed interagiscono tra loro, molti studiosi concordano che i cambiamenti climatici potrebbero produrre effetti indiretti sulla salute umana.

In particolare è prevedibile un aumento della diffusione di malattie infettive trasmesse direttamente da microrganismi, insetti o altri ospiti intermedi (malaria, tenia, febbre gialla, alcuni encefaliti virali, ecc.), a causa di una maggiore distribuzione geografica e di migliori condizioni di sopravvivenza per questi organismi.

Secondo alcune valutazioni, la malaria si diffonderebbe anche nelle zone temperate delle medie latitudini con una incidenza maggiore del 10-15% per anno (circa 50-80 milioni di casi in più ogni anno).

Temperature elevate ed una maggiore frequenza di precipitazioni alluvionali potrebbero favorire anche la maggior diffusione di malattie infettive trasmesse per contagio come la salmonellosi, il colera ed altre.

## SULLA RISORSA ACQUA

Secondo le previsioni, una quantità compresa fra un terzo e la metà dell'attuale massa glaciale potrebbe scomparire nei prossimi cento anni. La riduzione dell'estensione dei ghiacciai e dello spessore della copertura nevosa influirebbe anche sulla distribuzione stagionale dei flussi idrici e quindi sulla disponibilità di acqua per gli usi civili, industriali, per la produzione idroelettrica e per l'agricoltura.

Poiché i cambiamenti climatici produrranno una accelerazione ed una intensificazione del ciclo globale dell'acqua, le conseguenze sulle risorse idriche regionali potrebbero essere assai rilevanti.

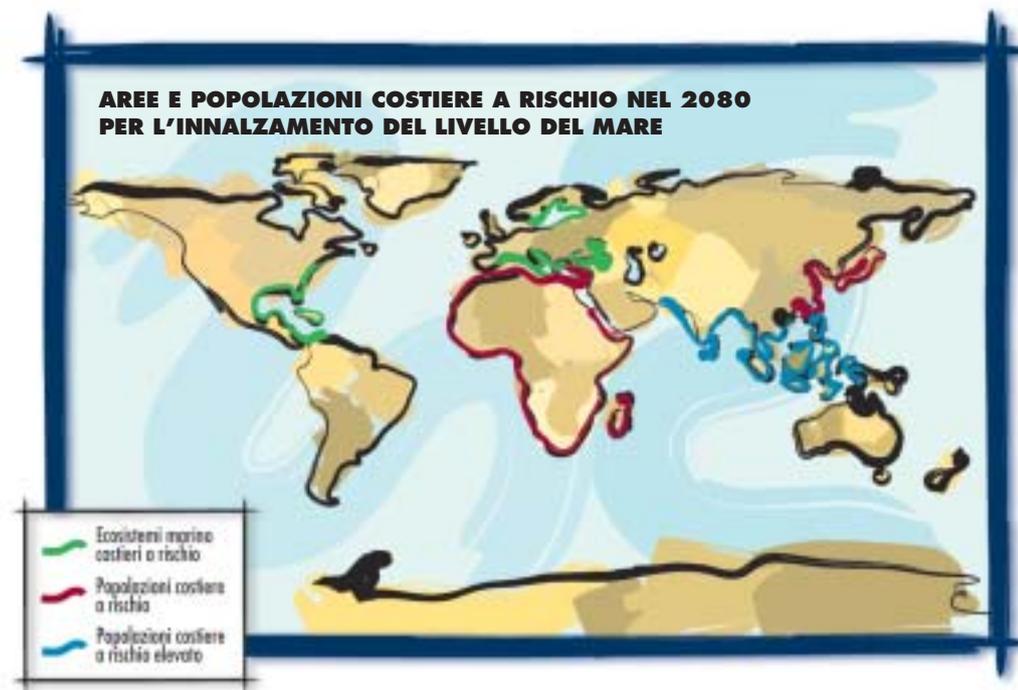
Variazioni della quantità totale, frequenza ed intensità delle precipitazioni influiranno direttamente sull'entità e sui tempi di deflusso delle acque pluviali, nonché sui fenomeni di siccità e sulle alluvioni. Paradossalmente ci sarebbe maggior quantità d'acqua nelle zone dove attualmente le risorse idriche sono già abbondanti e minor quantità d'acqua dove attualmente la carenza di risorse idriche è già un grave problema.

## SULLE ZONE COSTIERE

Poiché il livello medio del mare tenderà a crescere in conseguenza dei cambiamenti climatici, alcune popolazioni costiere potrebbero subire impatti particolarmente significativi a seguito delle inondazioni e delle perdite di territorio dovute all'erosione. Secondo le valutazioni esistenti, attualmente circa 46 milioni di persone corrono ogni anno il rischio di inondazioni.

