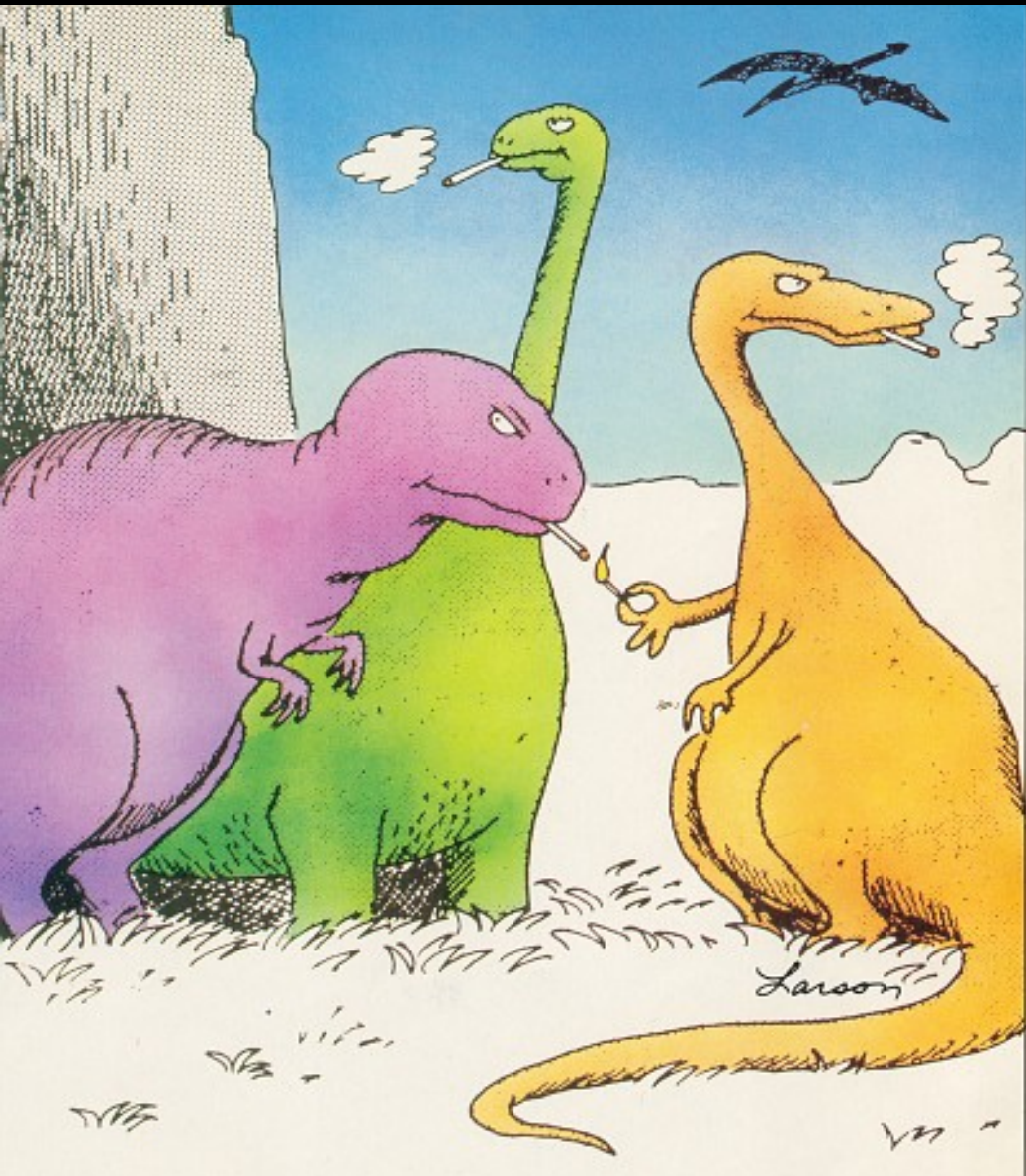


What Happened to the Dinosaurs?



