



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

Dipartimento di
**Matematica, Informatica
e Geoscienze**



www.mercurilab.units.it

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN GEOLOGIA (AA 2023-2024)

Corso di Geochimica

I cicli biogeochimici (*II parte*)

Dott.ssa Elisa Petranich

2. Conseguenze dell'alterazione dei cicli biogeochimici dei nutrienti

2. Conseguenze dell'alterazione dei cicli biogeochimici dei nutrienti

Eutrofizzazione →



← Gas serra

Piogge acide →



2.1 Fenomeni di eutrofizzazione

Processo degenerativo dell'ecosistema acquatico dovuto all'eccessivo arricchimento in nutrienti (sali di fosforo e azoto) tale da provocarne un'alterazione dell'equilibrio.



2.1 Fenomeni di eutrofizzazione

Una delle prime **definizioni** di eutrofizzazione risale agli anni '70 ad opera dell'**OCSE** (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico): *«l'eutrofizzazione è un arricchimento delle acque dei Sali nutritivi che provoca cambiamenti tipici quali l'incremento della produzione di alghe e piante acquatiche, l'impovertimento delle risorse ittiche, la generale degradazione della qualità dell'acqua ed altri effetti che ne riducono e precludono l'uso».*

2.1 Fenomeni di eutrofizzazione

Il fenomeno, che negli ultimi decenni ha assunto dimensioni rilevanti anche in **Italia**, interessa gran parte dei nostri laghi, alcuni corsi d'acqua e le acque marine e costiere.

Le **fonti** di generazione dei **nutrienti** possono essere suddivise in:



DIFFUSE

Aree urbane (scarichi auto, fiumi contaminati), suolo

LOCALIZZATE

Allevamento, agricoltura, scarichi ed emissioni industriali, reflui domestici

2.1 Fenomeni di eutrofizzazione

L'aumento di sali nutritivi nell'ecosistema acquatico genera un **aumento della biomassa algale** (consumatori primari) che a sua volta provoca un iniziale **aumento ai livelli successivi della rete trofica** e si forma una biomassa algale sempre più consistente destinata al degrado (catena del detrito).



2.1 Fenomeni di eutrofizzazione

Se in acqua è **disponibile** una quantità sufficiente di **ossigeno** disciolto (necessario alla respirazione degli organismi operanti in aerobiosi) si procede senza problemi alla **mineralizzazione della sostanza organica**.

Ma se la demolizione della biomassa avviene con un **consumo eccessivo di ossigeno** e con una velocità maggiore di quella di rigenerazione dell'ossigeno stesso, si instaura una **condizione anaerobica o anossica**.

2.1 Fenomeni di eutrofizzazione

In condizioni anossiche subentrano agli organismi aerobi gli organismi **degradatori anaerobi**, che compiono i processi di demolizione della biomassa **liberando composti per lo più tossici** (tra i quali l'ammoniaca e l'idrogeno solforato).



2.1 Fenomeni di eutrofizzazione

Principali **effetti negativi** dell'eutrofizzazione

- **aumento** della biomassa fitoplanctonica (*bloom*) tra cui specie tossiche (*Ostreopsis ovata*);
- **aumento** di alghe e macrofite acquatiche;
- **diminuzione** della quantità di ossigeno disciolto;
- **aumento** di composti tossici e conseguente **anossia** con **moria** della flora e fauna acquatica.

2.2 Gas serra

Sono quei gas presenti in atmosfera **trasparenti** alla radiazione solare in **entrata** sulla Terra ma capaci di **trattenere**, in maniera consistente, la radiazione infrarossa **emessa** dalla superficie terrestre, dall'atmosfera e dalle nuvole.

