



centroappunti.it

CORSO LUIGI EINAUDI, 55/B - TORINO

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2520A

ANNO: 2021

A P P U N T I

STUDENTE: Graziani Chiara

MATERIA: Cambiamenti Climatici e Socio Economici - Prof. Laio

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

CAMBIAMENTI CLIMATICI E SOCIO ECONOMICI

LEZIONE 1 – THE CLIMATE SYSTEM

C'è subito da fare una differenza tra clima e tempo atmosferico: il clima è relativo alle variazioni lente del sistema superficie terrestre. Non si guarda alle variazioni nel breve termine, ma ai valori medi su finestre temporali sufficientemente lunghe (almeno 30 anni). Le fluttuazioni intorno alla media sono quelle che caratterizzano il tempo atmosferico.

La temperatura è il parametro più associato al concetto di clima e di variazione climatica; questo perché la T è il più diretto indicatore del cambiamento climatico (effetto serra) e perché la misura è estremamente semplice ed accurata. Ci consente poi di avere valori medi.

Altri parametri sono la pressione atmosferica, la quantità di precipitazione in un certo sito, la radiazione.

Per quanto riguarda la **radiazione**, la potenza emessa da una superficie radiante (corpo nero) è espressa dalla **equazione di Stefan-Boltzmann**:

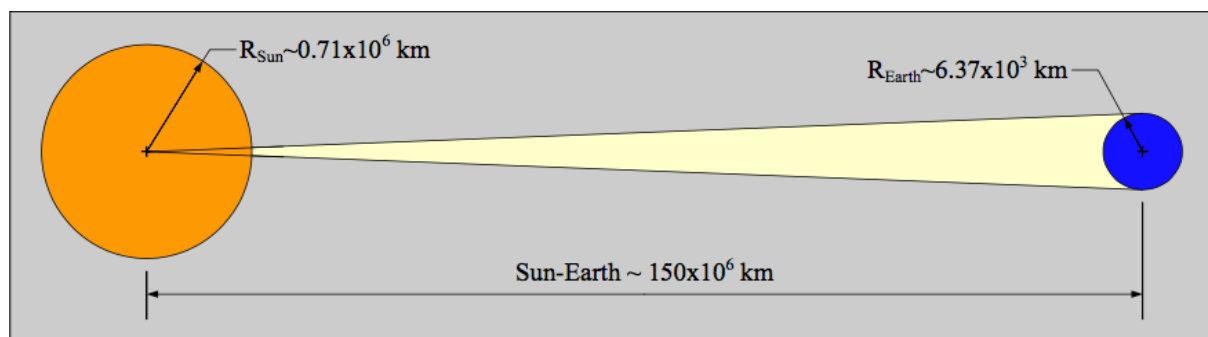
$$S_e = \sigma T^4$$

dove S_e è la radiazione emessa [W m^{-2}], σ è la costante di Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e T è la temperatura [K].

La densità di radiazione di un corpo nero può essere ricondotta ad una costante e alla sua temperatura elevata alla quarta (dipendenza fortemente non lineare). Questo significa che tanto più il corpo che sta emettendo radiazioni è caldo, tanto più è la radiazione emessa per m^2 .

Quindi ogni corpo con una temperatura diversa da zero emette energia sotto forma di radiazione.

Quanta energia proveniente dal sole raggiunge gli strati esterni del pianeta Terra?



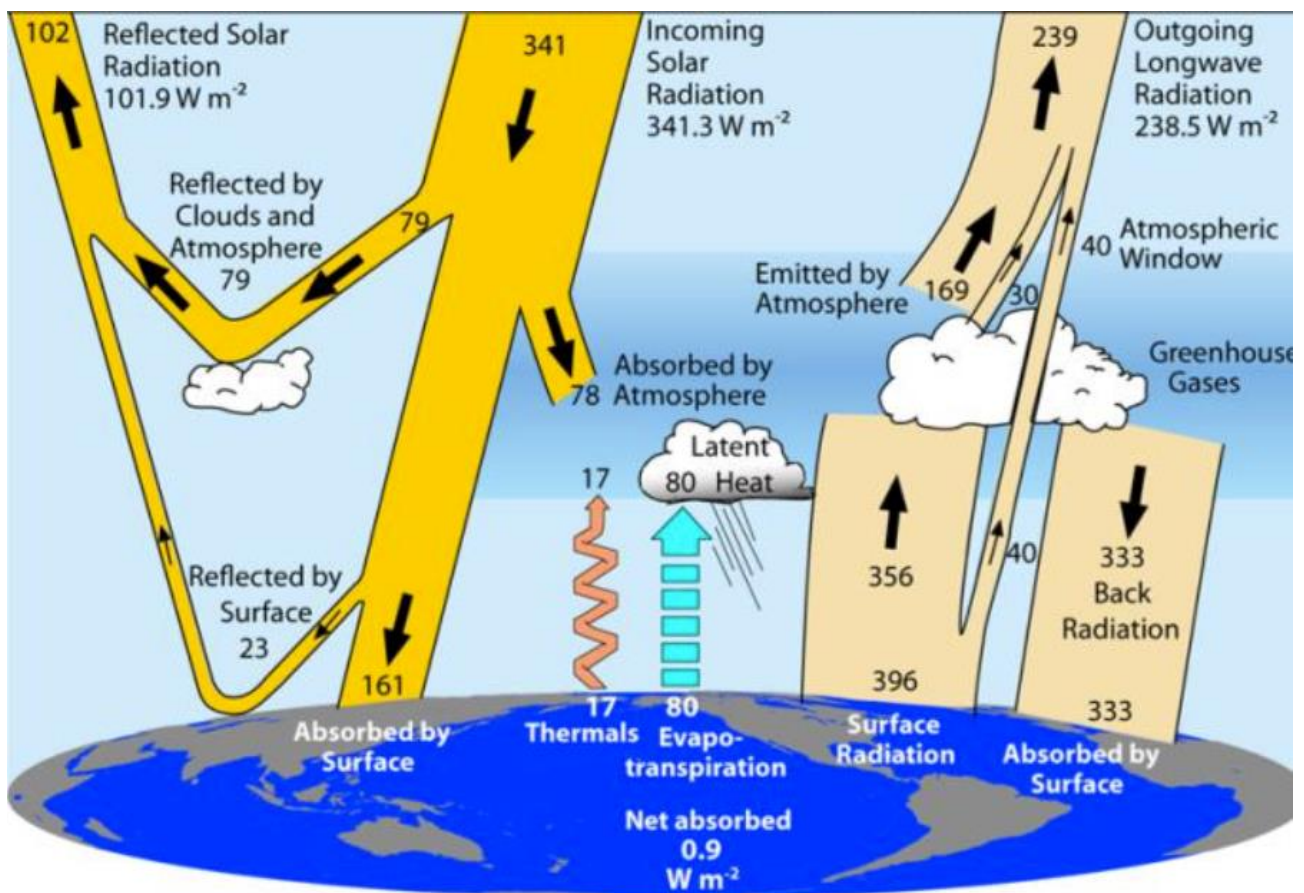
Data la temperatura del sole $T_s = 5796 \text{ K}$, si ottiene $S_s = 6.4 \cdot 10^7 \text{ Wm}^{-2}$.

La quantità da calcolare è la costante solare S_0 , espressa come l'energia del sole distribuita sulla terra.

EFFETTO SERRA

L'**effetto serra** è un particolare fenomeno di regolazione di temperatura di un pianeta (o satellite) provvisto di atmosfera, che consiste nell'accumulo all'interno della stessa atmosfera di una parte dell'energia termica proveniente dalla stella attorno alla quale orbita il corpo celeste, per effetto della presenza in atmosfera di alcuni gas, detti appunto "gas serra".

Tali gas permettono infatti l'entrata della radiazione solare proveniente dalla stella, mentre ostacolano l'uscita della radiazione infrarossa riemessa dalla superficie del corpo celeste (caratterizzata da una lunghezza d'onda di circa 15 micron, maggiore della lunghezza d'onda della radiazione entrante). Ciò porta da una parte ad un aumento della temperatura del corpo celeste coinvolto dal fenomeno e dall'altra parte a escursioni termiche meno intense di quelle che si avrebbero in assenza dell'effetto serra, in quanto il calore assorbito viene ceduto più lentamente verso l'esterno. L'effetto serra è un fenomeno essenziale per la presenza e lo sviluppo di vita sulla Terra. Quello che bisogna evitare è l'aumento di effetto serra per cause antropiche con conseguente riscaldamento globale.



Il primo flusso di ingresso si ha in prossimità dell'atmosfera ed è quello che arriva direttamente dal sole: 341 W m^{-2} . Non sono i $S_0 = 1365 \text{ W m}^{-2}$ calcolati prima perché parte della radiazione viene assorbita/riflessa dall'atmosfera e dalle nuvole ($=181 \text{ W m}^{-2}$), e inoltre viene distribuita omogeneamente su tutta la Terra, quindi non si concentra su un unico punto.

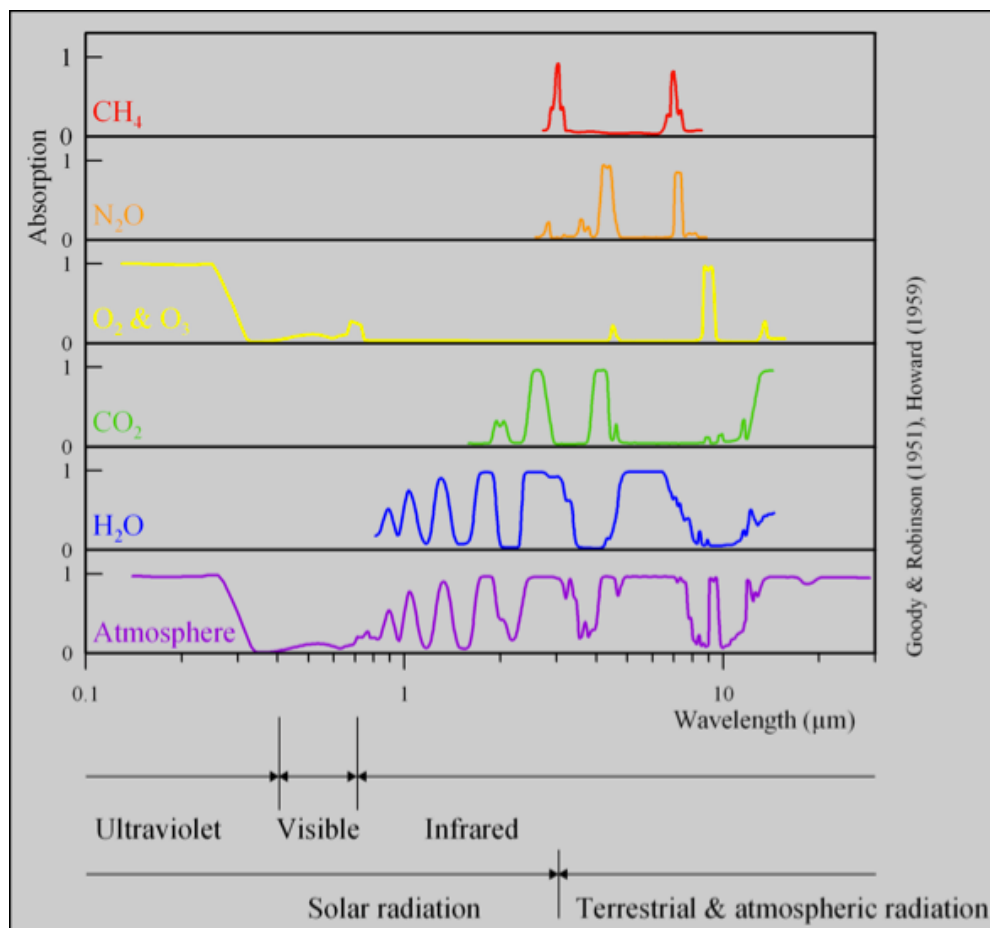
Solo 161 W m^{-2} dei 341 raggiungono quindi la superficie terrestre.

Il picco di emissione di radiazione solare è intorno ai 600 nm, circa il doppio rispetto ai 1000 nm.

L'**irradianza** indica la densità di corrente termica trasmessa per irraggiamento. La differenza tra la curva gialla e la curva rossa indica l'energia assorbita dall'atmosfera.

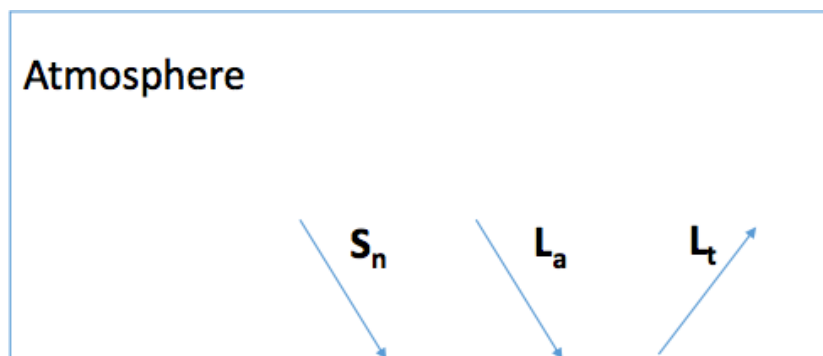
Per quanto riguarda l'energia della Terra, la parte azzurra è quella che attraversa gli strati atmosferici. Le finestre di assorbimento più importanti sono legate ad alcune componenti dell'atmosfera come CO₂, N₂O, CH₄, H₂O, ossia i gas serra, quelle componenti atmosferiche che contribuiscono maggiormente a trattenere la radiazione emessa dal pianeta per farla tornare proprio sulla stessa superficie terrestre.

Quando lunghezza d'onda e grandezza della molecola in atmosfera vanno in risonanza, di solito quando sono simili in grandezza (multipli), quello che succede è che l'energia radioattiva va ad eccitare la molecola: viene quindi assorbita energia dalle molecole stesse e quindi aumenta l'effetto serra.



Valore 1: grande capacità di assorbimento da parte di atmosfera e gas serra, in funzione della lunghezza d'onda della radiazione.

Valore 0: nel campo del visibile, soprattutto, le radiazioni non vengono intaccate da gas serra o atmosfera.

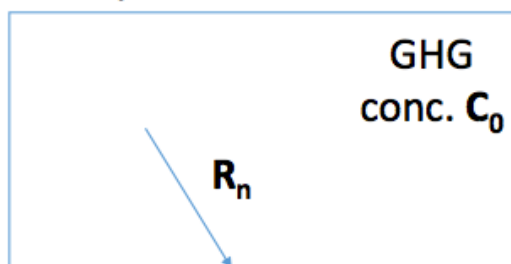


I flussi principali sono dunque la short wave radiation netta S_n (“sopravvissuta” all'atmosfera e all'albedo), la radiazione emessa dalla terra L_t , l'energia proveniente dal corpo atmosfera per effetto serra L_a .

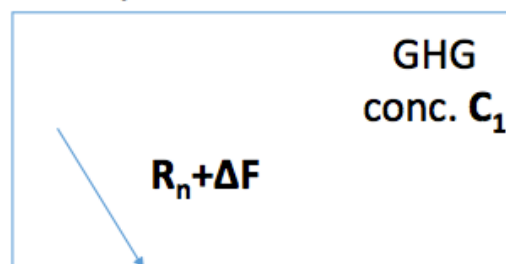
Facciamo il bilancio radioattivo: $R_n = S_n + L_a - L_t$

Consideriamo di voler sempre calcolare la radiazione netta su due porzioni di suolo ma con concentrazioni di gas clima-alteranti (nel nostro caso solo CO_2).

Atmosphere



Atmosphere



A sinistra abbiamo un'atmosfera inalterata con una concentrazione pari a C_0 .

A destra abbiamo invece un'atmosfera in condizioni alterate con una concentrazione di ghg pari a C_1 .

Questa differenza di concentrazione può portare ad uno squilibrio nel bilancio radioattivo, considerando già i flussi di entrata e di uscita, e questo squilibrio è rappresentato dal **radiative forcing** ΔF : esso rappresenta infatti la variazione di radiazione netta dovuta al cambio di concentrazione di gas serra nell'atmosfera. Esso è definito dall'equazione di Arrhenius a base empirica:

$$\Delta F = a \log\left(\frac{C_1}{C_0}\right)$$

Dove a è una costante che indica la sensibilità del bilancio radioattivo.

I valori positivi sono quelli indicati in **rosso**; positivi nel senso che aumentano il valore dell'RF, quindi hanno effetti negativi sul pianeta.

I valori negativi sono quelli indicati in **blu**; negativi perché abbassano il valore dell'RF, quindi hanno effetti positivi sul pianeta in termini di decremento della radiazione.

Notiamo subito che i gas serra, in particolare la CO₂, riportano valori positivi che dipendono anche dalla concentrazione di questi in atmosfera.

Gli effetti invece che diminuiscono l'RF sono l'albedo e l'aerosol (particolato).

Per quanto riguarda l'albedo, si hanno effetti negativi, per esempio con lo scioglimento di ghiacciai e nevai: essendo esse superfici bianche e quindi con alta % di albedo, la loro scomparsa porterebbe ad una minor riflessione della radiazione e dunque alla crescita della radiazione netta.

Un esempio che indica effetto positivo è invece, paradossalmente, la deforestazione: un suolo forestato è più scuro di un suolo agricolo o urbano e quindi con questi ultimi si avrebbe una maggiore riflessione della radiazione.

Il radiative forcing dovuto all'aerosol e alle nubi è dovuto all'intensificazione del ciclo idrologico a seguito dell'incremento di temperatura: si ha maggiore evapotraspirazione, maggiori precipitazioni e quindi anche maggiore copertura nuvolosa che incrementa l'effetto dell'albedo.

Facendo la somma di tutti i valori di RF dovuti alle varie componenti prese in considerazione di origine antropogenica, si ottiene radiative forcing complessivo pari a 1,6 Wm⁻². Per quanto questo valore possa risultare trascurabile, esso ha però effetti significativi sull'ambiente.

Come questi squilibri, in termini di radiazione, si ripercuotono sulla variazione di temperatura?

$$\Delta T_s = \lambda \Delta F$$

dove λ è il parametro di sensibilità climatica; esso vale 0,5-1 K/(Wm⁻²).

Andando ad aggiunge l'equazione di Arrhenius con cambio di base logaritmica in 2:

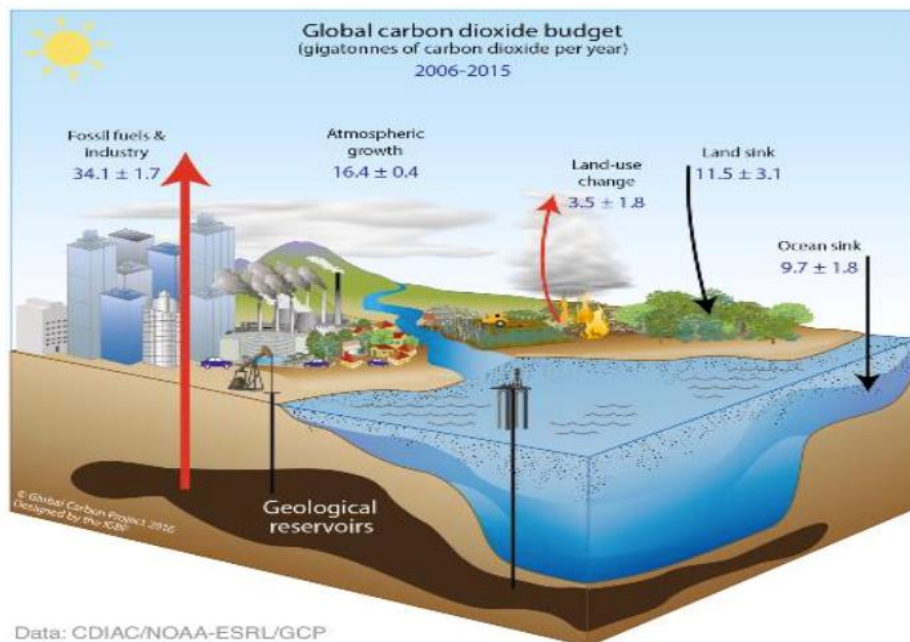
$$\Delta T_s = \lambda \cdot a \cdot \ln(2) \cdot \log_2\left(\frac{C_0}{C_1}\right) = \alpha \log_2\left(\frac{C_0}{C_1}\right) = 1.85 \log_2\left(\frac{C_0}{C_1}\right)$$

Perché questo cambio di base logaritmica? Perché la climate sensitivity α è l'incremento di temperatura dovuto ad un raddoppio nella concentrazione dell'anidride carbonica.

L'incremento di temperatura dovuto ad un raddoppio della concentrazione di gas clima alterante nell'atmosfera vale quindi 1,85 K.

Nel corso degli anni sono stati creati modelli che mostravano l'andamento della climate sensitivity. In passato (primo decennio 2000), il valore di α era molto più elevato di oggi perché non si prendevano in considerazione tanti altri fattori che potevano diminuire questo valore (effetti positivi), come per esempio la nuvolosità.

EMISSIONS VS ATMOSPHERIC CONCENTRATION OF GHG

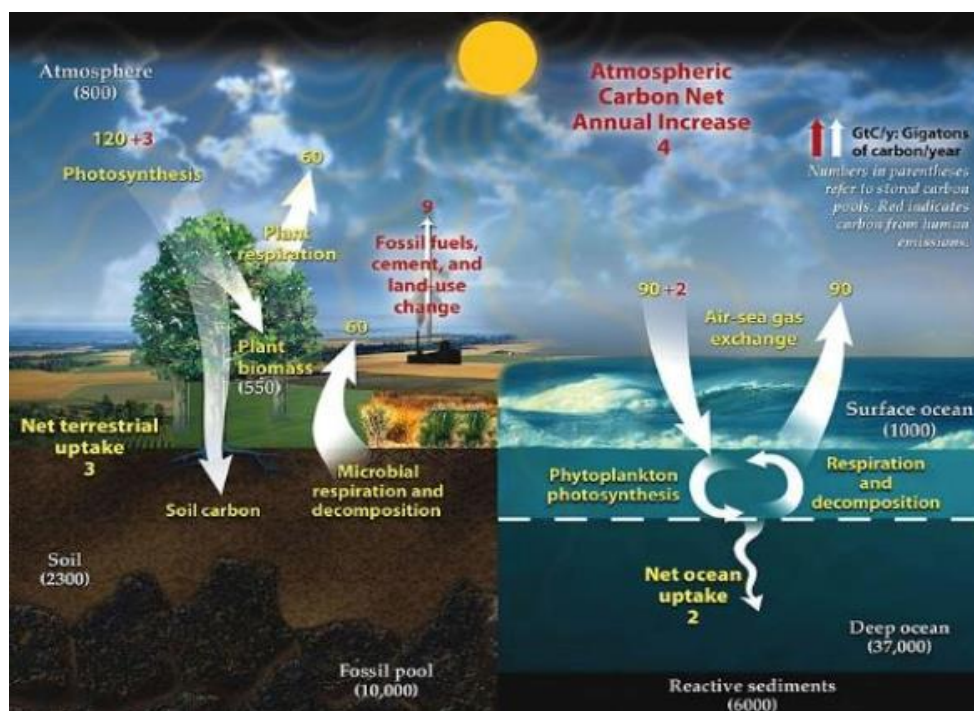


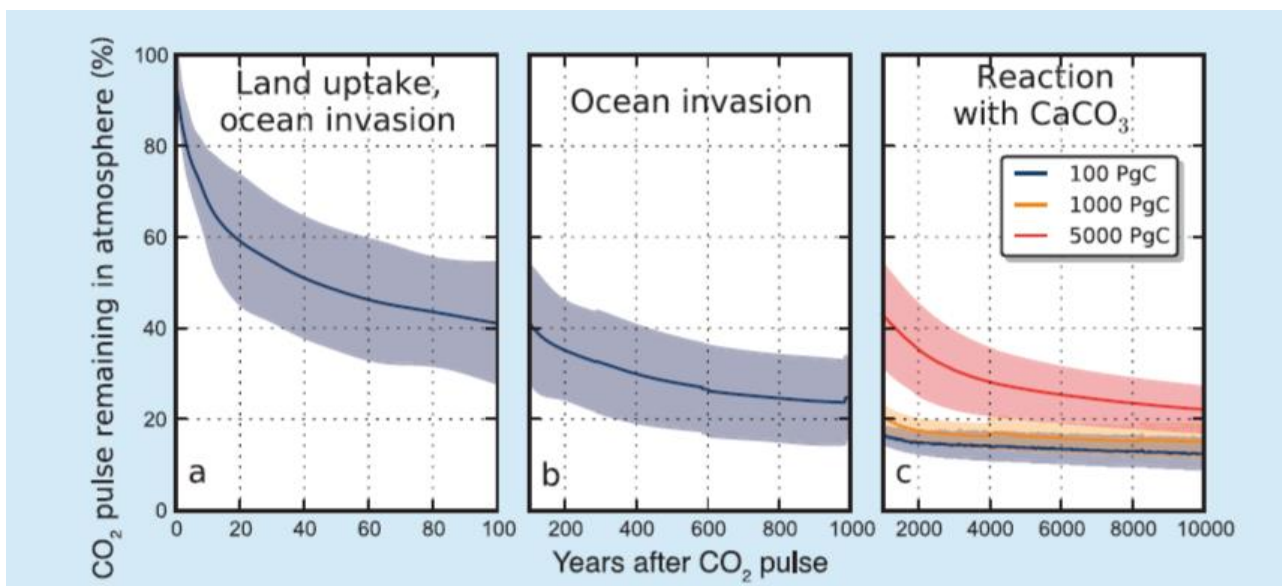
Le variazioni di concentrazione di anidride carbonica e degli altri gas serra derivano dalle emissioni di questi.