Se non saranno avviate idonee azioni per adattarsi ai cambiamenti, già nella situazione demografica attuale, l'innalzamento medio previsto di 50 cm del livello del mare metterebbe a ri-

schio circa 100 milioni di persone. Il rischio è particolarmente elevato per le piccole isole e per i delta fluviali e le perdite di territorio stimate oscillerebbero da 0,05% per l'Uruguay, 1% per l'Egitto e 6% per l'Olanda, fino al 17,5% per il Bangladesh e addirittura fino all'80% circa per l'atollo Majuro nelle Isole Marshall.



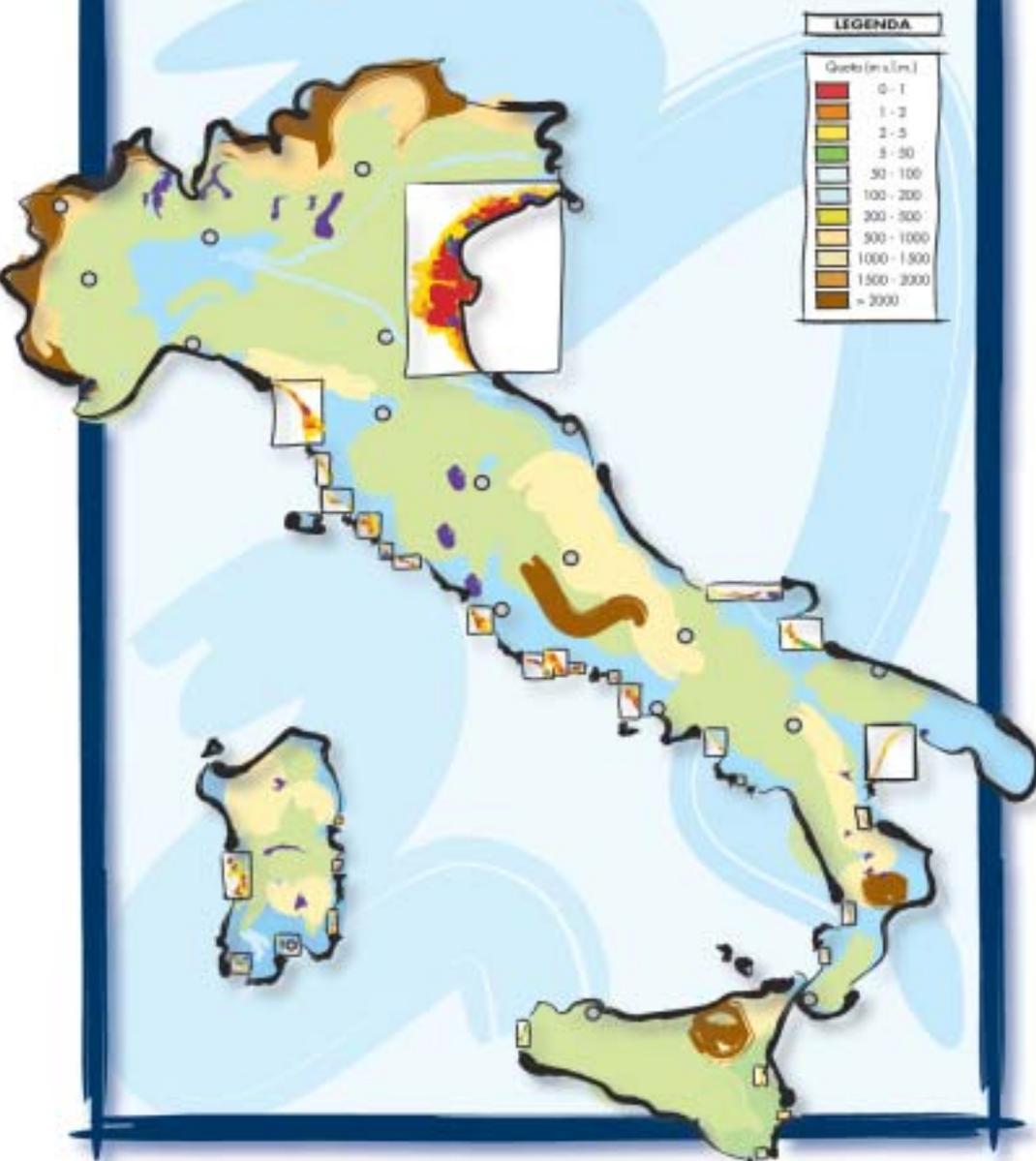
## IN ITALIA

Il Ministero dell'Ambiente in collaborazione con la Columbia University di New York e il Goddard Space Institute della Nasa ha elaborato gli scenari dei futuri impatti dei cambiamenti climatici nell'area mediterranea: l'innalzamento del livello del mare è uno degli effetti più critici e sensibili per l'Italia. Le stime più affidabili prevedono un aumento del livello del mare tra i 25/30 cm entro il 2050.

