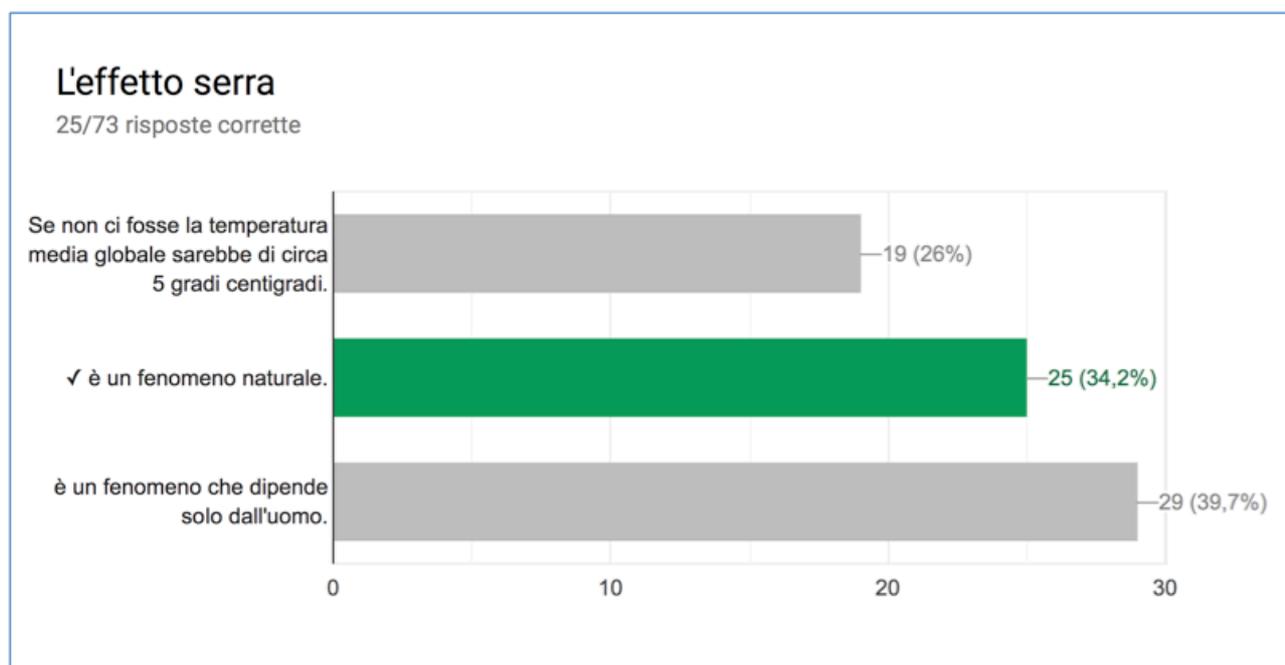


Cambiamento climatico e politica del clima: quali conoscenze nella popolazione locale?



Grado scolastico	Secondario I
Autori	Walter Santimone, Marco Lupatini, Luana Monti-Jermimi
Anno	2019

Beteiligte Institutionen:

PHBern
Pädagogische Hochschule

PH LUZERN
PÄDAGOGISCHE
HOCHSCHULE

hep/ haute
écoles
pédagogiques
vaudoises

Scuola universitaria professionale
della Svizzera italiana

SUPSI

Koordination:

GLOBE
Schweiz Suisse Svizzera Svizzera
Svizzera Svizzera Svizzera

Fachliche Beratung
Klimaforschung:

u^b

UNIVERSITÄT
BERN

DESCHNER CENTRE
CLIMATE CHANGE RESEARCH

Fachliche Beratung Klimaforschung
und Klimapolitik:

sc|nat

Science and Policy
Platform of the Swiss Academy of Sciences

ProClim
Forum for Climate and Global Change

Projektpartner/ Mitfinanzierung:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Grado scolastico	Secondario I
Autori	Walter Santimone, Marco Lupatini, Luana Monti-Jermini
Anno	2019
Immagine di copertina	Immagine tratta dai risultati del sondaggio effettuato

1. Il cambiamento climatico osservabile e misurabile

Osserva i seguenti grafici, rifletti e annota su un foglio le tue considerazioni. I grafici sono estratti dal rapporto di sintesi 2014 del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Accumulation d'énergie dans le système climatique de la Terre

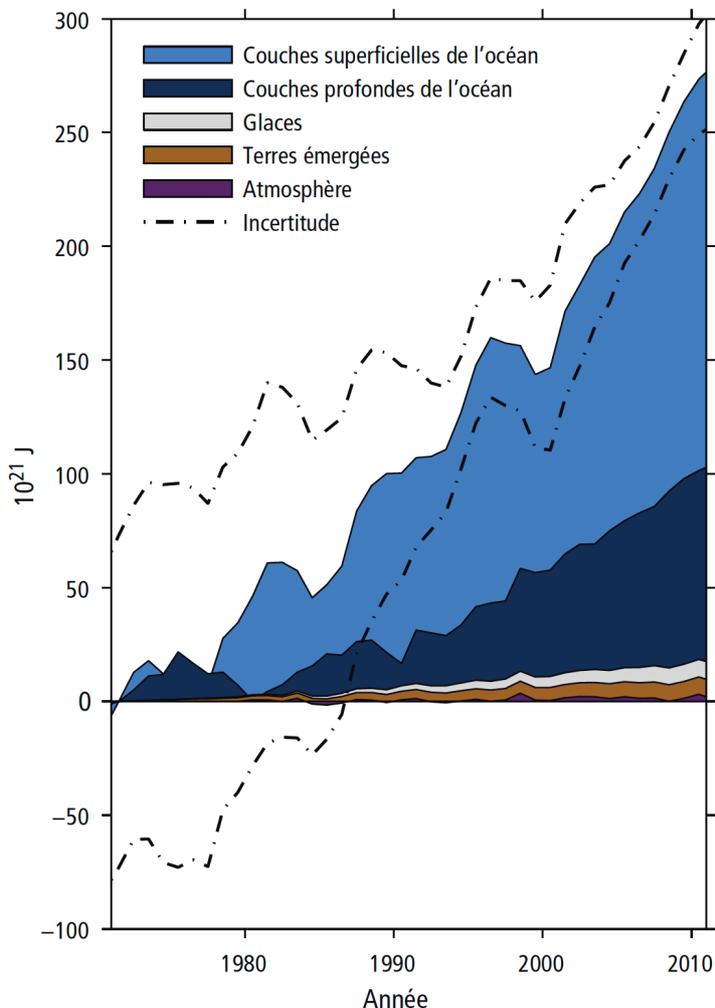


Figura 1: Accumulo di energia nel sistema climatico della Terra. Le stime in 10^{21} J sono date in rapporto al 1971 e per il periodo 1971-2010, salvo indicazione contraria. Gli elementi considerati sono gli strati superficiali dell'oceano (meno di 700m), gli strati più profondi dell'oceano (700 e più metri, comprese le stime per una profondità oltre i 2000m a partire dal 1992), l'acqua derivata dalla fusione dei ghiacci (da ghiacciai e nappes glaciai; stime per le calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartico a partire dal 1992, per il ghiaccio dell'Artico fra il 1979 e il 2008), il riscaldamento continentale (terre emerse) e il riscaldamento atmosferico (stime a partire dal 1979). L'incertezza è stimata in quanto errore complessivo dei cinque elementi, con un intervallo di fiducia del 90%. {GT I riquadro 3.1, figura 1} (Fonte: IPCC rapporto di sintesi 2014: 44 fig 1.2 legenda tradotta in italiano e adattata nell'ambito del progetto CCESO II)

Figure 1.2 | Accumulation d'énergie dans le système climatique de la Terre. Les estimations, en 10^{21} J, sont données par rapport à 1971 et pour la période 1971–2010, sauf indication contraire. Les éléments considérés sont les couches superficielles de l'océan (moins de 700 m), les couches profondes de l'océan (700 m et plus, y compris les estimations pour une profondeur excédant 2 000 m à partir de 1992), l'eau de fonte des glaces (provenant des glaciers et des nappes glaciaires; estimations pour les inlandsis du Groenland et de l'Antarctique à partir de 1992, pour les glaces de mer de l'Arctique entre 1979 et 2008), le réchauffement continental (terres émergées) et le réchauffement atmosphérique (estimations à partir de 1979). L'incertitude est estimée en tant qu'erreur issue de l'ensemble des cinq éléments, avec un intervalle de confiance à 90%. {GT I encadré 3.1, figure 1}

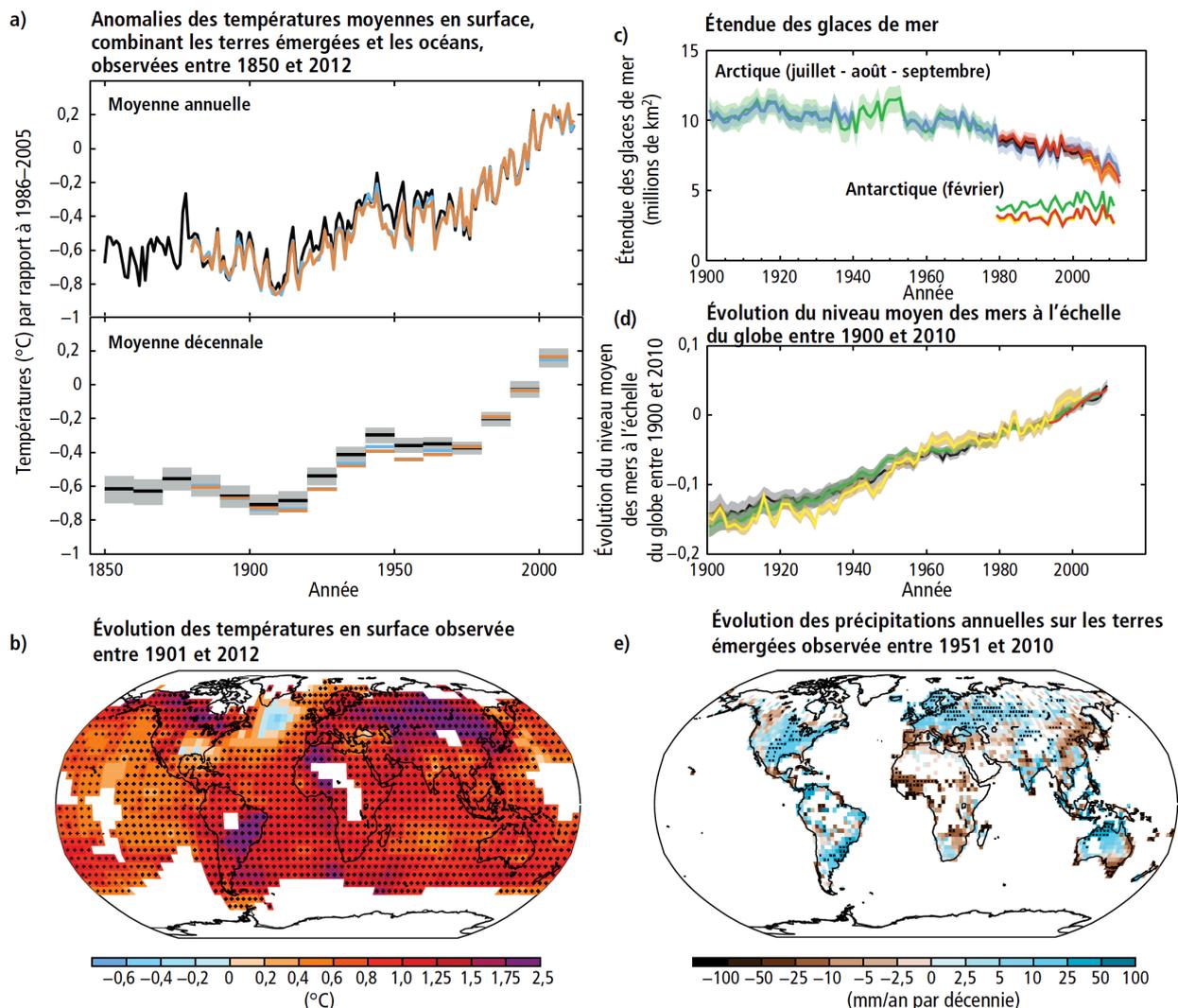


Figure 1.1 | Différents indicateurs observés de l'évolution du système climatique mondial. **a)** Anomalies observées des températures moyennes à la surface du globe combinant les terres émergées et les océans (par rapport à la moyenne de la période 1986–2005, en tant que valeurs moyennes annuelles et décennales), avec estimation de l'incertitude décennale moyenne pour un jeu de données (ombrage gris). [GT I figure RID.1, figure 2.20; les jeux de données utilisés et d'autres détails techniques se trouvent dans les suppléments du Résumé technique GT I RT.SM.1.1] **b)** Évolution des températures en surface observée entre 1901 et 2012, dérivée des tendances des températures déterminées par régression linéaire d'un ensemble de données (courbe orange dans la partie a). Les tendances ont été calculées uniquement pour les régions où la disponibilité des données permet une estimation robuste (c'est-à-dire, uniquement pour les mailles présentant des relevés complets à plus de 70 % et plus de 20 % de données disponibles dans les 10 premiers et 10 derniers % de la période temporelle), les autres régions sont en blanc. Les mailles pour lesquelles la tendance est significative au niveau de 10 % sont indiquées par le signe +. [GT I figure RID.1, figure 2.21, figure RT.2; les jeux de données utilisés et d'autres détails techniques se trouvent dans les suppléments du Résumé technique GT I RT.SM.1.2] **c)** Étendue des glaces de mer dans l'Arctique (moyenne de juillet à septembre) et dans l'Antarctique (février). [GT I figure RID.3, figure 4.3, figure 4.SM.2; les jeux de données utilisés et d'autres détails techniques se trouvent dans les suppléments (Supplementary Material) du Résumé technique GT I RT.SM.3.2] **d)** Niveau moyen des mers par rapport à la moyenne 1986–2005 de l'ensemble de données le plus long, avec tous les jeux de données alignés par rapport à 1993 (la première année de données d'altimétrie par satellites). Toutes les séries chronologiques (courbes de couleur représentant différents ensembles de données) indiquent des valeurs annuelles et, lorsqu'elles sont estimées, les incertitudes sont représentées par des zones de différentes couleurs. [GT I figure RID.3, figure 3.13; les jeux de données utilisés et d'autres détails techniques se trouvent dans les suppléments du Résumé technique GT I RT.SM.3.4] **e)** Évolution des précipitations observée entre 1951 et 2010 (tendances calculées en utilisant les mêmes critères que pour la partie b). [GT I figure RID.2, RT.AT.1, figure 2, figure 2.29; les jeux de données utilisés et d'autres détails techniques se trouvent dans les suppléments du Résumé technique GT I RT.SM.2.1]