The real reason dinosaurs became extinct.

Oceani e atmosfera: Origine ed evoluzione



Oceani e atmosfera:


- 1) Le origini dell'atmosfera e dell'acqua oceanica sono intimamente collegati
- 2) La composizione dell'atmosfera è cambiata sensibilmente negli ultimi 4 Ga
- 3) La composizione degli oceani è cambiata inizialmente per poi rimanere relativamente stabile

La prima atmosfera

- Probabilmente simile a quella del Sole e quindi dominata da idrogeno ed elio. Tuttavia, questa composizione viene persa per 3 motivi:
 - (1) Vento solare;
 - (2) L'attrazione gravitazionale terrestre non era sufficientemente forte per trattenere questi gas;
 - (3) Forse, 30 Ma dalla formazione della Terra si assiste all'impatto con un meteorite (dimensioni di Marte) che ha prodotto la Luna. Perdita dei composti primitivi atmosferici: idrogeno ed elio.

Da un oceano magmatico ad un oceano d'acqua

Hadeano: 4.55–4.00 Ga

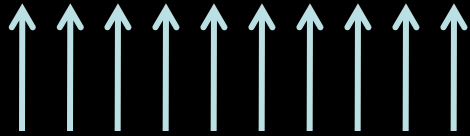
- 
- Dopo l'accrezione, la Terra:
 - Bombardamento da parte di comete e meteoriti
 - Nessun continente, intensa radiazione cosmica
 - Vulcanismo

Hot, Barren, Waterless early Earth



- Dopo l'accrezione, la Terra:
 - Bombardamento da parte di comete e meteoriti
 - Nessun continente, intensa radiazione cosmica
 - Vulcanismo