A questo aumento del livello del mare è legato il rischio di inondazione per almeno 4.500 km<sup>2</sup> di aree costiere e pianure. Venezia, in particolare, è considerata una delle aree urbane più esposte a tale rischio.

Questo fenomeno dovrebbe produrre effetti differenziati in quanto il territorio italiano è, dal punto di vista geologico, "giovane" e quindi ancora in movimento. Il Sud Italia, infatti, ha tendenza a sollevarsi, e quindi gli eventuali effetti dell'innalzamento del livello del mare sarebbero mitigati. Per quello che riguarda il Nord Italia, invece, vi è una tendenza opposta e quindi si avrebbero maggiori rischi di inondazione, in particolare per la Pianura Padano-Veneta, la Versilia e la pianura di Fondi e Pontina.

### ZONE COSTIERE ITALIANE CON AREE DEPRESSE



Altri effetti del cambiamento climatico per l'Italia riguardano l'aumento di temperatura e quindi il rischio di desertificazione per alcune zone del paese, e la diminuzione, già in atto, dell'estensione dei ghiacciai nazionali.

## 5 COSA SI FA A LIVELLO MONDIALE E NAZIONALE

### LA CONVENZIONE QUADRO, IL PROTOCOLLO DI KYOTO, LA COOPERAZIONE INTERNAZIONALE

Nel giugno 1992 a Rio de Janeiro, nel corso della Conferenza Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo, i paesi aderenti alle Nazioni Unite hanno sottoscritto diversi documenti relativi ad impegni finalizzati allo "Sviluppo Sostenibile" e tra questi la "Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici". Firmando questa convenzione gli stati si sono impegnati ad adottare programmi e misure finalizzate alla prevenzione, controllo e mitigazione degli effetti delle attività umane sul pianeta.

In particolare, l'obiettivo della Convenzione è quello di (art. 2) **"stabilizzare le concentrazioni nell'atmosfera dei gas ad effetto serra ad un livello tale da impedire pericolose interferenze di origine umana con il sistema climatico"**.

Nella Convenzione Quadro è stato istituito un organo definito "Conferenza delle Parti (COP)", al quale viene demandato il compito fondamentale di dare attuazione agli impegni generali contenuti nella Convenzione stessa.

Nel dicembre 1997, a Kyoto, è stato concordato un Protocollo attuativo della Convenzione che impegna i Paesi industrializzati e quelli in economia di transizione (i Paesi dell'est europeo), responsabili di oltre il 70% delle emissioni mondiali di gas serra, a ridurre complessivamente, del 5,2% rispetto ai livelli del 1990, le emissioni entro il 2012.

La riduzione complessiva 5,2% viene ripartita in maniera diversa: per i Paesi dell'Unione Europea nel loro insieme, la riduzione deve essere dell'8%, per gli Stati Uniti dell'7% e per il Giappone del 6%. Nessuna riduzione, ma la stabilizzazione è prevista per la Russia, la Nuova Zelanda e l'Ucraina.

Il Protocollo consente invece di aumentare le loro emissioni fino all'1% alla Norvegia, all'Austria fino all'8% e all'Islanda fino al 10%.

Non sono previste limitazioni alle emissioni di gas ad effetto serra per i Paesi in via di sviluppo, perché tale limite rallenterebbe o comunque condizionerebbe il loro sviluppo. Le limitazioni alle emissioni, infatti, si ripercuoterebbero sulla produzione e sui consumi di energia, sull'agricoltura, sull'industria comportando costi aggiuntivi che i Paesi in via di sviluppo non sono in grado di sostenere.

Il Protocollo indica inoltre le politiche e le misure che dovranno essere adottate per la riduzione delle emissioni:

- Promozione dell'efficienza energetica;
- Sviluppo delle fonti rinnovabili di energia e delle tecnologie innovative per la riduzione delle emissioni;
- Protezione ed estensione delle foreste per incrementare la capacità del pianeta di assorbire l'anidride carbonica;
- Promozione dell'agricoltura sostenibile;
- Limitazione e riduzione della produzione di metano nelle discariche di rifiuti e in altri settori energetici;
- Misure fiscali appropriate per disincentivare le emissioni di gas serra.

Il Protocollo di Kyoto prevede che le misure nazionali siano integrate da strumenti di cooperazione tra paesi in modo da ottenere il massimo risultato di riduzione con il minimo costo.