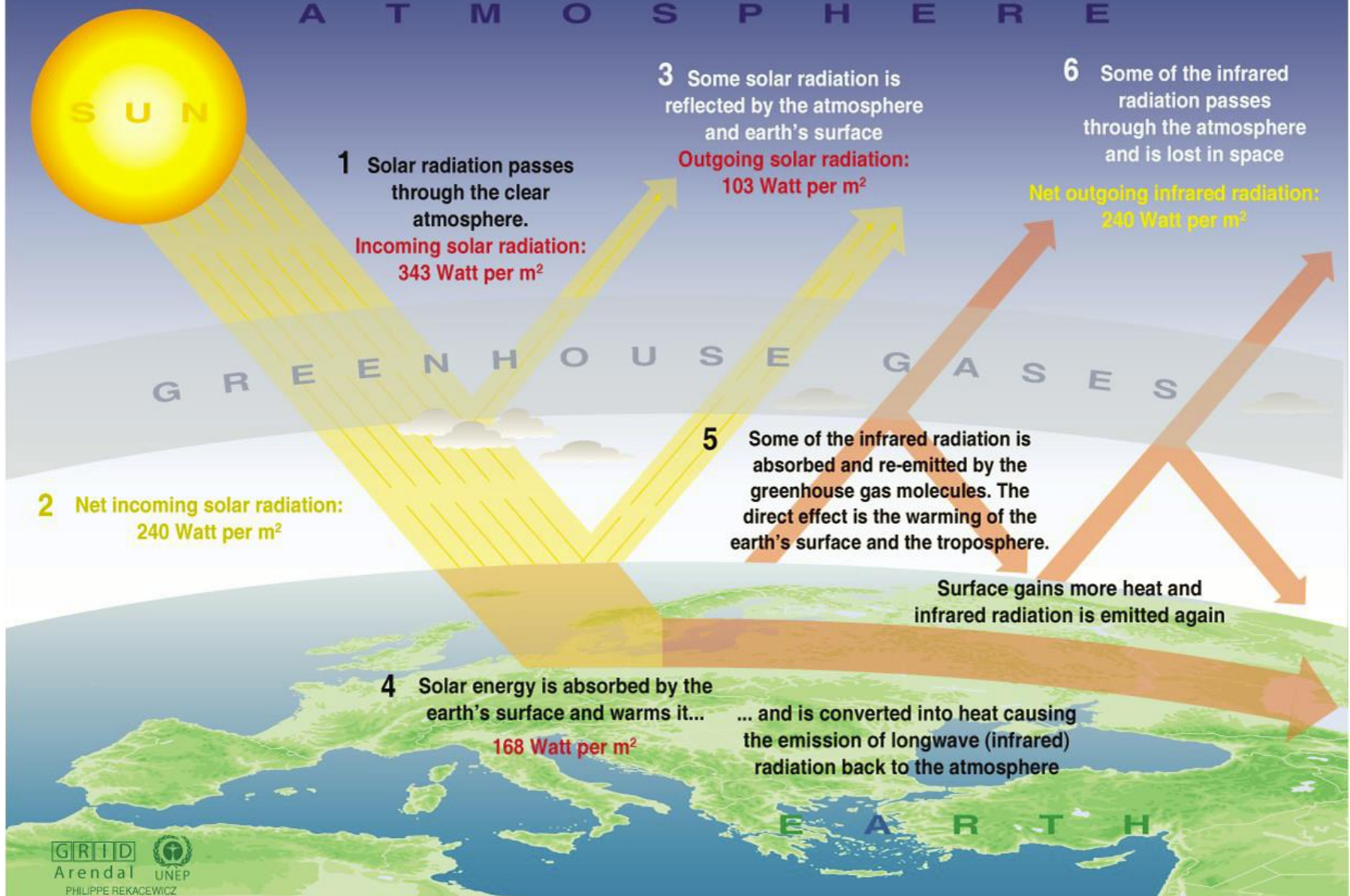


2.2 Gas serra

I **gas serra** possono essere sia **naturali che antropici**, e assorbono ed emettono a specifiche lunghezze d'onda nello spettro della radiazione infrarossa (700 nm e 1 mm). Questa loro proprietà causa il fenomeno noto come **effetto serra** (aumento della temperatura terrestre).