Nell'immagine riportata sopra, possiamo fare un bilancio dei flussi di CO₂ in termini di Giga tonnellate:

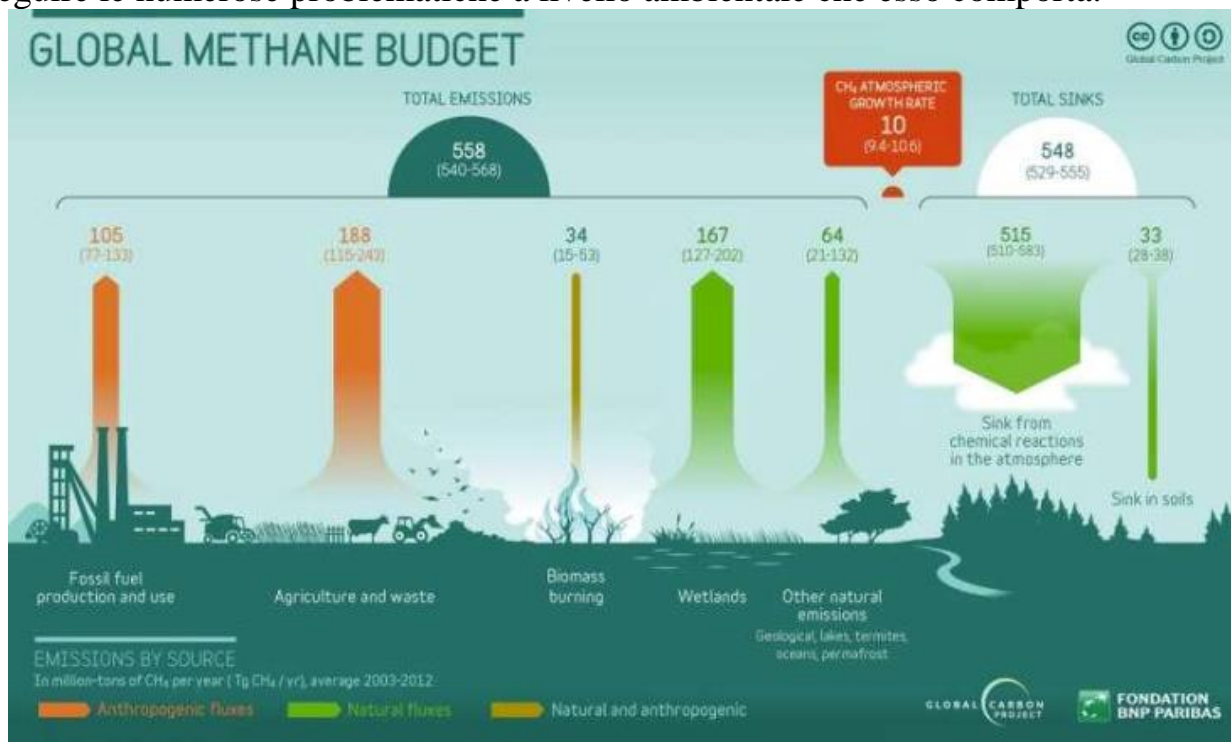
- Flussi emessi: utilizzo combustibili fossili (34.1 Gt) + Uso terreno (3.5 Gt) = in totale 37.6 Gt di CO₂ emesse;
- Flussi assorbiti: land sink, cioè fotosintesi (11.5 Gt) + ocean sink (9.7 Gt) = in totale 21.2 Gt di CO₂ assorbite;

Abbiamo quindi una crescita di anidride carbonica in atmosfera pari a 16.4 Gt/anno.





Ovviamente non bisogna prendere in studio l'effetto che ha la sola anidride carbonica, ma anche quella degli altri gas clima-alteranti, come ad esempio il metano, CH₄. Esso viene impiegato in particolar modo nel settore agricolo e dell'allevamento, con a seguire le numerose problematiche a livello ambientale che esso comporta.



Le emissioni annue di gas serra non sono omogenee in tutte le zone del mondo. Sicuramente il tasso di emissione è proporzionale al benessere sociale e soprattutto economico di un paese. Tra i primi posti nei paesi più “impattanti” troviamo Cina, Nord America, India, Russia ed Europa.

LEZIONE 3 – CARBON FOOTPRINT

La **carbon footprint** è un parametro che viene utilizzato per stimare le emissioni gas serra causate da un prodotto, da un servizio, da un'organizzazione, da un evento o da un individuo, espresse generalmente in tonnellate di CO₂ equivalente.

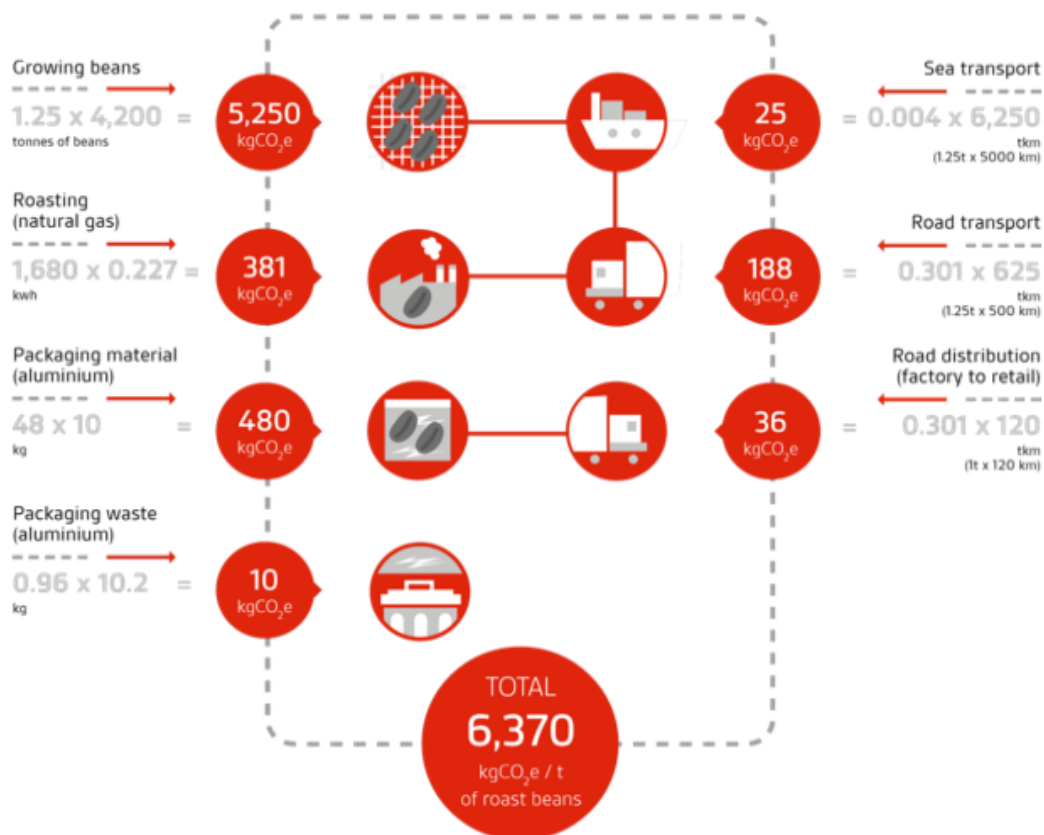
Il **carbon accounting** si riferisce generalmente ai processi intrapresi per "misurare" quantità di equivalenti di biossido di carbonio emesse da un'entità.

Il calcolo della **carbon footprint di prodotto (CFP)** comprende la quantificazione di tutte le emissioni di gas serra lungo tutto il ciclo di vita del prodotto, dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento finale del prodotto. L'intero ciclo di vita del prodotto è anche definito "dalla culla alla tomba" (from cradle to grave).

Esempio di calcolo CFP per i fagioli tostati

La formula chiave consiste nel prodotto tra: fattore di emissione x unità di tonnellate. I fattori di emissione sono valori tabellati.

Il carbon footprint di prodotto si calcola come la somma del carbon footprint di ogni singolo processo che andrà a creare il prodotto finale.

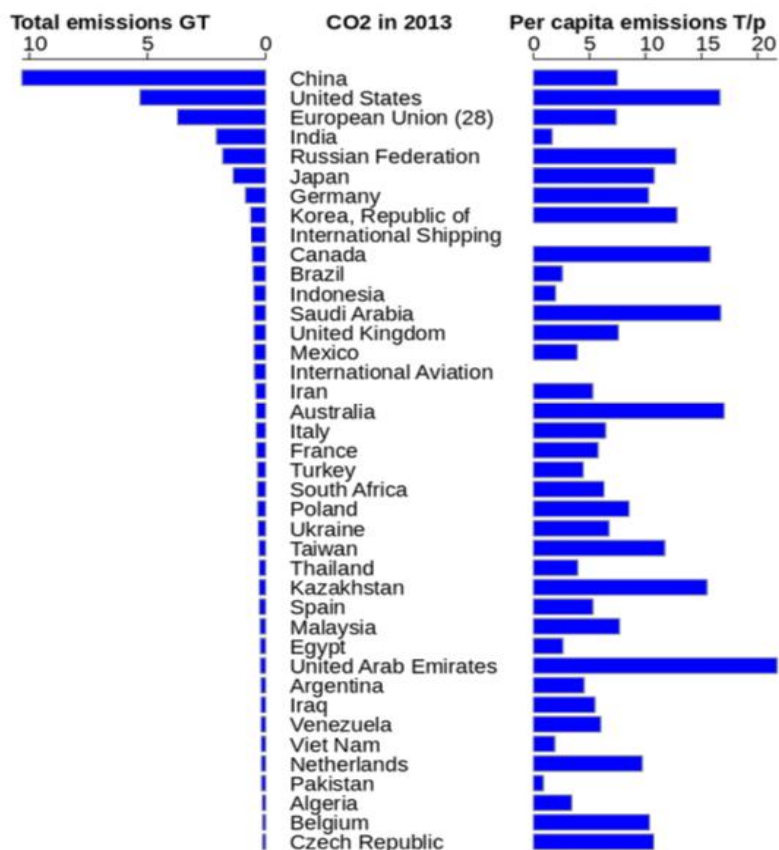


Prendiamo due processi in particolare:

es. *Growing beans*: 1,25 x 4200 tonnes of beans = 5250 kgCO₂e

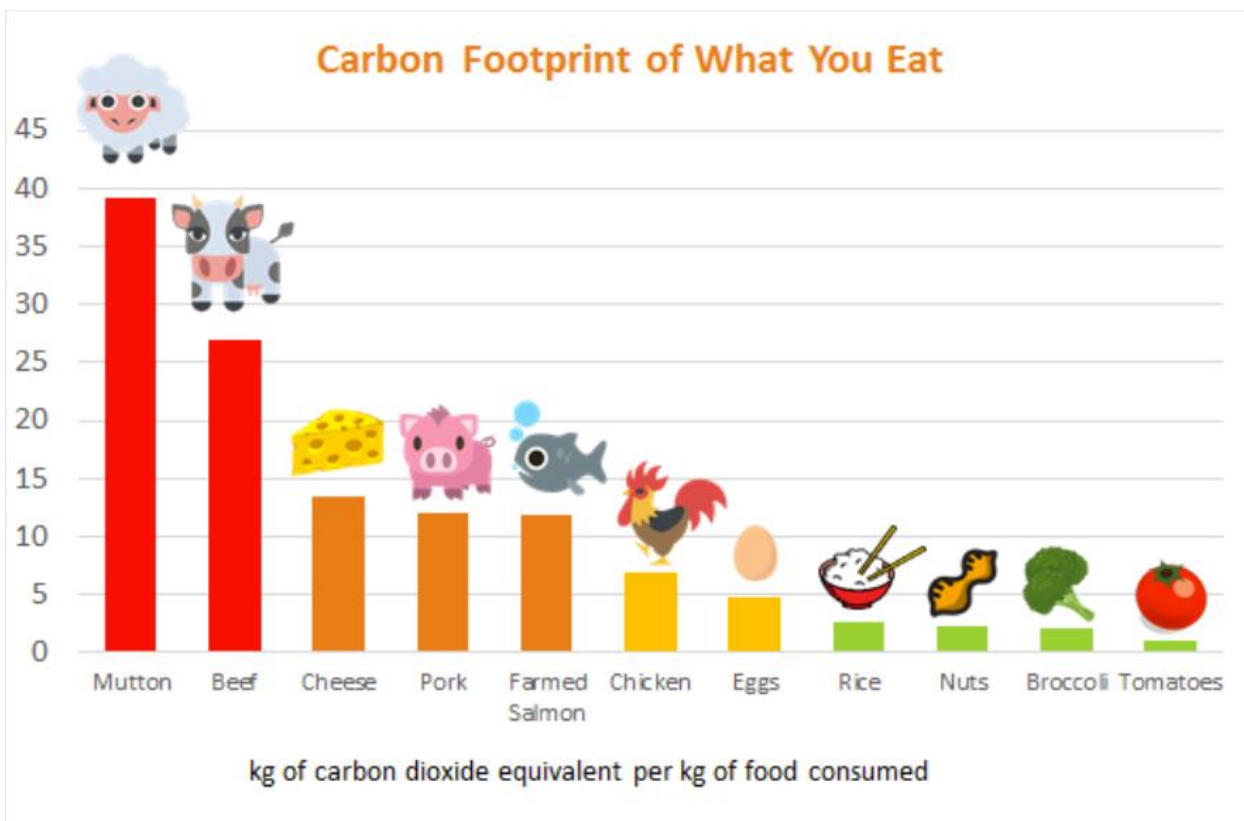
4200 kgCO₂e è il fattore di emissione per coltivare 1 tonnellata di fagioli.

1,25 è un fattore legato al fatto che non tutti i fagioli coltivati sono utilizzati fino alla fine del ciclo produttivo. Quindi ne devo coltivare 1.25 tonnellate per averne poi a

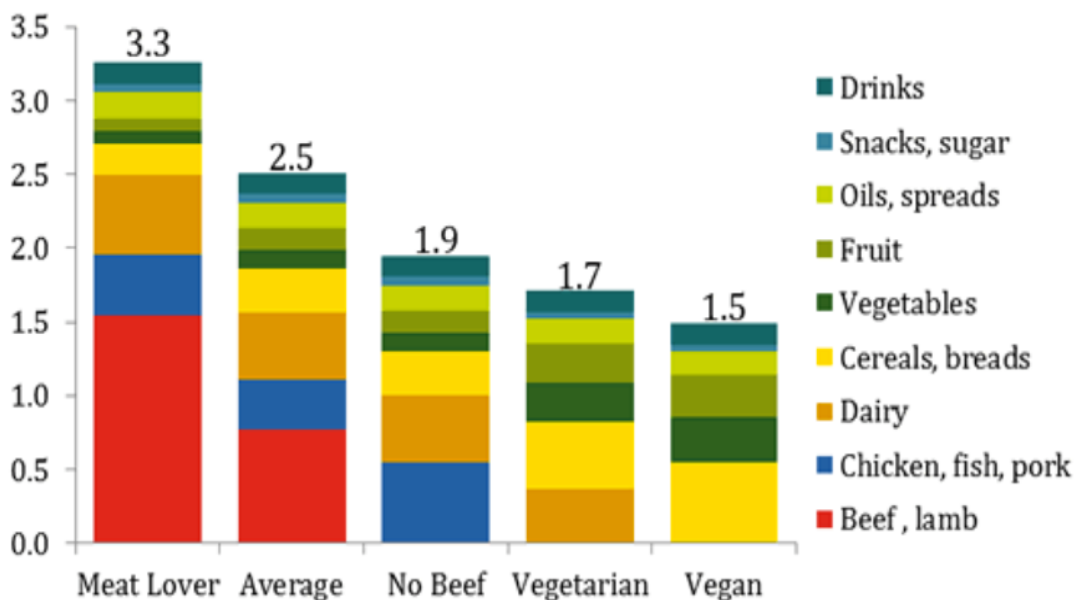


Notiamo subito che individual c.f. e total c.f. possono essere molto differenti. Es. India: il singolo cittadino è di per sé poco impattante, ma essendo il paese India molto popoloso, il total carbon footprint è quindi molto alto. È infatti il quarto paese al mondo più impattante in fatto di emissioni.

Il primo macrosettore impattante è quello energetico. L'emission factor ha come unità di misura gCO_2e/kWh ed è alto per i combustibili fossili, primo tra tutti carbone, seguito da petrolio e gas naturale. Abbiamo poi l'energy transition, ossia valori di emission factor intorno ai $5-50 gCO_2e/kWh$ per le energie rinnovabili.



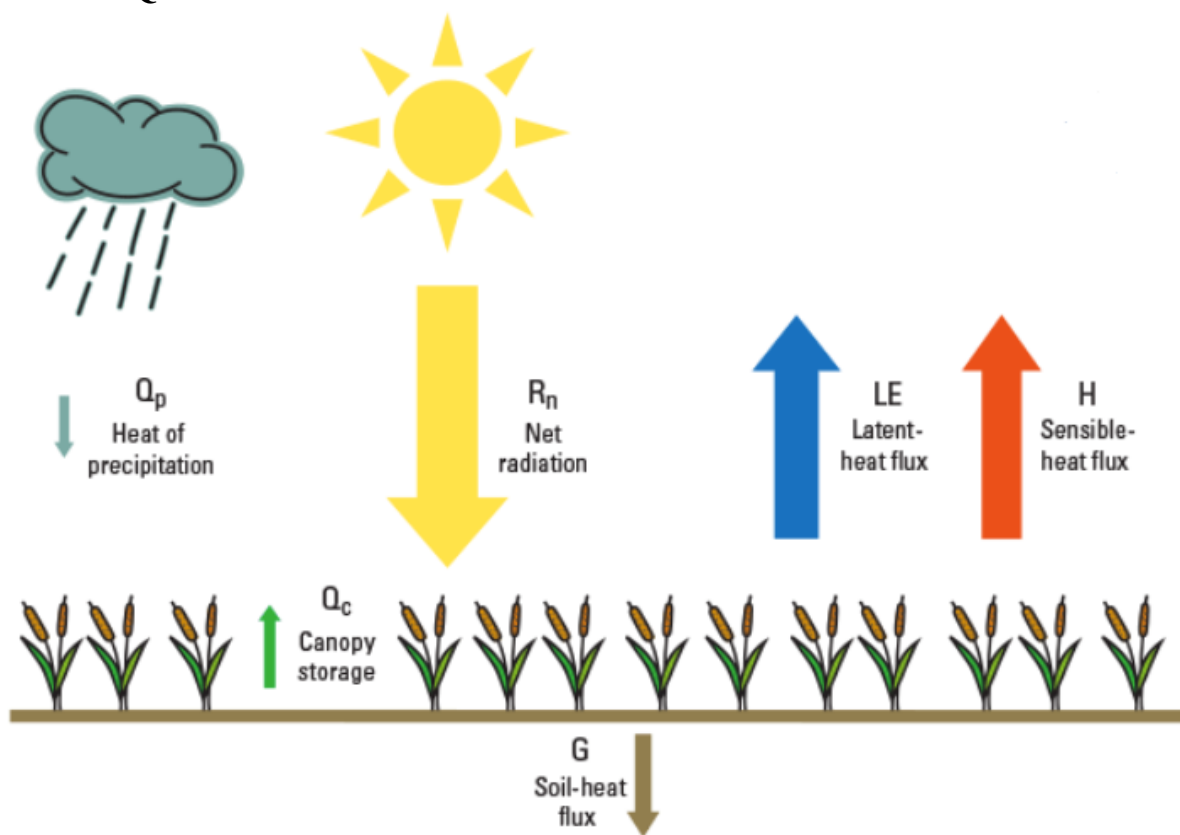
Foodprints by Diet Type: t CO₂e/person



FUTURE EMISSIONS SCENARIOS

Le proiezioni future sono distinte in base agli **RCP**: Representative Concentration Pathway, ossia percorsi rappresentativi di concentrazione di CO₂ in atmosfera. In base a questo dato, si hanno diversi scenari di incremento di temperatura e modifiche delle emissioni di gas serra.

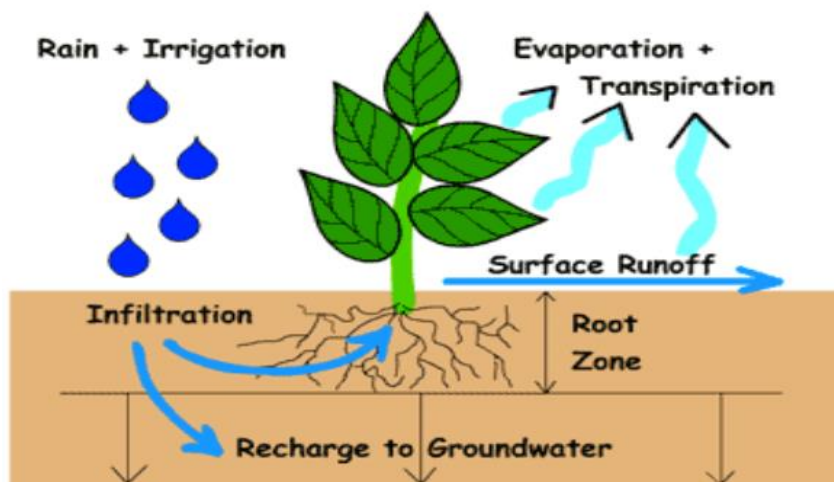
LEZIONE 4 – L'IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULL'ACQUA

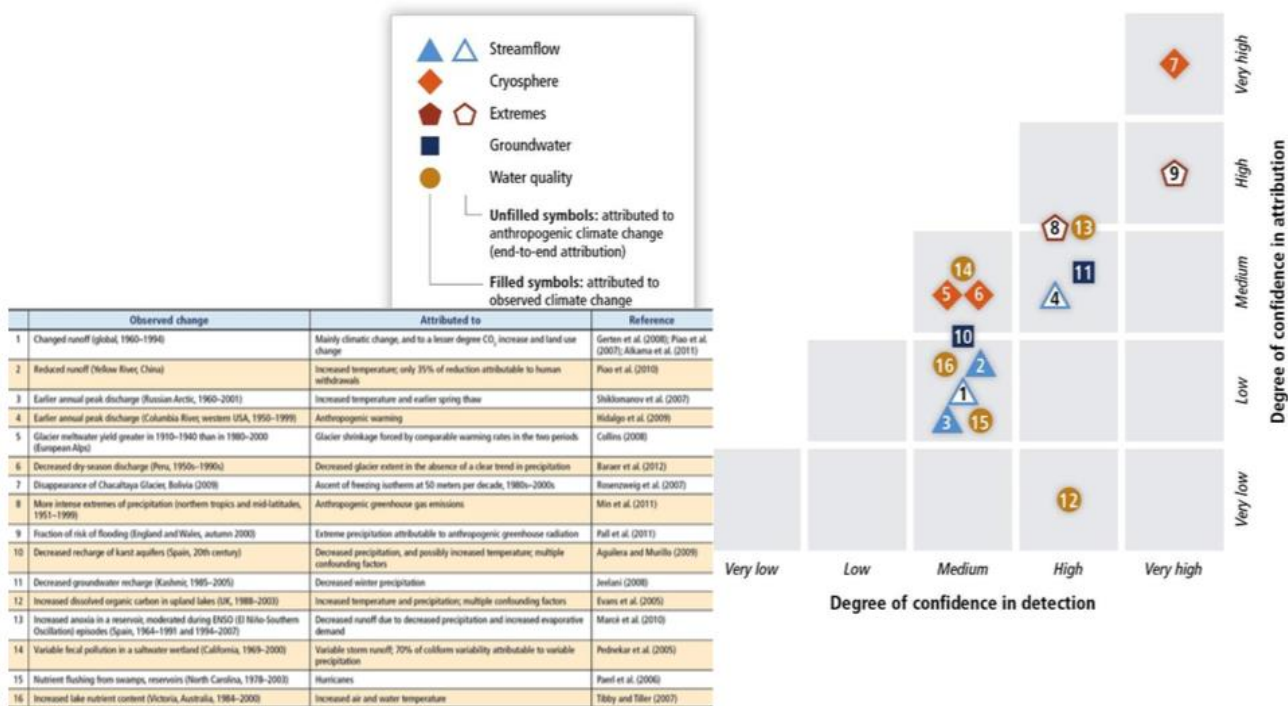


Consideriamo una porzione di terreno: esso viene colpito dalla radiazione R_n . Abbiamo in uscita il **calore sensibile H** (quello che risulta tra due corpi a contatto con temperature diverse) e il **calore latente LE** (energia che provoca passaggio di stato a T costante).