Gli strumenti di cooperazione tra paesi vengono chiamati “meccanismi flessibili”:

- **Joint implementation**, per la realizzazione, tra paesi industrializzati, di programmi comuni in qualsiasi settore dell’economia, finalizzati alla riduzione delle emissioni mediante la diffusione e l’impiego di tecnologie più efficienti, con accreditamento ad entrambe le parti dei risultati ottenuti;
- **Clean Development Mechanism**, per la realizzazione di programmi finalizzati a progetti di sviluppo sostenibile nei paesi in via di sviluppo, che prevedano anche industrializzazione ad alta efficienza tecnologica e energetica, attuati dai paesi industrializzati in cambio di quote certificate di riduzione delle emissioni;
- **Emission Trading**, che permette ad ogni Paese, nell’esecuzione dei propri obblighi, di trasferire i propri diritti di emissione o acquisire i diritti di emissione di un altro Paese.

Non tutti questi meccanismi sono ancora operativi e le prossime “Conferenze delle Parti” dovranno definire le linee-guida, i regolamenti, le modalità di accesso e di utilizzazione necessari ad un corretto utilizzo di tali strumenti. Il protocollo di Kyoto, nonostante siano trascorsi diversi anni dalla sua stesura, non è ancora stato ratificato da tutti gli stati che lo proposero, ma ha già prodotto rilevanti conseguenze economiche ed organizzative in particolare nel settore energetico.

## LE MISURE NAZIONALI DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA

Con la delibera del CIPE (Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica) del 19/11/1998 l’Italia ha adottato le “Linee Guida per le politiche e le misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra” che individuano gli obiettivi e le misure settoriali per la riduzione entro il 2008-2012 e rispetto ai livelli del 1990, del 6% delle emissioni.

Le “Linee Guida” prevedono la realizzazione di sei azioni nazionali:

- AZIONE 1:** aumento dell’efficienza nelle centrali termoelettriche;
- AZIONE 2:** riduzione dei consumi energetici nel settore dei trasporti;
- AZIONE 3:** produzione di energia da fonti rinnovabili;
- AZIONE 4:** riduzione dei consumi energetici nei settori abitativo/terziario ed industriale;
- AZIONE 5:** riduzione delle emissioni nei settori non energetici;
- AZIONE 6:** assorbimento delle emissioni di carbonio da parte delle foreste.

Sono inoltre previsti programmi di riduzione delle emissioni da promuovere nell’ambito dei meccanismi di “Joint Implementation” e “Clean Development Mechanism”, che dovranno coprire circa il 25-30% dell’impegno di riduzione nazionale previsto nel Protocollo di Kyoto. Infine è stato approvato il Programma Nazionale di Ricerca sul clima con la finalità di coordinare e sviluppare le iniziative di ricerca in collegamento con gli organismi di ricerca internazionali.

## 6 LA RICERCA E LE NUOVE TECNOLOGIE

La protezione dell’ambiente globale richiede l’adozione di nuove tecnologie in grado di ridurre le emissioni di gas serra, in particolare nella produzione di energia.

È questo, infatti, il settore dal quale dipende oltre il 90% delle emissioni di CO<sub>2</sub>. L’obiettivo è quello di ridurre il consumo di combustibili fossili o, in alternativa, utilizzare fonti di energia pulite ovvero “emission free”.

Purtroppo anche in Italia, come nella maggior parte degli altri Paesi industrializzati, si è assistito ad una riduzione degli stanziamenti per la ricerca energetica sia nel settore pubblico sia in quello privato.

In Italia le spese per la ricerca rappresentano l’1% del PIL, percentuale tra le più basse dei Paesi industrializzati: ogni cittadino italiano spende 200 dollari all’anno per le attività di ricerca contro i 500 dollari di un tedesco e i 700 dollari di un americano. Ciò nonostante, grandi passi avanti sono stati fatti e si può ragionevolmente contare che, in futuro, una significativa quota di combustibili fossili potrà essere sostituita con lo sfruttamento delle energie rinnovabili e con l’idrogeno.

### LE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI

Le fonti “rinnovabili” di energia sono quelle fonti che, a differenza dei combustibili fossili e nucleari destinati ad esaurirsi in un tempo definito, possono considerarsi inesauribili. Le fonti rinnovabili possiedono due caratteristiche fondamentali, che rendono auspicabile un loro maggior impiego: la prima consiste nel fatto che esse rinnovano la loro disponibilità in tempi brevi; l’altra è che, a differenza dei combustibili fossili, il loro utilizzo produce un inquinamento ambientale del tutto trascurabile.

Esistono comunque alcuni limiti che ne ostacolano il pieno impiego.

Le fonti rinnovabili forniscono energia in modo intermittente. Questo significa che il loro utilizzo può contribuire a ridurre i consumi di combustibile nelle centrali convenzionali, ma non può sostituirle completamente. Inoltre, per produrre quantità significative di energia, spesso è necessario impegnare rilevanti estensioni di territorio.