H₂O (gas), CO₂ , CH₄ , N₂O, ALOCARBURI (tra i quali i più conosciuti sono i clorofluorocarburi, **CFC**) e molte altre molecole contenenti cloro e fluoro le cui emissioni sono regolamentate dal Protocollo di Montréal (1987).

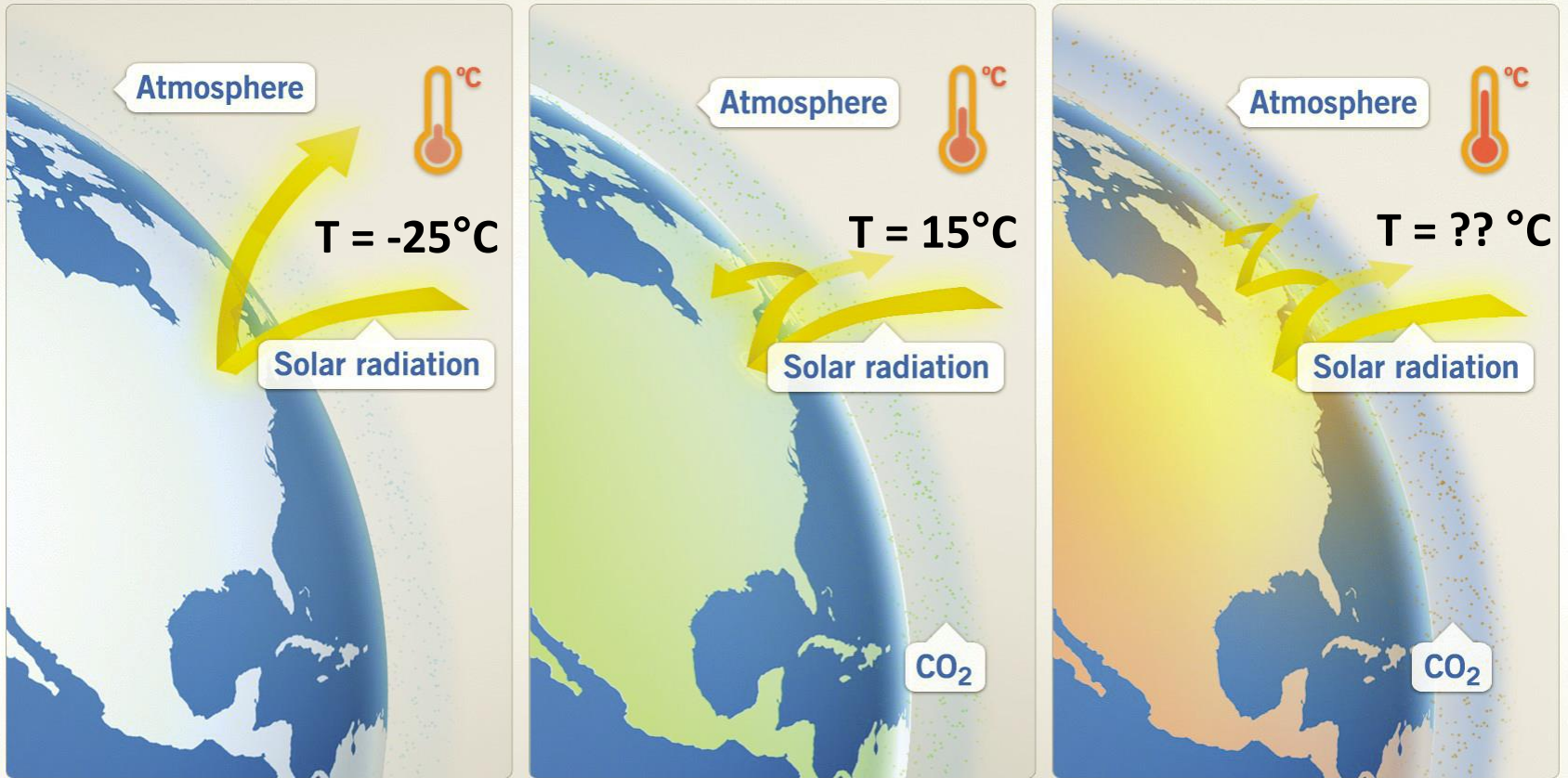
The Greenhouse effect



Sources: Okanagan university college in Canada, Department of geography, University of Oxford, school of geography; United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge university press, 1996.