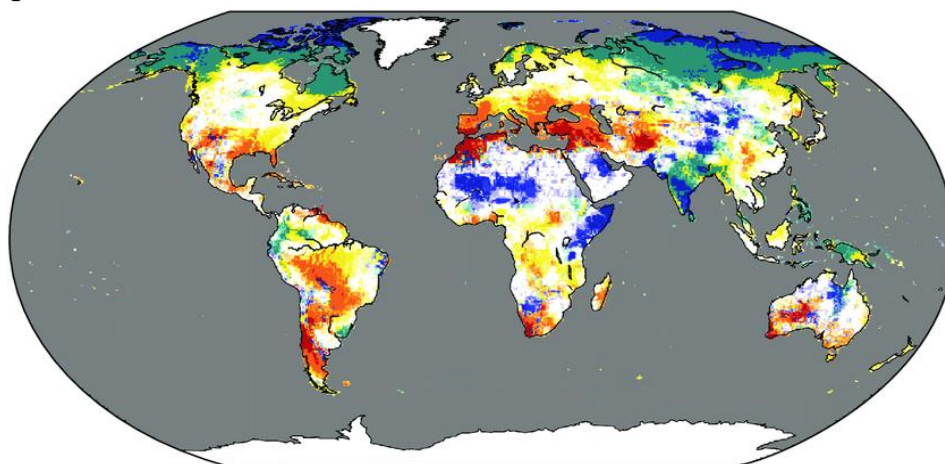
Il flusso LE va di pari passo con un flusso di materia che prende il nome di **evapotraspirazione**: esso consiste nell'evaporazione, quindi il passaggio diretto da stato liquido a stato gassoso, e nella traspirazione, cioè il passaggio che avviene tramite fotosintesi (vegetazione).

Durante il passaggio dell'acqua dallo stato liquido a quello gassoso, si ha un assorbimento di energia e questa energia è chiamata **calore latente di evaporazione**.





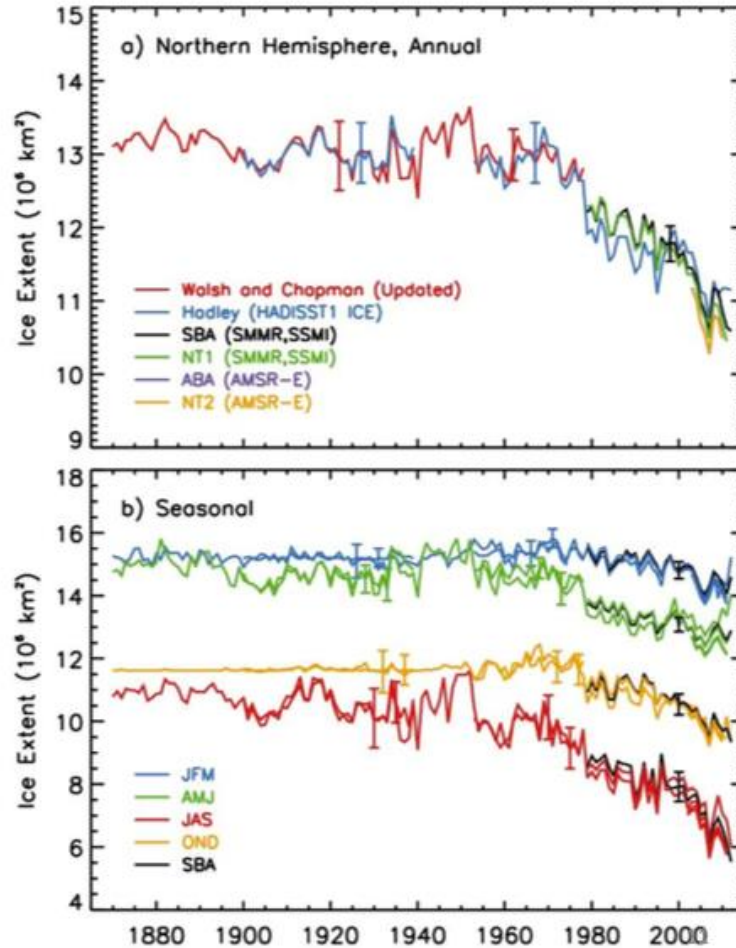
Tendendo verso un'intensificazione del ciclo idrologico, abbiamo visto che l'evapotraspirazione, le precipitazioni e quindi le portate dei corsi d'acqua vanno a crescere. Ciò non accade però in modo omogeneo su tutto il pianeta: essendo un fenomeno complesso, le variazioni spaziali di piovosità e di ricarica degli acquiferi sono dovute a molti fattori, tra questi l'influenza delle correnti marine ed atmosferiche, la posizione geografica (altitudine, latitudine), ecc. A seguito due rappresentazioni: una sulla portata media annua di acqua stimata ipotizzando un incremento di 2°C rispetto al valore medio di T; l'altra sulla ricarica degli acquiferi.



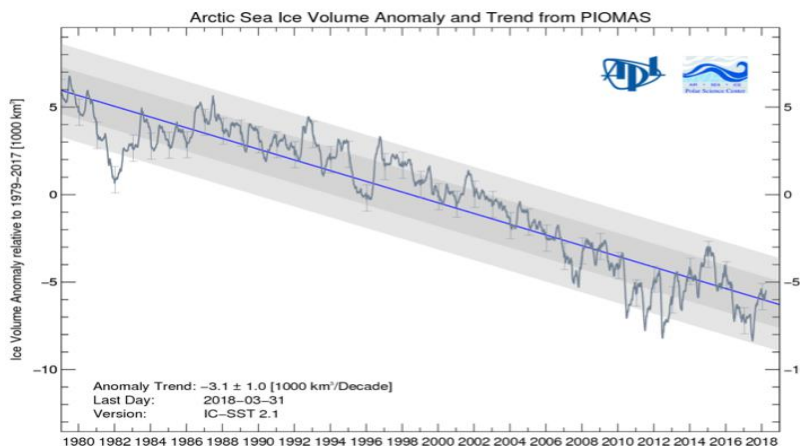
stati persi 3 milioni di km² di ghiaccio (3 volte l'Italia).

Per quanto riguarda le dinamiche stagionali, la calotta polare tende ad essere molto più ampia, tende cioè ad espandersi, nella stagione invernale (gennaio, febbraio, marzo) e molto meno consistente, cioè tende a contrarsi, nella stagione estiva (luglio, agosto, settembre).

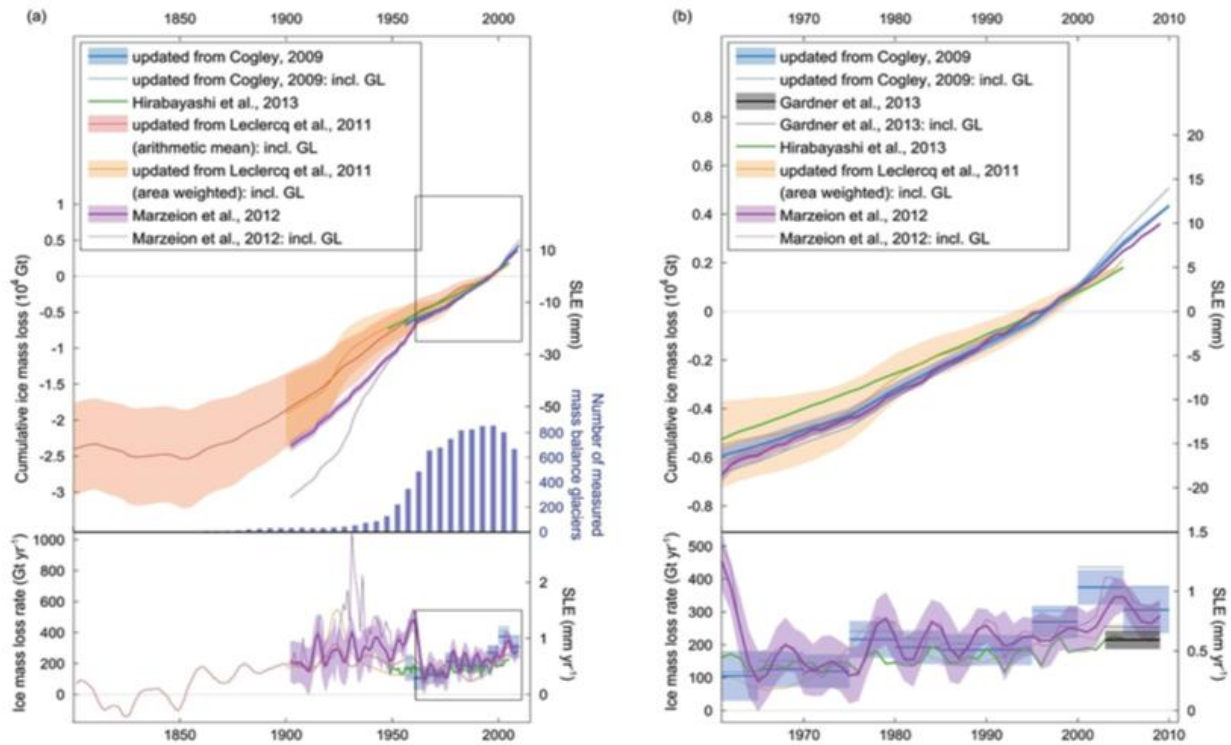
Dopo gli anni 60, la contrazione è molto più marcata nei mesi estivi: mentre in passato l'estensione si aggirava intorno ai 10 mln km², adesso in estate i ghiacci si ritirano fino a 6 mln km². Le variazioni sono quindi molto più importanti.



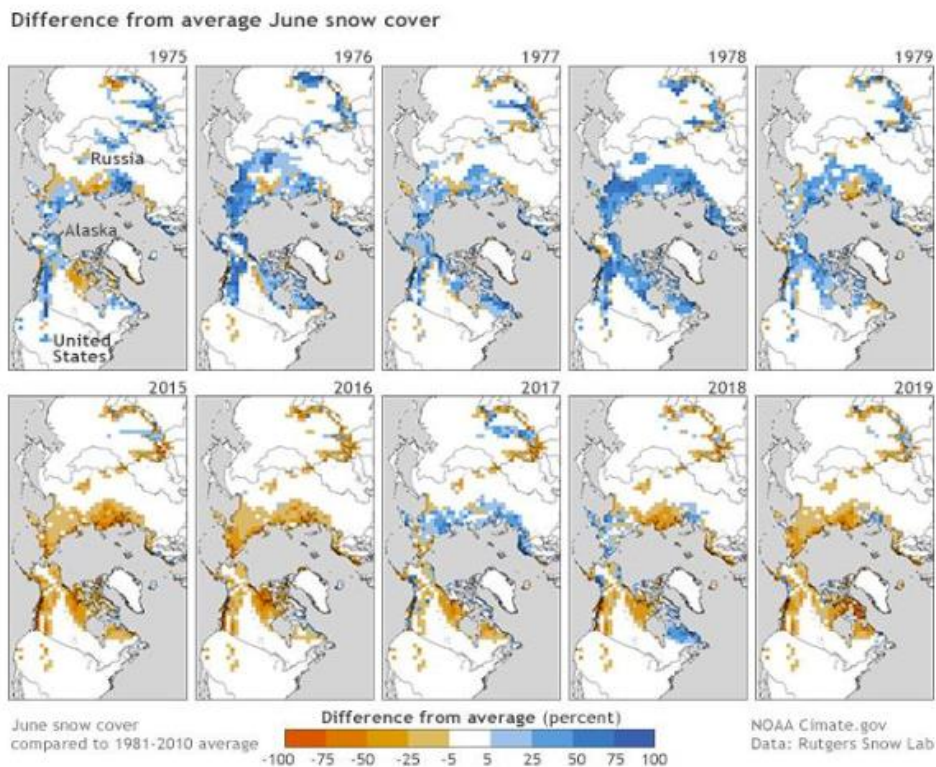
In media negli ultimi 50 anni, si è riscontrata una variazione di -50000 km² all'anno dell'estensione della calotta artica.



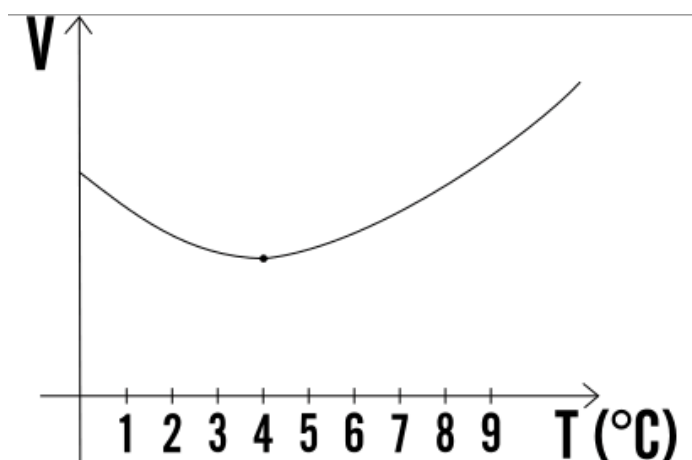
A seguire un grafico che rappresenta in alto la perdita totale cumulata di ghiaccio e nella parte inferiore la perdita annuale, dal 1801 al 2010, mettendo particolarmente in risalto le variazioni dal 1961 al 2010.



Con lo scioglimento dei ghiacci e la scomparsa quindi di neve e ghiaccio diminuisce l'albedo e quindi la riflessione delle radiazioni. Aumenta di conseguenza il radiative forcing.



Per l'acqua però le cose non stanno esattamente così e si suole parlare di comportamento anomalo dell'acqua; se rappresentiamo la sua variazione di volume in funzione della temperatura, a seguito di un'analisi sperimentale si osserva un grafico parabolico:

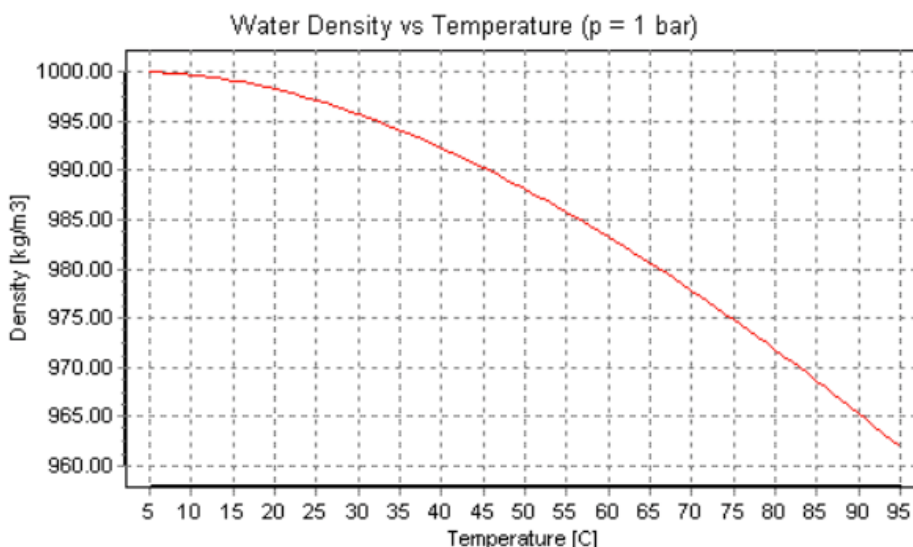


In riferimento ai valori sull'asse x notiamo che tra 0°C e 4°C il volume diminuisce per poi cominciare a crescere.

Man mano che l'acqua si raffredda con temperature tra 4°C e 0°C si manifesta un aumento del volume fino al congelamento a 0°C.

Man mano che l'acqua diventa più calda con temperature superiori a 4°C si manifesta un aumento di volume fino all'evaporazione, che avviene a 100°C.

Possiamo approssimare il comportamento anomalo dell'acqua da un punto di vista più generale e fare riferimento all'andamento della densità dell'acqua in funzione della temperatura.

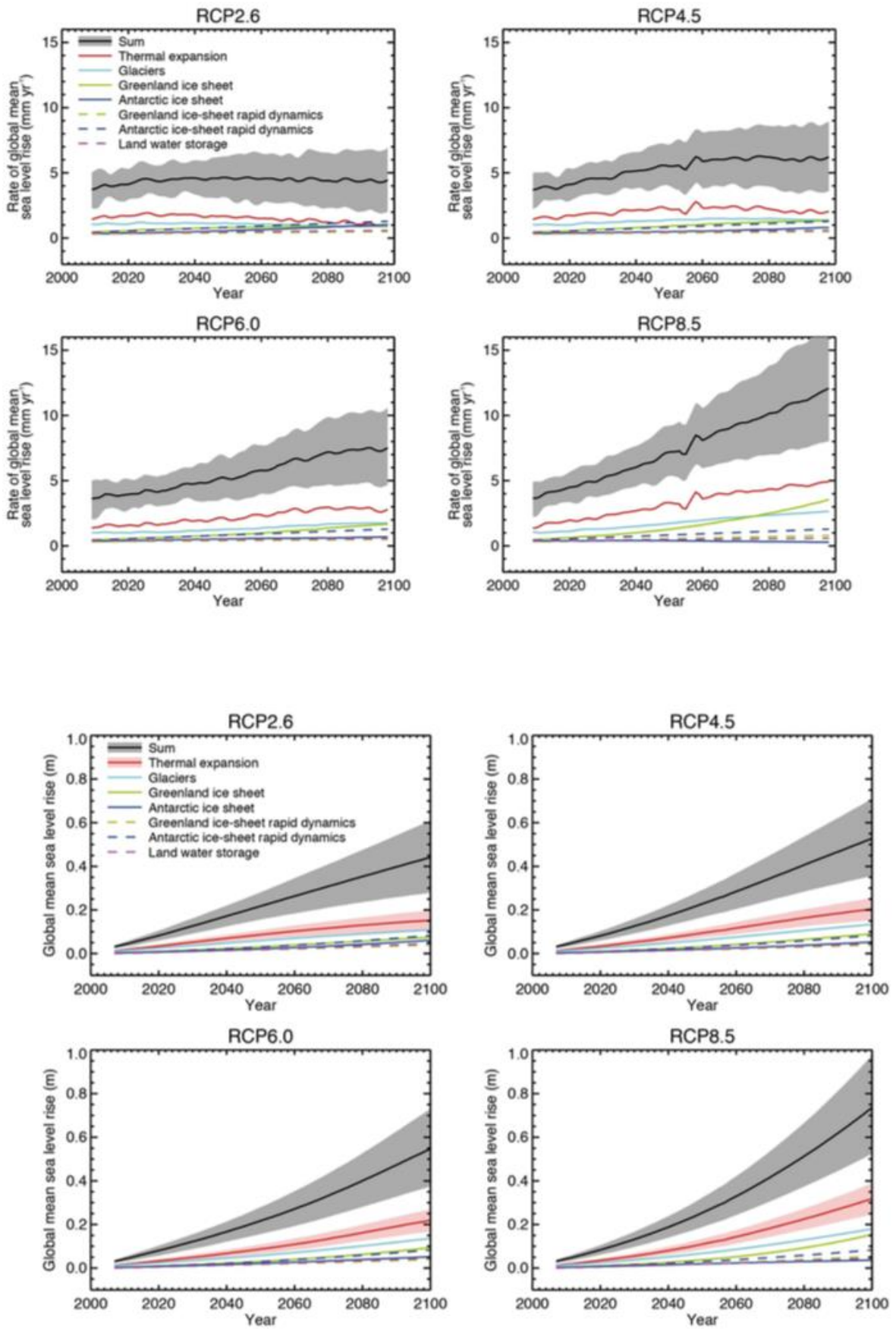


La densità dell'acqua è pari a 1000 kg/m³ a T=4°C, p=1 atm.

La densità dell'acqua tra 0°C e 4°C aumenta raggiungendo il suo massimo a 1000 kg/m³, per poi diminuire quando la temperatura cresce ulteriormente.

Si nota che, a parità di massa, a un aumento di volume deve conseguire una diminuzione della densità e, viceversa, a una diminuzione del volume deve corrispondere un aumento della densità.

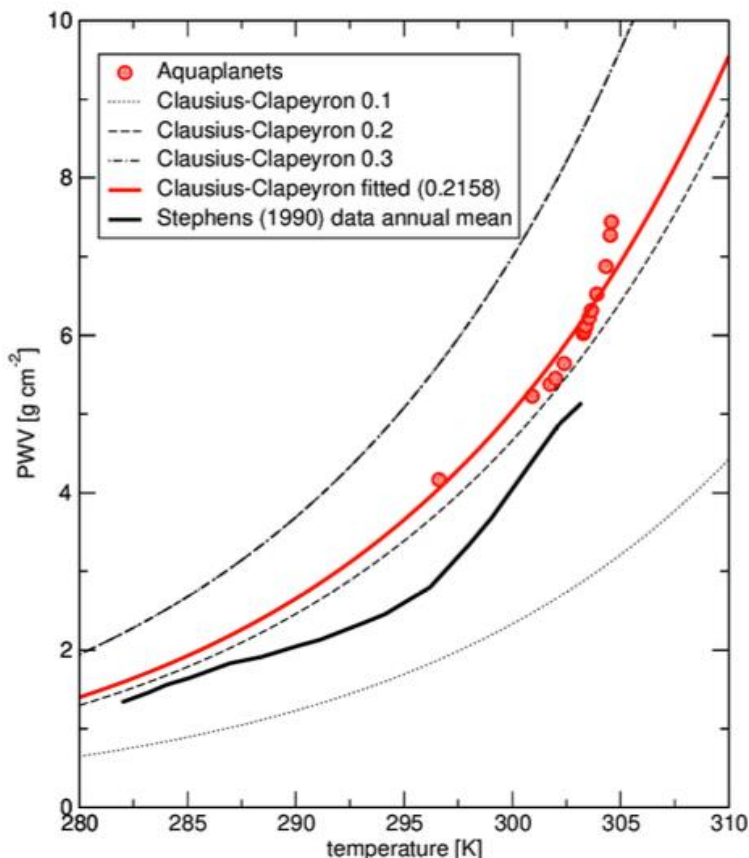
Scenari futuri:



Questi eventi sono poi da attribuire al cambiamento climatico. Di certo, quelli accertati e con la più forte evidenza scientifica sono le onde di calore improvvise, le alluvioni sempre più frequenti, le precipitazioni abbondanti e violente e la siccità. Abbiamo invece poche prove per quanto riguarda gli uragani e i tornado.

PRECIPITAZIONI ESTREME

Perché il cambiamento climatico provoca delle precipitazioni più violente rispetto a quelle passate? Ciò è riconducibile all'**equazione di Clausius-Clapeyron**.



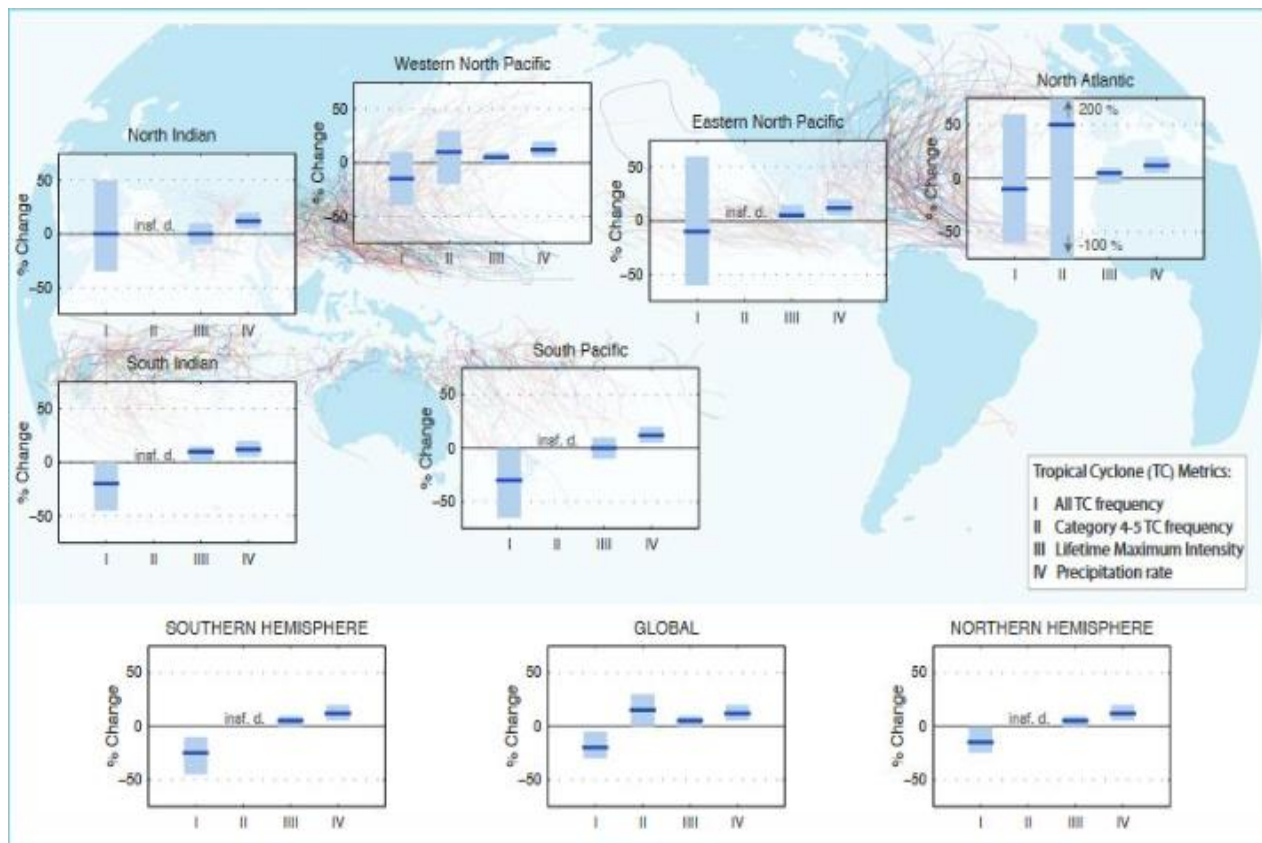
Il meccanismo di precipitazione richiede la presenza di vapore acqueo in atmosfera. Il vapore passa allo stato liquido e le gocce si aggregano e cominciano a precipitare. Questo passaggio è sicuramente facilitato dall'incremento di temperatura. L'aria non può contenere infinito vapore acqueo, c'è un limite superiore dettato dalla pressione di vapore saturo che, se superato, comincia a condensare. Con l'aumentare della temperatura dell'aria, lo stesso contenuto d'aria può contenere più vapore acqueo e quindi aumenta anche l'acqua precipitabile. Questo succede soprattutto in estate.