Sono fonti rinnovabili di energia:

- **Energia solare fotovoltaica:** produzione di energia elettrica direttamente dalla radiazione solare attraverso l’utilizzo di materiali “semiconduttori”;
- **Energia solare termica:** produzione di acqua o aria calda attraverso sistemi che utilizzano il calore del sole, può essere utilizzata in piccoli impianti per usi domestici, oppure concentrata attraverso specchi in grandi centrali per produrre elettricità
- **Energia eolica:** conversione dell’energia del vento in energia meccanica attraverso l’utilizzo di aerogeneratori;
- **Energia da biomasse:** energia derivante da processi di combustione di materiale organico; ad esempio biocarburanti derivati da prodotti agricoli (colza, mais, ecc.) che consentono un abbattimento significativo delle emissioni inquinanti e di anidride carbonica;
- **Energia geotermica:** energia proveniente dalla struttura terrestre, sfruttata per la produzione di energia elettrica;

- **Energia dal mare:** produzione di energia mediante lo sfruttamento del moto ondoso, delle maree, delle correnti e dei gradienti termici;
- **Energia idroelettrica:** l'energia cinetica dell'acqua viene trasformata in energia meccanica da una turbina idraulica accoppiata ad un generatore elettrico.

## L'IDROGENO

L'idrogeno non può essere considerato una fonte primaria di energia in quanto non esistono giacimenti di idrogeno, ma è un "vettore energetico", ovvero è un buon sistema per accumulare o trasportare energia.

L'idrogeno è un vettore ideale per un sistema energetico "sostenibile", in quanto:

- Può essere prodotto da una pluralità di fonti, sia fossili che rinnovabili, tra loro intercambiabili e disponibili su larga scala per le generazioni future;
- Può essere impiegato per applicazioni diversificate, dal trasporto alla generazione di energia elettrica, con un impatto ambientale nullo o estremamente ridotto sia a livello locale che globale.

Accanto ai vantaggi, l'introduzione dell'idrogeno presenta ancora numerosi problemi connessi allo sviluppo delle tecnologie necessarie per rendere il suo impiego economico ed affidabile. Lo sviluppo di tali tecnologie è oggi al centro dei programmi di ricerca di numerosi paesi. Uno dei problemi più critici è sicuramente quello della produzione; in prospettiva l'idrogeno si potrà ottenere dall'acqua a emissioni zero utilizzando le energie rinnovabili; oggi la soluzione più vicina è rappresentata dai combustibili fossili (estrazione dell'idrogeno a partire da carbone, petrolio e gas naturale tramite il "reforming") ma il problema da risolvere, in questo caso, è quello della separazione e del sequestro della CO<sub>2</sub> prodotta insieme all'idrogeno.

L'idrogeno può essere utilizzato:

**Nei motori a combustione interna.** L'idrogeno è un eccellente combustibile e può essere bruciato in un normale motore a combustione interna come accade in alcuni modelli di auto già commercializzati. I rendimenti sono elevati e le emissioni si riducono a vapore acqueo e pochissimi ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>).

**Nelle celle a combustibile** che sono sistemi elettrochimici capaci di convertire l'energia chimica di un combustibile direttamente in energia elettrica con un rendimento nettamente superiore a quello degli impianti convenzionali e senza emissioni di CO<sub>2</sub>. Le celle a combustibile sono una soluzione già adottata da molte case automobilistiche per la costruzione di prototipi elettrici alimentati ad idrogeno. Un'automobile a celle a combustibile produce a bordo l'elettricità necessaria al suo funzionamento, senza emissioni nocive.