2.2 Gas serra

[THE GREENHOUSE EFFECT]



Without greenhouse gases

Natural greenhouse gas level

Raised man-induced greenhouse gas level

2.2.1 Vapore acqueo

- Principale gas serra, responsabile dei 2/3 dell'effetto serra naturale per la sua abbondanza ed efficacia in atmosfera;
- è parte del ciclo idrologico, un sistema chiuso di circolazione tra idrosfera, atmosfera e litosfera;
- la sua concentrazione è molto variabile nello spazio, ma relativamente stabile nel tempo;
- non viene direttamente influenzata dalle attività umane, ma **dipende esclusivamente dalla temperatura dell'aria (+1 °C = +7% di vapore acqueo).**

2.2.2 Anidride carbonica (1)

L'anidride carbonica (CO₂) è il principale gas serra derivante dalle attività umane ed è quello che maggiormente contribuisce all'effetto serra antropico. La **CO₂** è uno dei principali composti del carbonio e costituisce il **principale veicolo** attraverso il quale il **carbonio** è scambiato tra le riserve naturali (atmosfera, idrosfera, litosfera e biosfera) attraverso i processi che costituiscono il **ciclo del carbonio**.

In assenza di attività umane, il bilancio naturale dello scambio sarebbe pressoché in pareggio.

2.2.2 Anidride carbonica (2)

È responsabile per il 15 % dell'effetto serra naturale.

Gli **oceani** hanno un ruolo fondamentale nel bilancio del carbonio, costituiscono una vera e propria **riserva di carbonio** sotto forma di ione bicarbonato e contengono quantità enormi di CO_2 , fino al 79% di quella naturale: gli oceani possono rilasciare o assorbire CO_2 in quanto è solubile in acqua e in funzione della temperatura.

2.2.2 Anidride carbonica (3)

- L'incremento della temperatura dell'acqua diminuisce la solubilità della CO₂;
- l'aumento della temperatura degli oceani sposta CO₂ dal mare all'atmosfera;
- mentre una **diminuzione della temperatura** fa avvenire il contrario: gli **oceani assorbono la CO₂** mantenendo bassa la sua concentrazione in atmosfera. Se la concentrazione in atmosfera tendesse ad abbassarsi troppo, gli oceani possono liberare CO₂ svolgendo un ruolo di equilibratori.

2.2.2 Anidride carbonica (4)

La CO₂ derivante dalle **attività umane** è legata principalmente alla reazione di **combustione dei combustibili fossili**, alla **deforestazione** e al cambiamento dell'uso del **suolo**.

Pre *rivoluzione industriale* (1850) era dell'ordine delle 280 ppm. Durante gli ultimi 170 anni è aumentata ad oltre 400 ppm (393 ppm nel 2012, 397 ppm nel 2014 e **418 ppm** nel **2023**, Omm).

La CO₂ può **permanere** in atmosfera per un periodo che varia **tra i 50 e i 250 anni** prima di ritornare al suolo (IPCC).

2.2.3 Metano (1)

La seconda causa dell'effetto serra accelerato in ordine di importanza è il metano (CH_4). È responsabile per l'8 % dell'effetto serra naturale.

Il metano è **originato principalmente dai batteri** che si nutrono di materie organiche in condizioni di anossia-ipossia (metanogenesi).

Viene rilasciato da varie fonti di origine naturale e (prevalentemente) antropica.

2.2.3 Metano (2)

Fonti naturali: zone umide e paludose, le termiti e gli oceani.