A seguire due grafici: il primo mostra i trend di acqua precipitabile dal 1988 al 2004 in % ogni decade, mentre il secondo mostra le anomalie riscontrate mensilmente relative al Global ocean mean, ossia la serie storica che mostra le anomalie rispetto alla normalità.

A seguire un diagramma rappresentante le variazioni dei cicloni tropicali. Tutti i valori rappresentano la percentuale media di cambiamento per il periodo 2081-2100 rispetto agli anni 2000-2019.

Sono stati considerati quattro parametri:

- I. La percentuale di variazione sulla frequenza totale annua dei cicloni tropicali;
- II. La frequenza annuale dei cicloni di categoria 4 e 5;
- III. Il Lifetime Maximum Intensity medio (LMI): indica l'intensità massima raggiunta da un ciclone durante la sua "permanenza";
- IV. L'indice di precipitazione



ONDATE DI CALORE

A seguire due diagrammi che descrivono la variazione di temperatura per i giorni e per le notti in tre periodi diversi (ventennio 2081-2100): periodo annuale, stagione invernale e stagione estiva.

Le tre variabili prese in considerazione sono la percentuale di giorni con temperature maggiori di 30°C, la frazione di giorni freddi e la frazione di giorni caldi.

La deviazione standard ci dice quanto è probabile avere quelle temperature di giorno e/o di notte. Essa indica quanto è ampia la probabilità intorno al valore medio. Se ho riscaldamento, la curva si sposta verso destra (verso le temperature più alte) e con lei anche la deviazione standard.

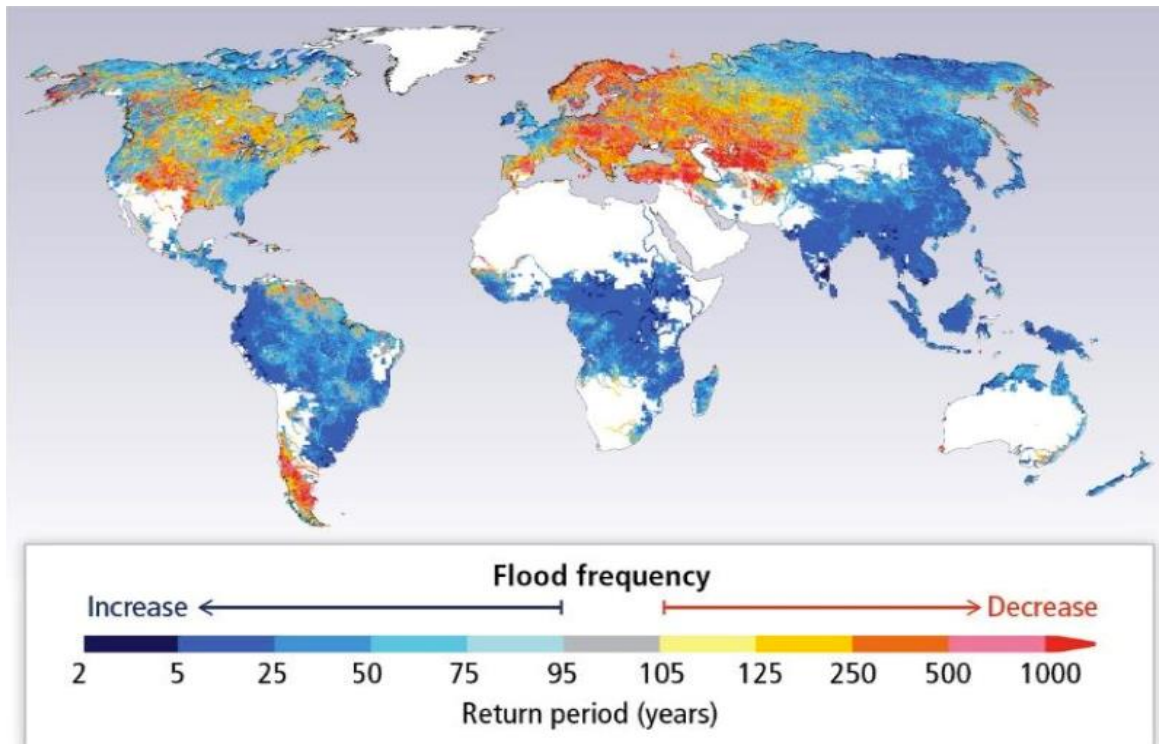
FLOOD FREQUENCY

L'immagine mostra la frequenza di piena/alluvioni nel 2080 secondo l'RCP 8.5. Le situazioni sono variegata e ciò è segno della complessità dei fenomeni che controllano questo evento.

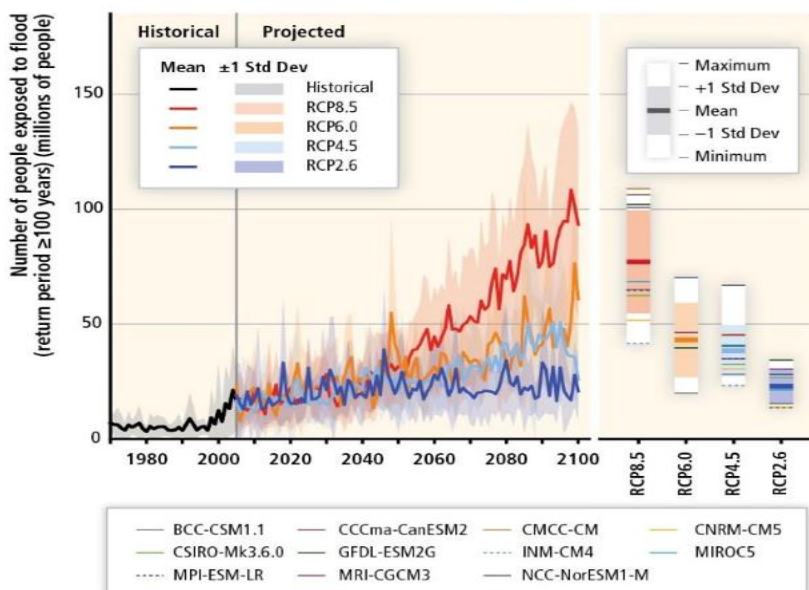
La variabile è il **tempo di ritorno** dell'evento: è cioè il numero di anni che occorre attendere affinché lo stesso evento venga eguagliato o intensificato.

Se, per esempio, il tempo di ritorno è pari a 5, ciò significa che l'evento accade mediamente una volta ogni 5 anni.

100 anni di return period è il valore di riferimento del 20esimo secolo, proiettato poi per il 2080.

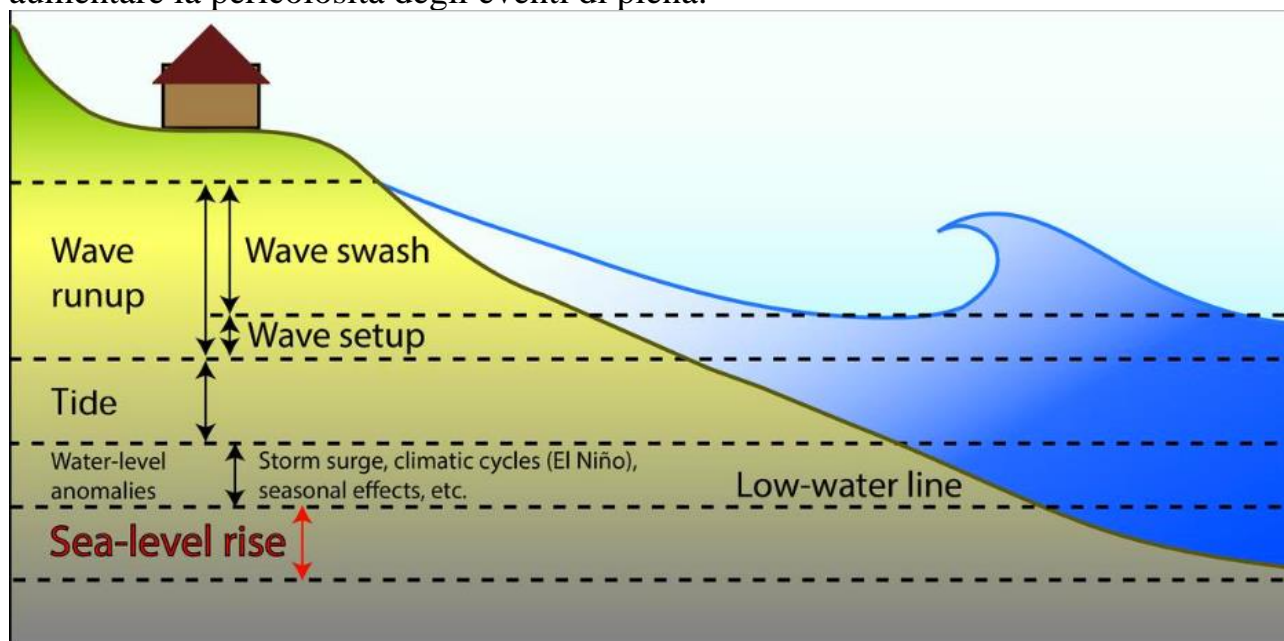


Quante persone saranno esposte a queste piene? L'esposizione al rischio si incrementa in tutti gli scenari RCP, in modo più o meno rilevante.

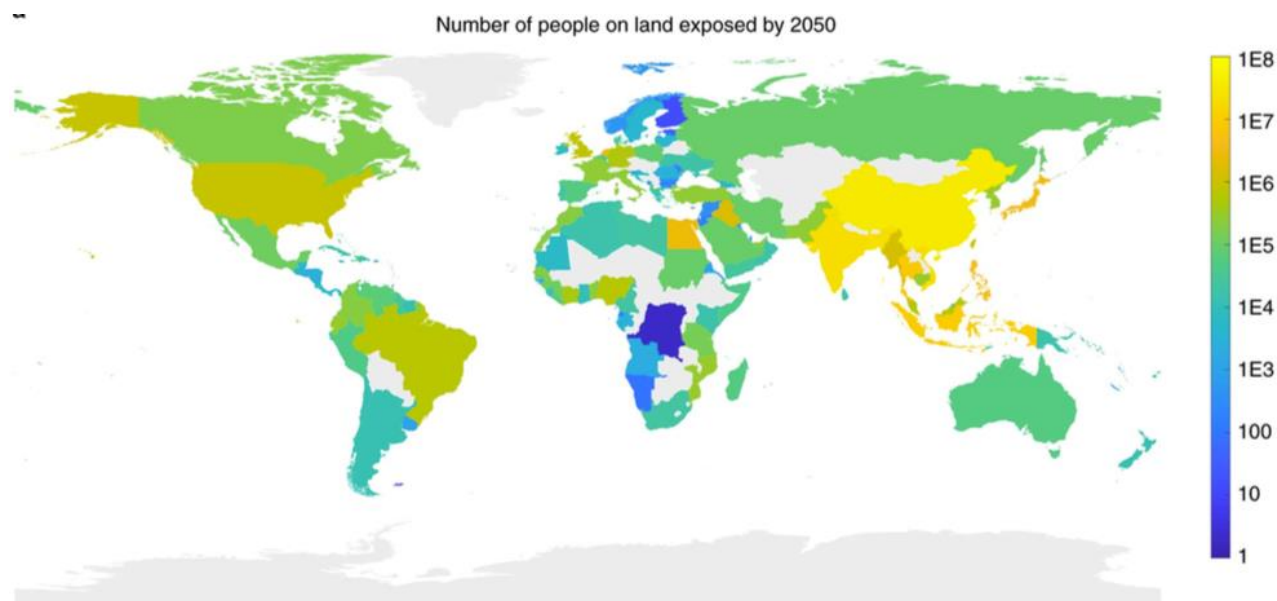


Un valore pari a 2 sta a significare la piena con tempo di ritorno 100 avrà invece un tempo di ritorno uguale a 50, quindi la sua frequenza viene raddoppiata; un valore pari a 3 (rosso scuro) significa che lo stesso evento di piena lo avrò una volta ogni 33 anni, quindi la sua frequenza è triplicata.

Oltre alle piene dovute alle precipitazioni, abbiamo anche le **alluvioni costiere**. Sicuramente l'innalzamento del livello del mare (1 cm ogni 3 anni) contribuisce ad aumentare la pericolosità degli eventi di piena.



Il diagramma mostra il numero di persone che possono essere esposte maggiormente agli eventi di piena costiera nel 2050, secondo lo scenario RCP4.5.



L'obiettivo dell'UNFCCC era quello di stabilizzare le concentrazioni di gas serra nell'atmosfera ad un livello che riesca a prevenire interferenze dannose di origine antropica con il sistema climatico.

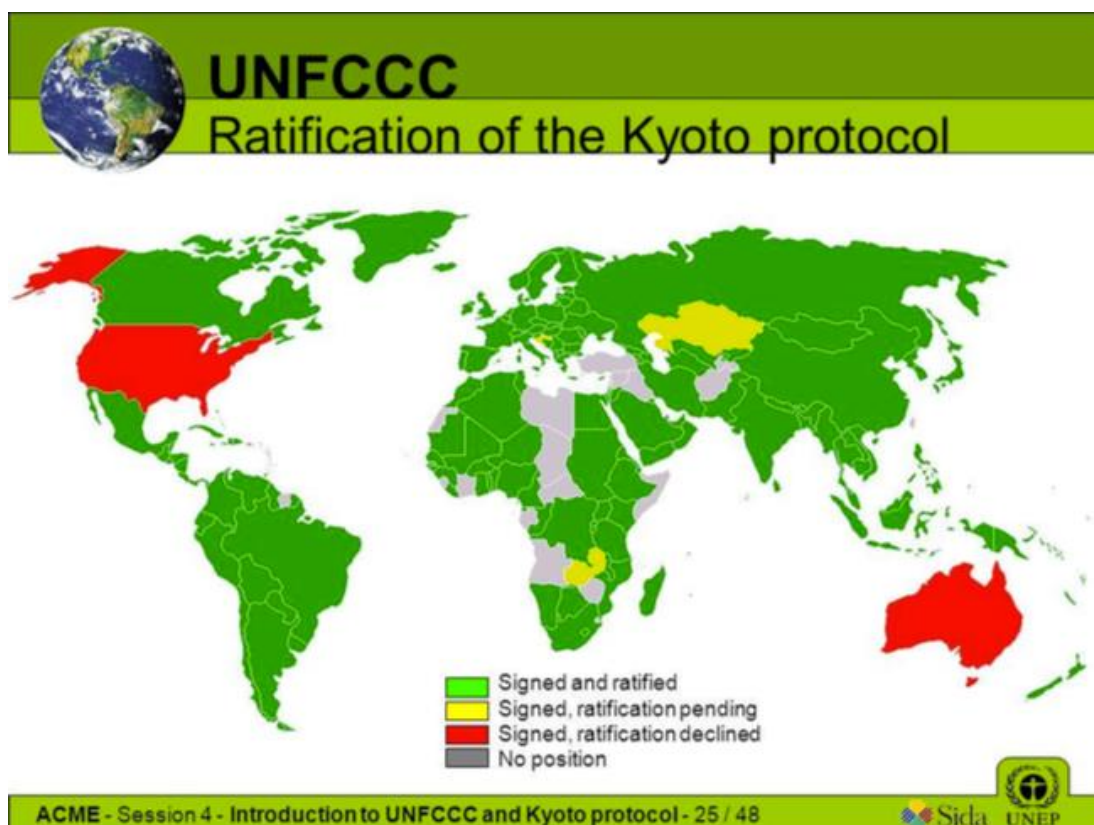
I paesi firmatari si accordano per incontrarsi annualmente alle **Conferences of the Parties (COP)** per valutare i progressi relativi al cambiamento climatico.

La conferenza più importante è avvenuta nel 1997, dove fu concluso il **protocollo di Kyoto**: per la prima volta furono stabiliti limiti alle emissioni di ghg e degli obblighi per i paesi firmatari di ridurre tali emissioni nel periodo 2008-2012. Esso fu adottato l'11 Dicembre 1997 ed entrò in vigore il 16 Febbraio 2005.

Nel 2010 un'ulteriore conferenza delle Nazioni Unite concluse un accordo che attestava che il futuro riscaldamento globale non doveva superare i 2°C (3.6 °F), relativo all'era pre-industriale.

Il protocollo fu poi modificato nel 2010 in modo da comprendere il periodo 2013-2020 nel Doha Amendment, che però non entrò in vigore nel Dicembre 2015.

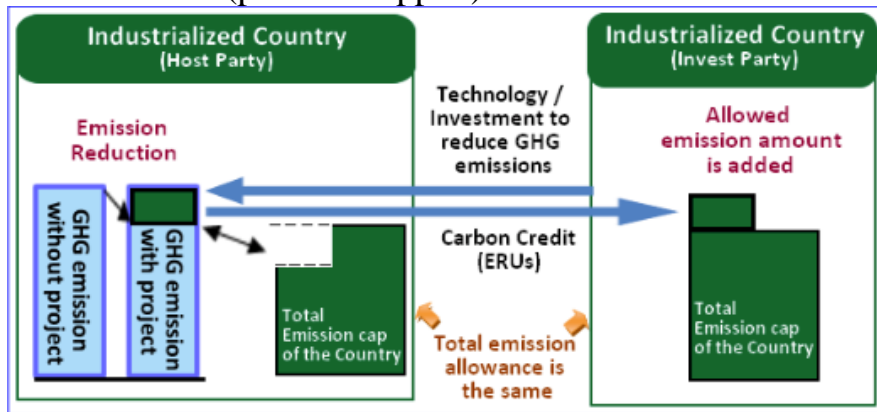
Sempre nel 2015 fu invece adottato l'Accordo di Parigi, che entrò in vigore il 4 Novembre 2016: esso impegnava le nazioni a ridurre dal 2020 in poi le emissioni di gas climalteranti.



Alcuni concetti principali del protocollo di Kyoto sono:

- Gli impegni obbligatori per i paesi firmatari (Annex I o Annex B) di ridurre le emissioni di gas serra;
- L'implementazione da parte dei paesi firmatari di politiche e misure per la

riguarda le nazioni Annex I (paesi sviluppati).



La nazione ospitante (a sinistra) ha un certo livello di emissioni di ghg. Supponiamo che una parte di queste emissioni derivi dalla produzione di energia tramite centrali a carbone, per esempio. La nazione a destra decide di investire sulle tecnologie del paese ospitante in modo da sostituire le centrali a carbone con centrali a produzione di energia rinnovabile.

Quello che succede è che si ha una riduzione di emissione da parte del paese ospitante. Cosa ci guadagna la nazione investitrice? Essa guadagna la possibilità di emettere oltre il limite previsto dalla specifica normativa. Decide di investire non nel paese di appartenenza, ma in un altro, perché i costi sono più sostenibili.

Può succedere però che la nazione investitrice non riesca a ridurre le sue emissioni in maniera rapida.

N.B. Non sono le nazioni proprie a investire/ospitare, ma le aziende della nazione stessa.

Il Clean Development Mechanism (CDM) prevede che vi sia un paese investitore Annex I che investe in tecnologie di mitigazione in un paese non-Annex I.



Quello che viene in cambio al paese Annex I sono i **certified carbon credits**, ossia la possibilità di emettere più gas serra.

Si ha un vantaggio complessivo a livello globale, ma non locale.

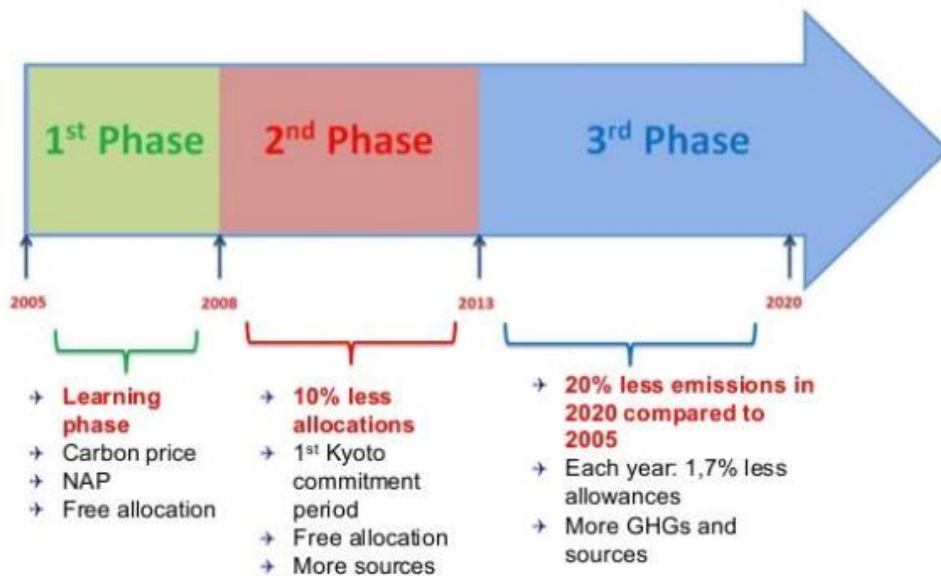
Dal 14 Settembre 2012, 4626 progetti sono stati registrati dal CDM Executive Board

Abbiamo due paesi Annex I che interagiscono tra di loro. Il meccanismo consiste nell'acquisto di **carbon credits/allowances** da parte di un'azienda per poter sfiorare il limite di emissioni di anidride carbonica. Essa compra da una nazione che ha un eccesso di CO₂ che quindi può vendere.

La **European Union Emissions Trading System (EU ETS)** fu uno dei più grandi sistemi di trading delle emissioni di ghg e rimane per ora il più ampio. È stato lanciato nel 2005.

Dal 2013, la EU ETS copre più di 11000 aziende, centrali elettriche ed altre installazioni, con un eccesso di calore netto pari a 20 MW in 31 paesi (tutti gli stati membri dell'UE + Islanda, Norvegia e Liechtenstein).

La quota di mercato coperta è tale da rappresentare la metà di tutte le emissioni di origine antropogenica, in termini di CO₂-eq, dall'Unione Europea.



Sotto il principio di **cap and trade** (“tetto e commercio”), viene fissato un limite massimo dal protocollo di Kyoto sulla quantità totale di emissioni di ghg che può essere emessa da un'azienda partecipante.

Vengono messe in campo delle allowances, ossia dei permessi ad emettere.

Se un'azienda ha bisogno di un certo quantitativo di emissioni tale da superare il cap assegnato, l'azienda stessa ha due possibilità: può modificare il proprio impianto per diminuire le emissioni oppure può comprare i permessi di emissioni da un'altra azienda (di un altro paese) che è in eccesso di emissioni.

Ad un'azienda è quindi conveniente puntare sulle tecnologie rinnovabili: in questo modo il loro livello di emissioni sarà decisamente sotto il cap stabilito e potranno vendere delle allowances, ricavando così denaro da un altro paese che invece necessita di sfiorare il limite emissivo.

Il meccanismo si basa su un processo di medio-lungo termine per il quale le aziende si attrezzano per ridurre i loro livelli di emissioni pur di non pagare i permessi. Il beneficio non è immediato → impulso per le aziende di evolversi tecnologicamente.

tonnellate, che sono transitate sul mercato in Europa tramite allowances. Le allowances sono diventate dei veri e propri beni di mercato, con le proprie fluttuazioni di prezzo. Il diagramma seguente le fluttuazioni temporali del prezzo in euro per tonnellata di anidride carbonica equivalente.



Il prezzo nel 2008 è crollato perché c'era troppa offerta rispetto alla domanda. Con l'aumentare del volume di emissioni, è poi aumentato anche il prezzo.

Mode of International Cooperation	Assessment Criteria			
	Environmental Effectiveness	Aggregate Economic Performance	Distributional Impacts	Institutional Feasibility
The Kyoto Protocol (KP)	Aggregate emissions in Annex I countries were reduced by 8.5 to 13.6% below 1990 levels by 2011, more than the first commitment period (CP1) collective reduction target of 5.2%. Reductions occurred mainly in EITs; emissions increased in some others. Incomplete participation in CP1 (even lower in CP2).	Cost-effectiveness improved by flexible mechanisms (Joint Implementation (JI), CDM, International Emissions Trading (IET)) and domestic policy choice. Cost and benefit estimates depend on baseline, discount rate, participation, leakage, co-benefits, adverse effects, and other factors.	Commitments distinguish between developed and developing countries, but dichotomous distinction correlates only partly (and decreasingly) with historical emissions trends and with changing economic circumstances. Intertemporal equity affected by short-term actions.	Ratified (or equivalent) by 192 countries and regional organizations, but took 7 years to enter into force. Compliance depends on national communications, plus KP compliance system. Later added approaches to enhance measurement, reporting, and verification (MRV).
The Kyoto Mechanisms	About 1.4 billion tCO ₂ e credits under the CDM, 0.8 billion under JI, and 0.2 billion under IET (through July 2013). Additionality of CDM projects remains an issue but regulatory reform underway.	CDM mobilized low cost options, particularly industrial gases, reducing costs. Underperformance of some project types. Some evidence that technology is transferred to non-Annex I countries.	Limited direct investment from Annex I countries. Domestic investment dominates, leading to concentration of CDM projects in few countries. Limited contributions to local sustainable development.	Helped enable political feasibility of Kyoto Protocol. Has multi-layered governance. Largest carbon markets to date. Has built institutional capacity in developing countries.