Figura 2: Differenti indicatori osservati dell'evoluzione del sistema climatico mondiale. **a)** Anomalia osservate delle temperature medie alla superficie del globo, combinando terre emerse e oceani (rispetto alla media 1986-2005, in quanto valori medi annuali e decennali), con stima dell'incertezza decennale media per un dataset (ombreggiatura grigia). {GT I figure RID.1, figure 2.20; i dataset utilizzati e altri dettagli tecnici si trovano nei supplementi del Résumé technique GT I RT.SM 1.1} **b)** Evoluzione delle temperature in superficie osservata fra il 1901 e il 2012, derivata dalle tendenze delle temperature determinate tramite regressione lineare da un insieme di dati (curva arancione nella parte a). Le tendenze sono state calcolate unicamente per le regioni in cui la disponibilità dei dati permette una stima solida (cioè, unicamente per i casi che presentano dei rilevamenti completi almeno al 70%, e più del 20% dei dati disponibili nei primi

1. Il cambiamento climatico osservabile e misurabile

10 e gli ultimi 10 % del periodo temporale), le altre regioni sono in bianco. Gli insiemi di dati per cui la tendenza è significativa attorno al 10% sono indicate con il segno +. {GT I figure RID.1, figure 2.21, figure RT.2; i dataset utilizzati e altri dettagli tecnici si trovano nei supplementi del Résumé technique GT I RT.SM 1.2} c) Distesa dei ghiacci di mare nell'Artico (media da luglio a settembre) e nell'Antartico (febbraio). {GT I figure RID.3, figure 4.3, figure 4.SM.2 RT.2; i dataset utilizzati e altri dettagli tecnici si trovano nei supplementi (Supplementary Material) del Résumé technique GT I RT.SM 3.2} d) Livello medio dei mari rispetto alla media 1986-2005 dell'insieme dei dati, con tutti i dataset allineati rispetto al 1993 (il primo anno di dati d'altimetria con satelliti). Tutte le serie cronologiche (curve colorate rappresentanti diversi insiemi di dati) indicano dei valori annui e, in caso di stima, le incertezze sono rappresentate da zone di colore differente {GT I figure RID.3, figure 3.13; i dataset utilizzati e altri dettagli tecnici si trovano nei supplementi del Résumé technique GT I RT.SM 3.4} e) Evoluzione delle precipitazioni osservata fra il 1951 e il 2010 (tendenze calcolate usando gli stessi criteri della parte b). {GT I figure RID.2, RT AT.1, figure 2, figure 2.29; i dataset utilizzati e altri dettagli tecnici si trovano nei supplementi del Résumé technique GT I RT.SM 2.1} (Fonte: IPCC rapporto di sintesi 2014: 43, fig. 1.1 legenda tradotta in italiano e adattata nell'ambito del progetto CCESO II)

2. Il clima e il sistema climatico

TEMPO ATMOSFERICO O METEOROLOGICO

Il tempo atmosferico è l'insieme di tutti i fenomeni che avvengono nell'atmosfera in un determinato momento temporale (oggi piove, domani c'è il sole etc.), a varie scale spaziali (a Lugano piove a Locarno no).

CLIMA

Quando si parla di "clima" ci si riferisce alle condizioni atmosferiche (per semplificare possiamo considerare umidità, pressione, venti e temperatura) che persistono in una zona per periodi di tempo lunghi almeno qualche decina di anni (da minimo 30 anni a migliaia di anni) e che si ripetono ciclicamente. Il clima è quindi lo stato medio del tempo atmosferico a varie scale spaziali (locale, regionale, globale) rilevato nell'arco di almeno 30 anni (tendenzialmente, per esempio, negli ultimi 30 anni durante il mese di agosto il clima del Ticino presenta una temperatura media di 21,2°C, 210 mm di precipitazioni etc¹).

Il clima influenza l'ambiente di una data area perché determina cambiamenti non solo della flora, della fauna e del paesaggio ma, in realtà, in parte anche degli esseri umani.

Ma che cosa influenza il clima?

Il mondo non ha tutto lo stesso clima ma è diviso in tantissime "regioni" che presentano climi differenti.

Il clima, infatti, è sostanzialmente il prodotto dell'interazione fra i seguenti ELEMENTI (ovvero grandezze fisiche che possono essere misurate nei vari punti della Terra):

- **temperatura;**
- **umidità (quanto vapore acqueo è contenuto in una massa d'aria);**
- **pressione;**
- **venti;**
- **radiazione solare ("quanti raggi solari" arrivano nei vari punti della superficie terrestre);**
- **precipitazioni;**
- **nuvolosità.**

Questi elementi non sono immutabili sulla superficie terrestre ma possono cambiare per mezzo di alcuni FATTORI (per esempio, noi sulla superficie terrestre possiamo misurare diverse temperature proprio perché ci sono tantissimi fattori che concorrono a modificarla. Stesso discorso per gli altri elementi).

1. I dati potrebbero non essere reali.

IRRAGGIAMENTO SOLARE

Disegno

Quali elementi modifica è perché

ALBEDO

Disegno

Quali elementi modifica è perché

ALTITUDINE

Disegno

Quali elementi modifica è perché

CATENE MONTUOSE

Disegno

Quali elementi modifica è perché

VICINANZA A GRANDI MASSE D'ACQUA

Disegno

Quali elementi modifica è perché

VEGETAZIONE

Disegno

Quali elementi modifica è perché

2.1. Le correnti termoaline

2.1.1. L'idrosfera marina

L'insieme delle acque presenti sul pianeta (comprese quelle sotterranee) prende il nome di idrosfera; di questa il 97% è costituita dalle acque salate degli oceani, per un volume totale di 1.320 milioni di km³. Copre il 71% della superficie terrestre (i 2/3 dell'intero globo). Parlando di idrosfera marina la prima distinzione importante è quella tra mari e oceani, che differiscono sia per dimensioni che per caratteristiche geologiche dei fondali.

I mari sono di dimensioni ridotte, hanno confini più precisi, e sono bacini relativamente stabili, in quanto giacenti su fondali granitici sedimentari, prolungamento delle terre emerse (crosta continentale).

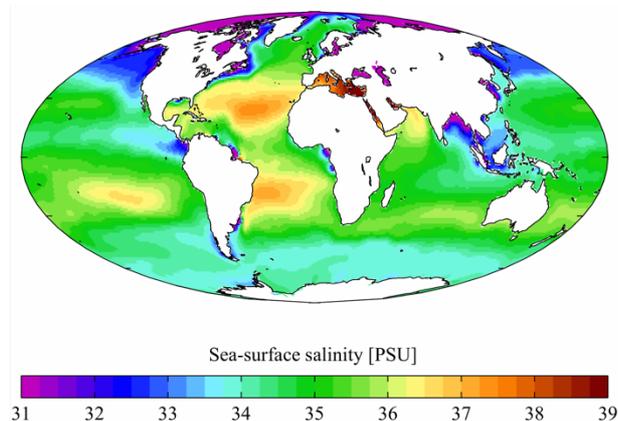
Gli oceani sono masse d'acqua più estese e profonde (possono contenere al loro interno gli stessi mari), e hanno fondali basaltici derivanti dall'attività magmatica delle dorsali, e per questo in continuo mutamento (crosta oceanica).

Sulla Terra sono presenti tre oceani, l'Atlantico, il Pacifico e l'Indiano, che separano tra loro i principali continenti, sono considerati come oceani anche il Mare Glaciale Artico e quello Antartico.

2.1.2. Le caratteristiche fisiche

2.1.2.1. La salinità

La salinità è la caratteristica distintiva delle acque oceaniche; in esse i sali disciolti derivano dall'erosione delle coste ad opera degli agenti atmosferici, dall'apporto fluviale, e dal materiale solido e gassoso che fuoriesce dalla crosta terrestre. La concentrazione di sali (espressa in grammi per chilogrammo d'acqua) è diversa in base alle zone geografiche e dipende da molti fattori.



(world Ocean Atlas NOAA)

La salinità globale viene espressa in valori medi, e ad oggi essi sono intorno ai 35 ppm (parti per milione), corrispondenti a 35 grammi per chilogrammo d'acqua. Geograficamente e climaticamente, essa dipende da fattori quali latitudine e stagionalità: è massima in prossimità delle zone tropicali e subtropicali (dove le precipitazioni sono scarse e le temperature alte), e decresce verso le alte latitudini, fino ad arrivare ai poli, dove lo scioglimento dei ghiacci ne rende minima la concentrazione. In prossimità delle coste essa subisce variazioni anche repentine dovute principalmente al riversamento di acque dolci dalle terre emerse.

Figura 3: Distribuzione della salinità superficiale degli oceani

Se si analizza il profilo verticale della salinità, si vede che essa cresce all'aumentare della profondità perché le acque salate, essendo più pesanti, tendono a sprofondare, stratificandosi sotto quelle meno salate e più leggere; la temperatura, invece, agisce sulla salinità in quanto a temperatura più alte cresce l'intensità di evaporazione dell'acqua e di conseguenza la concentrazione di sale rimanente in essa. La salinità media di 35 ppm aumenta, quindi, nei mari più caldi (in corrispondenza dei tropici) per l'accentuata evaporazione (caratteristica distintiva del Mar Mediterraneo e del Mar Rosso), raggiungendo valori massimi di 40 ppm (e 70 ppm per il Mar Morto), mentre diminuisce in quelli freddi, toccando valori minimi (9 ppm) nelle regioni polari, dove lo scioglimento dei ghiacci

abbassa notevolmente la salinità (Oceano Artico e Antartico), e nei mari chiusi con elevato apporto di acqua dolce fluviale (Mar Baltico e Mar Nero) (figura 2).

2.1.2.2. La temperatura

La temperatura è l'altra importante caratteristica fisica degli oceani; i mari assorbono, infatti, molta più radiazione solare delle terre emerse e dell'atmosfera, ed hanno una capacità termica nettamente superiore rispetto a quella dell'aria, a causa del loro elevato calore specifico grazie al quale si riscaldano lentamente e altrettanto lentamente si raffreddano. Gli oceani hanno un'elevata capacità di assorbire calore: si stima che nei primi 3 metri oceanici venga assorbito l'equivalente della radiazione solare catturata dall'atmosfera.

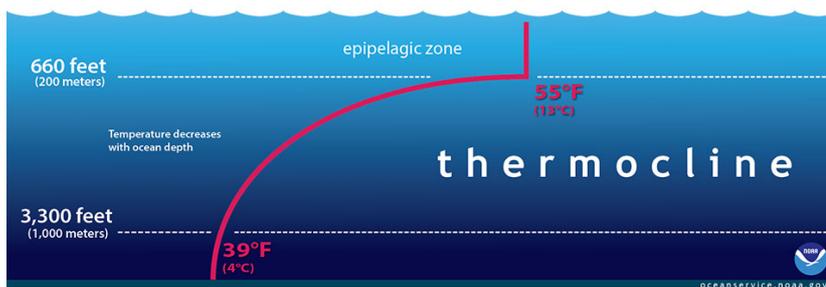


Figura 4: Stratificazione termica degli oceani (NOAA)

L'assorbimento maggiore di calore avviene infatti negli strati superficiali dove le acque risultano calde, poco dense e per questo leggere; al contrario scendendo in profondità l'acqua risulta molto più fredda, più densa e più pesante.

Gli oceani sono, quindi, termicamente stratificati (figura 2): sono caratterizzati da un primo livello superficiale, detto misto, dove, per l'azione dei venti, si ha un continuo rimescolamento delle acque, che mantiene la temperatura costante; segue un livello intermedio di transizione, detto termoclino (strato di confine tra le acque superficiali e quelle profonde) dove si ha un repentino abbassamento di temperatura e un ultimo livello, quello più profondo, detto stratificato, in cui si torna ad avere variazioni di temperatura contenute e lentamente si raggiungono i 0,2° C degli abissi. La struttura termica dell'acqua, dipendendo dalla radiazione solare, è strettamente legata alla latitudine e alla stagionalità.

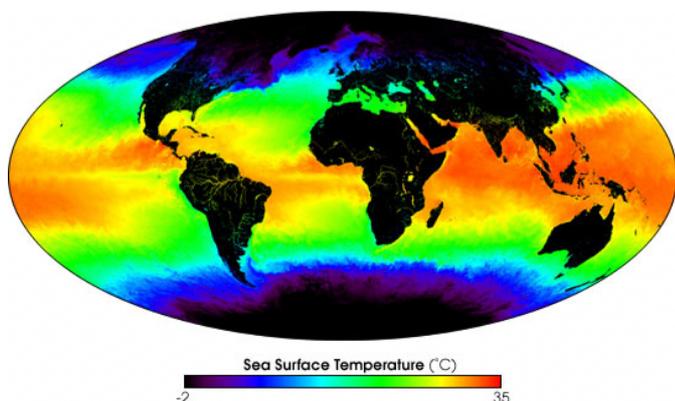


Figura 5: Distribuzione delle temperature superficiali degli oceani (earthobservatory.nasa.gov)

Nelle regioni temperate, invece, l'energia solare che raggiunge le acque superficiali si modifica stagionalmente, e la temperatura varia dai minimi invernali ai massimi estivi: in primavera e in estate si avrà un termoclino ben definito (per la presenza di massa d'acqua calda nello strato superficiale); esso si indebolirà in autunno (per l'abbassamento di temperatura si ha un raffreddamento dello strato superficiale e una minore stratificazione delle acque che incrementa il rimescolamento), fino quasi a scomparire in inverno, con il conseguente completo rimescolamento delle acque (è per questo che il termoclino è pressoché assente in corrispondenza delle zone polari). Globalmente la temperatura media degli oceani è di 15° C per le acque superficiali, e di 3,5° C per quelle

profonde; le temperature superficiali più calde si registrano in corrispondenza dell'equatore, dove si arriva a valori massimi di 27° C, mentre le più fredde si hanno in corrispondenza delle regioni polari, con minime di 0,3° C (figura 3).

2.1.2.3. La densità

Altra importante caratteristica fisica degli oceani è la densità (figura 4), che per le acque salate risulta molto maggiore rispetto a quelle dolci. Essa cresce all'aumentare della salinità e al diminuire della temperatura: le acque più salate e più fredde sono quelle più dense, mentre quelle meno salate e più calde sono meno dense.