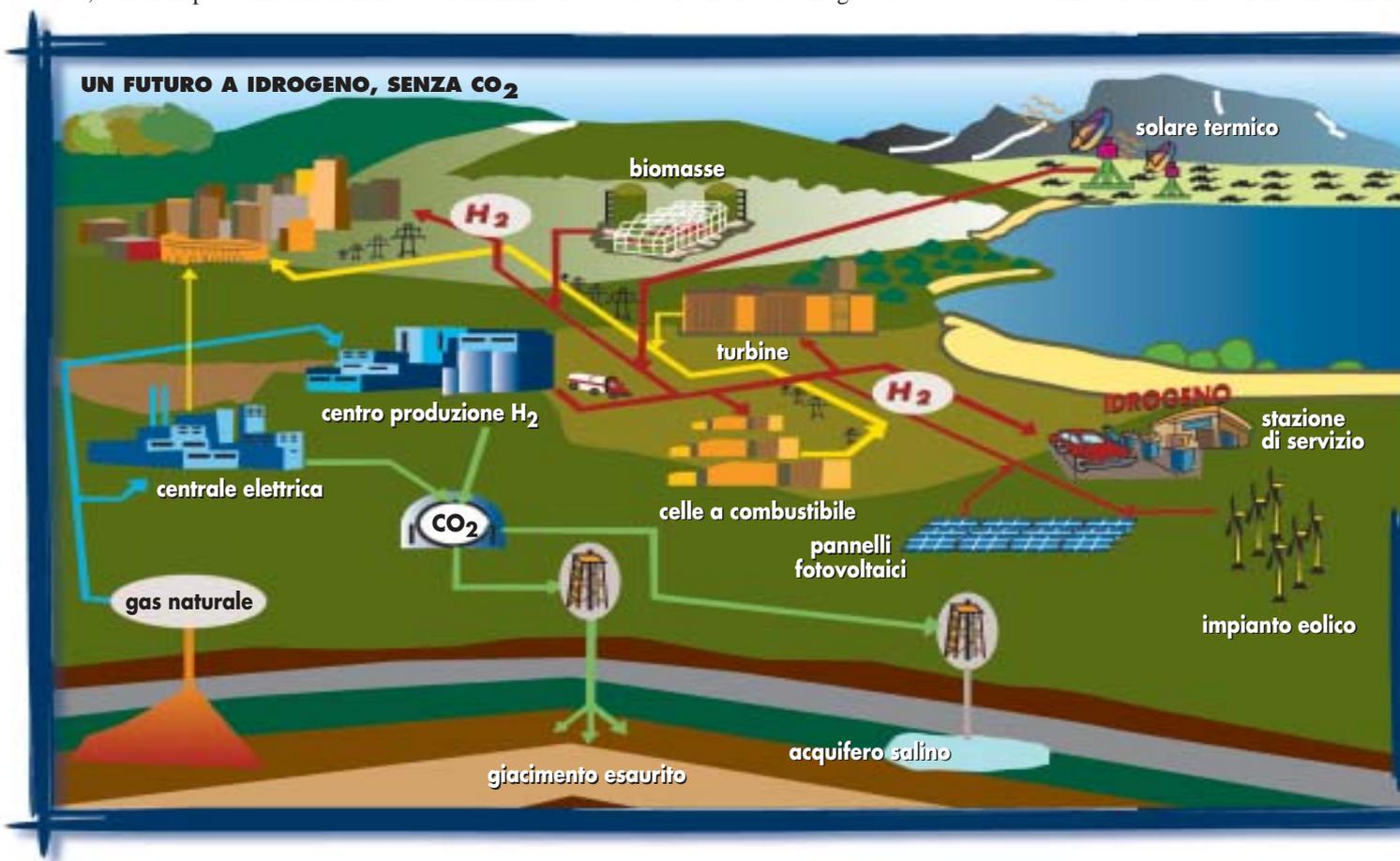
**Nelle centrali termoelettriche a idrogeno.** I programmi di ricerca e lo sviluppo della tecnologia consentiranno di costruire impianti che utilizzeranno l'idrogeno per la generazione centralizzata di energia elettrica.

Questi impianti, abbinati ad un sistema di separazione e confinamento della CO<sub>2</sub>, ad esempio in giacimenti esauriti di petrolio o metano, permetteranno la produzione di elettricità con un alto rendimento e senza rilascio di anidride carbonica.

### Ma come sarà il futuro a idrogeno?

L'idrogeno verrà prodotto da fonti rinnovabili oppure dai combustibili fossili.

In questo secondo caso la CO<sub>2</sub> prodotta verrà confinata in giacimenti esauriti o in acquiferi salini. L'idrogeno verrà utilizzato come combustibile per la generazione elettrica in celle a combustibile e per alimentare i nostri mezzi di trasporto.



## 7 COSA SI PUÒ FARE?

Ma quali sono le azioni che individualmente e collettivamente dobbiamo intraprendere per arrivare, se non ad una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, almeno ad una stabilizzazione della concentrazione di questo gas in atmosfera?

### IN CASA

Le famiglie italiane sono responsabili annualmente, di più del 30% dei consumi energetici totali. Le famiglie producono quindi circa il 27% delle emissioni nazionali di gas serra, di queste il 18% per usi negli edifici e il 9% per usi di trasporto.

È quindi modificando il proprio stile di vita e utilizzando in modo corretto e sostenibile le risorse energetiche e ambientali, senza sacrifici e senza rinunciare ai confort, che si può contribuire al raggiungimento degli impegni nazionali per la riduzione delle emissioni di gas serra.