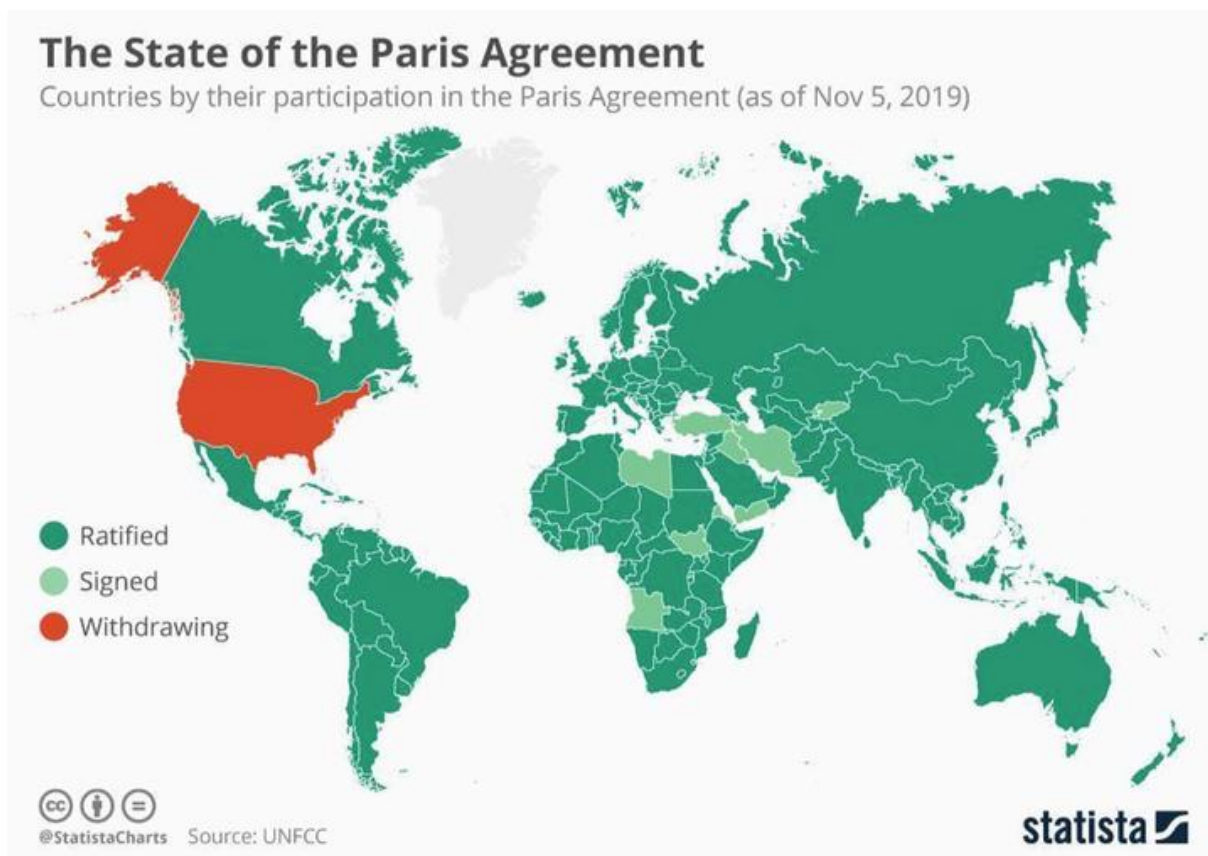
Dopo il protocollo di Kyoto, abbiamo l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite con i suoi 17 Sustainable Development Goals.

Il goal 13 è quello che descrive le azioni da compiere in ambito della lotta contro il cambiamento climatico.

È necessario agire rapidamente per combattere il cambiamento climatico e i suoi impatti regolando le emissioni di gas serra e promuovendo lo sviluppo delle energie rinnovabili.

In particolare, l'obiettivo 13 si prefigge diversi target quali:

- Rafforzare in tutti i paesi la capacità di ripresa e di adattamento ai rischi legati al clima e ai disastri naturali;

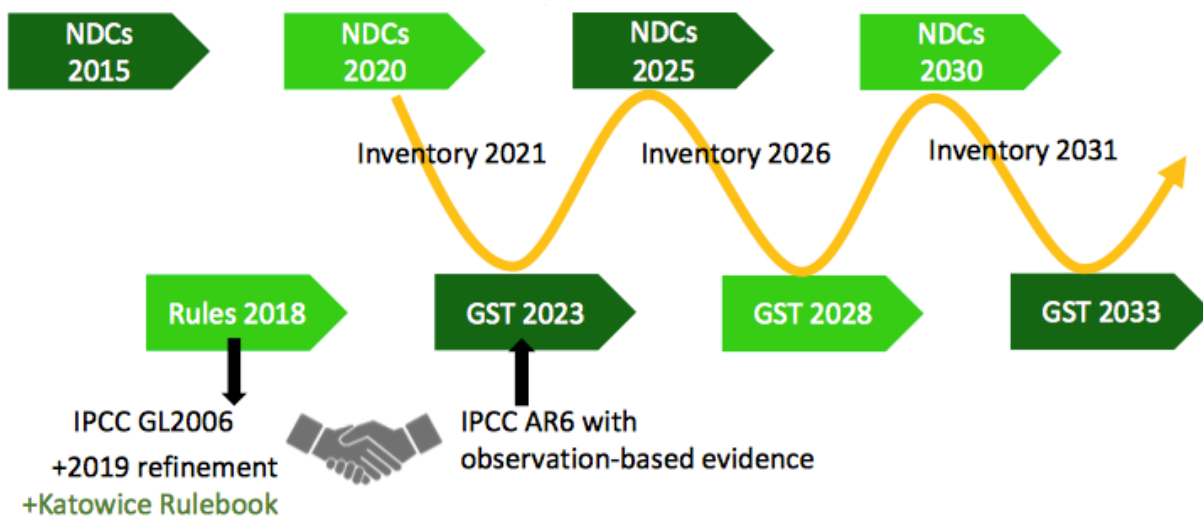


Come funziona nella pratica l'Accordo di Parigi?

Esso è una sequenza di due fasi successive, che si ripetono a distanza di 5 anni l'una dall'altra: **NDC (Nationally Determined Contributions)** e **GST (Global Stocktake)**.

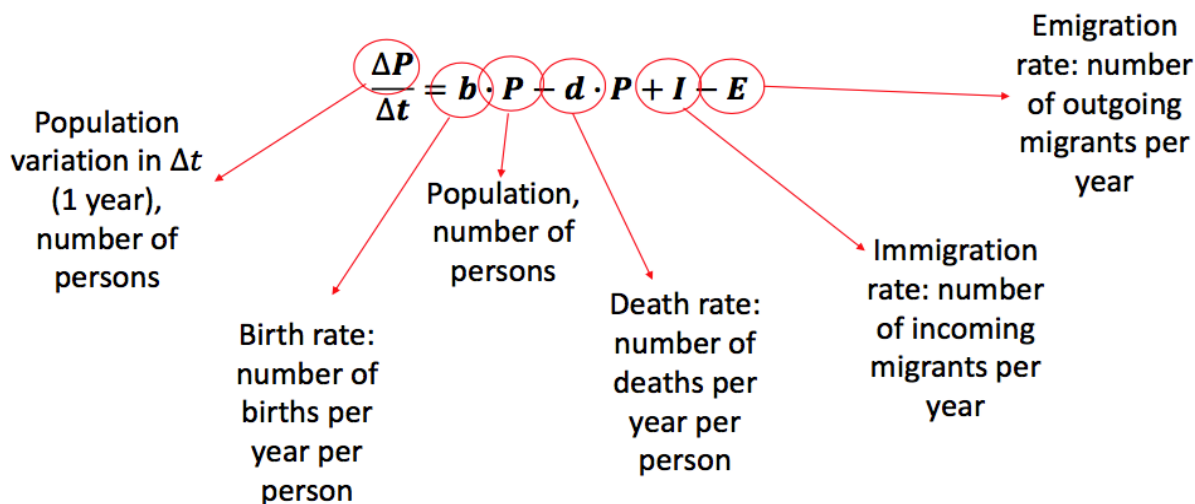
La prima indica le azioni, ossia i contributi per ridurre le emissioni, che vengono aggiornate, monitorate e rese note ogni 5 anni appunto.

La seconda indica i conti a livello globale su cosa hanno fatto le singole nazioni, andando a verificare se la strada scelta è quella giusta. Vengono poi fornite delle direzioni/consigli affinché queste seguano strettamente gli obblighi.



LEZIONE 7 – POPULATION BALANCE

L'andamento demografico è descritto da una equazione che definisce il bilancio di una popolazione per una data regione in un certo intervallo di tempo.



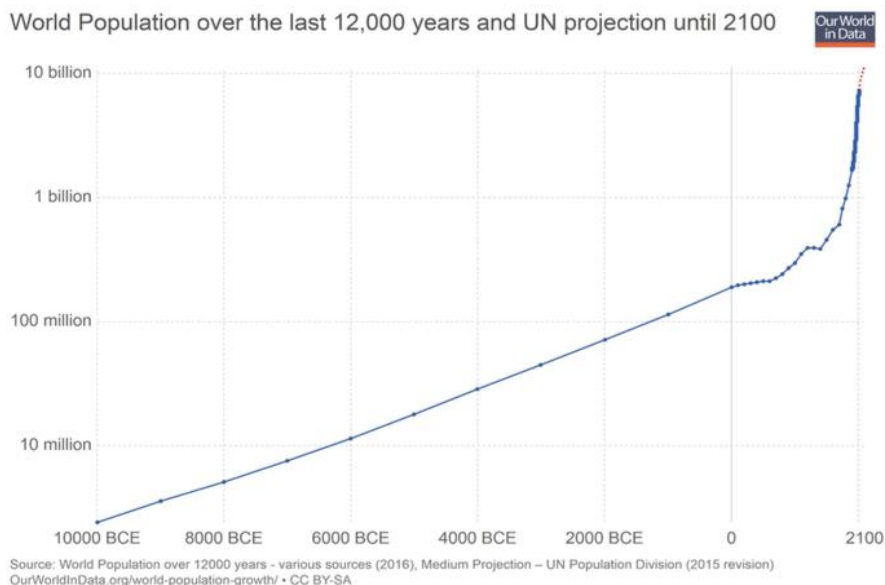
Il bilancio viene fatto tra quelli che vengono chiamati “ingressi” ed “uscite”. Tra gli **ingressi** abbiamo le nascite, definite dal tasso di nascite **b**, e dal numero di immigrati che entrano in un dato paese ogni anno, definito dal tasso di immigrazione **I**.

Tra le **uscite** abbiamo il numero di morti, definito dal tasso di mortalità **d**, e dal numero di emigrati che lasciano un determinato paese, definito dal tasso di emigrazione **E**.

Nel caso più semplice consideriamo il bilancio di popolazione mondiale con zero immigrazioni e zero emigrazioni ($E=0, I=0$). L'equazione si semplifica quindi in:

$$\Delta P = P(b - d)$$

Si ha decrescita demografica se $d > b$ (è maggiore il numero dei morti di quello dei nati), si ha crescita se $b > d$ (il numero dei nati è maggiore di quello dei morti).

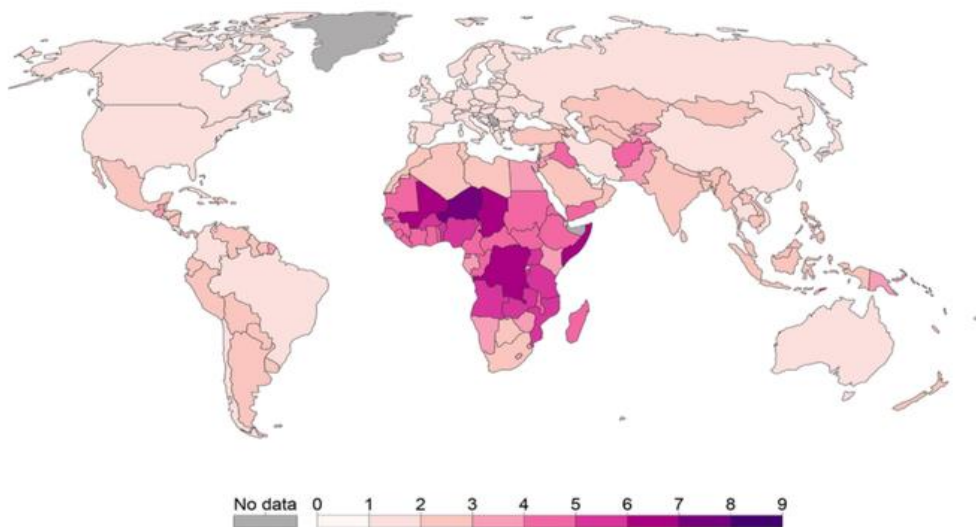
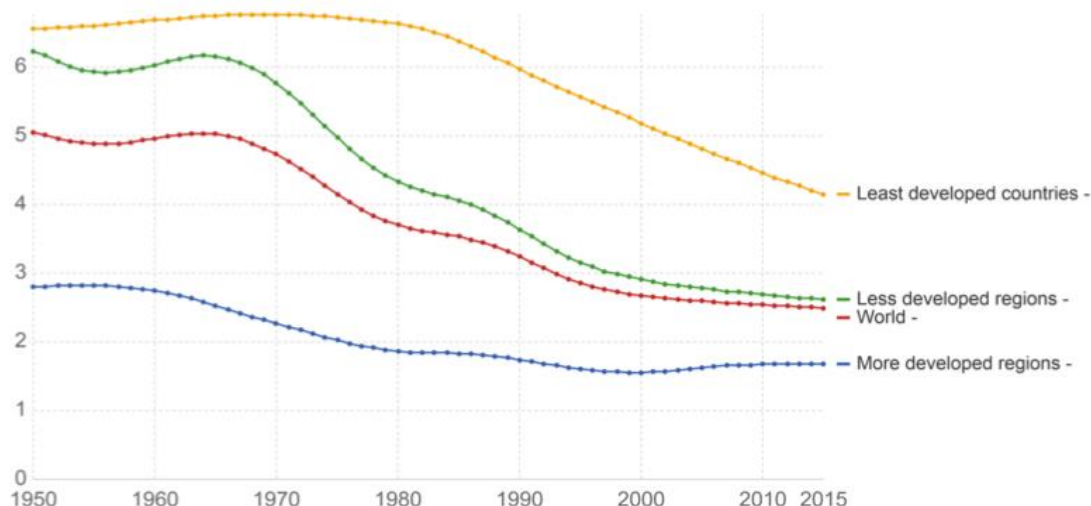


Oggi giorno in tutte le zone del mondo si riscontra un decremento del GFR, a partire dagli anni '50.

Da 5/6 bambini a donna si è passati a circa 2/3 bambini, in media.

Nonostante ciò, la variabilità spaziale di fertilità nelle donne è molto ampia. Infatti, il continente africano è quello che presenta ancora un grosso numero di nascite per donna, circa 6/7 bambini in media. La crescita demografica in Africa è infatti la più alta nel mondo.

È infatti proprio il GFR la determinante principale dell'andamento demografico di una nazione.



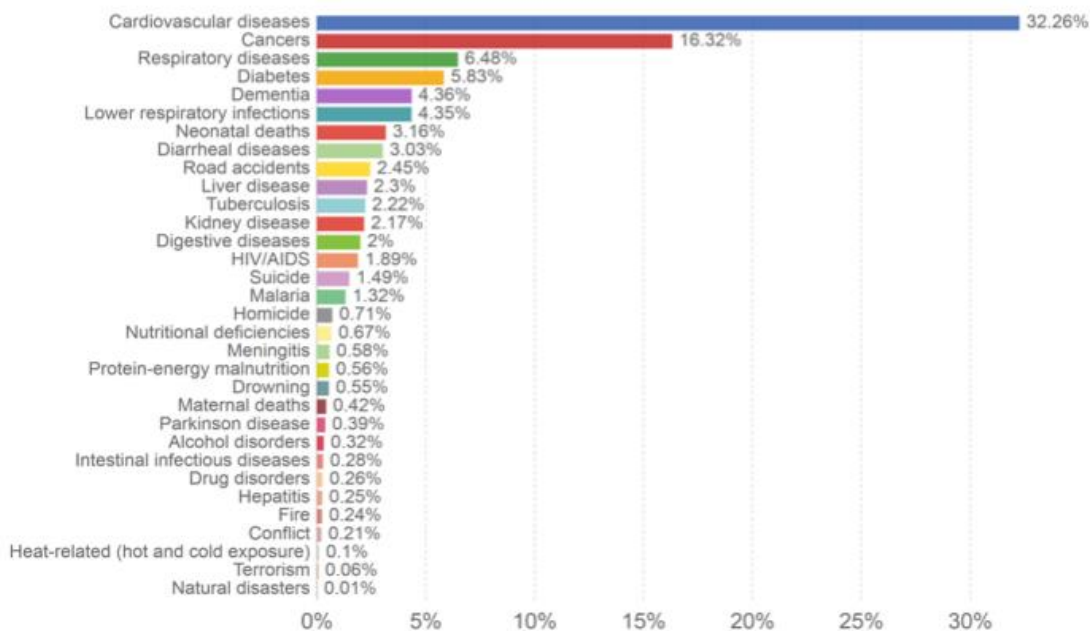
Il GFR è anche strettamente legato al tasso di scolarizzazione delle donne in età riproduttiva (> 15 anni) in una data nazione.

Più l'educazione è avanzata in una zona del mondo, più le donne abitanti si mostrano consapevoli e hanno più possibilità di esprimersi, soprattutto in campo lavorativo. Ciò ha sicuramente portato ad un decremento delle nascite.

Oggi giorno, le cause principali di morte sono dovute a problemi cardiovascolari, a tumori, malattie respiratorie, diabete ecc. Sono quindi maggiori le morti causate da malattie che da fattori esterni come incidenti stradali, omicidi, problemi con droghe e alcol, incendi o disastri naturali. Anche in questo caso la variabilità spaziale è molto ampia.

Share of deaths by cause, World, 2016

Data refers to the specific cause of death, which is distinguished from risk factors for death, such as air pollution, diet and other lifestyle factors. This is shown by cause of death as the percentage of total deaths.



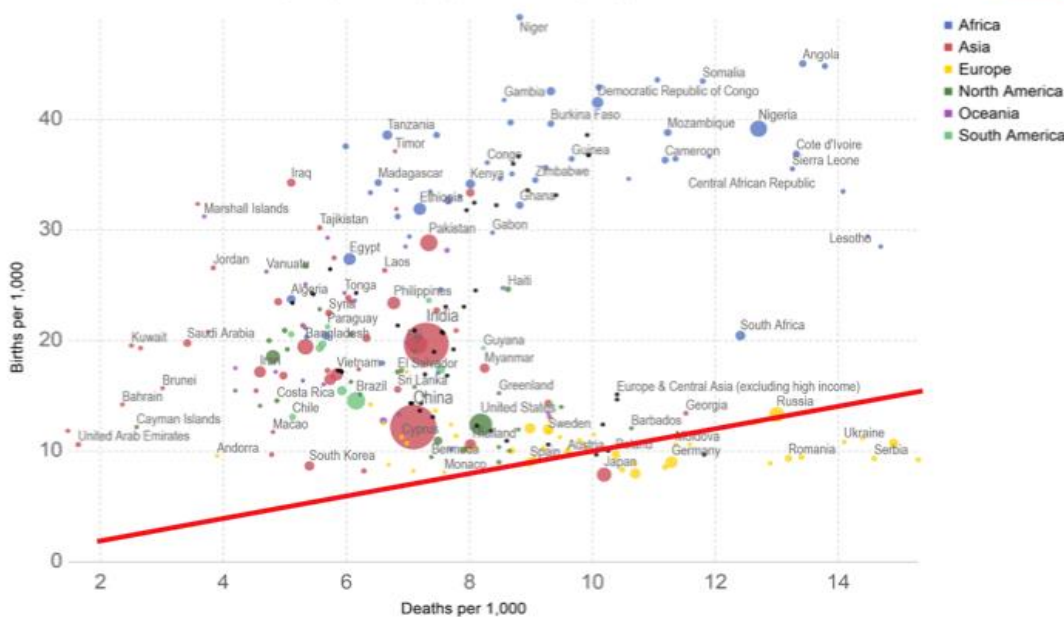
Source: IHME, Global Burden of Disease

OurWorldInData.org • CC BY-SA

Effetto combinato del tasso di natalità ed il tasso di mortalità

Birth rate vs Death rate, 2015

Both the birth and death rate are given per 1,000 people of the country's population.

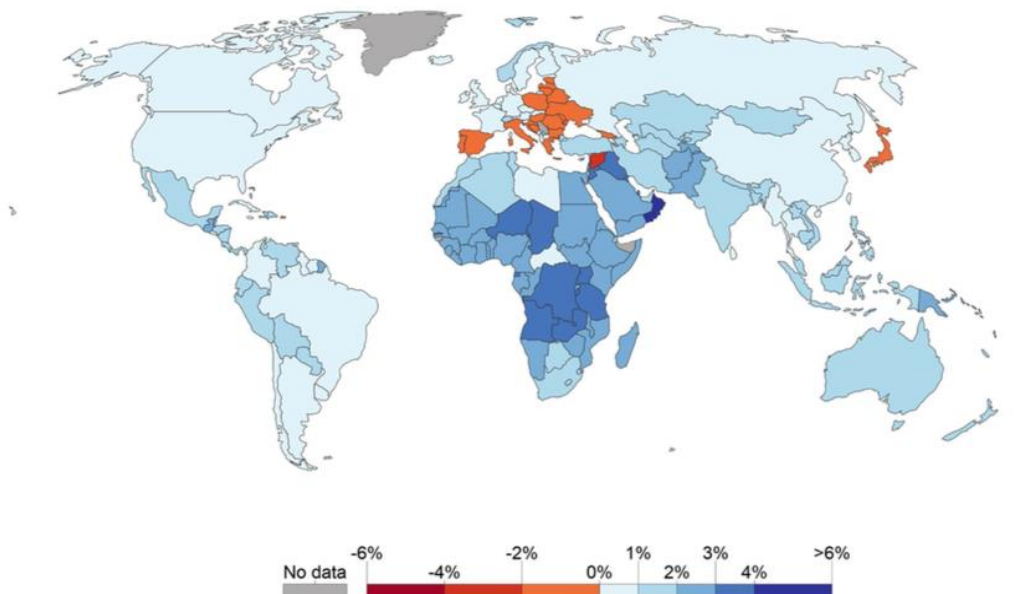


Source: World Bank – WDI

OurWorldInData.org/world-population-growth/ • CC BY-SA

Population growth rate, 2015

Average annual rate of population change (including the UN's 'Medium variant' projections until 2100)



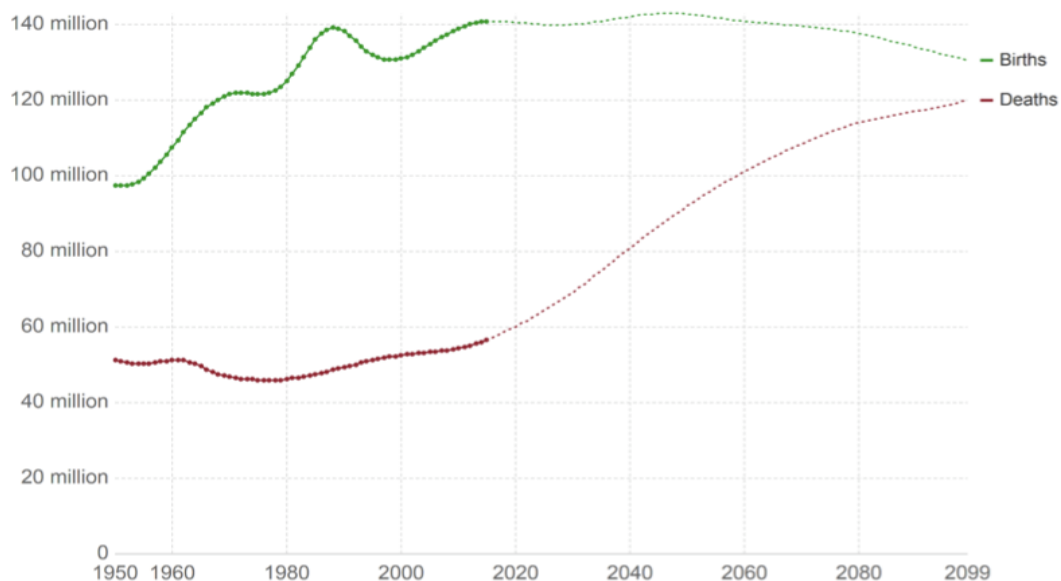
Proiezioni future

Il numero di nascite è triplo a quello dei morti ora come ora. Ogni giorno nascono circa 200.000 persone.

Per il futuro ci si aspetta che il numero di nascita si mantenga più o meno costante. La popolazione continuerà comunque a crescere. Per il 2100 ci si aspetta una popolazione di 10 miliardi di persone.

Per il tasso di morte si avrà una crescita molto rapida dovuto al fatto che la popolazione mondiale sta diventando sempre più vecchia ed inevitabilmente il tasso di cresce, da 60 mln a 120 mln all'anno (raddoppio).