Idrogeno ed elio

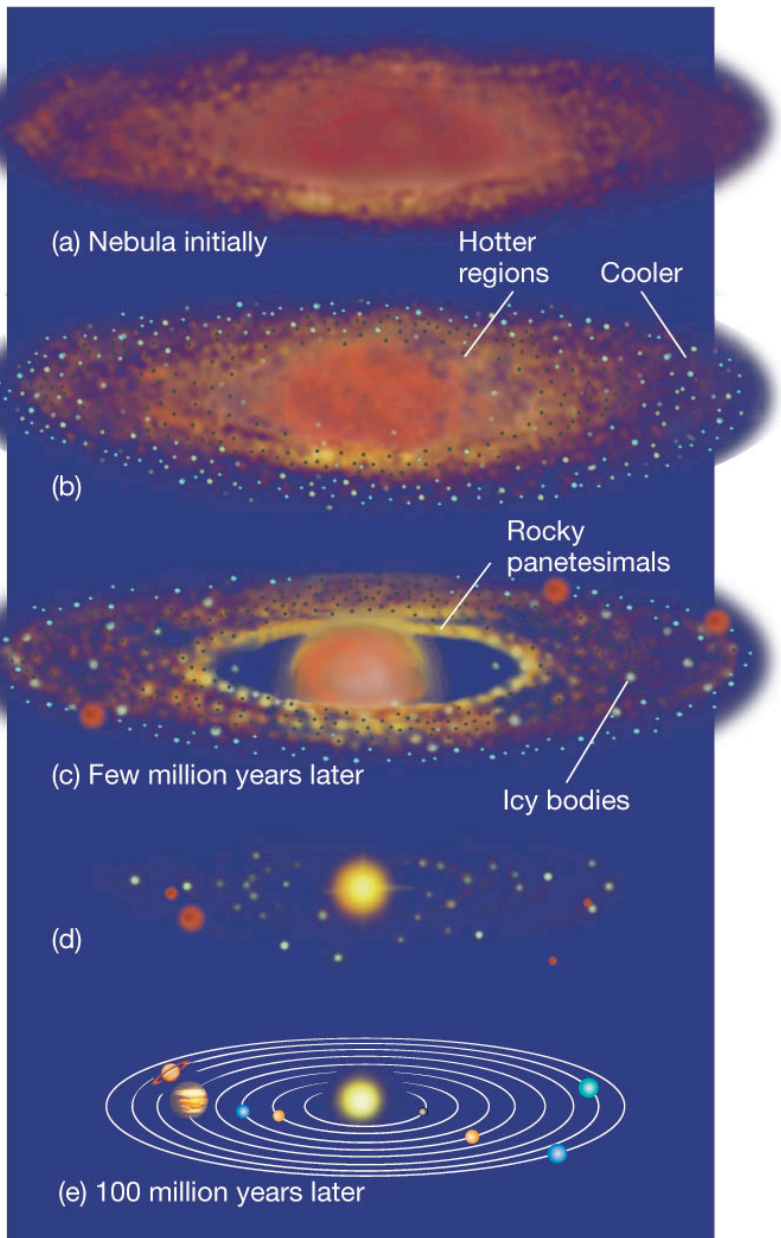


La prima
atmosfera lascia
posto alla seconda
atmosfera

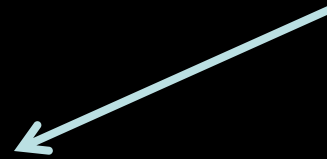
Gas vulcanici



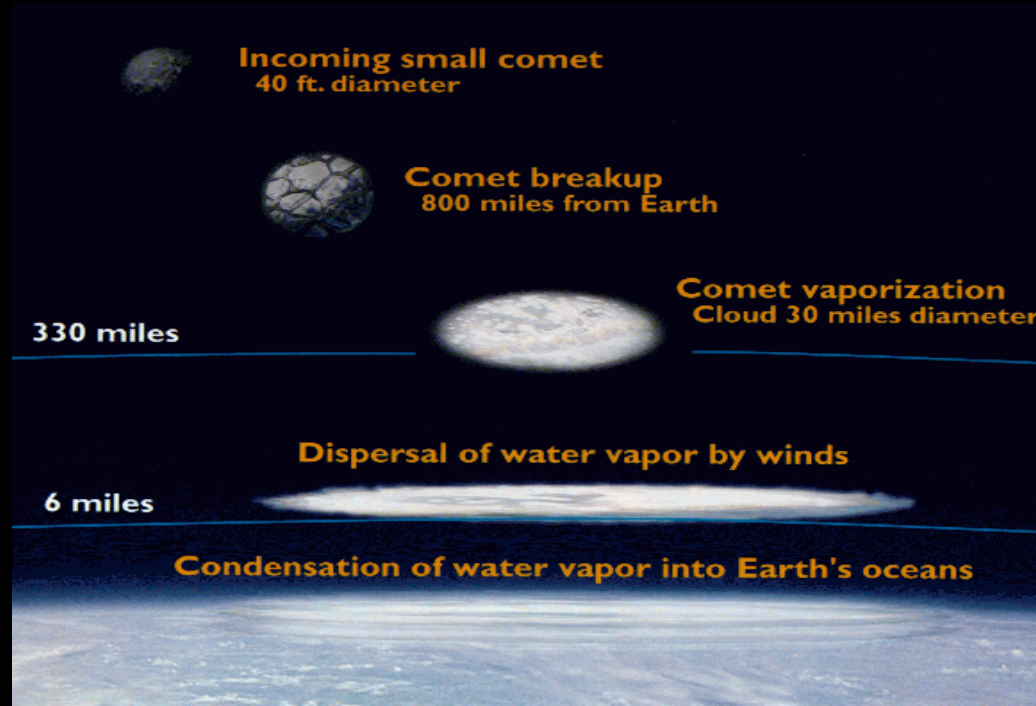
Da dove viene l'acqua?