Il riscaldamento è dopo il traffico la maggior causa di inquinamento delle città italiane. Ogni famiglia italiana spende ogni anno quasi un milione e mezzo per riscaldarsi. Per contenere i consumi di energia negli impianti molte sono le indicazioni da seguire, e tra queste:

- Mantenere la temperatura del termostato durante il giorno a 20°C e durante la notte a 16°C;
- Isolare le tubazioni che dalla caldaia portano ai radiatori;
- Far pulire la canna fumaria ogni 4/5 anni;
- Far effettuare la manutenzione della caldaia una volta all'anno e periodicamente far effettuare il controllo e l'analisi dei fumi di scarico;
- Installare valvole termostatiche per regolare la temperatura dei singoli radiatori.

Il consumo degli elettrodomestici in Italia assorbe, insieme con l'illuminazione, il 23% dei consumi elettrici nazionali.

Per contenere i consumi di energia per l'illuminazione:

- Illuminare correttamente un ambiente e quindi non aumentare la potenza delle lampadine ma scegliere il tipo di lampada giusta e la posizione più opportuna;
- Utilizzare, dove possibile, le lampade a basso consumo energetico; le lampade che si trovano in commercio sono essenzialmente di due tipi: a incandescenza e a scarica elettrica in gas. Le prime, le comuni lampadine, sia normali che alogene, sono molto economiche al momento dell'acquisto, ma più costose per quello che riguarda i consumi. Le lampade a scarica elettrica in gas, dette lampade ad alta efficienza, hanno prezzi iniziali elevati ma consentono di ridurre fortemente i consumi di energia elettrica di circa il 70% rispetto alle lampade ad incandescenza.

Gli elettrodomestici ormai sono presenti nelle case degli italiani in grande quantità: frigoriferi, televisori, videoregistratori, radio, ecc. sono strumenti dei quali non siamo più in grado di fare a meno.

È però possibile utilizzarli in modo più efficiente in modo da ridurre i consumi di energia e quindi anche l'emissione di gas serra.

- Preferire i modelli di più recente produzione, controllando, dove già presente, l'etichetta ener-

getica": l'adesivo colorato che si trova su alcuni elettrodomestici e che permette di conoscere le caratteristiche e i consumi di ciascun modello e di valutarne i costi di esercizio.

Sull'etichetta sono riportate le classi di efficienza energetica e si evidenzia a quale classe appartiene l'elettrodomestico in esame. Sono infatti presenti una serie di frecce di diverso colore e di lunghezza crescente, ad ogni freccia è associata una lettera dell'alfabeto dalla A alla G. La lunghezza delle frecce è legata ai consumi: a parità di prestazioni, gli apparecchi con consumi più bassi hanno la freccia più corta, quelli con consumi più alti hanno la freccia più lunga.

### NEI TRASPORTI

L'attuale sistema di mobilità, basato sulla gomma e sul trasporto individuale di persone e merci, è responsabile di circa il 23% delle emissioni nazionali di gas serra.

Per ridurre i consumi energetici e l'impatto inquinante del settore trasporti si può intervenire in diversi modi:

- **Aumentando l'efficienza dei veicoli;**
- **Sviluppando i trasporti intermodali** in cui i vari sistemi di trasporto si integrano l'uno con l'altro in modo fluido per fornire servizi porta a porta;
- **Incentivando il trasporto pubblico**, rendendo la rete dei trasporti pubblici competitiva rispetto all'utilizzo del mezzo privato;
- **Promuovendo l'uso multiplo delle auto** con il pagamento di una quota proporzionale al tempo d'uso e ai chilometri percorsi (taxi collettivi, car sharing, car pooling).

### L'INDUSTRIA

Dai processi industriali deriva il 19% delle emissioni di CO<sub>2</sub>. L'industria nel suo complesso ha già ridotto in maniera significativa le emissioni, sia di origine energetica che di processo, tuttavia c'è ancora molto spazio per una riduzione dei consumi di energia:

- Modificare o sostituire gli impianti più energivori, ad esempio con la cogenerazione e con il recupero di calore;
- Riciclare i rifiuti;
- Ottimizzare i processi mediante un maggior ricorso al monitoraggio, al controllo, alla lavorazione in linea e a una maggiore diffusione di tecnologie avanzate, come le pompe di calore, i motori ad alto rendimento.