The annual number of births and deaths including the UN projections until 2100, World

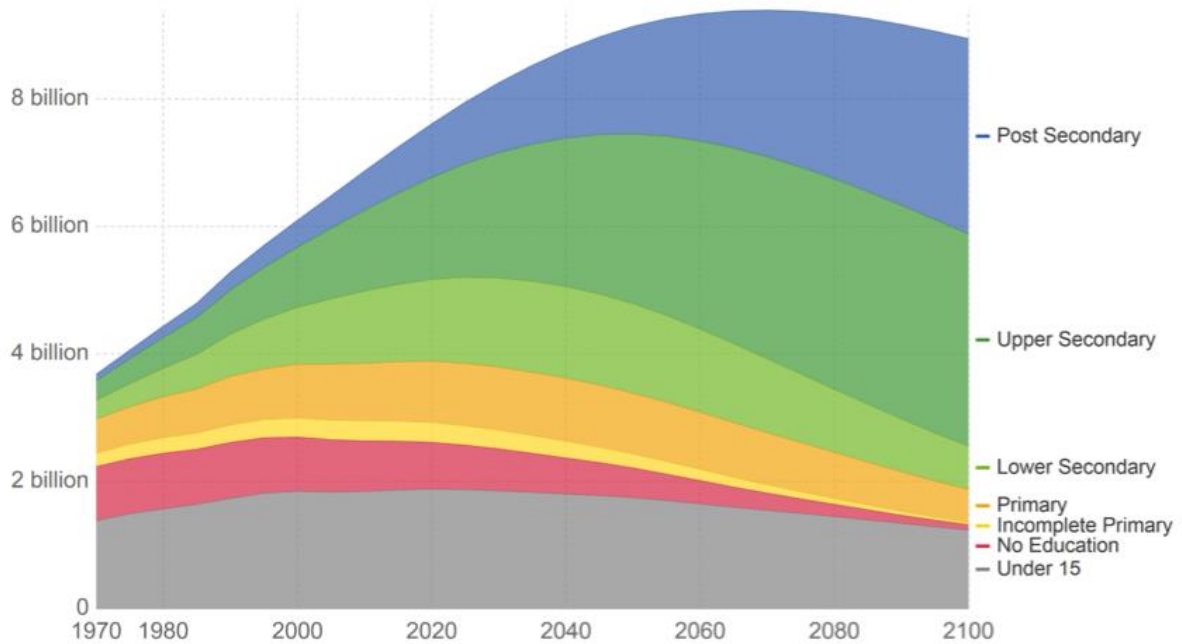


Source: UN Population Division (2017 Revision)

OurWorldInData.org/future-population-growth/ • CC BY-SA

Projected world population by level of education

This visualization shows the Medium projection by the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). The researchers who created this projection describe it as their "middle of the road scenario that can also be seen as the most likely path".



Source: Global Projection, Medium SSP2 - IIASA (2016)

OurWorldInData.org/world-population-growth/ • CC BY-SA

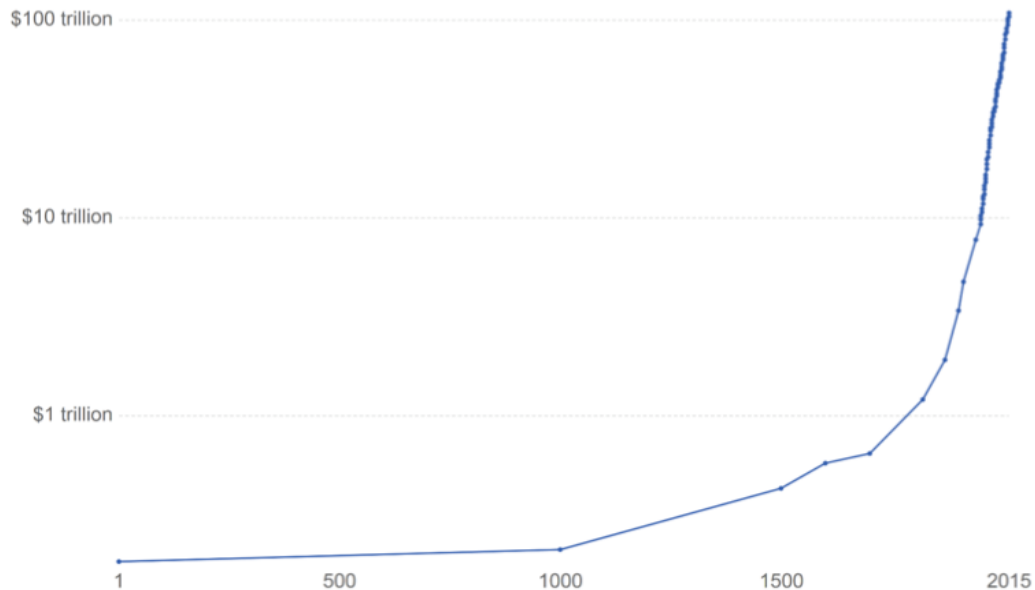
La crescita demografica è anche collegata al livello di scolarizzazione della popolazione.

CRESCITA ECONOMICA

Il **prodotto interno lordo (PIL)** misura il valore aggregato, a prezzi di mercato, di tutti i beni e i servizi finali (destinati al consumo) prodotti sul territorio di un Paese in un dato periodo di tempo.

World GDP over the last two millennia

Total output of the world economy; adjusted for inflation and expressed in 2011 international dollars.

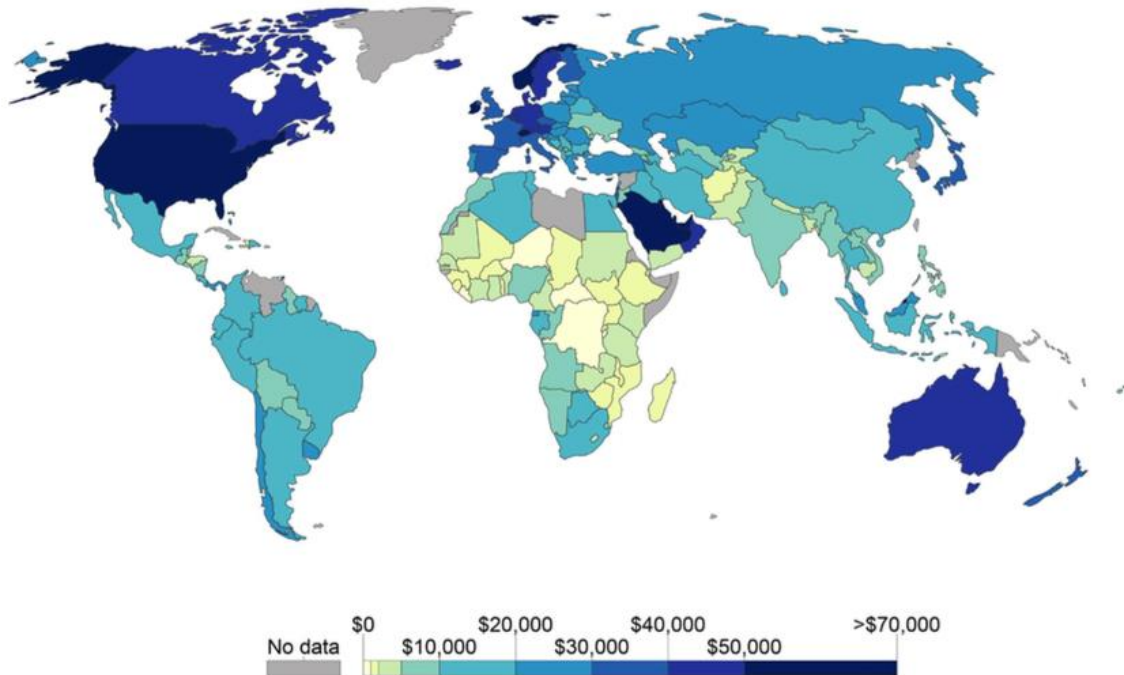


Source: World GDP - Our World In Data based on World Bank & Maddison (2017)

OurWorldInData.org/economic-growth • CC BY-SA

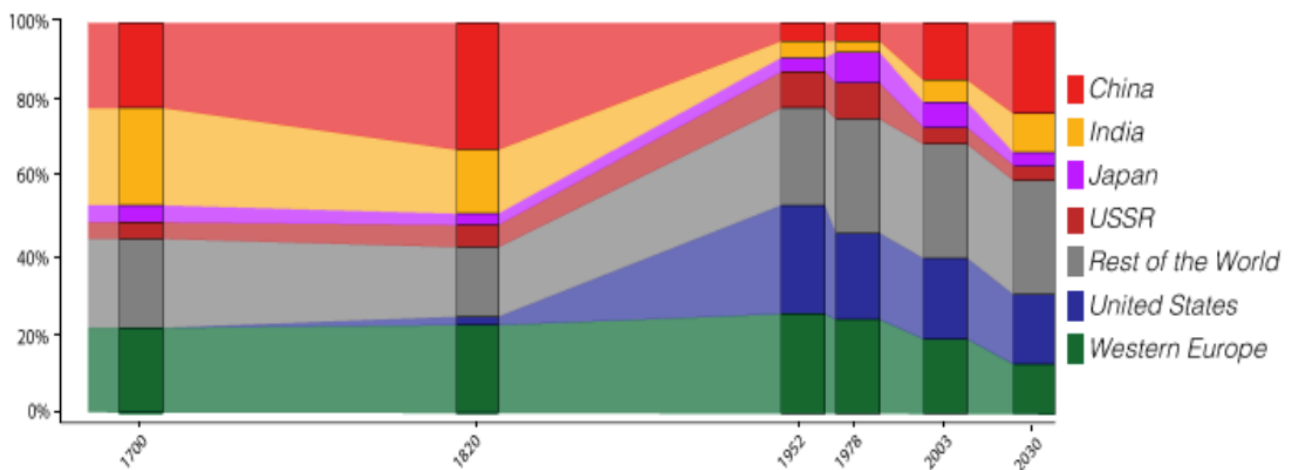
World Bank data: GDP per capita

GDP per capita is adjusted for price changes over time and between countries. It is expressed in constant 2011 international dollars.



Tra i paesi con il più alto reddito pro-capite troviamo il Lussemburgo, il Liechtenstein, la Svizzera, Qatar, Singapore, Stati Uniti, paesi del Nord Europa. L'Italia è al 27esimo posto con un Pil pro capite pari a \$ 34.321.

Per il futuro ci si aspetta che i paesi con più elevato Pil pro-capite saranno quelli che lo avevano nel 1700, quindi Cina, India e Giappone, con invece un decrescita per gli Stati Uniti e l'Europa Occidentale.



Facendo la quota cumulativa di questi dati, otteniamo la **curva di Lorenz** della distribuzione.

L'area compresa tra la curva così definita e la **retta di equidistribuzione** (la bisettrice del primo quadrante) è detta **area di concentrazione**.

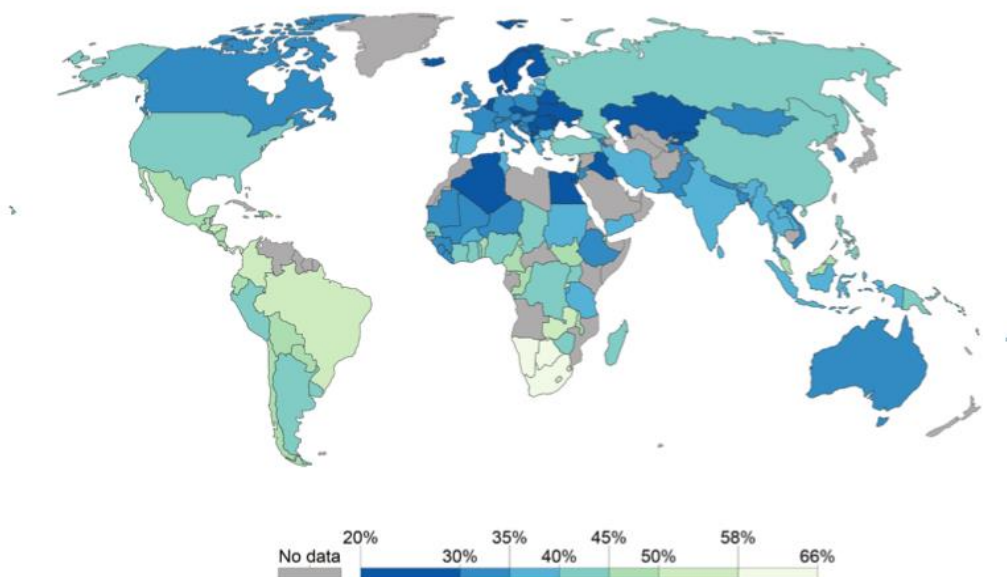
Il coefficiente di Gini è definito come il rapporto tra l'area di concentrazione (A) e l'area totale sotto la linea di perfetta uguaglianza (A+B):

$$G = \frac{A}{(A + B)}$$

Valori bassi del coefficiente indicano una distribuzione abbastanza omogenea, con il valore 0 che corrisponde alla pura equidistribuzione, ad esempio la situazione in cui tutti percepiscono esattamente lo stesso reddito; valori alti del coefficiente indicano una distribuzione più diseguale, con il valore 1 che corrisponde alla massima concentrazione, ovvero la situazione dove una persona percepisca tutto il reddito del paese mentre tutti gli altri hanno un reddito nullo.

Economic inequality – Gini Index, 2013

Shown is the World Bank (PovcalNet) inequality data. This data includes both income and consumption measures and comparability across countries is therefore limited. A higher Gini index indicates higher inequality.



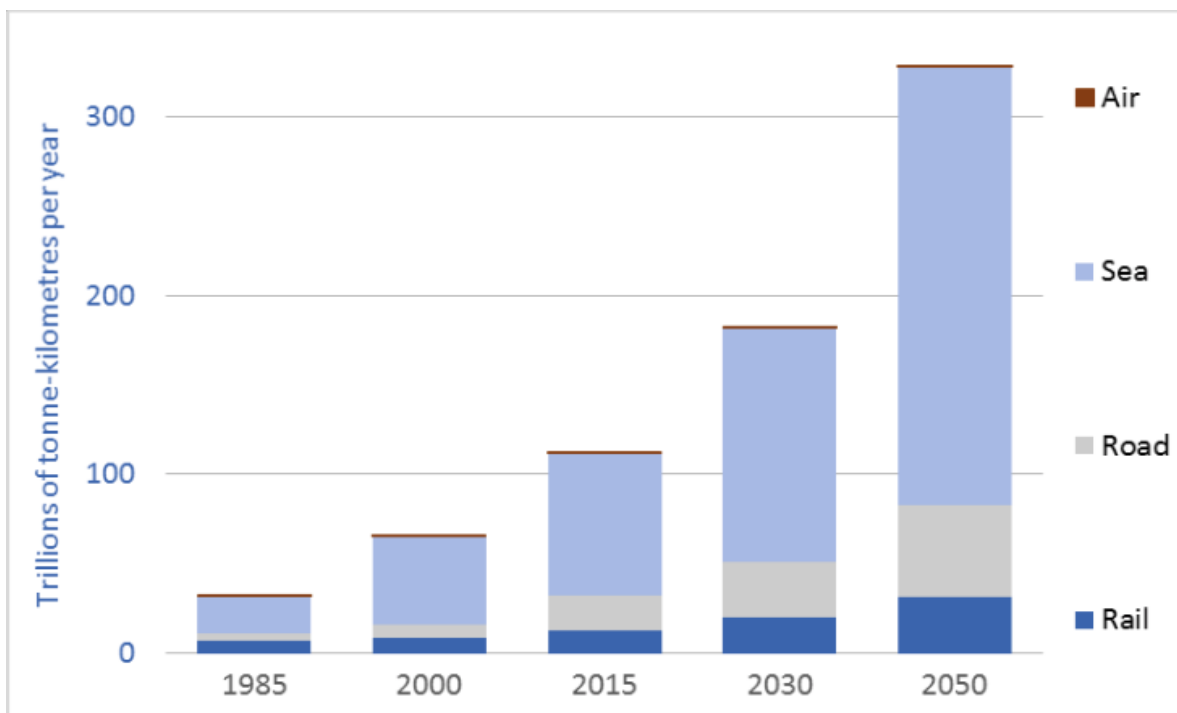
Osservando la mappa mondiale del coefficiente di Gini sul reddito, si nota che i paesi scandinavi sono quelli dove il reddito è più equamente distribuito (al primo posto troviamo la Danimarca). Seguono la Germania, l'Austria, il Belgio, ecc. La maggior parte delle nazioni Europee sviluppate ha coefficienti di Gini compresi tra 0,24 e 0,36. Il coefficiente di Gini degli Stati Uniti d'America invece supera 0,4, indicando una maggiore disegualianza di reddito nella popolazione statunitense. Tuttavia si deve tenere presente che il coefficiente di Gini può essere fuorviante quando si facciano paragoni tra i paesi geograficamente grandi e i piccoli; il coefficiente di Gini, infatti, misurato per paesi geograficamente molto grandi, risulta generalmente molto più alto rispetto a ciascun coefficiente calcolato per le sue regioni. L'Italia è al 52esimo posto con un $G=0,36$ (anno 2000).

GLOBALIZZAZIONE

La **globalizzazione** indica quanto ci stiamo connettendo l'uno con l'altro, ossia descrive il fenomeno causato dall'intensificazione degli scambi e degli investimenti internazionali su scala mondiale, con la conseguenza di una tendenzialmente sempre maggiore interdipendenza delle economie nazionali, che ha portato anche a interdipendenze sociali, culturali, politiche, tecnologiche e sanitarie.

Tra gli aspetti positivi della globalizzazione vanno annoverati la velocità delle comunicazioni e della circolazione di informazioni, l'opportunità di crescita economica per nazioni a lungo rimaste ai margini dello sviluppo economico mondiale, la contrazione della distanza spazio-temporale e la riduzione dei costi per l'utente finale grazie all'incremento della concorrenza su scala planetaria.

Gli aspetti negativi sono lo sfruttamento, il degrado ambientale, il rischio dell'aumento delle disparità sociali, la perdita delle identità locali, la riduzione della sovranità nazionale e dell'autonomia delle economie locali, la diminuzione della privacy.



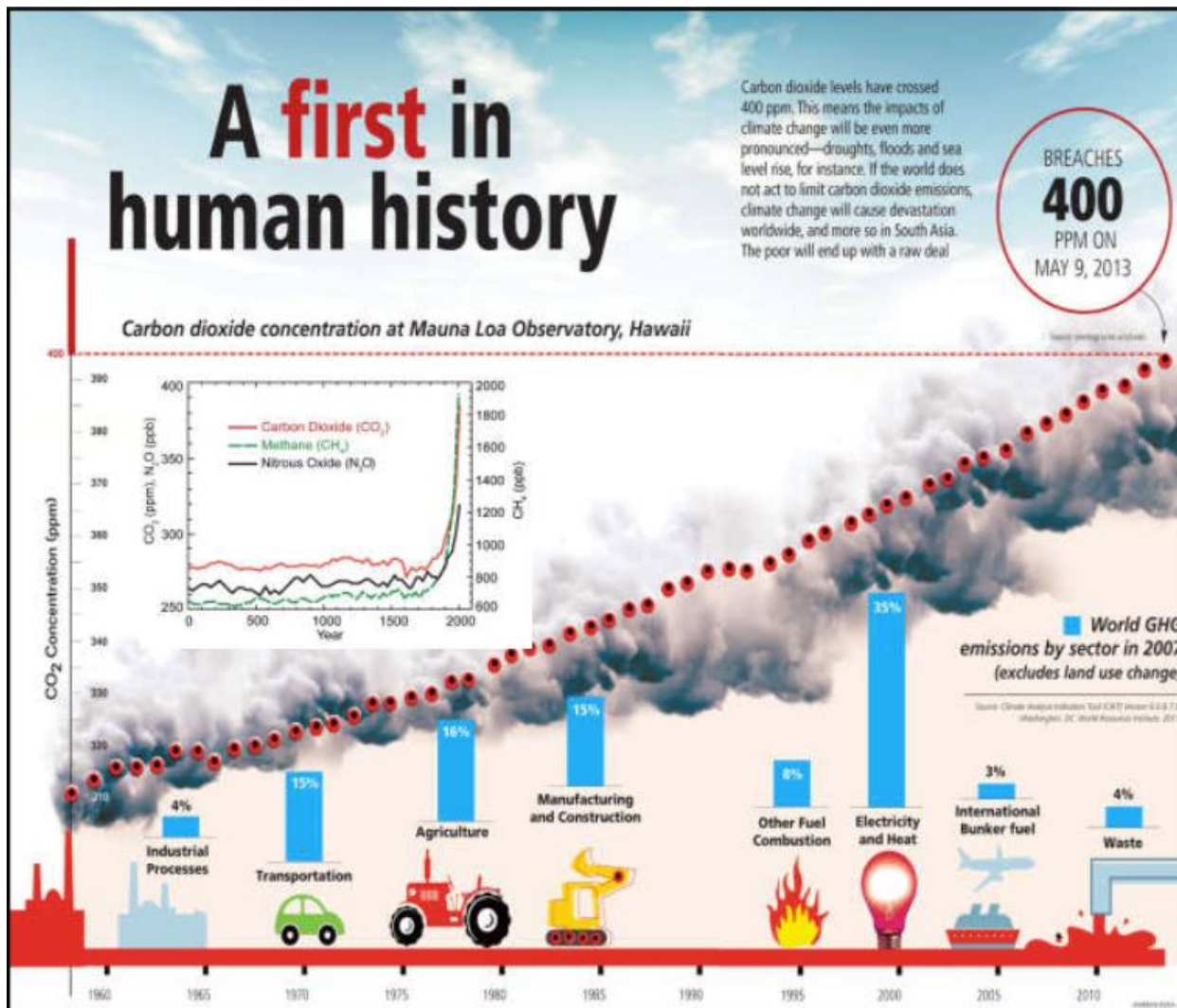
Gli scambi via mare sono quelli più in tendenza.

Nota: una tonnellata/kilometro è l'equivalente di muovere una tonnellata per un chilometro. Esso è quindi il prodotto delle tonnellate utili per i km percorsi.

Le mappe che seguono indicano il grado di apertura di ogni nazione, la quale indica la somma di esportazione ed importazioni di beni e servizi misurati come una quota del prodotto interno lordo.

La prima indica l'andamento di questi scambi nel 1960, la seconda nel 2016.

LEZIONE 8 – CARBON CAPTURE AND STORAGE



Fino al 1880 le emissioni prodotte dalle attività umane non superavano i 50 ppm e la principale fonte di energia derivava dal legno.

Con l'avvento del carbone, le emissioni sono a oltre 150 ppm durante il periodo della Prima e della Seconda Guerra Mondiale, ma la vera svolta si ha con il petrolio e il gas naturale, e a seguire il nucleare e l'idroelettrico. Mentre questi ultimi due contribuiscono all'emissione di circa 100 ppm tra gli anni '80 e 2000, petrolio e gas naturale sono i combustibili fossili più utilizzati grazie al loro prezzo economico, alla loro facilità di trasporto e soprattutto al loro grande importo energetico. A causa però della loro combustione, ci ritroviamo oggi con oltre 400 ppm di anidride carbonica in atmosfera, più tutti gli altri gas climalteranti emessi.

L'anidride carbonica è un gas asfissiante (inodore) e non è classificato come tossico o pericoloso. Nonostante ciò, alte concentrazioni di CO₂ (> 600 ppm) possono portare ad effetti indesiderati sulla salute umana.

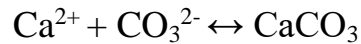
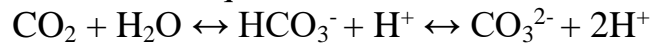
Nell'atmosfera, ora come ora, sono presenti 800 Gt di Carbonio. Quantità simili, se non maggiori, le troviamo naturalmente sulla superficie terrestre, nel sottosuolo e

I flussi principali quindi del ciclo del carbonio sono di origine naturale ed antropici, imputabili ad una serie di processi (reazioni).

Reazioni principali relative al ciclo del carbonio:

- Respirazione/fotosintesi: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

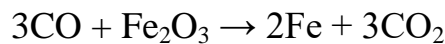
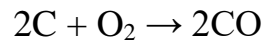
- Reazioni di equilibrio nell'acqua:



- Combustione:



- Produzione del ferro:



- Calcinazione: $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ a $T=850^\circ C$

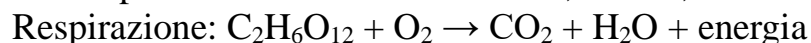
Metabolismo delle piante

Le **piante C3** sono tutte quelle piante caratterizzate dal ciclo Calvin alternato alla fotorespirazione. Si chiamano piante C3 perché il frutto dell'organico del carbonio è dato da due molecole di trioso-fosfato (3 fosfoglicerato), quindi due molecole a tre atomi di carbonio.

Il **ciclo di Calvin** consente l'accrescimento della pianta, ossia la biosintesi di quei complessi macromolecolari che consentono alla pianta di crescere.

La **fotorespirazione**, al contrario, limita l'accrescimento della pianta e consuma l'ossigeno presente nella cellula vegetale e che in parte è stato liberato dalla fotosintesi stessa.

Le piante C3 vivono in zone a clima temperato, ciò consente alle foglie una completa apertura degli stomi in determinate ore della giornata (di giorno). Con l'apertura completa degli stomi può entrare l'anidride carbonica necessaria all'attivazione delle reazioni carbossiliche operate dalla Rubisco. Di notte, invece, consumano ossigeno.



La **Rubisco** è un enzima che riesce a legare sia l'ossigeno molecolare, sia il biossido di carbonio.

In condizioni di pari quantità di O_2 e CO_2 nella cellula vegetale, la Rubisco tende a legare il biossido di carbonio per la fissazione del carbonio (= fotoassimilazione della CO_2). Condizioni di stress, però, non sempre consentono un'apertura completa degli stomi e i livelli di Ossigeno potrebbero essere molto più elevati rispetto a quelli di CO_2 . Ossigeno e anidride carbonica competono e possiamo quindi avere sia fotosintesi (produzione di biomassa vegetale), sia un'ossidazione.