Condensazione della nebula



Impatti di comete



Evoluzione dell'Atmosfera

Atmosfera secondaria

Prodotta da *degassamento vulcanico*

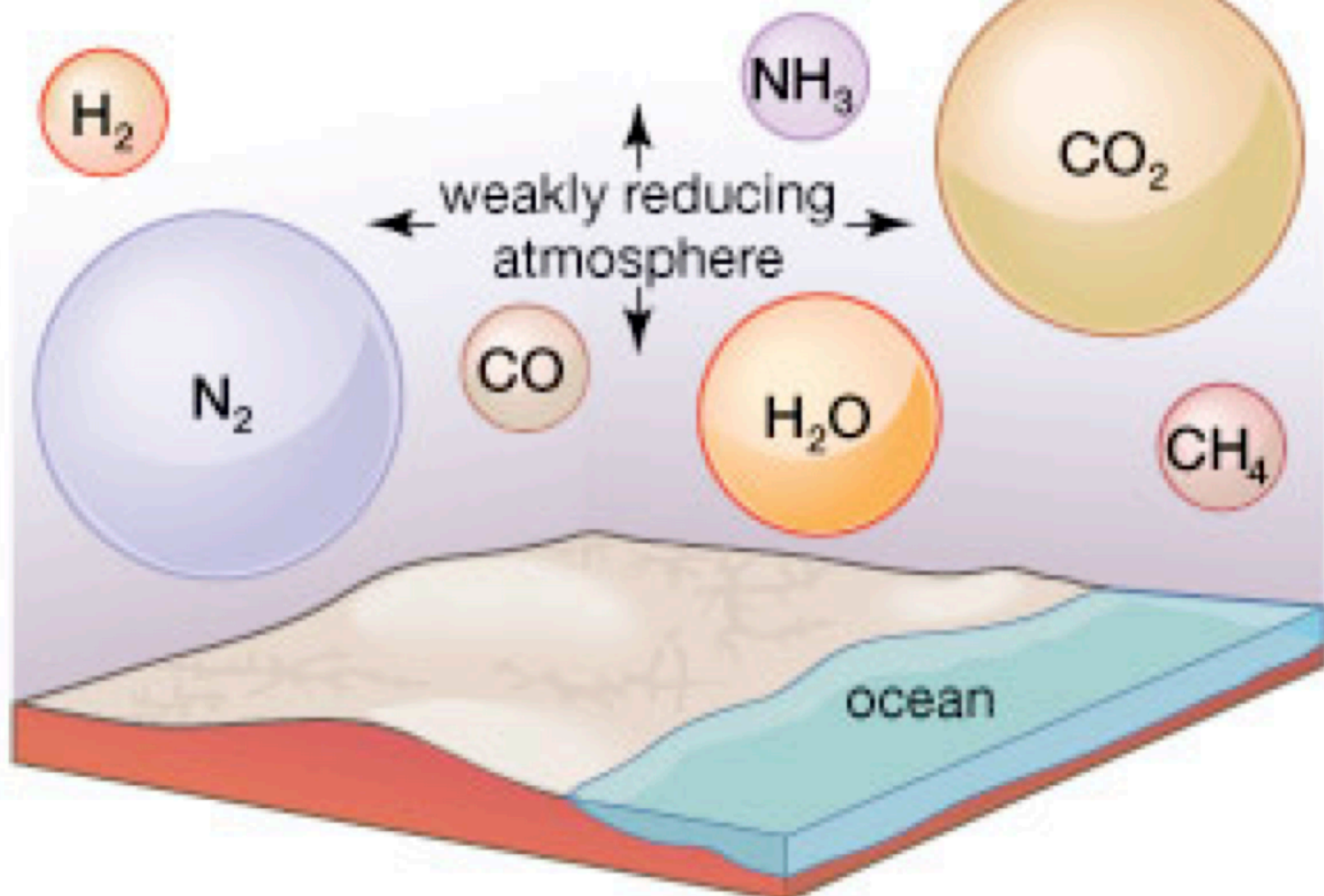
I gas prodotti erano probabilmente simili a quelli emessi dai vulcani attuali

H_2O , CO_2 , SO_2 , CO , S_2 , Cl_2 , N_2 , H_2 , e NH_3 (ammoniaca) e CH_4 (metano)