Minime variazioni di questi fattori influenzano i valori di densità, ad esempio l'aumento di solo 1° C di temperatura implica una sua diminuzione di circa 0,02%, mentre l'aumento di 1 gr di sale per litro un incremento di circa 0,07%.

La densità media dell'acqua superficiale è tipicamente di 1027 kg/m³. La densità svolge un ruolo fondamentale in relazione alle dinamiche degli oceani e dei mari: le differenze di densità (derivanti da quelle di temperatura e salinità) tra le masse d'acqua poste a differenti profondità e latitudini originano le correnti oceaniche profonde.

2.1.3. Le correnti oceaniche

La corrente oceanica è un movimento di masse d'acqua generato da diverse cause: lo spirare del vento sulla superficie del mare, le differenze di densità (ossia di temperatura e/o salinità) all'interno dell'acqua, la forma del fondale oceanico. Esistono diversi tipi di correnti marine, classificate in base alle cause che le generano, alla temperatura, al tipo di flusso. Nei paragrafi seguenti concentreremo l'attenzione su due tipologie in particolare:

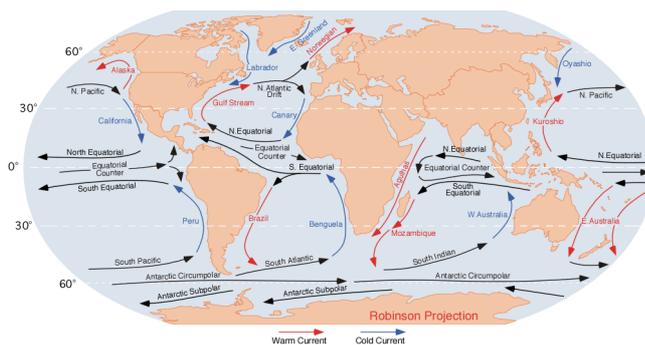
- *le correnti superficiali;*
- *le correnti profonde, o termoaline.*

A ogni corrente sono associati una velocità ed un flusso medio. Quest'ultimo rappresenta la quantità di acqua che la corrente trasporta in un certo lasso di tempo e viene misurato in sverdrup; unità di misura equivalente ad un flusso di un milione di metri cubi d'acqua al secondo (10⁶ m³/sec). Per rendere l'idea con un esempio significativo, pensiamo che la corrente del Golfo trasporta tra i 50 e i 150 sv nel suo punto di massima intensità, ben 180 volte la portata del Rio delle Amazzoni, che vanta un trasporto medio di 0,2 sv.

Le correnti svolgono un ruolo fondamentale nella regolazione del clima e sono inoltre particolarmente importanti per il funzionamento dell'ecosistema marino, poiché trasportano plancton e microorganismi che sono alla base della catena alimentare dei pesci e dell'intero equilibrio biologico.

2.1.3.1. Le correnti oceaniche superficiali

Le prime informazioni raccolte sulle correnti superficiali risalgono ai rapporti dei marinai e degli esploratori che partivano per lunghi viaggi affrontando le difficoltà del mare e spesso si trovarono costretti a cambiare le proprie rotte, a causa di correnti impreviste che ne deviavano il tragitto. I navigatori Europei del XV secolo, per circumnavigare l’Africa al fine di raggiungere le Indie, dovettero navigare in direzione opposta a due potenti correnti: la corrente di Benguela, diretta verso nord, e la corrente di Aghulas, che fluisce verso sud-ovest insieme la corrente sud-equatoriale dell’Oceano Indiano. Gli effetti delle due correnti sono così forti che ci sono voluti anni prima che un navigatore portoghese, Bartolomeo Dias, riuscisse per primo a navigare con successo attorno al Capo di Buona Speranza, aprendo una nuova rotta per i commercianti e gli esploratori Europei.



Le correnti superficiali (figura 5) si verificano nella parte superiore della colonna d’acqua, al di sopra dei primi 200 metri dell’oceano, e costituiscono circa il 10% delle acque oceaniche. Esse si comportano come dei circuiti chiusi che variano a seconda dell’emisfero e degli oceani.

Figura 6: Correnti oceaniche superficiali (wikipedia)

I principali fattori che generano le correnti superficiali sono:

- La forza di Coriolis, causata dal movimento di rotazione terrestre, che tende a far ruotare le correnti marine dell’emisfero settentrionale verso destra (senso orario) rispetto alla direzione di propagazione, e quelle dell’emisfero meridionale verso sinistra (senso antiorario);
- I venti, che generano attrito sulla superficie del mare;
- Gli ostacoli naturali causati dalle masse continentali.

Gran parte dell’energia trasportata dal vento si disperde nello strato di confine tra l’oceano e l’atmosfera; solo l’1% dell’energia eolica trasmessa all’oceano è responsabile della generazione delle correnti. A seconda della loro forza, i venti generano correnti di differente intensità e, ad esclusione dell’Oceano Indiano, i flussi si manifestano in maniera quasi simmetrica tra l’emisfero Nord e Sud di uno stesso oceano.

2.1.3.2. La corrente termoalina

La corrente termoalina degli oceani (figura 6) è come un nastro trasportatore (in inglese conveyor belt) che mette in movimento le correnti superficiali e quelle profonde e permette lo scambio di calore e di salinità. Oltre al trasporto di calore, vi è anche un trasporto di energia. Una premessa fondamentale, prima di illustrare il fenomeno nel suo intero processo, è sottolinearne come la corrente mette in comunicazione tutti gli oceani e le distese d’acqua della Terra, pertanto una sua eventuale variazione porterebbe degli scompensi (alle volte conosciuti, alle volte no) ai quali tutto il sistema dovrebbe poi trovare dei feedback di risposta.

La circolazione oceanica termoalina viene provocata da due elementi: il calore (termo-) e la salinità (-alina) dell’acqua. Nell’immagine si possono osservare le correnti calde, superficiali, che sono colorate in rosso e quelle fredde e maggiormente dense, colorate di blu. Il calore incide tramite la radiazione solare e l’evaporazione: le acque superficiali tendono a perdere il calore immagazzinato

per l'azione dei venti. Ed è proprio l'evaporazione che rende le acque maggiormente dense: durante questa fase è solo l'acqua che tende ad evaporare ma i sali minerali restano disciolti nella soluzione, aumentando la densità.

Il percorso della corrente termoalina

Si faccia partire idealmente la circolazione termoalina dal Golfo del Messico da dove una massa di acqua calda e poco densa, si dirige verso il Circolo Polare Artico; qui l'acqua, che durante il suo

percorso ha accumulato alte concentrazioni di sale per effetto dell'evaporazione nella fascia tropicale da cui parte, si raffredda a causa delle basse temperature polari. A questo punto l'acqua fredda e salata (quindi più densa e pesante) tende a sprofondare verso i fondali del Nord Atlantico (non procede verso nord-est a causa del fondale marino poco profondo quindi "torna indietro" verso sud, cioè fino al circolo Antartico). Una parte poco profonda di fondale marino, non permette alla corrente di muoversi verso ovest, a causa del Canale di Drake (sito tra la Penisola Antartica e la punta meridionale del Sud America) che ne impedisce il passaggio.

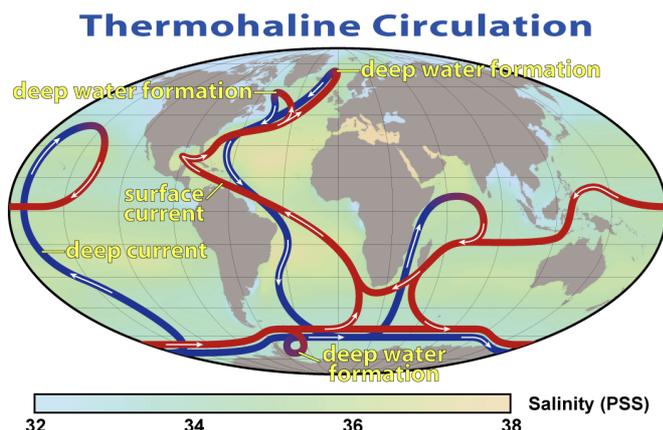


Figura 7: La corrente termoalina (wikipedia)

Nella zona antartica la massa d'acqua si divide in due: una parte, ancora fredda, risale verso nord costeggiando l'est del continente africano arrivando nell'Oceano Indiano; mentre un'altra parte continuerà a scorrere lungo la costa meridionale dell'Australia e, infine, salendo verso nord, arriverà nel bacino dell'Oceano Pacifico. La prima deviazione della corrente si riscalderà nuovamente, una volta giunta nell'Oceano Indiano, mentre il secondo ramo si riscalderà una volta giunto all'altezza degli Stati Uniti d'America. Si stima che le masse d'acqua impieghino circa 1600 anni per compiere l'intero percorso.

2.1.3.3. La corrente del golfo

La Corrente del Golfo è uno dei motori principali della corrente termoalina, ma ha anche un altro ruolo da protagonista, poiché influenza il clima europeo. Infatti, la corrente regala al Nord Europa (soprattutto a Gran Bretagna e Irlanda, ma anche Portogallo e Spagna, che si affacciano sull'Oceano Atlantico) degli inverni miti, grazie al calore trasportato. La corrente ha origine nel Golfo del Messico; qui l'acqua viene riscaldata dai raggi solari. Dal Golfo intraprende un lungo viaggio, passando per la Florida e continuando a risalire verso il nord. Questo movimento della Corrente è dovuto alla forza dei venti. Ma non sono solo i venti a provocarne lo spostamento; le acque della corrente per arrivare fino al Nord Europa ricevono infatti uno spostamento ulteriore dato dalla Forza di Coriolis.

L'importanza climatica della corrente del golfo

Gli elementi fondamentali della corrente sono salinità e temperatura; diversi satelliti, come quelli seguiti dal NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), facente parte del Ministero del Commercio Americano, monitorano costantemente queste due fondamentali proprietà. Perché ci si interessa tanto alla salinità e alla temperatura della corrente? Bisogna ricordare che la salinità è un parametro fondamentale da tenere sotto osservazione poiché la sua riduzione nelle acque

dell'Atlantico del Nord porterebbe ad una differenza di densità tra le acque dell'Oceano tale da ostacolare l'andamento della Corrente del Golfo nel suo moto verso i paesi europei. Questo blocco della corrente comporterebbe un conseguente blocco del trasporto di calore. Negli ultimi anni nel Polo Nord si sta verificando un altro fenomeno: lo scioglimento della banchisa polare, che potrebbe portare al blocco delle Corrente del Golfo. Lo scioglimento della banchisa provoca un'immissione di acqua dolce che riduce la salinità delle acque in arrivo dal sud. Secondo Vellinga, le conseguenze di un eventuale blocco della corrente porterebbe una diminuzione della temperatura media in tutto il continente europeo e per la maggior parte dell'emisfero nord.

2.2. L'atmosfera

2.2.1. La composizione dell'atmosfera

L'atmosfera terrestre è lo strato di gas che circonda la Terra e permette la vita a tutti gli esseri viventi, senza di esso infatti la vita sul nostro pianeta sarebbe impossibile. Le funzioni dell'atmosfera terrestre sono molteplici: rappresenta la fonte di energia per gli esseri viventi, ad esempio l'ossigeno è il gas che permette agli esseri umani di vivere; protegge il pianeta dalle radiazioni dannose provenienti dal Sole, in particolare i raggi UV; attraverso l'effetto serra rende la temperatura adatta allo sviluppo della vita e limita fortemente le escursioni termiche. All'interno dell'atmosfera sono contenuti molti composti, dal vapore acqueo ad alcuni gas nobili ed idrocarburi, come il metano, ma anche particelle solide e liquide, come acqua e pulviscolo atmosferico.

L'atmosfera nel suo complesso è composta da azoto per il 78%, ossigeno per il 20,9% ed il restante 0,9% è composto da altri gas, tra i quali l'anidride carbonica, l'argon e tracce di idrogeno ed elio. L'effetto serra, il quale riveste un ruolo fondamentale per la vita sul pianeta, è causato dal solo 0,04% della totalità dei gas che compongono l'atmosfera. Esistono circa 30 gas serra differenti, tutti presenti in tracce, fra cui i più importanti sono l'anidride carbonica CO₂, il metano CH₄, protossido d'azoto N₂O.

La composizione dell'atmosfera non può prescindere dalla presenza di pulviscolo e di vapore acqueo, presenti in quantità variabili dallo zero al 4% del volume. Il vapore acqueo in particolare svolge una funzione fondamentale per la vita sul pianeta Terra.

2.2.2. La stratificazione dell'atmosfera

L'atmosfera è costituita da cinque strati (Figura 7). Ognuno di questi ha una temperatura e un gradiente termico differenti.

La parte più bassa dell'atmosfera si chiama **troposfera**, in questa zona l'aria subisce una circolazione caratterizzata dal rimescolamento verticale delle correnti. La troposfera si estende in media fino a 12 km di altezza sulla superficie terrestre e contiene l'80% di tutti i gas presenti in atmosfera. Il terzo inferiore è l'unica parte dell'atmosfera in cui è possibile respirare.

All'interno di essa avvengono i fenomeni meteorologici come i venti, le precipitazioni e il riscaldamento.

In questa zona si trova la quasi totalità del vapore acqueo e dell'anidride carbonica, oltre al pulviscolo atmosferico.

Un aspetto peculiare di questa parte dell'atmosfera è che il suo gradiente termico è "capovolto", questo si esplicita nel fatto che l'aria calda tende ad essere alla base e man mano che si sale l'aria si raffredda, precisamente di 6,5°C ogni km.

L'altra peculiarità è data dal fatto che le parti d'aria settentrionali e meridionali, divise dall'equatore, quasi non si mescolano.

Lo strato successivo dell'atmosfera si chiama **stratosfera**, esso confina con la troposfera in corrispondenza della tropopausa e si estende circa fino ad un'altezza di 50 km. La stratosfera, diversamente dalla troposfera, diventa più calda via via che si sale, ciò accade perché la sua parte superiore è ricca di ozono, esso ha la funzione di catturare l'energia proveniente dai raggi ultravioletti, rilasciandoli poi sotto forma di calore. La stratosfera, non essendo perturbata dall'aria calda ascendente, è suddivisa in strati ben definiti ed in essa circolano venti impetuosi.