Il metabolismo delle piante C3 è possibile perché, in condizioni ottimali, la Rubisco riesce a far prevalere la fissazione del carbonio alla fotorespirazione.

Le **piante C4** vivono in zone dal clima tropicale e quindi durante il giorno hanno gli stomi prevalentemente chiusi. Non entra CO_2 . Queste piante, per evitare che la rubisco potesse costantemente reagire con l'ossigeno e attuare la fotorespirazione,

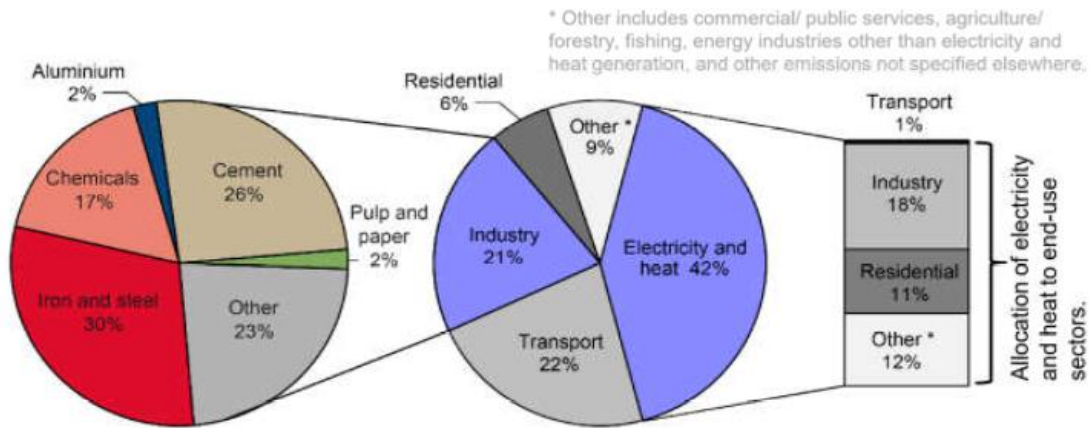
Il **petrolio** e **gas naturale** derivano dai processi di degradazione di microrganismi e organismi sul fondo degli oceani. I sedimenti depositati sul fondo degli oceani, accrescendo il loro spessore e quindi il loro peso, sprofondano nel fondale marino; a mano a mano che gli altri sedimenti si accumulano, la pressione su quelli sottostanti aumenta e la temperatura si alza di diverse centinaia di gradi. Abbiamo così una trasformazione del materiale organico.

Gli idrocarburi che si formano all'interno della roccia madre sono in genere dispersi nei sedimenti e devono avere la possibilità di migrare e concentrarsi per formare accumuli economicamente significativi. È stato calcolato che soltanto il 5% degli idrocarburi che si formano può accumularsi in giacimenti di una certa importanza. La migrazione avviene in due fasi. La **migrazione primaria** permette la fuoriuscita degli idrocarburi dalla roccia madre, con un meccanismo di espulsione analogo a quello che provoca l'allontanamento dell'acqua originariamente presente nei sedimenti per la pressione crescente a cui questi sono sottoposti. L'olio e il gas sono più leggeri e meno densi dell'acqua, per cui durante la **migrazione secondaria**, tendono a risalire verso l'alto utilizzando i pori e le fratture delle rocce. Perché la migrazione possa avere luogo, è necessario che le rocce circostanti siano permeabili, cioè possiedano pori e fratture di dimensioni tali da permettere il passaggio delle gocce di olio e delle bolle di gas. Tanto maggiore sarà la permeabilità delle rocce circostanti, tanto più grande sarà la possibilità che si raccolgano grandi quantità di idrocarburi. La permeabilità dipende dalla storia geologica della regione ed è condizionata da due importanti fattori: la permeabilità iniziale dipende dal tipo di roccia e dalle condizioni di formazione ed è molto elevata nelle ghiaie e nelle sabbie, si riduce nelle arenarie, è molto bassa nei calcari e nelle rocce ignee e metamorfiche); la permeabilità secondaria è creata da fratture e faglie che si formano nella roccia a seguito di deformazioni tettoniche o da vuoti che si formano per processi di carsificazione. Le province petrolifere più produttive vanno quindi cercate dove la storia geologica ha reso più probabile la presenza di rocce permeabili intorno a rocce con caratteristiche di rocce madri.

Le **risorse petrolifere convenzionali** sono costituite da giacimenti per i quali le caratteristiche geologiche delle formazioni che contengono il greggio e le proprietà fisiche stesse del fluido consentono al greggio di fluire spontaneamente verso i pozzi di estrazione. Contrariamente si definiscono **non convenzionali** le risorse petrolifere intrappolate in depositi rocciosi a basse porosità e permeabilità o costituite da greggio a densità elevata (prossima o superiore a quella dell'acqua), il cui sfruttamento comporta l'applicazione di specifiche tecnologie di recupero.

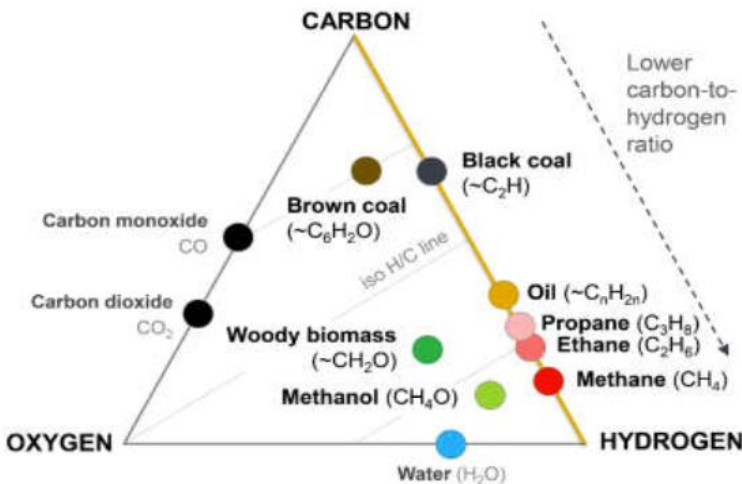
La **fratturazione idraulica** o **fracking** è lo sfruttamento della pressione di un fluido, generalmente acqua, per creare e poi propagare una frattura in uno strato roccioso del sottosuolo. La fratturazione viene eseguita dopo una perforazione dentro una formazione di roccia contenente idrocarburi, per aumentare la permeabilità al fine di migliorare le produzioni del petrolio o del gas contenuti nel giacimento ed

Le 9 Gt di Carbonio (equivalenti a 35 Gt di CO₂) emesse di derivazione antropogenica sono attribuite soprattutto alla produzione di energia, ai trasporti e al campo industriale (in particolare cementifici e acciaierie).



> 50% of global CO₂ emission stem from large point sources.
 > 20% of global CO₂ emissions emitted by industry.

I vari combustibili che concorrono in una combustione hanno differenti rapporti carbonio-idrogeno (C/H), che esprime il contenuto energetico per unità di massa. Il carbonio ha potere calorifico inferiore rispetto all'idrogeno. Al diminuire del rapporto carbonio-idrogeno, aumenta il contenuto energetico. Se il rapporto è basso, inoltre, si ha una più ridotta liberazione di anidride carbonica durante la reazione.

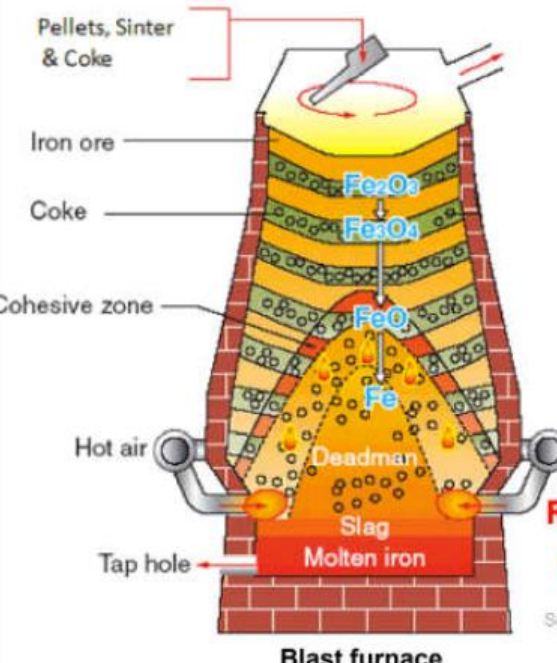


Fuel	C/H ratio	Energy content (MJ/kg)	CO ₂ released (mol/10 ³ kJ)
Hydrogen	0	120	-
Gas	1/4	51.6	1.2
Petroleum	1/2	43.6	1.6
Coal	1/1	39.3	2

La combustione del solo idrogeno non produce CO₂, ma NO_x. Non abbiamo, però, giacimenti di idrogeno: esso è infatti presente in piccole parti in natura, dobbiamo quindi produrlo a partire da combustibili fossili o dall'idrolisi dell'acqua. Bisogna in ogni caso dobbiamo utilizzare energia elettrica. Esso è anche molto difficile da stoccare e non viene solitamente bruciato, ma usato all'interno di celle combustibili. L'idrogeno è un vettore energetico.

Abbiamo visto che la produzione della **ghisa** è una delle attività antropiche che più emette CO₂ in atmosfera. Il carbone concorre alle reazioni chimiche che avvengono a temperature elevatissime.

Le materie prime solide (coke, ossido di ferro) vengono inserite alla testa della fornace. Viene anche introdotto il limestone (carbonato di calcio), che porta via le impurità presenti tramite le scorie che esso forma. Il calore si muove controcorrente.



The diagram shows a cross-section of a blast furnace with the following components and processes:

- Top:** Pellets, Sinter & Coke are added.
- Shaft:** Iron ore (Fe₂O₃) and Coke are added. The process involves the reduction of iron oxide: $Fe_2O_3 + 3 CO \rightarrow 2 Fe + 3 CO_2$.
- Belly:** Limestone (CaCO₃) is added, undergoing calcination: $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$.
- Bosh:** Slag formation occurs, e.g., $CaO + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$ (slag floats) + impurities.
- Raceways:** Hot air is injected, with a temperature of 900 – 1250 °C.
- Hearth:** Molten iron is collected at the bottom. The hottest region in the furnace is ~ 2000-2000 °C.

Source: Purdue University

Un'altra produzione molto importante è quella del cemento idraulico, usato nell'ambito delle costruzioni, e del cemento non idraulico.

Non-hydraulic cement (Lime plaster)

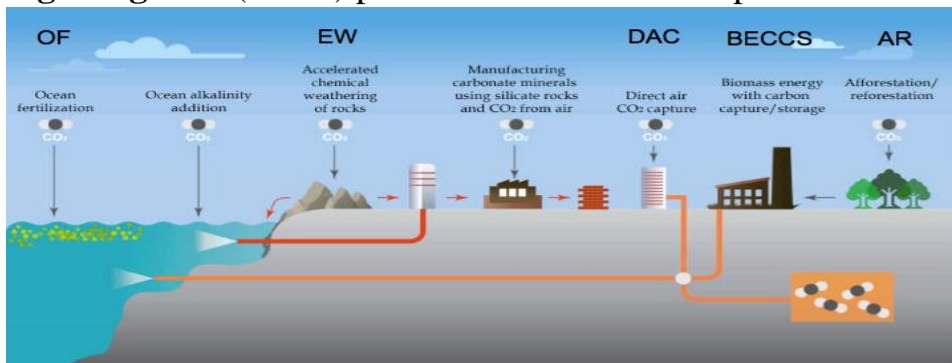
- Not set in wet conditions;
- It dries and react with CO₂ in the air
- Production:
 - Calcination: limestone → quicklime
 $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$
 - Quicklime → slaked lime
 $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$
 - Set after water evaporation
 $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

Hydraulic cement (e.g. Portland)

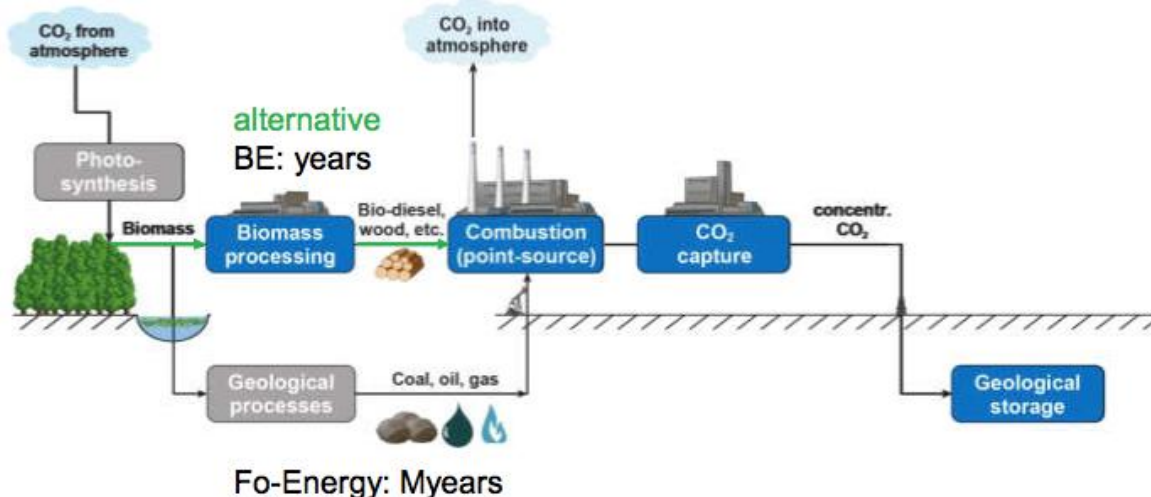
- Set due to chemical reaction between dry ingredients (clinker) and water
- Production in rotary kiln (clay + carbonates):
 - Calcination
 $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$
 - 1000+1100 °C
 - $3 CaO + Al_2O_3 \rightarrow 3 CaO \cdot Al_2O_3$ Tricalcium aluminate
 - $2 CaO + SiO_2 \rightarrow 2 CaO \cdot SiO_2$ Belite
 - $CaO + Fe_2O_3 \rightarrow CaO \cdot Fe_2O_3$
 - 1100+1200 °C Brownmillerite
 $CaO \cdot Fe_2O_3 + 3 CaO \cdot Al_2O_3 \rightarrow 4 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$
 - 1250+1480 °C Alite
 $2 CaO \cdot SiO_2 + CaO \rightarrow 3 CaO \cdot SiO_2$

Ne vengono prodotti 4200 Mt/anno.

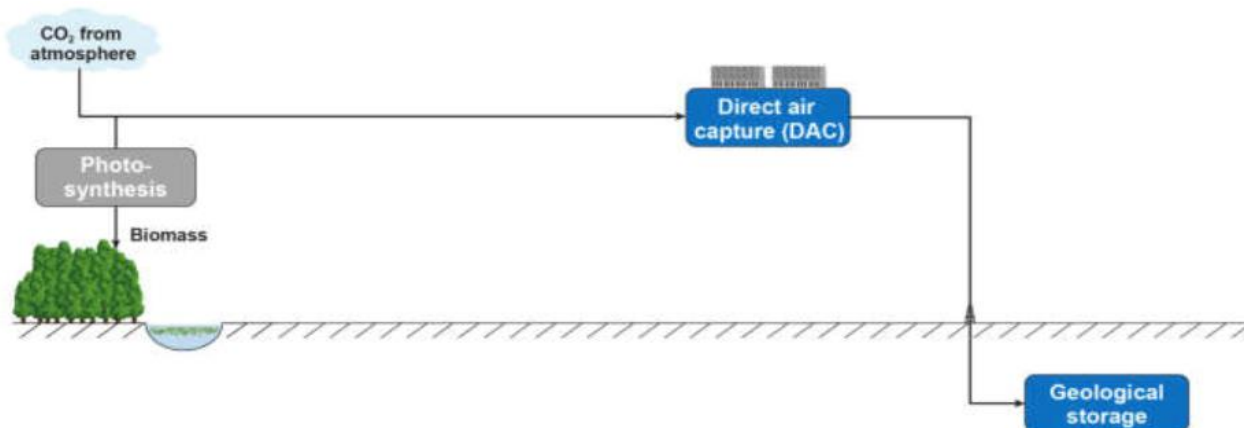
Le **tecnologie negative (NETs)** possono essere di vario tipo.



Per la sottrazione di anidride carbonica possiamo per esempio attuare una afforestamento/riforestazione (**AR**), oppure attuare un **BECCS**, ossia una carbon capture and storage associata all'energia derivante dalle biomasse. Il concetto è quello di utilizzare non un combustibile fossile, ma biomassa legnosa, che già di per sé contiene anidride carbonica sequestrata dall'atmosfera tramite la fotosintesi. Questa viene liberata, catturata e stoccata nel sottosuolo.



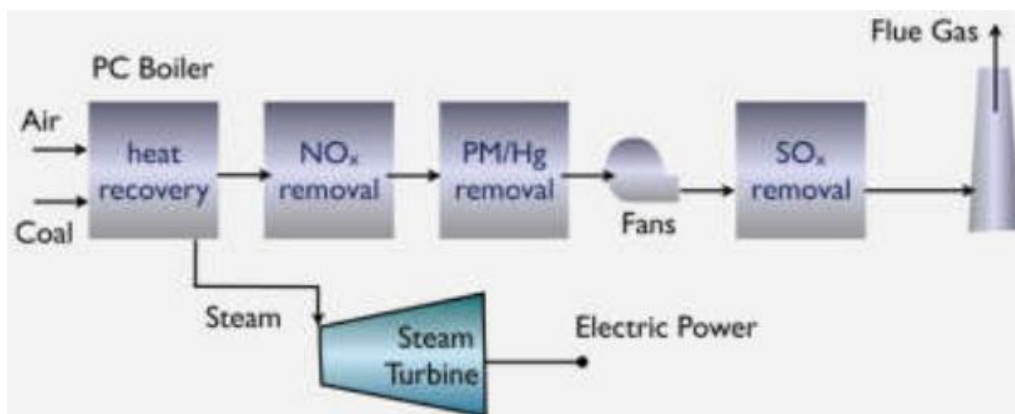
Un'altra tecnologia è la **Direct Air CO₂ Capture (DAC)**, ossia la cattura diretta di anidride carbonica dall'atmosfera tramite una struttura. Necessita di molta energia per il suo funzionamento. La CO₂ che viene concentrata può essere stoccata o utilizzata per altri scopi.



Pensiamo di effettuare un processo di **post-combustione** per la carbon capture and storage.

Consideriamo un impianto classico per la generazione di energia elettrica. Abbiamo in entrata il combustibile ed il comburente che reagiscono: il vapore prodotto arriva in una turbina dalla quale si genera la desiderata energia. Il carbonio è totalmente convertito in CO_2 .

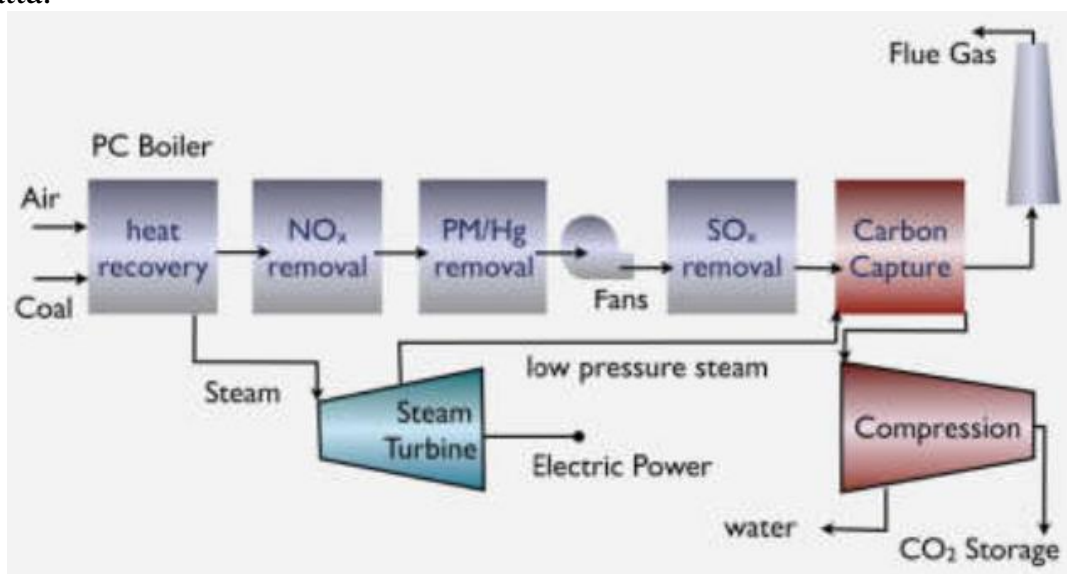
Abbiamo poi i fumi di scarto e il materiale, di cui fanno parte gli NO_x , il particolato aerodisperso e gli SO_x ; questi vanno abbattuti prima che il flusso d'aria esca dal camino.



Per poter recuperare l'anidride carbonica, il passo più difficile da compiere è isolarla dagli altri gas. Ciò che dà i maggiori problemi non è tanto l'acqua, che si separa facilmente, quanto l'azoto. Questo perché l'azoto è molto più difficile da liquefare rispetto alla CO_2 , dal momento che dovremmo impiegare molta energia per abbassare la temperatura al punto di liquefazione dell'azoto.

Ciò che dobbiamo fare è separare questi due gas e liquefare la CO_2 , per poterla così trasportare meglio.

Non è richiesto cambiare di molto la configurazione della centrale elettrica originaria. Si aggiunge infatti uno stadio di prelievo dell'anidride carbonica dalla turbina; questa viene inviata in una zona di cattura e successivamente in un compressore dove viene liquefatta.

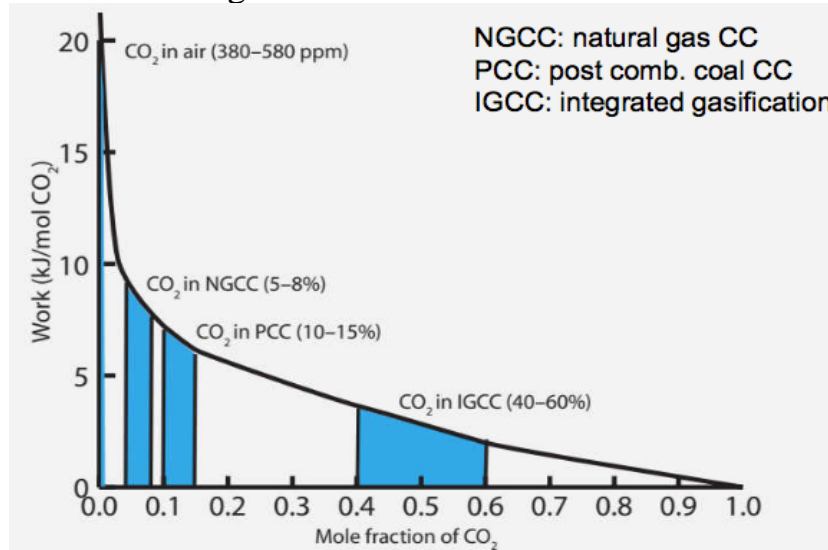


Il vantaggio di questo sistema è che l'ossido di metallo si lega all'ossigeno, ma non si lega all'azoto.

Uno degli aspetti più critici è la stabilità del materiale metallico e la sua rigenerazione.

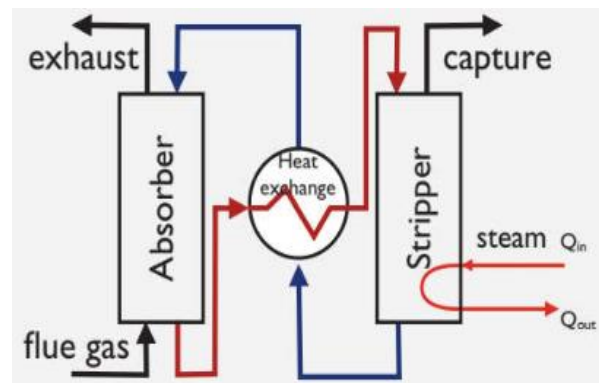
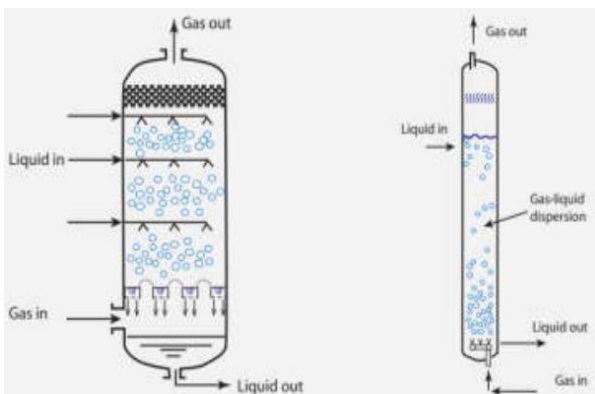
La CO₂ uscente può essere separata e liquefatta.

Il lavoro minimo di separazione dell'azoto dall'anidride carbonica dipende dalla concentrazione di CO₂ che vogliamo trattare.



Si nota che più è bassa la concentrazione di CO₂, maggiore è l'energia da spendere per separarla dagli altri gas.