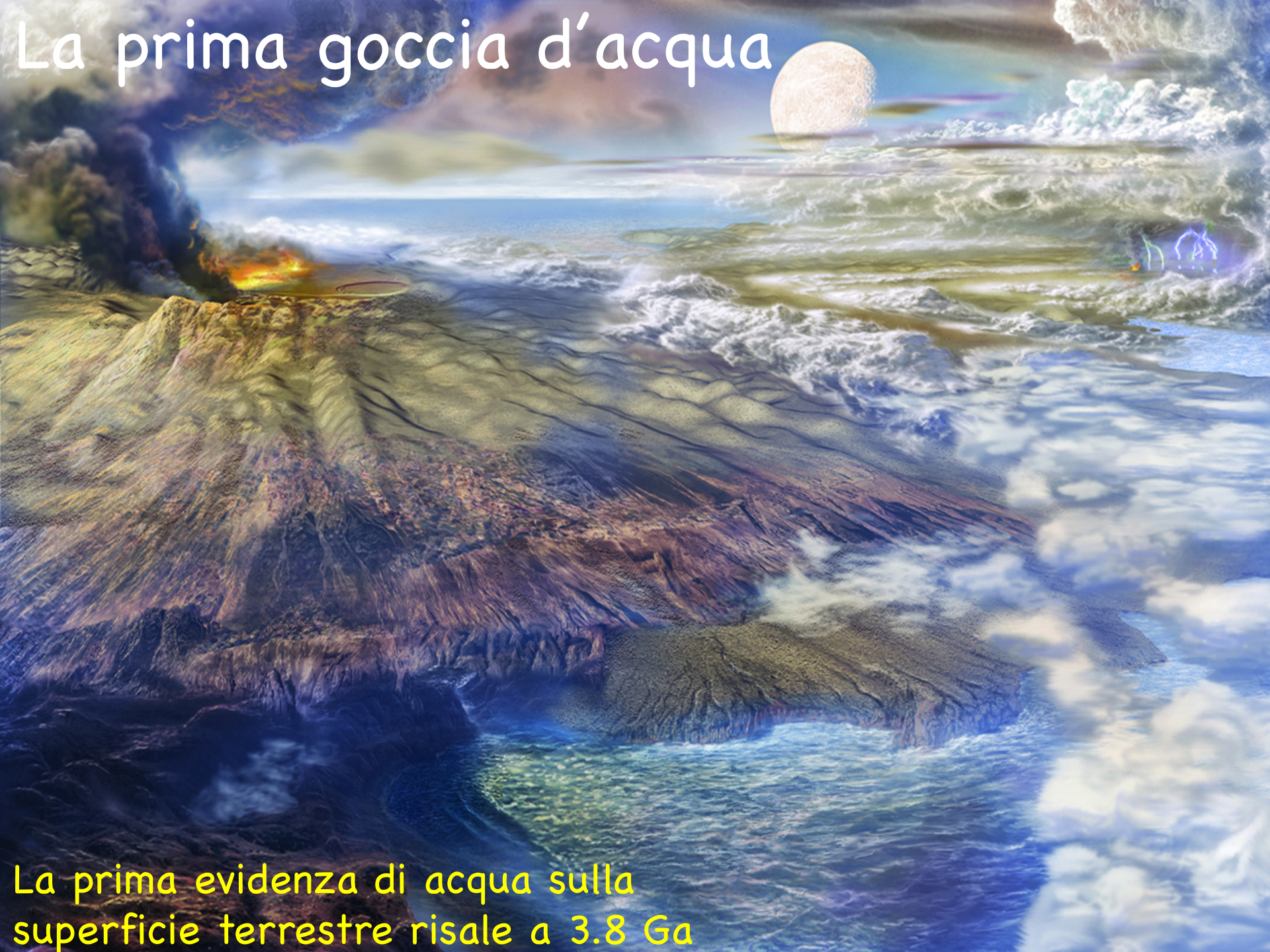
No O_2 (non è presente negli attuali gas vulcanici).