Ad un'altezza di circa 50 km dalla superficie terrestre si trova la **mesosfera**, divisa dalla stratosfera dalla stratopausa. Essa è la porzione dell'atmosfera più fredda, si registrano infatti -90°C . Al di sopra di essa si trova la **termosfera**, che è un tenue velo di gas, esteso dagli 85 ai 200/300 km, qui le temperature possono raggiungere i 1000°C , il gas di cui è composta è molto rarefatto, quindi estremamente secco e stratificato. Come il nome stesso suggerisce, in questa regione si ha un forte gradiente termico negativo; la temperatura sale di molto con l'altezza a causa dell'assorbimento da parte di ossigeno e azoto di radiazione ultravioletta solare.

Il quinto e ultimo strato dell'atmosfera è l'**esosfera**, la parte più esterna e rarefatta, si estende dai 200/300 km in poi, fino al limite atmosferico che si può collocare intorno ai 1000 km. La temperatura qui sale fino ad arrivare a circa 2000°C ed il gas presente è quasi totalmente ionizzato, cioè nello stato di plasma. I gas principali che costituiscono questa zona sono l'idrogeno, l'elio e l'ossigeno ionizzati. A causa della loro instabilità i primi due gas, a queste altezze e temperature tendono a sfuggire dall'attrazione gravitazionale terrestre. La presenza di questi gas viene garantita dal vento solare e dalla successiva cattura di tali particelle da parte della magnetosfera terrestre.

2.2.3. La circolazione atmosferica

2.2.3.1. Il modello di circolazione generale dell'atmosfera

In meteorologia e climatologia con il termine circolazione atmosferica si intendono tutti quei meccanismi messi in atto dall'atmosfera terrestre a varie scale spaziali per riequilibrare le differenze di temperatura e pressione, attraverso venti e correnti. Attraverso di essa il calore proveniente principalmente dalla radiazione solare viene distribuito in tutte le aree del pianeta Terra, dalle regioni calde equatoriali verso le latitudini più fredde, mediante le masse d'aria, i venti e le correnti oceaniche.

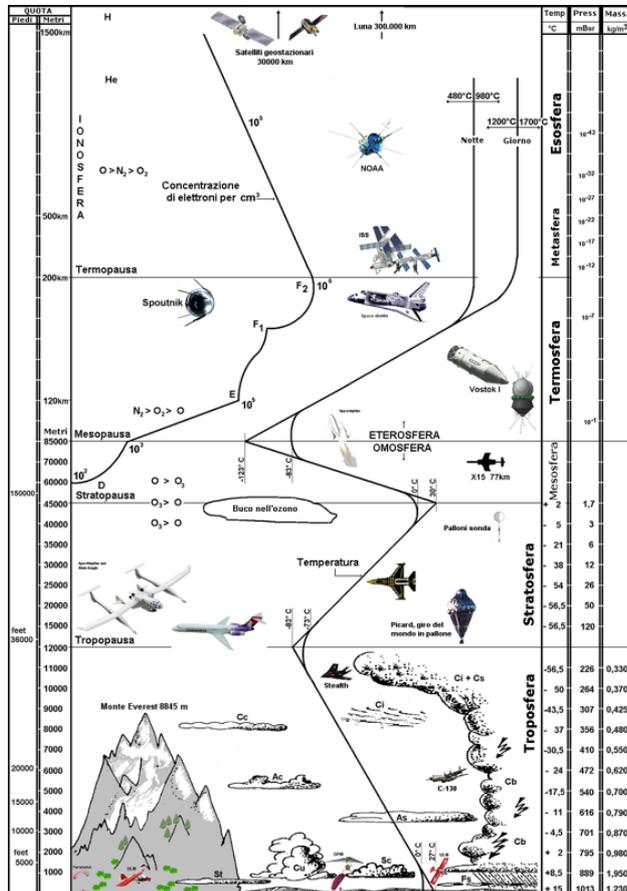
Esistono due tipi di circolazione, quella **generale** e quella **secondaria**. La prima a scala planetaria, mira al riequilibrio del gradiente termico polo-equatore, la seconda ha una scala sub-continentale e/o locale.

Per spiegare e capire come funziona la circolazione dell'atmosfera, può essere utile pensare al comportamento dell'acqua calda in una pentola una volta raggiunto il suo punto di ebollizione, 100°C . Due celle convettive si formano ai margini della pentola, rispettivamente lungo la parete destra e quella sinistra, l'acqua che è più vicina alla sorgente di calore, pian piano comincia a scaldarsi e a salire verso l'alto seguendo un moto verticale. Una volta in superficie l'acqua crea una bolla che viene spostata orizzontalmente dalla bolla successiva creata dal flusso ascendente verticale di acqua calda. Durante lo spostamento, l'acqua si raffredda e comincia ad affondare dai lati verso il fondo della pentola, ridiscende lungo le due celle convettive per poi riscaldarsi di nuovo e ripetere lo stesso percorso.

L'esempio dell'acqua che bolle nella pentola, descrive abbastanza fedelmente il funzionamento della circolazione delle masse d'aria sul nostro pianeta.

Fattore fondamentale per la comprensione delle dinamiche atmosferiche è la radiazione luminosa proveniente dal Sole. Infatti, premettendo che la Terra ha una forma di geoide sfera schiacciata ai poli, si può facilmente intuire che la radiazione solare non giunga uniforme su tutti i punti del globo.

L'incidenza e l'intensità cambia a seconda della latitudine. All'equatore la radiazione arriva perpendicolare, il calore è quindi maggiore; via via che si procede verso latitudini più alte, la radiazione arriva sempre più inclinata, fino a giungere ai Poli, dove questa è minima. Nelle zone polari il calore è minore anche grazie all'effetto dei ghiacci, i quali riflettono la luce solare, tale fenomeno viene definito "effetto albedo".



Inoltre, la Terra ruota su sé stessa ed intorno al Sole, oltre ad essere caratterizzata da un'asse di rotazione inclinato rispetto alla verticale dell'orbita. Questi elementi fanno sì che la distribuzione dell'energia solare vari nel tempo, tra il giorno e la notte e tra una stagione e l'altra.

Premesso ciò si possono comprendere meglio come il riequilibrio termico planetario latitudinale sia regolato dalla così detta Circolazione Generale dell'atmosfera (figura 8), essa è suddivisa in tre grandi celle di circolazione dell'aria: la cella di Hadley compresa tra la fascia equatoriale e quella tropicale ed in corrispondenza di una zona geografica chiamata ITCZ (Inter Tropical Convergence Zone), la cella di Ferrel nella zona delle medie latitudini e la cella Polare che staziona sui poli. Ognuna di queste celle comunica con la confinante scambiandosi masse d'aria con temperatura e umidità differenti.

Figura 8: La struttura dell'atmosfera (wikipedia)

2.2.3.2. La Forza di Coriolis

La teoria della forza di Coriolis, descritta per la prima volta dal fisico francese Gaspard Gustave

de Coriolis nel 1835, ha un ruolo molto importante per la comprensione di questa dinamica atmosferica e ad altri fenomeni meteorologici.

In fisica, la forza di Coriolis (altrimenti detta forza deviante) è una forza apparente, a cui risulta soggetto un corpo quando si osserva il suo moto da un sistema di riferimento che sia in moto circolare rispetto a un sistema di riferimento inerziale.

La forza di Coriolis dipende, anche come direzione, dalla velocità del corpo rispetto al sistema rotante di riferimento. Tale forza sta alla base della formazione dei sistemi ciclonici e anticiclonici nell'atmosfera e ha effetti non trascurabili in tutti i casi in cui un corpo sulla Terra si muova ad alta velocità su lunghi percorsi.

La Forza di Coriolis induce una deviazione delle masse d'aria verso destra nell'emisfero nord e a sinistra nell'emisfero sud.

In riferimento alla circolazione atmosferica l'effetto di Coriolis si osserva nel momento in cui le masse d'aria si riscaldano all'equatore, diminuiscono in densità e salgono, richiamando aria fredda che scorre sulla superficie terrestre verso l'equatore.

I venti che normalmente scorrerebbero latitudinalmente dai poli verso l'equatore sono quindi devianti dalla forza di Coriolis e danno origine a quei venti costanti noti con il nome di alisei. Nell'emisfero

nord questi venti soffiano da nord-est verso sud-ovest e nell'emisfero sud soffiano da sud-est verso nord-ovest.

2.2.3.3. La Cella di Hadley

Per capire il funzionamento della cella di Hadley si può considerare l'analogia con l'esempio iniziale della pentola che bolle: nella zona equatoriale i raggi solari giungono in maniera perpendicolare scaldando in maniera significativa la superficie terrestre, la quale, sua volta scalda l'aria soprastante. L'aria calda sale verticalmente verso la zona alta della troposfera ed una volta in quota viene spostata orizzontalmente verso i poli dalla massa d'aria successiva, durante questo moto orizzontale, l'aria si raffredda e quindi ritorna verso il basso per poi riscaldarsi e risalire di nuovo.

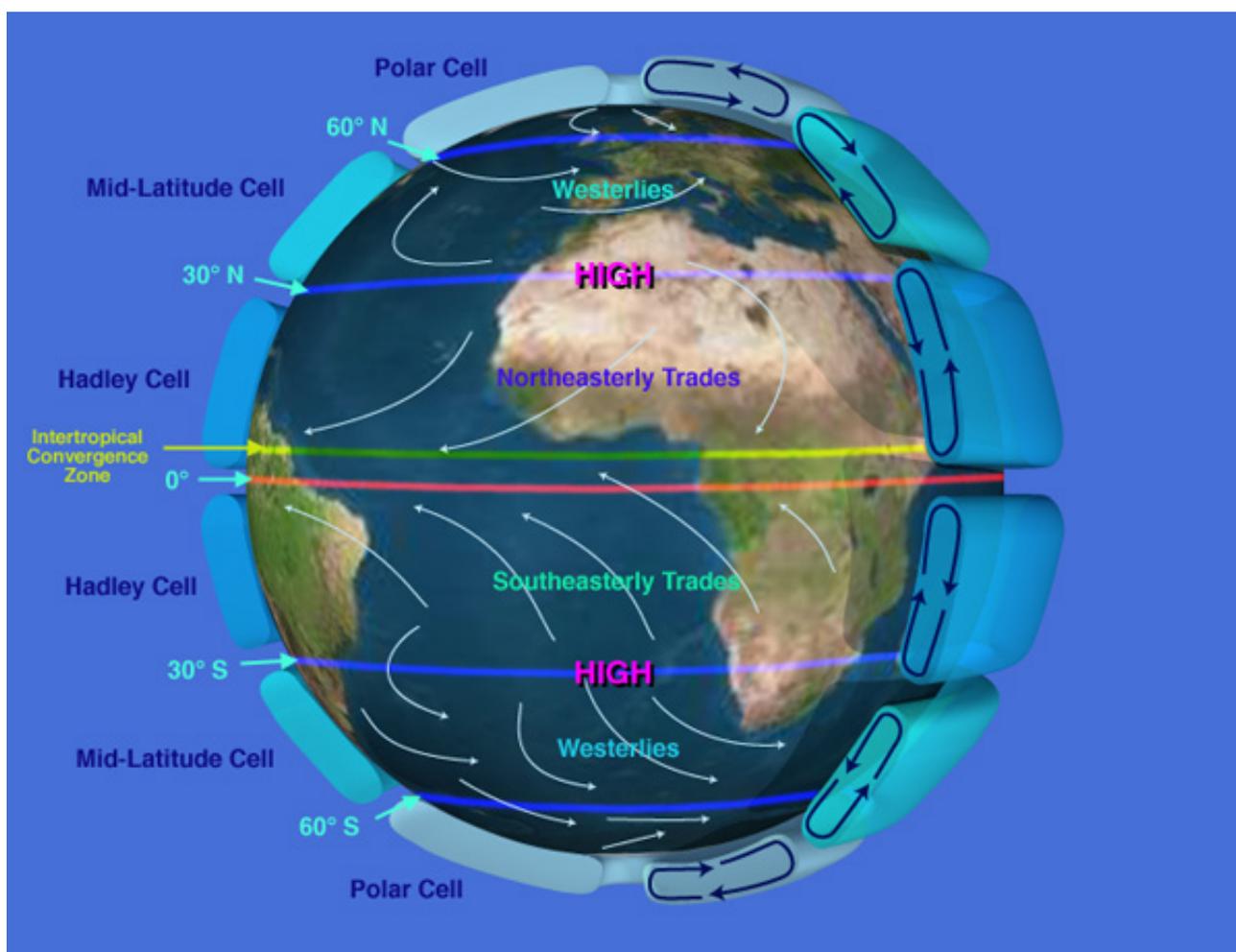


Figura 9: Circolazione generale dell'atmosfera (FONTE NASA PUBLIC DOMAIN)

Questo processo però potrebbe spiegare in maniera esaustiva la dinamica atmosferica se si assumessero due ipotesi quali l'omogeneità della superficie terrestre e la non rotazione della Terra. Nella realtà però altri meccanismi intervengono e influenzano i movimenti atmosferici. Innanzitutto, come accennato nel paragrafo precedente, la Terra ruota intorno al proprio asse in senso antiorario, questa rotazione fa sì che ogni movimento venga deviato verso destra nell'emisfero boreale e verso sinistra nell'emisfero australe. Questo fenomeno avviene perché l'aria che si muove sopra la superficie terrestre ha una velocità diversa rispetto alla rotazione della Terra.

Il risultato è quindi che il sistema di circolazione atmosferica della Terra si complica notevolmente,

dando origine a più celle di circolazione, infatti la circolazione reale delle masse d'aria non avviene secondo lo schema a cella unica, ma, essendo strettamente influenzata dalla rotazione terrestre, forma un sistema a tre celle.

2.2.3.4. La Cella di Ferrel

La cella di Ferrel è la cella che copre le medie latitudini di ciascun emisfero ed è caratterizzata dalla presenza prevalente dei cosiddetti venti occidentali o westerlies, che soffiano da ovest verso est, questi sono caratterizzati da forte irregolarità e turbolenza. Nella cella di Ferrel la circolazione è opposta a quella che caratterizza la cella di Hadley. Le correnti fredde salgono in quota per poi cadere verso il basso riscaldandosi, infatti questa cella viene anche detta thermodynamically indirect, in quanto trasporta energia da una zona fredda ad una calda.

2.2.3.5. La Cella polare

Localizzata ai 60°N/S comprende le correnti fredde che discendono sopra i poli e da qui si spostano verso masse d'aria più calde delle medie latitudini. L'aria fredda, discendente, che dal Polo Nord e dal Polo Sud soffia verso l'Equatore, incontrando le celle di Ferrel si riscalda e risale seguendo lo stesso percorso.