L'**assorbimento** è il processo con cui si separa una sostanza da un flusso aeriforme utilizzando una fase di separazione liquida. Questa fase liquida contiene delle sostanze che sono in grado di legarsi alla CO₂, ossia riescono a sottrarla alla fase aeriforme e a trasferirla alla fase liquida. Il gas uscente dal reattore sarà solo azoto. Un esempio di fase di separazione liquida è la monoetanol-ammina, C₂H₇NO. Dopodiché, separo la monoetanol-ammina dalla CO₂ attraverso un processo di strippaggio: vi è una differenza di temperatura che fa sì che la fase liquida liberi l'anidride carbonica, la quale viene catturata. La monoetanol-ammina viene riciclata.

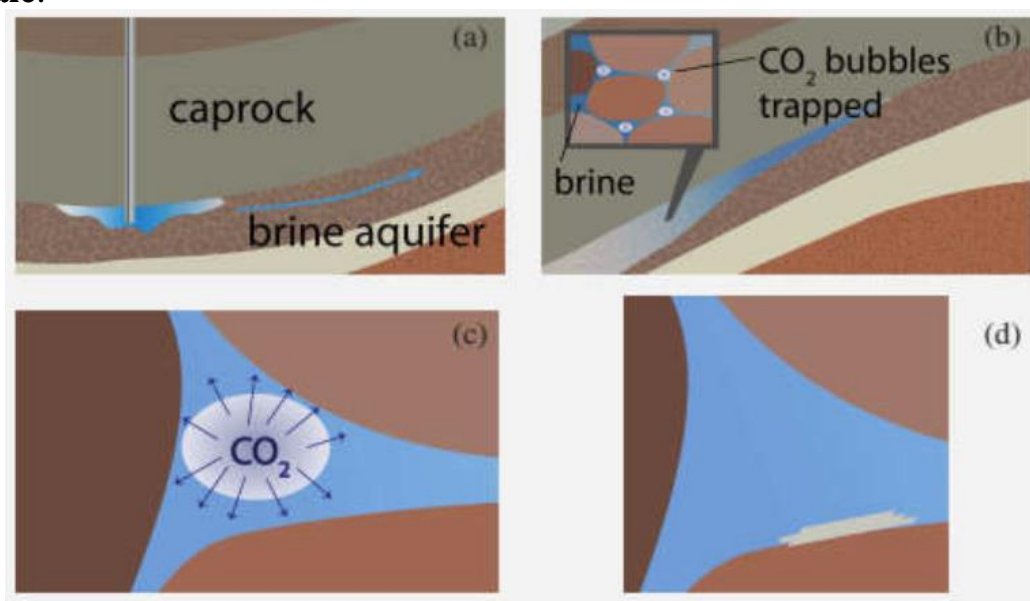


Stoccaggio nel sottosuolo

La CO₂ viene intrappolata ed immobilizzata per mezzo dell'**intrappolamento stratigrafico** in strati del sottosuolo impermeabili (**caprock**), di modo che essa non riesca a liberarsi.

Si verificano dei fenomeni di **intrappolamento capillare**: per effetto delle forze capillari che si formano all'interno del mezzo poroso, la CO₂ viene intrappolata. La CO₂ è poi in parte solubile nei liquidi che vengono a formarsi, e in parte quindi si discioglie → **intrappolamento di solubilità**.

I processi geochimici riguardano la mineralizzazione della CO₂, che determina l'immobilizzazione permanente dell'anidride carbonica → **intrappolamento minerale**.



Bio Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS)

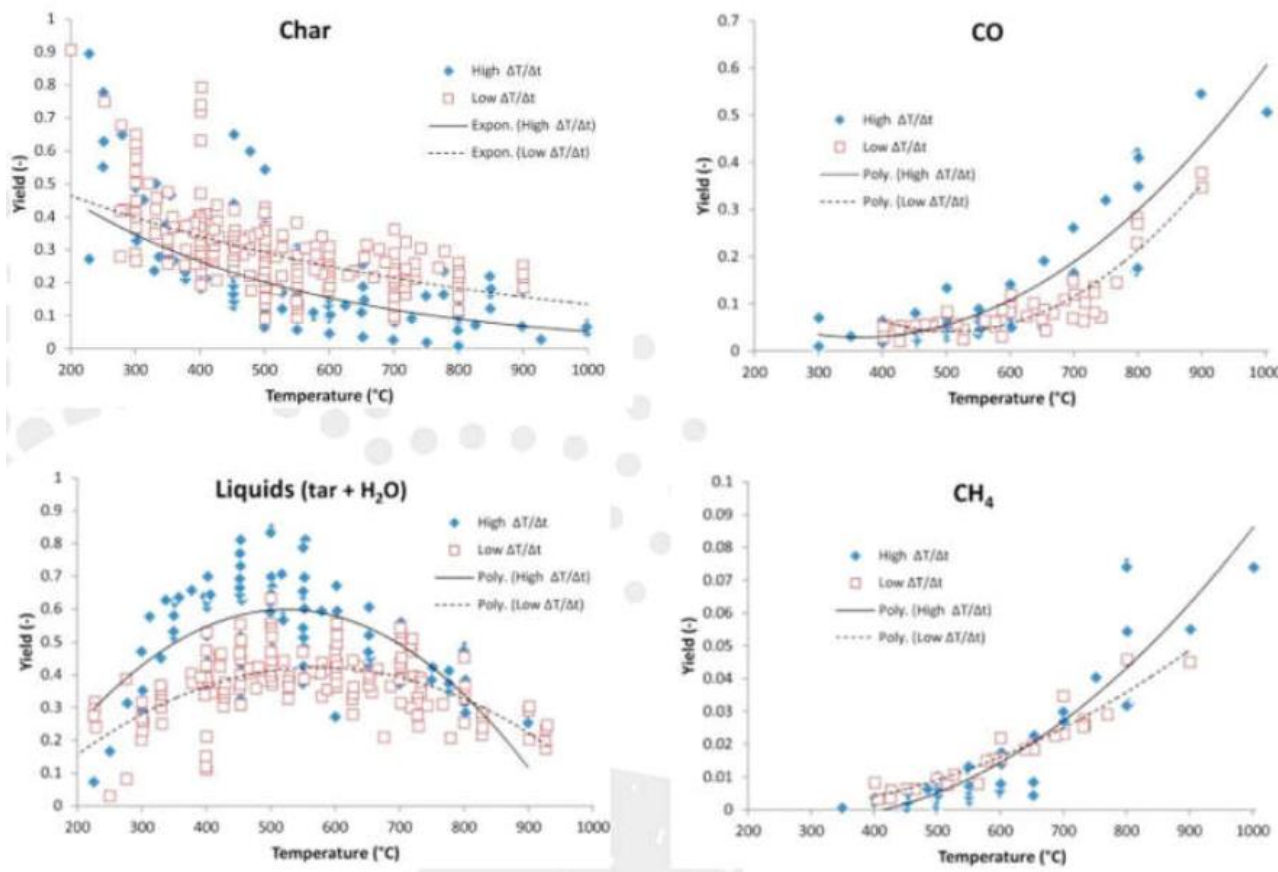
Avviene questa tecnologia negativa quando utilizziamo biomassa legnosa come combustibile per la sottrazione di CO₂.

Maggiore è la grandezza dell'albero e maggiore sarà la sua capacità di catturare anidride carbonica al suo interno e la sua velocità di intrappolamento.

Un altro approccio molto promettente è l'utilizzo delle alghe e non solo delle specie boschive.

Il **biochar** è un prodotto ricavato dal processo di pirolisi della biomassa, ossia di una combustione parziale in un ambiente privo di ossigeno.

Abbiamo due metodi per ottenere il biochar: lo **slash and burn** e lo **slash and char**. Lo slash and burn, in italiano **debbio** o **addebbiatura**, è una pratica di miglioramento dei terreni agrari che consiste nell'incendio dei residui colturali e della vegetazione. Lo slash and char è un'alternativa allo slash and burn, che si basa sulla pirolisi della biomassa, ossia carbonizzarla e non bruciarla, in cumuli coperti da terra. Da ciò si produce il biochar, che può essere usato come ammendante.



Enhanced weathering

Riguarda i processi di dilavamento, lisciviazione di alcuni composti che possono concorrere alla cattura di CO₂ atmosferica. È un processo che avviene naturalmente, quello che noi possiamo fare è accelerarlo e/o aumentare la superficie specifica dei materiali sottoposti a dilavamento.

Il materiale viene lasciato in bacini può essere sottoposto ai fenomeni atmosferici, il quale può rilasciare cationi o altre sostanze.

Per concludere, la CO₂ che stochiamo possiamo anche trasformarla in altre sostanze e prodotti con un valore economico.

Table 3 | Costs of utilization compared with product costs, scoping review

Pathway	Cost of product made with CO ₂ utilization (US\$ per tonne of product) Median, scoping review	Selling price of product (US\$ per tonne of product) Present day	Difference (%)	Anticipated cost relative to incumbent in 2050 (summary, expert opinion survey and author group judgement)	Anticipated direction of cost relative to incumbent in 2050 (summary, expert opinion survey and author group judgement)
Polymers	1,440	2,040	-30%	Likely to be cheaper	Downward
Methanol	510	400	+30%	Insufficient consensus	Downward
Methane	1,740	360	+380%	Likely to be more expensive	Downward
Fischer-Tropsch fuels	4,160	1,200	+250%	Likely to be more expensive	Downward
Dimethyl ether	2,740	660	+320%	Insufficient consensus	Downward
Microalgae	2,680	1,000	+170%	Likely to be more expensive	Insufficient consensus
Aggregates	21	18	+20%	Insufficient consensus	Downward
Cement curing	56	71	-20%	Likely to be cheaper	Downward
CO ₂ -EOR	n.a.	n.a.	n.a.	Likely to be more expensive	Upward

Median cost estimates for products made with CO₂ utilization are derived from the backward-looking scoping review. References for the selling prices are set out in more detail in Supplementary Table 4. The costs and cost trends anticipated in 2050 are derived from a forward-looking expert opinion survey and from author group judgement.

- E_i (ha) è l'impronta ecologica derivante dalla sommatoria dei consumi C_i (kg) delle superfici i -esime;
- q_i (ha/kg) è l'inverso della produttività media della superficie i -esima.

Dividendo EF per la popolazione residente nella regione considerata si ottiene l'impronta ecologica procapite.

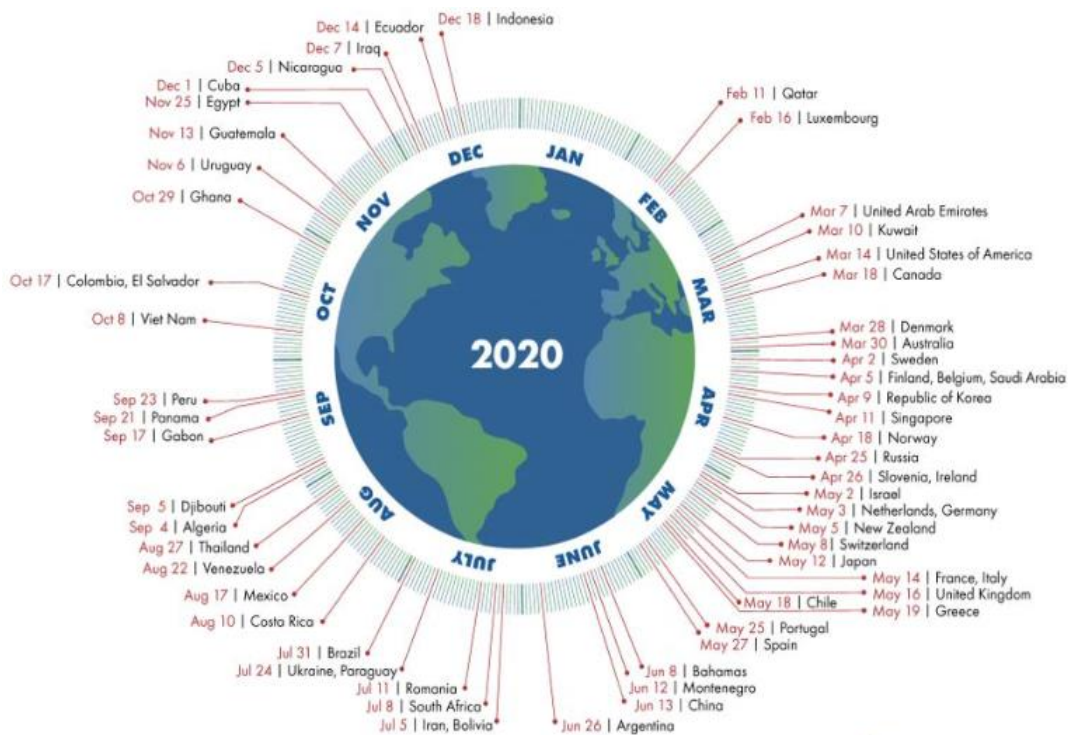
Se l'impronta mondiale è maggiore della capacità bioprodotiva globale significa che stiamo consumando le risorse più velocemente di quanto potremmo, ossia stiamo intaccando il capitale naturale e nel futuro potremo disporre di meno materie prime per i nostri consumi. Questa situazione si chiama **deficit ecologico**; in caso contrario si parla invece di **credito ecologico**.

I risultati dell'impronta ecologica sono usati dalla **Global Footprint Network** per il calcolo dell'**Earth Overshoot Day**, ossia il giorno del superamento, che indica la data dell'anno che corrisponde, ipoteticamente, al giorno in cui l'uomo consuma la biocapacità annuale del pianeta

La Global Footprint Network è l'associazione nazionale che annualmente misura l'impronta delle nazioni e dei continenti e verifica il superamento della biocapacità. L'Earth Overshoot Day si calcola come il rapporto tra la BIO (=biocapacità annuale del pianeta Terra) e la HEF (l'impronta ecologica annuale dell'umanità); quest'ultimo è poi calcolato per i giorni dell'anno.

$$EOD = \frac{BIO}{HEF} * 365$$

Il rapporto inverso (HEF/BIO) ci dà invece il numero di Terre necessarie per sostenere l'umanità con un determinato stile di vita.



In base al rapporto WWF – Global Footprint Network, l'impronta ecologica di ogni

Vettore Energetico	Quantità	Emissioni di CO ₂
Gas liquido	1 kg	3,263 kg
Benzina		3,359 kg
Gas naturale		2,303 kg
Petrolio		3,510 kg
Gasolio		3,484 kg

Vettore Energetico	Quantità	Emissioni di CO ₂
E.E. da incenerimento rifiuti (RSU)	1 kwh	0,940 kg
E.E. da impianto tradizionale carbone		0,900 kg
E.E. da impianto da carbone pulito		0,800 kg
E.E. da impianto termoelettrico		0,650 kg
E.E. da rete nazionale		0,580 kg
E.E. da impianto a gas tradizionale		0,500 kg
E.E. da ciclo combinato		0,295 kg
E.E. da impianto eolico		0,00 kg
E.E. da impianto FV		0,00 kg

Normative di riferimento

UNI EN ISO 14067:2018

La norma specifica principi, requisiti e linee guida per la quantificazione e la comunicazione dell'impronta climatica dei prodotti (CFP: Carbon Footprint dei Prodotti) conformemente alle norme internazionali sulla valutazione del ciclo di vita (LCA – ISO 14040 e ISO 14044).

Sono specificati anche i requisiti e le linee guida per la quantificazione di una CFP parziale.

ES. La quantificazione delle emissioni di gas serra lungo tutto il ciclo di vita dei prodotti Valverde <<dal campo alla forchetta>> è stata calcolata considerando le seguenti fasi del ciclo di vita del pollo:

- Coltivazione e produzione del mangime;
- Allevamento dei polli;
- Produzione degli imballaggi;
- Trasporto del pollame;
- Lavorazione e confezionamento;
- Distribuzione;
- Cottura da parte del consumatore.

UNI EN ISO 14064-1:2019

La norma specifica i principi ed i requisiti, al livello per l'organizzazione, per la quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di gas serra e della loro rimozione.

carne in scatola Montana:

CARNE IN SCATOLA MONTANA LINEA CLASSICA DA 70g

DATI PER 1 KG DI PRODOTTO

CONSUMO DI ACQUA	UPSTREAM PROCESSES		CORE PROCESSES		DOWNSTREAM PROCESSES		TOTALE	
	ALLEVAMENTO BOVINI	PRODUZIONE PACKAGING	MACELLAZIONE	PRODUZIONE CARNE IN GELATINA	DISTRIBUZIONE PRODOTTO FINITO	FINEVITA IMBALLAGGIO PRIMARIO		
dati in litri	354,4	14,6	12,3	7,5	<0,1	0,0	388,8	
INDICATORI DI IMPATTO								
GREENHOUSE GASES POTENTIAL (GWP) - fossile	kg CO ₂ eq	1,8	1,4	0,7	1,0	0,1	<0,1	5,0
GREENHOUSE GASES POTENTIAL (GWP) - biogenico	kg CO ₂ eq	1,6	-0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	1,7
ACIDIFICATION POTENTIAL (AP)	g SO ₂ eq	80,7	6,0	2,3	1,4	0,4	<0,1	90,8
EUTROPHICATION POTENTIAL (EP)	g PO ₄ ⁻³ eq	28,8	0,6	0,3	0,2	0,1	<0,1	30,0
PHOTOCHEMICAL OXIDANT FORMATION POTENTIAL (POFP) [®]	g NPMOC eq	8,6	3,7	2,3	1,5	0,5	<0,1	16,6

LEZIONE 10 – INDICATORI EMBODIED ENERGY ed EMBODIED CARBON

Analisi del ciclo di vita

La definizione di **analisi del ciclo di vita** nasce alla fine degli anni '60 negli Stati Uniti, dove dei ricercatori svilupparono il « Resource and Environment Profile Analysis » (REPA), precursore dell'analisi di bilancio di materia e energia.

Nel 1969, la Coca-Cola commissiona al Research Institute of Meadwest uno studio con lo scopo di comparare i costi di fabbricazione, l'energia utilizzata, la disponibilità di materie prime e la possibilità di riciclo della bottiglia di vetro e della bottiglia di plastica.

Con questa ricerca è stata applicato il bilancio di materia e di energia non solamente a singoli processi industriali ma all'intero ciclo di vita di un prodotto.

Con gli anni 90, è iniziato un processo di normalizzazione concretizzato nella pubblicazione dei manuali da parte di diversi gruppi di ricerca, culminando nella pubblicazione della norma ISO 14040 nel 1997.

Vi è un denominatore comune che caratterizza sia uno studio “tradizionale Life Cycle Assessment”, tendenzialmente applicato ad un prodotto o ad un processo industriale, sia uno studio del ciclo di vita dell'edificio. La produzione di un oggetto si può comparare ad un flusso di input ed output. Questo sistema industriale è la base dell'analisi di valutazione del ciclo di vita. Il **sistema ambiente** è ciò che delimita il ciclo di vita, ossia quello che ci mette a disposizioni le materie prime, l'energia ed i rilasci in atmosfera. Esso è un sistema chiuso e gode quindi di una certa impermeabilità.

L'utilità della metodologia LCA è da ricercare nella possibilità di avvalersi di una procedura di valutazione univoca e condivisa, in grado di classificare e caratterizzare un impatto ed esprimerlo in un effetto ambientale equivalente.

	EMBODIED	OPERATIONAL
ENERGY	Energy used to: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Extract raw resources ▪ Process materials ▪ Assemble building components ▪ Transport between each step ▪ Construction ▪ Maintenance and repair ▪ Deconstruction ▪ Disposal 	All energy (electricity, steam and natural gas used to operate building): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Heating/cooling ▪ Lighting ▪ Equipment ▪ Ventilation
CARBON	Carbon emissions resulting from: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Combustion of fossil fuels to generate energy noted above ▪ Chemical reactions that emit greenhouse gasses to atmosphere. ▪ Sequestration/carbon absorbed during growth or manufacturing ▪ Combustion of bio-fuels to generate energy noted above Note: sequestration and biogenic carbon emissions ideally should be reported as a separate inventory item to enable clear evaluation of data.	Operational carbon emissions depend upon quantity of fuel used on fuel source and combustion method. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Electrical grid emissions ▪ Site natural gas and oil combustion ▪ Site wood & pellet combustion (see note under embodied carbon)

In passato la fase d'uso era la più impattante. Si è puntato molto recentemente all'efficienza energetica negli edifici, e la fase più emissiva del processo è ora quella che riguarda i materiali di produzione.

Il bilancio energetico è possibile se si introducono parametri di normalizzazione:

- numero di anni del ciclo di vita dell'edificio (o di un qualsiasi prodotto);
- unità funzionale.

Questo bilancio è la somma dell'Operational Energy in fase d'uso con tutti gli Embodied Energy relativi ad ogni step del ciclo di vita dell'edificio, dalla produzione dell'opera fino allo smaltimento. Il risultato totale è chiamato **Building Gross Energy Requirements**.

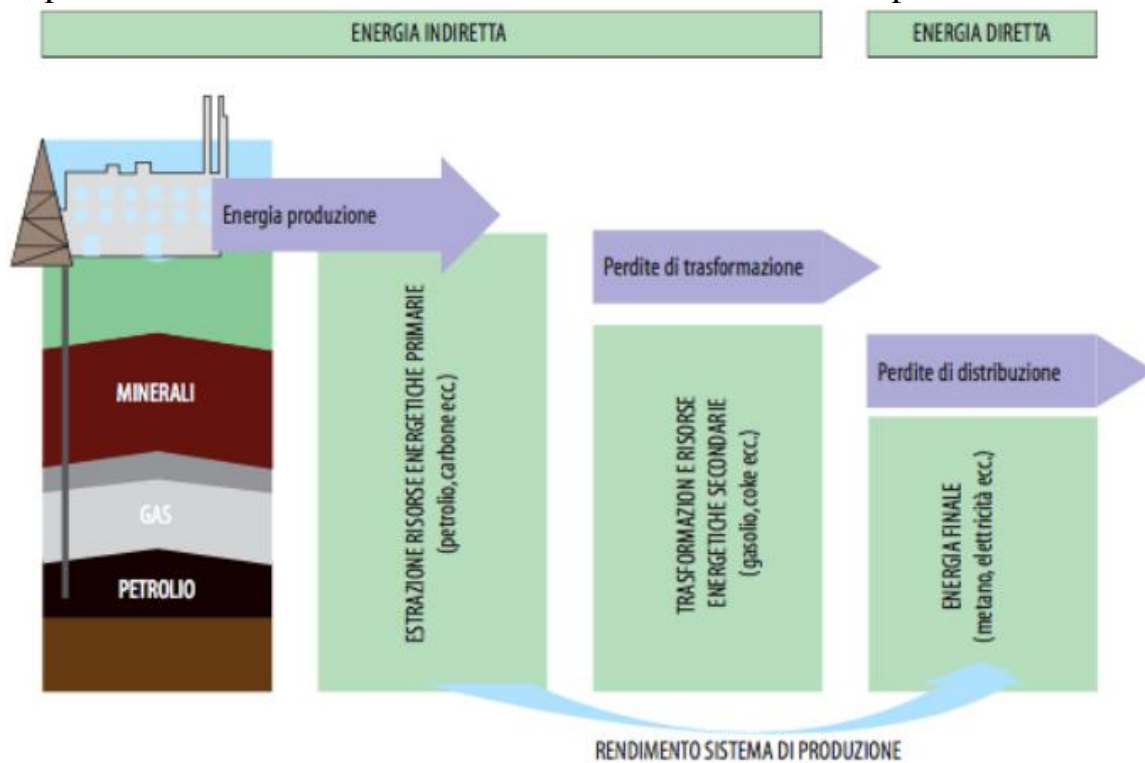
Secondo una metodologia analoga a quella adottata per il bilancio energetico è possibile condurre un bilancio ambientale.

Questo infatti è la somma dell'Operational Carbon in fase d'uso dell'edificio con gli Embodied Carbon relativi ad ogni step del ciclo di vita dell'edificio. Il risultato totale è chiamato **Building Gross Carbon Emissions**.

In generale, questi bilanci sono dati da:

$$\frac{\text{quantità di energia consumata in fase d'uso} + \text{energia necessaria per ogni step}}{\text{quantità di emissioni durante la fase d'uso} + \text{emissioni rilasciate per ogni step}}$$

L'Embodied Energy è l'energia impiegata nel processo edilizio per estrarre le materie prime in materiali nonché l'energia necessaria per la produzione fuori opera e in opera, per la manutenzione e la dismissione dei materiali e componenti.



L'**energia finale**, detta anche **energia diretta**, è la trasformazione dell'**energia indiretta**, ossia delle risorse energetiche estratte e lavorate per ottenere i combustibili.

L'Embodied Energy è dato dalla somma di queste due componenti: l'energia diretta, quella utilizzata in fase d'uso per far funzionare il processo, ed energia indiretta, quella per creare le risorse energetiche da poter impiegare.

Oltre a queste due categorie di energia, prendiamo in considerazione anche l'**energia di feedstock**. Essa costituisce una quota dell'EE, ovvero energia disponibile nel prodotto, non utilizzata direttamente nel processo di produzione di un materiale. È quell'energia presente all'interno del prodotto stesso, ma che non è stata usata per avere vera e propria energia. Essa è data dalla risorsa energetica per avere quello specifico prodotto

La quantità di feedstock è molto variabile: dipende dal tipo di prodotto e dalla risorsa energetica con cui è stato creato (= energia indiretta).

Quando studio un prodotto, devo quindi valutare l'energia diretta ed indiretta (denominatore comune) ed eventualmente l'energia di feedstock. Questi tre vettori sommati tra di loro mi danno il valore complessivo di Embodied Energy.

In modo del tutto simile si possono fare valutazioni sull'Embodied Carbon. Ricordiamo che essa misura la quantità di anidride carbonica equivalente emessa nelle fasi del ciclo di vita di un prodotto o di un edificio sulla base di fattori di