Fonti antropiche: attività mineraria, sfruttamento dei combustibili fossili, zootecnica (gli animali si nutrono di piante che fermentando nel loro stomaco esalano CH_4 , contenuto anche nel letame), agricoltura (es. le risaie producono CH_4 in quanto le materie organiche al suolo si decompongono in mancanza di ossigeno) e dalle discariche.

2.2.3 Metano (3)

Dall'inizio della *rivoluzione industriale* le concentrazioni di **CH₄** nell'atmosfera sono **raddoppiate**, contribuendo per il 20% all'accelerazione dell'effetto serra (da 1,82 ppm nel 2012 a **1,89 ppm** nel 2020, Omm).

Rilasciato nell'atmosfera, il CH₄ intrappola il calore con un'**efficienza 23 volte superiore a quella del CO₂** .

Il suo ciclo è più breve rispetto a quello della CO₂, **10-15 anni**.

2.2.4 Protossido di azoto (1)

Il protossido di azoto (N_2O) è un gas serra molto potente, mille volte meno presente della CO_2 ma quasi **300 volte più potente nel trattenere il calore.**

Le **fonti naturali** di N_2O sono gli oceani, le foreste pluviali e i batteri presenti nel suolo.

Per quanto riguarda **l'attività umana**, invece, deriva principalmente da fertilizzanti azotati utilizzati in agricoltura e in alcune produzioni industriali.

2.2.4 Protossido di azoto (2)

La maggior parte di N_2O in **atmosfera** deriva da processi microbiologici.

Nei **terreni** e nelle **acque**, le maggiori fonti di emissione sono i processi di nitrificazione e denitrificazione (anche emissioni sotterranee).

Osservati anche fenomeni di assorbimento di N_2O da parte degli oceani, ma ad oggi la conoscenza su come il suolo e i sistemi marini fungano da *sink* per questo gas è troppo ridotta per considerare la loro importanza su scala globale.

2.2.4 Protossido di azoto (3)

La concentrazione di N_2O è cresciuta moltissimo negli ultimi decenni, passando da 275 ppb del periodo *pre-industriale* ai 312 ppb del 1994, ai 325 ppb nel 2012 ai **335 ppb** del 2022, Omm.

Il N_2O ha un tempo di permanenza in atmosfera molto lungo, pari a circa **120 anni**.

2.2.5 Alocarburi (1)

Tra questi gas i più conosciuti sono i clorofluorocarburi (CFC), gli idroclorofluorocarburi (HCFC) e gli idrofluorocarburi (HFC).

La concentrazione di questi gas in atmosfera è molto bassa, ma il loro **potenziale di riscaldamento è da 3000 a 13000 volte superiore della CO₂**.

Gli alocarburi non derivano da processi naturali: la loro presenza in atmosfera è attribuibile per la maggior parte alle attività antropiche.

2.2.5 Alocarburi (2)

Fino alla metà degli anni '70 i **CFC** erano largamente impiegati come propellenti per le bombolette spray, nei solventi e in alcuni collanti.

Permangono in atmosfera per migliaia di anni.

Le loro emissioni si sono notevolmente ridotte grazie all'applicazione del Protocollo di Montréal (1987) che ne ha proibito l'utilizzo e **sostituendoli con idrofluorocarburi e perfluorocarburi.**

2.2.5 Alocarburi (3)

Pur meno dannosi per l'ozono, sono comunque nocivi per l'effetto serra poiché contribuiscono al riscaldamento globale.

I **gas fluorurati** ad effetto serra includono:

- HFC, utilizzati a fini di raffreddamento e refrigerazione, compresa l'aria condizionata;
- Esafluoro di zolfo (SF_6), utilizzato nell'industria elettronica;
- Perfluorocarburi (PFC), emessi durante la manifattura dell'alluminio e nell'industria elettronica.

2.2.5 Alocarburi (4)

Così mentre la concentrazione di CFC diminuisce quella degli altri gas aumenta.

Oltre ad essere molto potenti questi gas **permangono** in atmosfera per periodi molto lunghi, anche **fino a 400 anni**.