Bisogna ricordare che la circolazione dell'aria fredda proveniente dai Poli, diretta ai tropici ha ugual peso, in termini di bilancio termico, della distribuzione del calore che dalle zone calde si dirige verso quelle fredde. Questa sorta di equilibrio tra riscaldamento e raffreddamento diventa ancor più importante nella circolazione oceanica.

La cella di Hadley e quella polare sono molto simili tra loro, si usa, infatti, indicarle come "thermally direct cells" ossia correlate termicamente. Ciò equivale a dire che sono una diretta conseguenza delle temperature superficiali che si creano sul nostro pianeta, le quali a loro volta dipendono però, da altri fattori quali latitudine, correnti oceaniche, l'alternarsi delle stagioni, dalla presenza dei continenti e così via.

3. Effetto serra naturale e antropogenico

3.1. Come funziona l'effetto serra

Il Sole emette in tutte le direzioni dello spazio un flusso di energia di circa 64 milioni watt per metro quadrato. La Terra è investita da una frazione di tutta questa energia che al di sopra dell'atmosfera è stimata come valore medio in 1366 Watt per metro quadrato; questo valore è denominato costante solare. Si tratta di una quantità di energia di gran lunga superiore a quella complessivamente generata dall'uomo. In realtà i 1366 watt per metro quadrato sarebbero il flusso di energia che investirebbero la Terra se questa fosse ferma, piatta e se i raggi giungessero perpendicolarmente ad essa ma tenendo conto della sfericità della Terra (e quindi del fatto che i raggi investono perpendicolarmente solo la zona equatoriale) e dei suoi movimenti, la quantità media di energia che arriva sopra l'atmosfera è 342 watt per metro quadrato.

Per quel che riguarda il bilancio energetico Sole-Terra, in condizioni di equilibrio, la quantità di radiazione ricevuta è bilanciata da una eguale quantità riemessa in due modi: riflessione per circa il 30% del totale, prevalentemente dalle nubi e dalle superfici ghiacciate, riemissione come radiazione infrarossa, il restante 70%. La radiazione non riflessa viene assorbita dall'atmosfera, dalle nubi e dalla superficie terrestre e dai mari, dove si trasforma in calore.

L'atmosfera terrestre, che è trasparente alla luce visibile e all'infrarosso vicino, non lo è alla lunghezza d'onda di 10-15 micrometri, radiazione infrarossa riemessa dalla terra, per cui solamente il 12% della radiazione riemessa (corrispondente al 9% rispetto alla radiazione solare entrante) riesce a sfuggire nel cosmo. Il resto viene assorbito dall'atmosfera stessa e la riscalda; a sua volta l'atmosfera riemette energia che in parte viene persa nello spazio. La temperatura al suolo aumenta così fino a quando la quantità di radiazione che riesce a sfuggire compensa quella ricevuta dal

Sole e nel corso di milioni di anni si è stabilizzata. La temperatura media terrestre globale è di circa 15 °C, mentre, senza tale meccanismo, sarebbe di -20 °C. Questo fenomeno naturale è chiamato "effetto serra" (vedi figura 9), esso contribuisce a mantenere sulla terra una temperatura costante e superiore a quella che si avrebbe senza questa sorta di coperta. Proprio grazie a questo fenomeno la vita sulla Terra ha potuto svilupparsi così come la conosciamo. Il rapporto tra radiazioni in ingresso e in uscita dal sistema terrestre è chiamato bilancio termico.

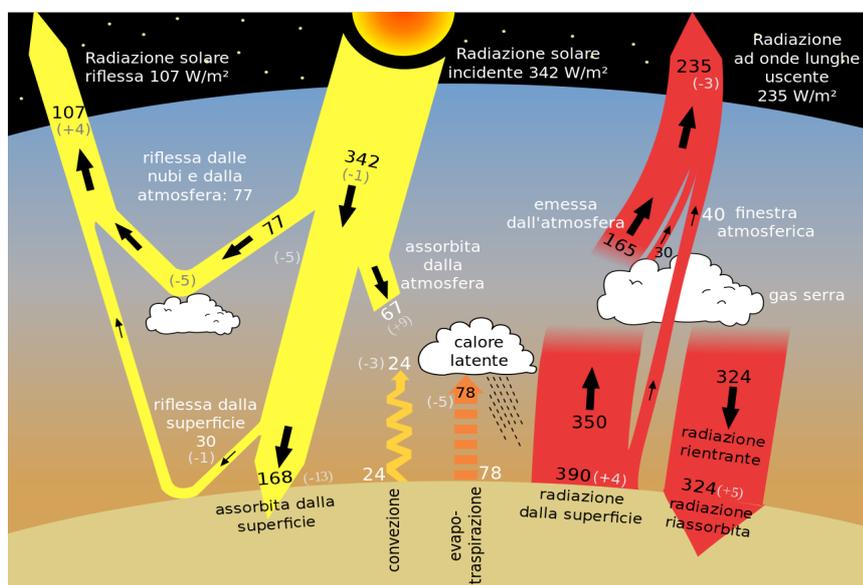


Figura 10: Funzionamento dell'effetto serra (wikipedia)

3.2. Forcing naturali e antropici

Al fine di studiare i diversi fattori che sono intervenuti modificando a più riprese l'andamento del clima nelle epoche passate e presente è necessario fare una premessa:

- la Terra è un sistema chiuso, cioè un sistema che scambia energia con l'esterno, ma non materia;
- gli esseri viventi che la popolano, invece, sono definiti sistemi aperti poiché ricevono input esterni di energia e di materia ed emettono output come risposte.
- La Terra può inoltre essere definita, un sistema complesso il quale, in seguito a forzanti esterne o interne, reagisce non necessariamente in modo lineare secondo una relazione di causa effetto, ma, al contrario, reagisce in maniera poco prevedibile.

Allo stesso modo il sistema climatico terrestre è un sistema complesso e in continua evoluzione nel quale, in seguito a pressioni interne ed esterne al sistema (*forcing*) le varie componenti naturali che lo influenzano, tra cui l'atmosfera, la criosfera, gli oceani, le terre emerse e la biosfera, modificano la loro composizione e interagiscono tra loro producendo retroazioni interne (*feedback*) che definiscono il susseguirsi di variazioni climatiche.

Il sistema climatico è il risultato dell'azione di questi due fenomeni: forcing e feedback.

In questa sede ci limiteremo ad analizzare i principali forcing.

3.2.1. Il concetto di forcing

Un forcing (o forzante) è un evento che induce dei cambiamenti nel sistema climatico. Questi cambiamenti possono essere sia di origine interna al sistema climatico (*endogeni*) sia di origine esterna (*esogeni*) e ne esistono di due tipi:

forcing naturali come le eruzioni vulcaniche e l'impatto di meteoriti;

forcing antropici come l'emissione di gas serra.

La caratteristica che maggiormente li contraddistingue è che questi agiscono su tempi assai diversi: i forcing naturali solitamente agiscono su tempi molto lunghi se paragonati a quelli della vita umana e possono impiegare anche diversi milioni di anni affinché producano cambiamenti climatici. I forcing antropici, invece, hanno influenzato gli equilibri del pianeta dalla comparsa degli esseri umani, ma in misura maggiore, dall'avvento della rivoluzione industriale. Dal 1750 circa, infatti, in un tempo brevissimo, se paragonato a quello di evoluzione della Terra, è stata immessa in atmosfera una notevole quantità di biossido di carbonio derivante dalla combustione di combustibili fossili e questo ha fatto sì che l'equilibrio naturale della Terra, investito da queste perturbazioni, continui tuttora a tendere, attraverso una serie di retroazioni, verso un nuovo stato di equilibrio.

3.2.2. Forcing naturali esterni al sistema Terra

3.2.2.1. Variazioni orbitali: i cicli di Milankovitch

Le variazioni orbitali, meglio conosciute come, i cicli di Milankovitch prendono il nome dall'ingegnere e matematico serbo Milutin Milankovitch. Milankovitch che fu il primo ad individuare questi cicli attraverso precisi calcoli astronomici. Egli scoprì che, ciclicamente, le variazioni dei moti della Terra (oltre a quelli di rivoluzione ed evoluzione) causano effetti che si ripercuotono sul clima della Terra stessa determinandone quindi la variabilità climatica. Questi cicli sono infatti stati utilizzati per spiegare la causa delle passate ere glaciali.

I moti terrestri considerati da Milankovitch sono tre ed hanno periodi diversi:

A. Il moto conico dell'asse terrestre

Il nostro pianeta muovendosi intorno al suo asse di rotazione ruota intorno alla perpendicolare del piano della sua orbita (la sua traiettoria), cioè effettua una rotazione simile a quella di una trottola. Questo moto della terra è definito in fisica con il termine "precessione" e dura in media 22.000 anni.

La precessione dell'orbita è quindi la variazione della direzione dell'asse terrestre misurata rispetto al Sole. Questo fenomeno è dovuto all'attrazione del Sole e della Luna, e al fatto che la forma della Terra non è esattamente sferica. Uno degli effetti più importanti regolati dalla precessione è lo spostamento degli equinozi che determina quindi l'intensità delle stagioni: quando l'asse terrestre si sposta in direzione della Stella Polare gli inverni sono meno freddi e le estati più fresche, quando in vece si trova in direzione di Vega gli inverni sono rigidi e le estati torride.

B. L'inclinazione dell'asse terrestre

L'inclinazione dell'asse terrestre (o inclinazione assiale) rispetto alla perpendicolare del piano dell'orbita (traiettoria) è soggetta ad oscillazioni in un campo di 3° di ampiezza (tra 21.5° e 24.5°). Le variazioni dell'inclinazione sono periodiche e un ciclo completo è costituito da un periodo di circa 42.000 anni.

Attualmente l'asse terrestre ha un'inclinazione di 23.5° ca. Questo tipo di variazioni determinano le regioni dove incide la maggior parte delle radiazioni solari, quindi possono causare, contemporaneamente in diverse parti del globo, particolari condizioni climatiche;

ad esempio, siccità nelle regioni del Sahel e un aumento dei monsoni sulle regioni indiane.

C. L'eccentricità orbitale

L'eccentricità definisce la misura di quanto l'orbita (traiettoria) devia da un cerchio, L'orbita terrestre è un'ellisse, ma la sua forma varia nel tempo: da bassa eccentricità (quasi circolare) ad alta eccentricità (discretamente ellittica) e viceversa.

L'eccentricità dell'orbita della Terra ha cicli che variano tra 100 mila e 413 mila anni.

Tutte queste variazioni nei parametri della precessione dell'orbita, dell'inclinazione assiale e dell'eccentricità orbitale terrestre portano ad una variazione della distribuzione e dell'intensità dell'energia solare sulla Terra e, di conseguenza, influiscono sul clima.

In base a quante radiazioni solari la Terra riceve si innescano diversi tipi di condizioni climatiche.

In conclusione, Milankovitch ha dimostrato, con i suoi calcoli, che la periodicità dei cambiamenti climatici, sia quelli di lunghezze temporali brevi, come le stagioni, sia quelli di lunghezze temporali lunghe, come le glaciazioni, coincidono con le variazioni dei moti orbitali.

3.2.2.2. Radiazione solare

La radiazione solare è “L'energia emessa dal Sole a partire dalle reazioni termonucleari di fusione che avvengono nel nucleo solare e producono radiazioni elettromagnetiche le quali poi si propagano nello spazio”.

Le radiazioni solari si propagano e ci raggiungono attraverso un movimento ondulatorio (onde elettromagnetiche). Questo movimento ondulatorio è composto da numerose “onde” che si definiscono fotoni che interagiscono con l'atmosfera e con il suolo in quello che è l'effetto serra.

La radiazione solare e l'effetto serra esercitano un ruolo essenziale per la vita sulla Terra mantenendo la temperatura media a circa 14°C e sono in grado di influenzare notevolmente il clima.

I raggi solari che raggiungono la Terra possono essere:

- riflessi per effetto dell'albedo;
- assorbiti grazie ai gas serra e alla superficie terrestre (che a seconda delle caratteristiche fisiche è più o meno in grado di trattenere calore).

La quantità di calore assorbita e riemessa dalle terre emerse e dagli oceani è maggiore rispetto a quella assorbita e riemessa dall'atmosfera. La maggior parte del calore totale presente in atmosfera deriva quindi dalla superficie terrestre. È possibile misurare la radiazione solare (l'attività solare) attraverso il numero di macchie che compaiono sulla superficie del Sole. È stato dimostrato che quando si hanno un gran numero di macchie significa che si è in una fase di maggior attività solare, e quindi il Sole emette maggior energia, viceversa se le macchie sono poche si avrà minor energia emessa. Questo ciclo non è regolare e può variare tra i 10 e i 12 anni.

Come possono quindi, variazioni minime dell'attività solare provocare delle reazioni significative sul clima?

Innanzitutto, bisogna tenere conto che l'attività solare è il motore dei fenomeni atmosferici, in quanto senza di essa, non vi sarebbe l'energia necessaria per produrli (precipitazioni, evaporazione, venti...ecc.). L'influenza delle fluttuazioni delle radiazioni anche se pur minime hanno notevole rilevanza, come numerosi studi negli ultimi anni stanno dimostrando, soprattutto dal punto di vista delle macchie solari (*Sunspot Number*).

Le macchie solari, e quindi l'attività solare, influenzano in particolare l'area tropicale e le precipitazioni del nostro pianeta. Con un'intensa attività solare si registrano: aumenti di ozono prodotto dai raggi UVA, maggior forza dei venti Alisei, aumento dell'evaporazioni nella zona equatoriale e conseguente aumento dell'annuvolamento e delle precipitazioni.

Studi pubblicati negli ultimi anni provano che mettendo in relazione le attività solari con questi fenomeni si hanno prove praticamente certe di una correlazione tra questi due fattori. Molto importante è la correlazione emersa tra picchi di attività solare con due importanti fenomeni climatici che si originano nel Pacifico: La Niña e El Niño.

Gli studi hanno dimostrato che i picchi di attività solare riscaldano le acque superficiali dell'oceano Pacifico aumentando l'intensità (o contrastando) la forza de La Niña o El Niño.

3.2.3. Forcing naturali interni al sistema Terra

3.2.3.1. Eruzioni vulcaniche

Si definisce eruzione vulcanica una fuoriuscita di magma e di materiali gassosi (tra cui le ceneri e i gas serra) provenienti dal mantello e/o dalla crosta terrestre.