#### Per maggiori informazioni:

**Siti web:** ENEA, Ente per le Nuove Tecnologie e l'Ambiente: [www.enea.it](http://www.enea.it) • IPCC, International Panel on Climate Change: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) • UNFCCC, United Nation Framework Convention on Climate Change: [www.unfccc.de](http://www.unfccc.de) • Greenpeace: [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org) • Club di Kyoto: [www.kyotoclub.it](http://www.kyotoclub.it)

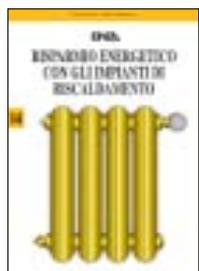
**Testi:** "Il cambiamento climatico", Alessandro Lanza, Il Mulino • "Il clima", Antonio Navarra e Andrea Pinchera, La Terza • "L'incertezza del clima", Robert Kandal, Einaudi • "Fattore 4. Come ridurre l'impatto ambientale moltiplicando per quattro l'efficienza della produzione", Weizsacker Ernst U. von, Lovins Amory B., Hunter Lovins L., Edizioni Ambiente • "Clima rovente", Ross Gelspan, Baldini e Castaldi



**L'ENEA** pubblica altri opuscoli sulle scelte più convenienti che tutti noi possiamo adottare per risparmiare energia e proteggere l'ambiente.

**Potete** richiedere gratuitamente gli opuscoli che vi interessano a:

**ENEA** C.P. 2400 Roma



# ENEA

## Ricerca e Innovazione per lo Sviluppo Sostenibile del Paese

L'ENEA è un ente di diritto pubblico operante nei campi della ricerca e dell'innovazione per lo sviluppo sostenibile, finalizzata a promuovere insieme gli obiettivi di sviluppo, competitività e occupazione e quello della salvaguardia ambientale. Svolge altresì funzioni di agenzia per le pubbliche amministrazioni mediante la prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia, dell'ambiente e dell'innovazione tecnologica. In particolare l'Ente:

- svolge, sviluppa, valorizza e promuove la ricerca in tema di energia, ambiente e innovazione tecnologica nel quadro dei programmi di ricerca nazionali, dell'Unione Europea e di altre organizzazioni internazionali;
- sostiene e favorisce i processi di innovazione e di trasferimento tecnologico al sistema produttivo e alle pubbliche amministrazioni;
- fornisce supporto tecnico specialistico ed organizzativo alle amministrazioni, alle regioni e agli enti locali, nell'ambito di accordi di programma con i Ministeri dell'Industria, dell'Ambiente e dell'Università e della Ricerca Scientifica e con altre amministrazioni pubbliche.

L'Ente ha circa **3.600 dipendenti** che operano in Centri di Ricerca distribuiti su tutto il territorio nazionale. Nelle diverse regioni sono anche presenti **13 Centri di Consulenza Energetica Integrata** per la promozione e la diffusione degli usi efficienti dell'energia nei settori industriale, civile e dei trasporti.

## C.C.E.I. Centri di Consulenza Energetica Integrata

**Veneto** - C.C.E.I. ENEA - Calle delle Ostreghe, 2434 - C.P. 703 - 30124 VENEZIA - Tel. 0415226887 - Fax 0415209100 - **Liguria** - C.C.E.I. ENEA - Via Serra, 6 - 16122 GENOVA - Tel. 010567141 - Fax 010567148 - **Toscana** - C.C.E.I. ENEA - Via Ponte alle Mosse, 61 - 50144 FIRENZE - Tel. 0553241227 - Fax 055350491 - **Marche** - C.C.E.I. ENEA - V.le della Vittoria, 52 - 60123 ANCONA - Tel. 07132773 - Fax 07133264 - **Umbria** - C.C.E.I. ENEA - Via Angeloni, 49 - 06100 PERUGIA - Tel. 0755000043 - Fax 0755006389 - **Lazio** - ENEA Divisione PROM C.R. Casaccia - Via Anguillarese, 301 00060 ROMA - Tel. 0630483245 - Fax 0630483930 - **Abruzzo** - C.C.E.I. ENEA - Via N. Fabrizi, 215/15 - 65122 PESCARA - Tel. 0854216332 - Fax 0854216362 - **Molise** - C.C.E.I. ENEA - Via Mazzini, 84 - 86100 CAMPOBASSO - Tel. 0874481072 - Fax 087464607 - **Campania** - C.C.E.I. ENEA - Via della Costituzione Isola A/3 - 80143 NAPOLI - Tel. 0816911111 - Fax 0815625232 - **Puglia** - C.C.E.I. ENEA - Via Roberto da Bari, 119 - 70122 BARI - Tel. 0805248213 - Fax 0805213898 - **Basilicata** - C.C.E.I. ENEA - C/o SEREA - Via D. Di Giura, s.n.c. - 85100 POTENZA - Tel. 097146088 - Fax 097146090 - **Calabria** - C.C.E.I. ENEA - Via Argine Destra Annunziata, 87 - 89100 REGGIO CALABRIA - Tel. 096545028 - Fax 096545104 - **Sicilia** - C.C.E.I. ENEA - Via Catania, 2 - 90143 PALERMO - Tel. 0917824120 - Fax 091300703

**ENEA**