2.2.5 Alocarburi (4)

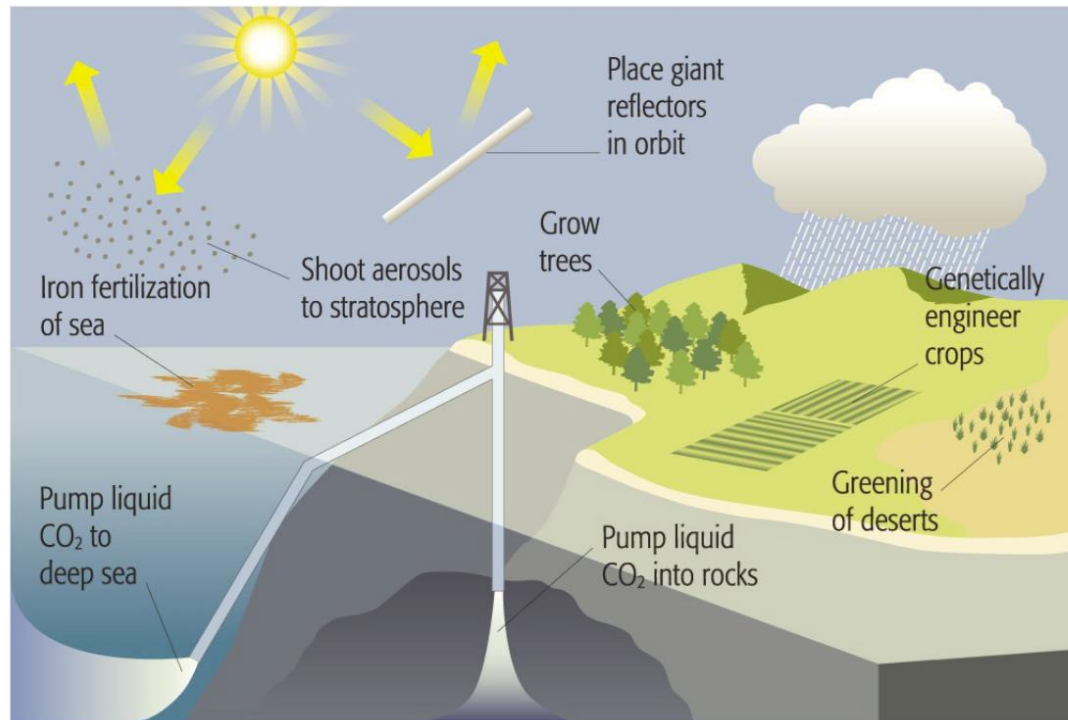
Secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), se proseguiremo su questa strada, la **temperatura media** del globo alla fine del secolo potrebbe superare di 4.6 °C quella pre-industriale ed anche di più in alcune regioni e le conseguenze sarebbero catastrofiche.

Bisogna **ridurre** in maniera sensibile e prolungata **le emissioni** di gas serra per limitare il cambiamento climatico.

2.2.6 GEOINGEGNERIA

L'insieme delle tecniche e tecnologie proposte per un intervento diretto sulla riduzione del riscaldamento globale.

GEOENGINEERING SOLUTIONS TO CLIMATE CHANGE



2.2.6 GEOINGEGNERIA

- CATTURA E STOCCAGGIO GEOLOGICO DELLA CO₂



Sito Pilota di Ketzin (DE)
www.co2ketzin.de

**Iniezione di CO₂ nel
sottosuolo (2004-2013).**

Formazioni geologiche,
ad una profondità di
650m, costituite da
**arenarie porose capaci
di trattenere la CO₂.**

2.2.6 GEOINGEGNERIA

- INIEZIONI DI AEROSOL STRATOSFERICA, consistente nel rilascio al di sopra delle nuvole di minuscole particelle catarifrangenti per respingere la luce solare;
- RIFLETTORI in orbita dei raggi solari;
- RIFORESTAZIONE e AUMENTO DI PIANTAGIONI.

... Tuttavia l'effetto sarà noto solo quando queste tecnologie saranno usate su scala planetaria.