Nella storia del clima le eruzioni vulcaniche hanno influenzato fortemente la temperatura sul nostro pianeta. Questo è avvenuto non tanto per effetto diretto, in termini di calore emesso, che è praticamente nullo (0.01% ca.) paragonato al calore che arriva dal Sole, ma per gli effetti indiretti, che al contrario, influiscono in maniera rilevante sul cambiamento climatico. Nello specifico, tra gli effetti indiretti, le ceneri vulcaniche e i gas serra immessi nell'atmosfera possono rilevarsi forcing ad elevato impatto.

Le ceneri vulcaniche sono composte da minuscole particelle di rocce e minerali ed essendo molto piccole possono volare e rimanere in circolo nell'atmosfera per molti anni anche grazie all'azione dei venti. A seguito di grosse eruzioni le ceneri sono state addirittura in grado di oscurare il sole e ciò è avvenuto per l'intensificarsi di un fenomeno denominato *aerosol*. L'aerosol è il fenomeno naturale che aggrega particelle liquide e solide sotto forma di gas che fluttuando nell'aria hanno la capacità di assorbire e riflettere la luce solare (cioè hanno la capacità di aumentare l'effetto dell'albedo) attraverso la formazione di nubi. La formazione di nubi che riflettono la luce solare in entrata proveniente dal sole può quindi portare ad un abbassamento della temperatura sulla superficie terrestre e a seconda dell'entità dell'eruzione può protrarsi anche per diversi anni sia localmente che globalmente.

I gas serra, come vedremo meglio in seguito, al contrario sono un forcing che permette di aumentare la radiazione termica, ovvero di trattenere maggiore calore nell'atmosfera per un periodo più lungo. Un aumento quindi, di emissioni di gas serra per effetto di un'eruzione vulcanica può far aumentare la temperatura sulla superficie terrestre in maniera poco rilevante nel breve periodo, ma spesso con conseguenze e un impatto maggiore nel medio e lungo periodo.

3.2.3.2. Forcing antropici

Le emissioni di gas serra sono un fenomeno naturale che permette a noi e agli altri esseri viventi presenti sulla terra di vivere.

Questo avviene perché i gas serra vengono trattenuti dalla nostra atmosfera e non dispersi nello spazio. Essi giocano un ruolo di fondamentale importanza se pensiamo che senza di essi la temperatura media della terra sarebbe di circa -18°C.

I gas serra sono trasparenti alla radiazione del Sole sulla Terra ma sono in grado di trattenere la radiazione termica (o radiazione infrarossa) del Sole riflessa dalla Terra.

I gas serra presenti in atmosfera sono numerosi e, tra questi, quelli contenuti in maggiore quantità sono: il vapore acqueo, il biossido di carbonio (o anidride carbonica), il protossido di azoto e il metano.

Il principale gas ad effetto serra è il vapore acqueo che da solo è responsabile per circa 2/3 dell'effetto serra naturale. Il vapore acqueo insieme agli altri gas contribuisce a formare un fenomeno, già individuato in precedenza, l'"aerosol".

In natura gli aerosol sono emessi, come abbiamo visto, principalmente dai vulcani, ma anche prodotti dalle polveri dei deserti e dagli incendi. Le attività umane, in particolare negli ultimi

150-200 anni, stanno contribuendo fortemente alla produzione di aerosol attraverso la combustione dei combustibili fossili.

I combustibili fossili (petrolio, gas, carbone) sono il risultato di un lento processo di decomposizione di materiale organico seppellito sotto la superficie terrestre.

Durante questa trasformazione l'energia contenuta nel materiale organico si trasforma in energia chimica.

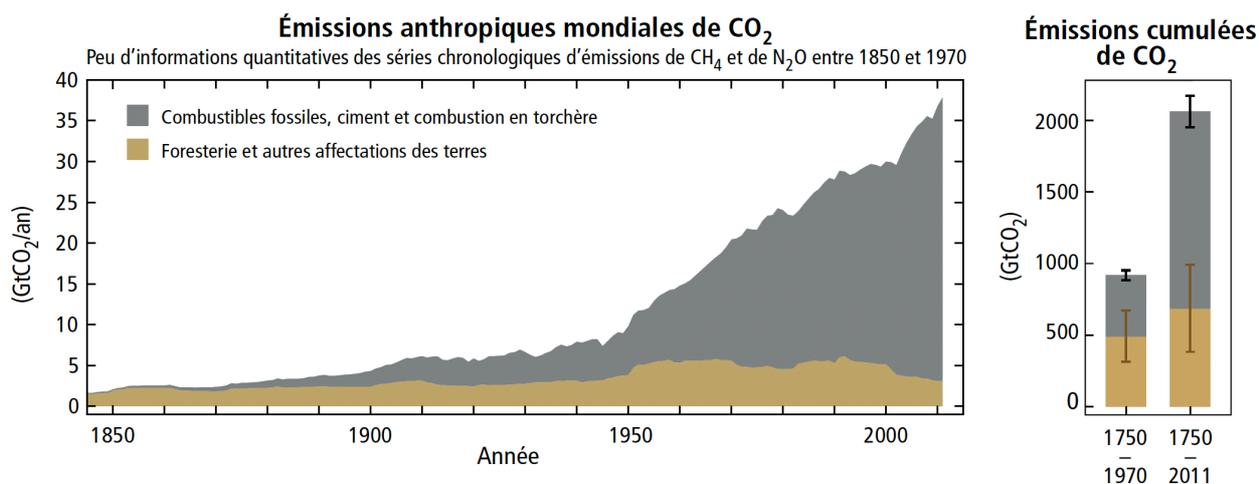


Figure 1.5 | Émissions anthropiques annuelles de dioxyde de carbone (CO₂) dans le monde (gigatonnes d'équivalent-CO₂ par an, GtCO₂/an) provenant de l'utilisation des combustibles fossiles, de la production de ciment et de la combustion en torchère ainsi que de la FAT (foresterie et autres affectations des terres) entre 1750 et 2011. Les émissions cumulées (barres) et leurs incertitudes (segments verticaux) figurent à droite. Les conséquences mondiales de l'accumulation des émissions de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O) apparaissent à la figure 1.3. Les données relatives aux émissions de gaz à effet de serre entre 1970 et 2010 apparaissent à la figure 1.6. (Adapté de GT I figure RT.4 et GT III figure RT.2)

Figura 11: Emissioni antropogeniche annue di diossido di carbonio (CO₂) nel mondo (gigatonnellate di equivalente CO₂ all'anno, GtCO₂/anno) in provenienza dall'uso di combustibili fossili, dalla produzione di cemento e dalla combustione a torcia come pure dalla SUT (silvicoltura e altri utilizzi delle terre) fra il 1750 e il 2011. Le emissioni cumulate (barre) e le loro incertezze (segmenti verticali) sono a destra. Le conseguenze mondiali dell'accumulo di emissioni di metano (CH₄) e di monossido di diazoto (N₂O) sono presentati nella figura 1.3. I dati relativi alle emissioni di gas a effetto serra fra il 1970 e il 2010 appaiono alla figura 1.6. {Adattato da GT I figure RT.4 e GR III figure RT.2} (Fonte: IPCC rapporto di sintesi 2014: 48 fig 1.5)

Quando i combustibili fossili vengono bruciati l'energia chimica contenuta in essi si trasforma in energia termica (principalmente sotto forma di gas) e di conseguenza l'effetto serra naturale della nostra atmosfera aumenta.

Un forcing antropico come questo sta alterando lo stato di "equilibrio termico" (energia in entrata uguale ad energia in uscita) del nostro sistema atmosferico.

Inoltre, la combustione di combustibili fossili ha intaccato le riserve geologiche del carbonio, alterandone il ciclo.

La combustione di combustibili fossili sta aumentando in particolar modo le emissioni di anidride carbonica (CO₂). Questo gas ha visto aumentare negli ultimi 150 anni la sua presenza nell'atmosfera da 280 a 391,76 ppm (aggiornato a febbraio 2011). Quello che preoccupa non è tanto la quantità dell'incremento ma piuttosto la rapidità con cui esso è avvenuto. Non si

3. Effetto serra naturale e antropogenico

conoscono, infatti, precedenti picchi di anidride carbonica così alti in un tempo geologicamente così breve.

A causa dell'emissione di CO₂ gli esseri umani hanno provocato un aumento di 0.6°C nella temperatura media della terra dal 1900 ad oggi e si prevede un ulteriore incremento di altri 0.6°C nei prossimi 20 anni.

Apparentemente un incremento di questo tipo può sembrare piuttosto insignificante, ma diversi studi hanno dimostrato come anche piccole fluttuazioni della temperatura media dell'atmosfera e degli oceani possono determinare importanti effetti (prevedibili e non) sul clima.

Grafici di supporto:

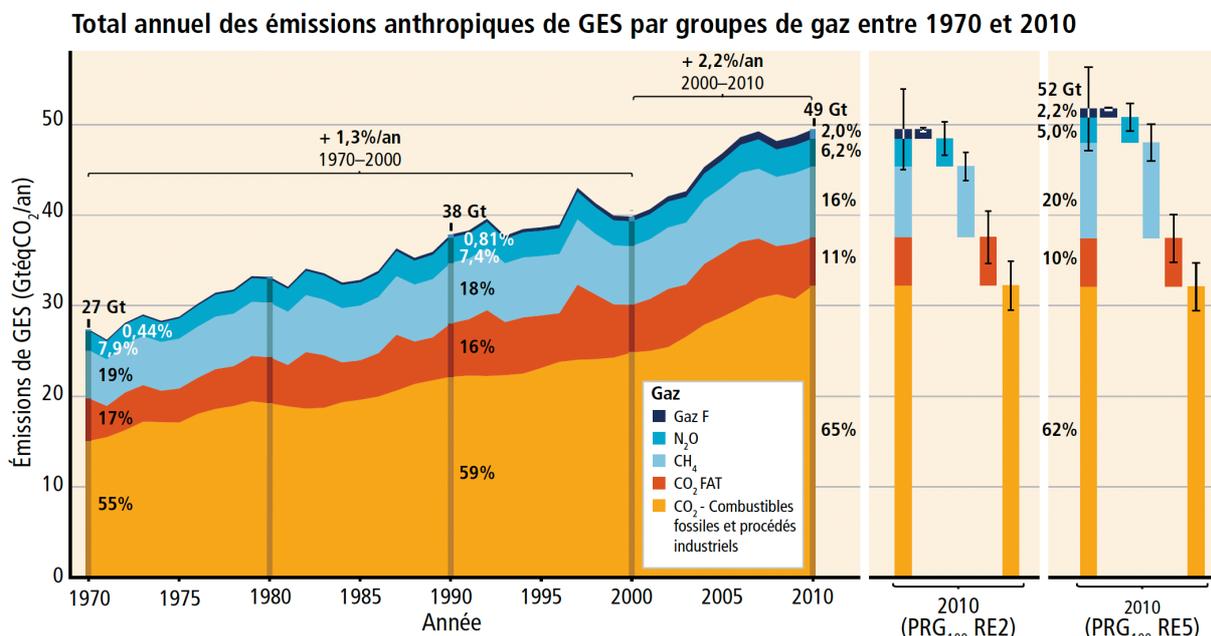


Figure 1.6 | Total annuel des émissions anthropiques de GES (gigatonnes d'équivalent- CO_2 par an, Gt $\text{eq CO}_2/\text{an}$) entre 1970 et 2010, par gaz: CO_2 issu de la combustion de combustibles fossiles et des processus industriels; CO_2 issu de la FAT (foresterie et autres affectations des terres); méthane (CH_4); oxyde nitreux (N_2O); gaz fluorés (gaz F) réglementés en vertu du Protocole de Kyoto. À droite, émissions en 2010 avec une pondération en équivalent- CO_2 fondée sur les valeurs figurant dans le deuxième Rapport d'évaluation (RE2) et dans le cinquième Rapport d'évaluation (RE5) du GIEC. Sauf indication contraire, les émissions en équivalent- CO_2 données dans le présent rapport comprennent la liste des gaz visés par le Protocole de Kyoto (CO_2 , CH_4 , N_2O , ainsi que les gaz fluorés) et sont calculées sur la base des valeurs du potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG_{100}) figurant dans le RE2 (voir le glossaire). L'emploi des valeurs de PRG_{100} plus récentes tirées du RE5 (barres de droite) se traduit par un total annuel plus élevé des émissions de GES (52 Gt $\text{eq CO}_2/\text{an}$) en raison d'une hausse de la contribution du méthane, sans que la tendance à long terme en soit sensiblement modifiée. D'autres choix modifieraient la contribution des différents gaz (voir l'encadré 3.2). Les valeurs de 2010 sont reprises, par composant, avec les incertitudes correspondantes (intervalle de confiance à 90 %) indiquées par les segments d'erreur. Les émissions mondiales de CO_2 provenant de l'utilisation de combustibles fossiles sont déterminées avec une marge d'incertitude de 8 % (intervalle de confiance à 90 %). De très grandes incertitudes, de l'ordre de $\pm 50\%$, sont associées aux émissions de CO_2 provenant de la FAT. Les incertitudes liées aux émissions mondiales de CH_4 , de N_2O et de gaz F sont estimées respectivement à 20 %, 60 % et 20 %. L'année 2010 est l'année la plus récente pour laquelle des statistiques sur les émissions de tous les gaz ainsi que l'évaluation des incertitudes étaient quasi complètes à la date limite fixée pour la rédaction du rapport. Les incertitudes estimées concernent uniquement les émissions, elles ne rendent pas compte de l'incertitude touchant les PRG (selon la section 8.7 du rapport du GT I). [GT III figure RID.1]

Figura 12: Totale annuo delle emissioni di GES (gigatonnellate di equivalente CO_2 all'anno, Gt CO_2/anno) fra il 1970 e il 2010 per gas: CO_2 emesso dalla combustione di combustibili fossili e da processi industriali, CO_2 emesso dalla SUT (silvicoltura e altri utilizzi delle terre); metano (CH_4); monossido di diazoto (N_2O), gas fluorati (gas F) regolamentati in virtù del protocollo di Kyoto. A destra, emissioni nel 2010 con una ponderazione in equivalente- CO_2 basata sui valori presenti nel secondo rapporto di valutazione (RE2) e nel quinto rapporto di valutazione (RE5) del GIEC. Salvo indicazione contraria, le emissioni in equivalente CO_2 fornite nel presente rapporto comprendono la lista di gas interessati dal protocollo di Kyoto (CO_2 , CH_4 , N_2O , e gas fluorati) e sono calcolati sulla base dei valori del potenziale del riscaldamento globale a 100 anni (PRG_{100}) presenti nel RE2 (vedi glossario). L'uso dei valori di PRG_{100} più recenti, estratti dal RE5 (barre sulla destra) si traduce in un totale annuale più elevato delle emissioni di GES (52 Gteq CO_2/anno) a causa di un aumento del contributo, senza che la tendenza a lungo termine ne sia sensibilmente modificata. Altre scelte modificherebbero il contributo dei diversi gas (vedi riquadro 3.2). I valori del 2010 sono ripresi, per componente con le incertezze corrispondenti (intervallo di fiducia al 90%) indicati con i segmenti d'errore. Le emissioni mondiali di CO_2 in provenienza dall'uso di combustibili fossili sono derminate con un margine di incertezza dell'8% (intervallo di fiducia del 90%). Grandi incertezze, fino a $\pm 50\%$ sono associate alle emissioni di CO_2 provenienti dalla FAT. Le incertezze legate alle emissioni mondiali di CH_4 , i N_2O e di gas F sono stimate reciprocamente al 20%, 60% e 20%. L'anno 2010 è quello più recente per cui delle statistiche sulle emissioni di tutti i gas, così come la valutazione delle incertezze erano quasi complete alla data limite fissata per la redazione del rapporto. Le incertezze stimate concernono unicamente le emissioni, non rendono conto dell'incertezza che tocca i PRG (secondo la sezione 8.7 del rapporto GR1) [GT III figure RID.1] (Fonte: IPCC rapporto di sintesi 2014: 49 fig 1.6)

Répartition des émissions de GES entre les secteurs économiques

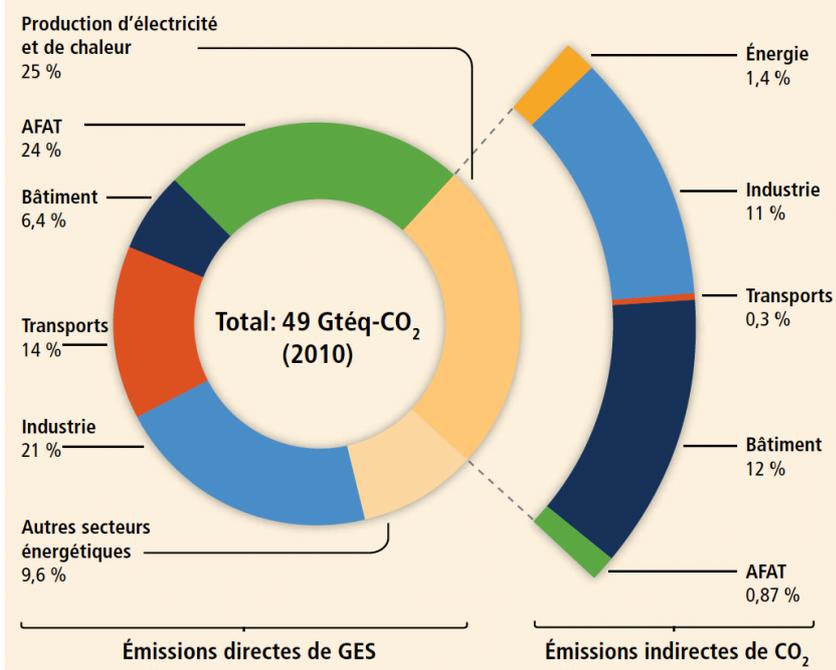


Figure 1.7 | Répartition des émissions anthropiques totales de GES (gigatonnes d'équivalent- CO_2 par an, $\text{Gtéc CO}_2/\text{an}$) entre les secteurs économiques en 2010. La couronne montre les parts (en pourcentage des émissions anthropiques totales de GES) des émissions directes de GES attribuées en 2010 à cinq secteurs économiques. L'arc agrandi sur la droite indique la répartition (en pourcentage des émissions anthropiques totales de GES) des émissions indirectes de CO_2 découlant de la production d'électricité et de chaleur entre les secteurs qui consomment l'énergie finale. La part attribuée aux « autres secteurs énergétiques » correspond à toutes les sources d'émission de GES dans le secteur de l'énergie, comme il est défini dans l'annexe II du rapport du GT III, mis à part la production d'électricité et de chaleur {GT III annexe II.9.1}. Les données relatives à l'AFAT (agriculture, foresterie et autres affectations des terres) incluent les émissions de CO_2 d'origine terrestre provoquées par les feux de forêt et de tourbière ainsi que par la décomposition dans les tourbières; elles se rapprochent des flux nets de CO_2 attribués à la FAT (foresterie et autres affectations des terres), que décrit le chapitre 11 du rapport du GT III. Toutes les émissions sont exprimées en Gtéc CO_2 sur la base du potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG_{100}) figurant dans le deuxième Rapport d'évaluation du GIEC (RE2). Les secteurs sont définis dans l'annexe II.9 du rapport du GT III. {GT III figure RID.2}

Figura 13: Ripartizione delle emissioni antropiche totali di GES (gigatonnellate di equivalente CO_2 all'anno, $\text{GtCO}_2/\text{anno}$) fra settori economici nel 2010. La corona mostra le parti (in percentuale delle emissioni antropiche totali di GES) delle emissioni dirette di GES attribuite nel 2010 ai cinque settori economici. L'arco ingrandito sulla destra indica la ripartizione (in percentuale delle emissioni antropiche totale di GES) delle emissioni indirette di CO_2 derivanti dalla produzione d'elettricità e di calore fra i settori che consumano l'energia finale. La parte attribuita agli "altri settori energetici" corrisponde a tutte le fonti d'emissione di GES nel settore dell'energia com'è definito nell'annesso II del rapporto del GT III, a eccezione della produzione d'elettricità e di calore {GT III annexe II.9.1}. I dati relativi all'ASUT (agricoltura, silvicoltura, e altri usi delle terre) comprendono le emissioni di CO_2 d'origine terrestre provocate dagli incendi di foreste e di torbiere, così come dalla decomposizione nelle torbiere; si avvicinano ai flussi netti di CO_2 attribuiti alla SUT (silvicoltura e altri usi delle terre), descritti nel capitolo 11 del rapporto GT III. Tutte le emissioni sono espresse in Gtéc CO_2 sulla base del potenziale del riscaldamento globale entro 100 anni (PRG_{100}) presente nel secondo Rapporto d'evoluzione del GIEC (RE2). I settori sono definiti nell'annesso II.9 del rapporto del GT III. {GT III figure RID.2} (Fonte: IPCC rapporto di sintesi 2014: 50 fig 1.7)

Figura 14: Stime dell'intervallo probabile (segmenti orizzontali) e mediane corrispondenti (barre) per le tendenze del riscaldamento per il periodo 1951-2010 dovuti a gas a effetto serra omogeneamente mescolati; ad altre forzature antropogeniche (compreso l'effetto del raffreddamento degli aerosol e l'effetto del cambiamento d'uso delle terre), all'insieme delle forzature antropiche, alle forzature naturali e alla variabilità naturale interna del clima (che sopravviene spontaneamente in seno al sistema climatico, anche in assenza di impulsi). La variazione osservata della temperatura appare in nero, con la sua zona d'incertezza da 5 a 95% dovuta all'incertitudine delle osservazioni. Le zone di riscaldamento attribuite (colori) si basano sui dati d'osservazione coniugati ai risultati di simulazioni fatte con l'aiuto di modelli climatici; queste permettono di stimare il contributo di ogni forzatura esterna al riscaldamento osservato. La parte attribuita alla somma delle forzature antropiche è intaccata da un'incertezza minore rispetto alla parte attribuita separatamente ai gas a effetto serra e agli altri impulsi antropici. In effetti, questi due contributi si compensano in parte, si lasciano così meglio determinare tramite le osservazioni. {GT I figure RT.10}(Fonte: IPCC rapporto di sintesi 2014 : 51 fig 1.9)

Contributions à la variation observée de la température en surface entre 1951 et 2010

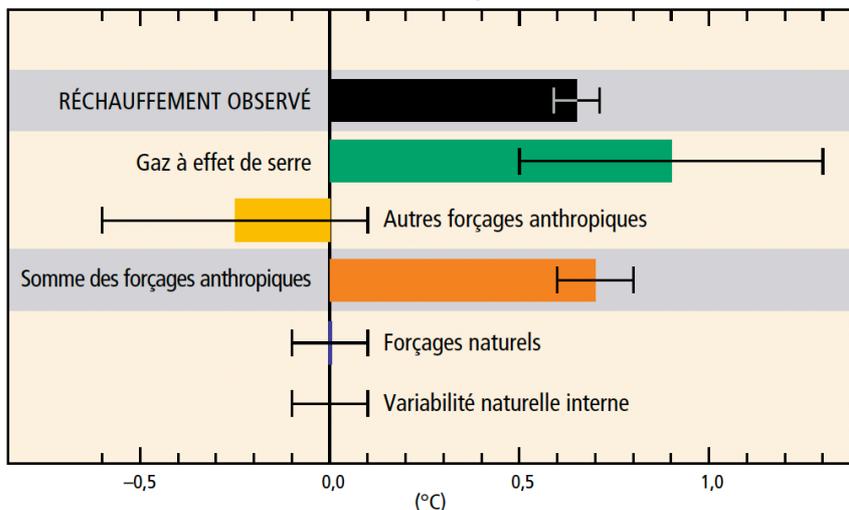


Figure 1.9 | Estimations de la plage probable (segments horizontaux) et médianes correspondantes (barres) pour les tendances du réchauffement sur la période 1951–2010 dû aux gaz à effet de serre au mélange homogène, aux autres forçages anthropiques (y compris l'effet de refroidissement des aérosols et l'effet du changement d'affectation des terres), à la somme des forçages anthropiques, aux forçages naturels et à la variabilité naturelle interne du climat (qui survient spontanément au sein du système climatique, même en l'absence de forçage). La variation observée de la température en surface apparaît en noir, avec sa plage d'incertitude de 5 à 95 % due à l'incertitude des observations. Les plages de réchauffement attribuées (couleurs) reposent sur les données d'observation conjuguées aux résultats de simulations à l'aide de modèles climatiques; elles permettent d'estimer la contribution de chaque forçage externe au réchauffement observé. La part revenant à la somme des forçages anthropiques est entachée d'une incertitude moindre que la part revenant séparément aux gaz à effet de serre et aux autres forçages anthropiques. En effet, comme ces deux contributions se compensent en partie, le signal résultant est mieux contraint par les observations. {D'après GT I figure RT.10}

4. Conseguenze del cambiamento climatico e sue influenze per lo sviluppo umano

4.1. Spunti di riflessione

- *Punto di non ritorno* (Before the flood) con Leonardo di Caprio, film documentario, 2016.
- Tabelle e immagini tratte dal rapporto di sintesi sul cambiamento climatico dell'IPCC.

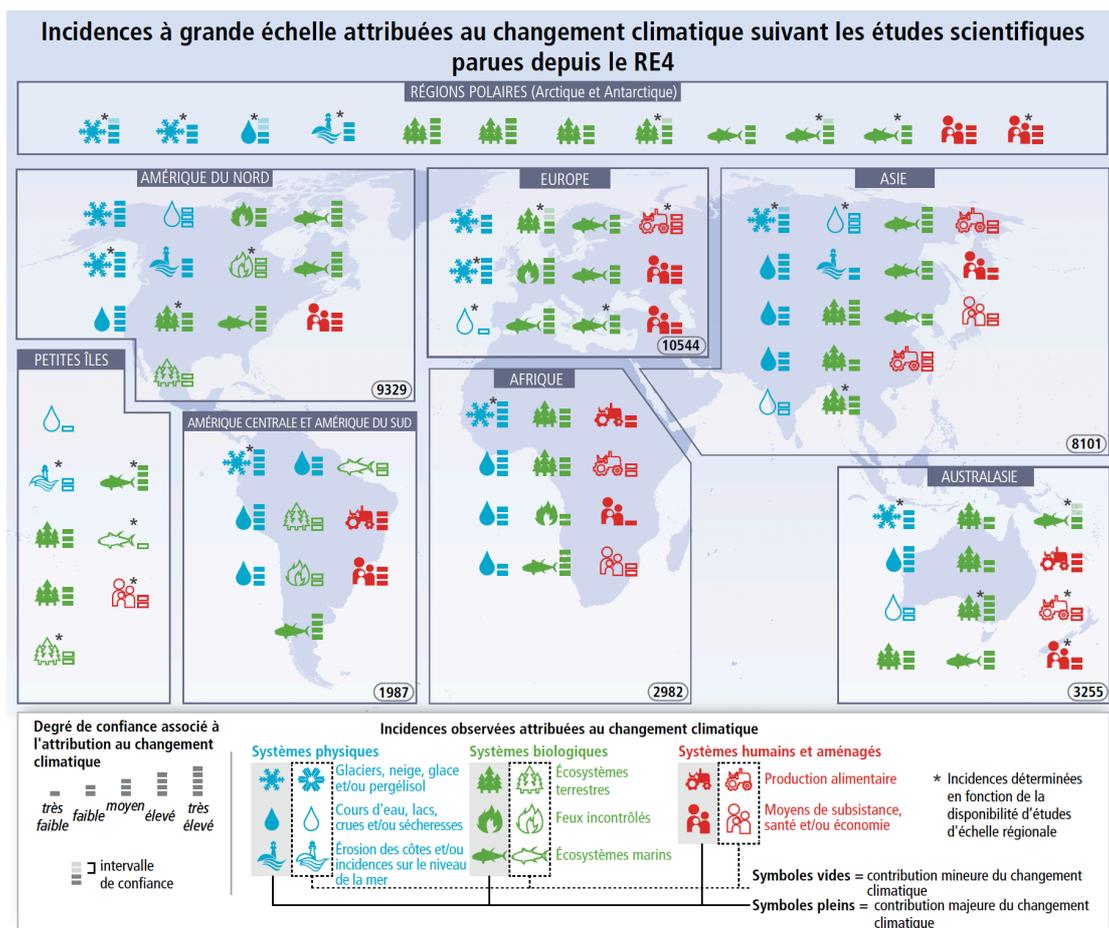


Figure RID.4 | Le nombre des incidenes observées au cours des dernières décennies que les études scientifiques parues depuis le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (RE4) attribuent à présent au changement climatique a fortement augmenté. Pour corroborer de tels résultats, ces études se fondent sur des éléments scientifiques probants portant sur le rôle du changement climatique. La liste des incidenes attribuables au changement climatique présentée sur cette mappemonde ne saurait être considérée comme exhaustive. Les publications qui viennent étayer l'attribution des incidenes se caractérisent par une base de connaissances de plus en plus vaste, mais leur nombre est encore faible pour beaucoup de régions, de systèmes et de processus, ce qui met en évidence les lacunes que comportent les données et les études. Les symboles indiquent le type d'incidence, la contribution relative du changement climatique (majeure ou mineure) aux incidenes observées, et le degré de confiance correspondant. Les différents symboles utilisés correspondent à une ou plusieurs entrées du tableau RID.A1 (GTII RE5), regroupant ainsi des incidenes associées à l'échelle régionale. Les nombres entourés figurant dans le coin inférieur droit des cadres correspondants aux régions indiquent le nombre total d'ouvrages et articles parus en anglais sur le thème du changement climatique entre 2001 et 2010, répertoriés dans la base de données bibliographique Scopus, contenant dans leur titre, dans leur résumé ou dans leurs mots clés le nom d'un pays (jusqu'à juillet 2011). Ces nombres fournissent une indication générale sur le nombre des publications scientifiques parues portant sur le changement climatique dans chaque grande région; il ne s'agit pas de publications portant spécifiquement sur l'attribution des incidenes du changement climatique par région. Pour les régions polaires et les petits États insulaires, le nombre est inclus dans celui des régions continentales voisines. La documentation retenue pour l'évaluation des attributions des incidenes répond aux critères du GIEC portant sur les éléments scientifiques, définis dans le chapitre 18 de la contribution du Groupe de travail II au RE5. Les publications prises en compte dans les analyses d'attribution des incidenes appartiennent à une base encore plus vaste de documents qui ont été examinés pour les besoins de la contribution du Groupe de travail II au RE5. Voir le tableau RID.A1 (GTII RE5) dans lequel figurent les descriptions des incidenes avec leurs attributions. (figure 1.11)