2.3 Piogge acide

Le piogge acide o *deposizioni acide umide* ($\text{pH} < 5$) sono precipitazioni contaminate dalla presenza di acidi formati nell'atmosfera come conseguenza di processi di combustione.



2.3 Piogge acide

Normalmente il pH della pioggia varia tra 5 e 6.5 ed è costituita prevalentemente da acqua distillata e pulviscolo atmosferico.

Il processo che porta alla formazione delle piogge acide inizia dalla liberazione in atmosfera di ossidi di zolfo (SO_x) e ossidi di azoto (NO_x); tali prodotti di combustione reagiscono con l'acqua e vengono convertiti in **acido solforico** e **acido nitrico** che, con l'aumento di **acido carbonico** dovuto all'incremento della CO_2 , acidificano le precipitazioni abbassandone il pH ($\text{pH} < 5$).

2.3 Piogge acide

La presenza di questi composti in atmosfera possono aumentare sia per cause naturali che per effetto delle attività umane.

NATURALI

↓
vulcani, attività biologica, attività elettrica nell'atmosfera (es. scariche dei fulmini)



ANTROPICHE

↓
combustione dei combustibili fossili, le fabbriche e veicoli a motore, le centrali elettriche a carbone

2.3 Piogge acide

Conseguenze:

A livello delle acque superficiali, il cui pH risulta più basso a causa dell'acidificazione di fiumi e laghi, causando danni ai pesci ed altri animali acquatici (uova non si schiudono, morte nelle specie adulte). Il pesce, inoltre, entra nella rete trofica danneggiando così anche gli animali che se ne nutrono, uomo compreso.

CONSEGUENZE:

- una diminuzione del pH medio di 0,3-0,4 unità
- un aumento di circa il 150% nella concentrazione di ioni H^+

2.3 Piogge acide

A livello del terreno la biologia e la chimica dei suoli possono essere seriamente danneggiate dall'acidificazione.

Alcuni microbi non sono in grado di tollerare abbassamenti di pH e vengono uccisi; tale sterilizzazione del terreno colpisce anche i microorganismi saprofiti o simbionti con le piante, arrivando anche a danneggiare le piante e/o ridurre l'efficienza dei raccolti.

2.3 Piogge acide

Sempre a **livello del suolo** il processo di acidificazione mobilita gli ioni idrogeno; ciò comporta la conseguente mobilitazione di sostanze tossiche come l'alluminio.

Inoltre la mobilitazione sottrae al terreno nutrienti essenziali e minerali, come il calcio e il magnesio, che vengono dilavati dalle piogge acide:



2.3 Piogge acide

A livello della vegetazione le piante ad alto fusto possono essere danneggiate a causa dell'alterazione dell'integrità strutturale: le piante divengono meno resistenti al freddo e quindi incapaci di superare l'inverno.

Tuttavia, l'effetto sulle colture alimentari viene mitigato dall'applicazione di fertilizzanti per ripristinare i nutrienti persi (soluzioni tampone) che, se mal utilizzati, possono contribuire all'eutrofizzazione.

2.3 Piogge acide

A livello urbano la pioggia acida può danneggiare edifici e monumenti storici, soprattutto quelli edificati con rocce come il calcare e il marmo, o comunque tutti gli edifici contenenti grandi quantità di carbonato di calcio. Il danno diretto deriva dalla reazione che si innesca fra gli acidi portati dalle precipitazioni e i composti contenenti calcio nelle strutture:



Conseguenze dell'alterazione dei cicli biogeochimici dei nutrienti

Rimedi e prevenzione

A livello tecnico in molte centrali a carbone è stato messo in atto il processo di desolforazione dei gas di scarico (rimuove i gas contenenti zolfo).

A livello normativo, periodicamente vengono rivisti una serie di trattati internazionali in materia di trasporto a lunga distanza degli inquinanti atmosferici (Protocollo di Kyōto, 1997).

A livello pratico: meno combustibili fossili, sì a fonti rinnovabili.

Grazie per l'attenzione