4. Conseguenze del cambiamento climatico e sue influenze per lo sviluppo umano

Figura 15: Il numero di incidenze osservate nel corso degli ultimi decenni attribuite attualmente ai cambiamenti climatici, dagli studi scientifici, apparsi dopo il quarto Rapport d'évaluation del GIEC (RE4) è fortemente aumentato. Per corroborare simili risultati, questi studi si fondano su elementi scientifici provati, incentrati sul ruolo del cambiamento climatico. La lista delle incidenze attribuibili al cambiamento climatico presentata su questo mappamondo non può essere considerata esaustiva. Le pubblicazioni in sostegno dell'attribuzione delle incidenze sono caratterizzate da una base di conoscenza sempre più vasta, ma il loro numero è ancora limitato per molte regioni, sistemi e processi. Questo mette in evidenza le lacune che comportano i dati e gli studi. I simboli indicano il tipo di incidenza, il contributo relativo del cambiamento climatico (maggiore o minore) alle incidenze osservate, e il grado di fiducia corrispondente. I diversi simboli usati corrispondono a una o più entrate della tabella RIS.A1 (GTII RE5), raggruppano così delle incidenze associate alla scala regionale. I numeri cerchiati, inseriti nell'angolo inferiore destro dei riquadri corrispondenti alle regioni indicano il numero totale di opere e articoli apparsi in inglese sul tema del cambiamento climatico fra il 2001 e il 2010. Articoli repertoriati nella base di dati bibliografici Scopus, e contenenti nel titolo, nel riassunto o nelle parole chiave il nome d'un paese (fino a luglio 2011). Questi numeri forniscono un'indicazione generale sul numero di pubblicazioni scientifiche pubblicate, incentrate sul cambiamento climatico in ogni grande regione. Non si tratta di articoli basati specificatamente sull'attribuzione delle incidenze del cambiamento climatico per regione. Per le regioni polari e i piccoli Stati insulari, il numero è incluso in quello delle regioni continentali vicine. La documentazione considerata per la valutazione delle attribuzioni delle incidenze risponde ai criteri del GIEC in merito agli elementi scientifici definiti nel capitolo 18 del contributo del Gruppo di lavoro II al RE5. Le pubblicazioni prese in conto nell'analisi d'attribuzione delle incidenze appartengono a una base ancora più vasta di documenti che sono stati esaminati per i bisogni del contributo del Gruppo di lavoro II al RE5. Vedi la patella RID.A.1 (GTII RE5) in cui figurano le descrizioni delle incidenze con le loro attribuzioni. {figure 1.11} (Fonte: IPCC rapporto di sintesi 2014 p7 fig RID.4)

5. Politica integrale del clima

5.1. Adattamento e mitigazione

Adattamento: sono tutti quegli interventi messi in atto per ridurre gli impatti derivanti dai cambiamenti climatici (opere di difesa da inondazioni, ...)

Mitigazione: misure di vario genere finalizzate a ridurre le emissioni di gas serra (diffusione di energie rinnovabili, efficienza energetica, incentivo trasporti pubblici, ...)

Ecco di seguito alcune strategie di adattamento e mitigazioni ricavate dal sito www.beforetheflood.com

1- PRODUZIONE DI ENERGIA

Si intende il miglioramento dell'efficienza nella fornitura e distribuzione dell'energia.

Uno studio dell'università della California ha calcolato che con le tecnologie attuali entro il 2050 il 100% del fabbisogno energetico della maggior parte degli stati mondiali (trasporti, riscaldamento degli edifici, raffrescamento, produzione alimentare, ...) potrebbe essere ricavato tramite energia rinnovabile (sole, acqua, vento, geotermia, ...), tecnologie che abbattano drasticamente le emissioni di gas clima-alteranti.

POLI

2- INCENTIVARE I GOVERNI SUB-NAZIONALI

Nel 2050 il 66 % della popolazione mondiale vivrà nelle città le quali sono responsabili del 75% delle emissioni di gas serra.

3- RIFORESTAZIONE

Secondo un rapporto IUCN (International Union for Conservation of Nature), la riforestazione di 350 milioni di ettari di foreste entro il 2030 genererà benefici pari a 170 milioni di dollari nella protezione dei bacini idrici e nella resa di prodotti agro forestali. Sequestrerà fra 0,6 e 1,7 giga tonnellate di biossido di carbonio.

4- GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE e MODIFICHE DELLE ABITUDINI ALIMENTARI

L'aumento delle temperature comporta impatti importanti sulla disponibilità delle risorse idriche soprattutto nelle zone più povere del mondo. Attualmente 4 miliardi di persone subiscono una grave carenza idrica per almeno un mese all'anno, con l'aumento delle temperature questa carenza tenderà ad aumentare con ripercussione anche sull'agricoltura e l'allevamento.

La mancanza di acqua e il cambiamento climatico avranno delle conseguenze anche sulla salute umana dato che alcune malattie avranno modo di proliferare. Una miglior gestione delle risorse idriche può prevenire tali costi sociali.

L'agricoltura attualmente fa uso del 70% del totale dell'acqua che noi esseri umani utilizziamo. Sistemi d'irrigazione più efficienti e diverse tecniche agricole potrebbero contribuire al risparmio idrico.

Negli Stati Uniti il 47% della terra è adibita alla produzione alimentare e il 70% di questa superficie è destinata alla produzione di mangimi per l'allevamento (responsabile, tra l'altro di gran parte della deforestazione). Una modifica del nostro sistema di alimentazione (consumo di carni bianche a discapito di quelle rosse) potrebbe determinare un notevole risparmio di risorse naturali e contribuire al contenimento del cambiamento climatico.

5- INNOVAZIONE TECNOLOGICA E RIDUZIONE DEI CONSUMI

L'efficienza energetica e l'innovazione tecnologica sono punti imprescindibili per la lotta al cambiamento climatico. Si pensi che meno dell'1% della benzina contenuta in un'automobile serve effettivamente a svolgere il compito di spostare il conducente da una località all'altra. Il resto dell'energia viene persa il calore, attrito, etc. Le lampadine a LED permettono di risparmiare fra il 50% e il 70% dell'energia rispetto alle vecchie tecnologie di illuminazione.

Alcune aziende stanno sviluppando tecniche di produzione che richiedono meno acqua per tingere i tessuti. L'innovazione tecnologica, tuttavia deve andare di pari passo con la riduzione dei consumi (come utilizzo dei mezzi pubblici, decrescita dei consumi, ...). Tali misure contribuirebbero in maniera significativa al contenimento delle emissioni dei gas serra.

6- EDUCAZIONE DELLE NUOVE GENERAZIONI

La sensibilizzazione delle nuove generazioni da parte della collettività sociale è fondamentale per avviare l'approccio bottom-up (dal basso verso l'alto) ed educare le persone ad un consumo responsabile che possa influenzare il mercato.

7- SVILUPPO DI POLITICHE: CARBON TAX E COMPENSAZIONI AMBIENTALI

Politiche globali sensibili e vincolanti atte a contenere le emissioni di gas clima alteranti, potrebbero contribuire in maniera sensibile. La carbon tax prevede che chi emette carbonio in atmosfera paghi una tassa: l'obiettivo è duplice, da un lato si indirizzano gli attori economici verso energie alternative, dall'altro si utilizzano i ricavi della carbon tax per progetti di riqualifica ambientale come riforestazioni.

8- EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Gli edifici americani consumano il 42% dell'energia totale consumata dal paese. Gran parte di questa energia viene "sprecata" a causa di numerosi fattori: errato orientamento dell'edificio, dispersione (di calore o di fresco) da tetto, pareti, finestre. Migliorando isolamento, illuminazione naturale e ventilazione si potrebbe risparmiare un quantitativo considerevole di energia. Con serramenti di recente concezione si può cambiare aria all'interno degli edifici recuperando il 90% di calore o di fresco presente all'interno del locale.

Teoricamente entro il 2050 gli edifici potrebbero quadruplicare la loro efficienza risparmiando il 54-69% di energia con un risparmio di 1.900 miliardi di dollari rispetto ai valori del 2010.

9- PROTEZIONE DEGLI OCEANI

I microorganismi, le piante e i batteri presenti negli oceani utilizzano l'energia del sole per trasformare la CO₂ in carbonio e ossigeno. Questo carbonio finirà sui fondali oceanici alla morte dei microorganismi mentre l'ossigeno verrà liberato in atmosfera. L'assorbimento di carbonio da parte degli oceani aiuta a ridurre il carbonio presente in atmosfera. Tuttavia, maggiore è il carbonio contenuto negli oceani e maggiore è la loro acidità. Maggiore è l'acidità e minore è la vita negli oceani con conseguenti problemi a catena sull'assorbimento di nuova CO₂. L'istituzione di aree marine protette contribuirebbe ad aumentare la resilienza (ovvero la capacità di un sistema di adattarsi e resistere a un cambiamento) degli oceani. Attualmente le aree protette sono pari all'1,5% della superficie degli oceani. Alcuni studi ritengono necessario che almeno il 30% venga tutelato.

10- EFFICIENZA DEI TRASPORTI

La modernizzazione dei veicoli e la loro conversione a veicoli elettrici potrebbero contribuire alla riduzione dei gas serra (nel 2025 si calcola che l'efficienza dei veicoli possa far risparmiare 120 milioni di tonnellate di carbonio rispetto al 2011). Tuttavia, sebbene le macchine diventino sempre più efficienti il loro numero è in aumento. La sensibilizzazione delle persone, lo sviluppo di piste ciclopedonali, il miglioramento dei trasporti pubblici contribuirebbero a ridurre la crescita del numero di autovetture.

6. La mia città: un punto focale del cambiamento climatico

6.1. Sondaggio sulla conoscenza e la percezione del cambiamento climatico da parte degli abitanti di Lugano

Al termine dell'itinerario formativo gli allievi coinvolti nel progetto hanno realizzato un questionario (vedi allegato) per rilevare la conoscenza e la percezione del cambiamento climatico da parte degli abitanti di Lugano.

Una volta raccolti i dati gli allievi, alla luce delle conoscenze acquisite lungo il percorso, hanno realizzato un commento su quanto emerso dal campione intervistato.

I risultati, inoltre, sono stati presentati e raccontati ai genitori nel corso di una conferenza dedicata e preparata ad hoc.

BIBLIOGRAFIA, SITOGRAFIA E RIFERIMENTI

Cap. 1

- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. < <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> > [ultimo accesso 16 settembre 2019]

Cap. 2

Introduzione: elaborazione personale del docente dal sito:

- Clima (16 settembre 2019). Wikipedia, L'enciclopedia libera, tratto il 16 settembre 2019 da <https://it.wikipedia.org/wiki/Clima>

Selezioni e revisioni del docente dalle relazioni

- BOLOGNESE, A., BONATESTA, L., GINEPRO, L. (2011) – *Gli oceani, la struttura la circolazione oceanica e i cicli dell'Enso*. Relazione del corso cambiamento climatico: strumenti e politiche del professor Marco Bagliani, Università degli Studi di Torino, inedito.
- BACAJ, S., BERGAMIN, M., MATTEUCCI, V. (2011) – *La circolazione atmosferica, modelli di simulazione* climatica. Corso cambiamento climatico: strumenti e politiche del professor Marco Bagliani, Università degli Studi di Torino, inedito.

Cap. 3

Selezioni del docente dalle relazioni

- BACAJ, S., BERGAMIN, M., MATTEUCCI, V. (2011) – *La circolazione atmosferica, modelli di simulazione* climatica. Relazione del Corso cambiamento climatico: strumenti e politiche del professor Marco Bagliani, Università degli Studi di Torino, inedito.
- ABRAM, J., BONADIO, V., CIRIO, F., MEGGETTO, I. (2011) – *Forcing, feedback e paleoclimatologia*. Relazione del Corso cambiamento climatico: strumenti e politiche del professor Marco Bagliani, Università degli Studi di Torino, inedito.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. < <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> > [ultimo accesso 16 settembre 2019]

Cap. 4

- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. < <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> > [ultimo accesso 16 settembre 2019]
- DiCaprio, L., Fisher S., Davidoski, T., Davisson, J., Ratner, B., Packer, J. (produttori), & Fisher S. (regista). (2016). *Before the flood* [film documentario]. Stati Uniti d'America: Appian Way, Ratpac Documentary Films, Insurgent Docs, Diamond Docs, National Geographic.

Cap. 5

- Rielaborazioni del docente a partire dalle soluzioni proposte sul sito [www.Beforetheflood.com](http://www.beforetheflood.com)
- <http://www.beforetheflood.com/explore/the-solutions/>

Cap. 6

- Questionario realizzato dal docente e dagli allievi delle classi quarte della scuola media di Lugano 1, anno scolastico 2018-2019
- https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfcCOEU5kmmd3J7EiV7ZoP9T2yKkML-Zofp_D70Pt5ued7mf5Q/viewform?usp=sf_link