Atmosfera riducente

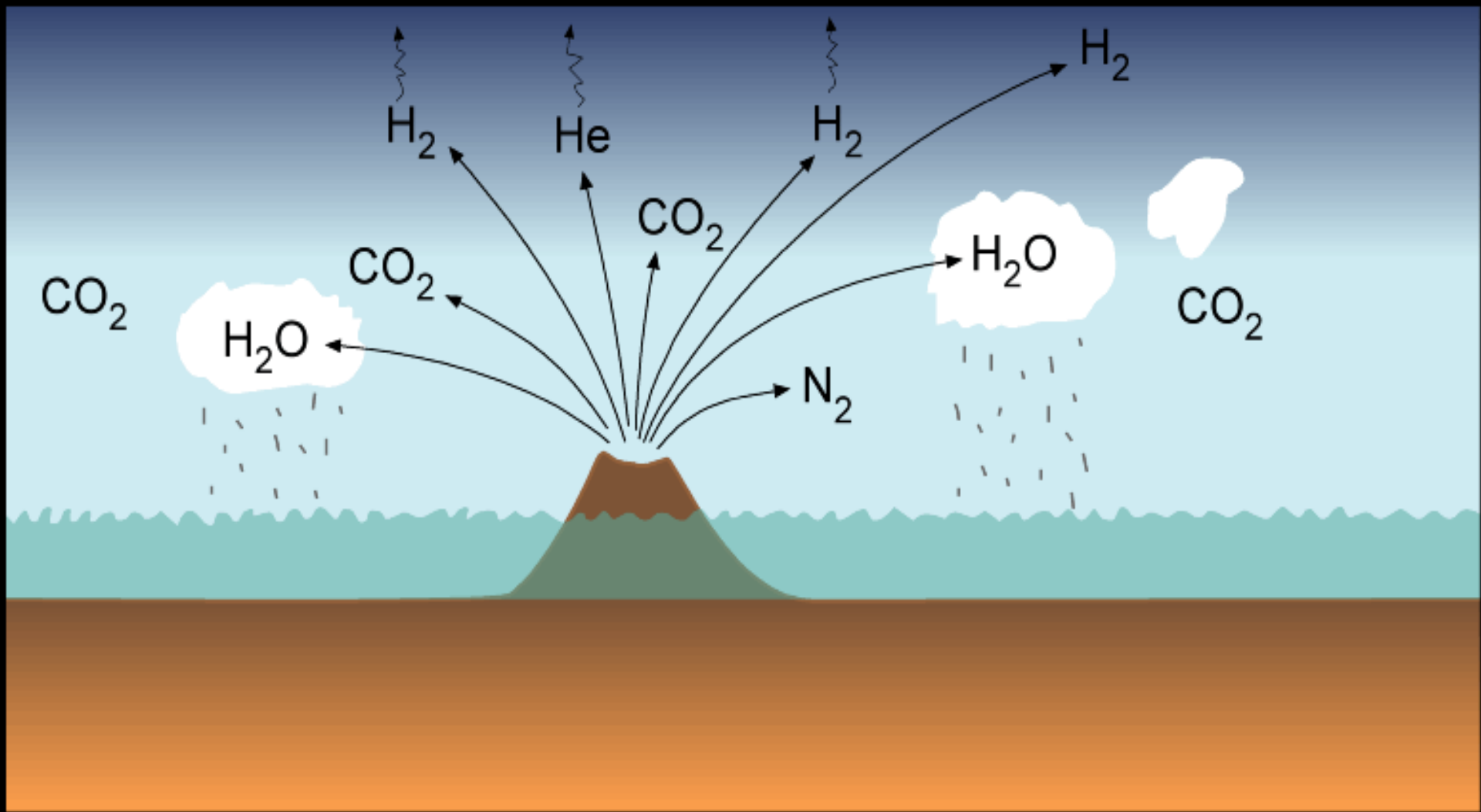
Earth's prebiotic atmosphere

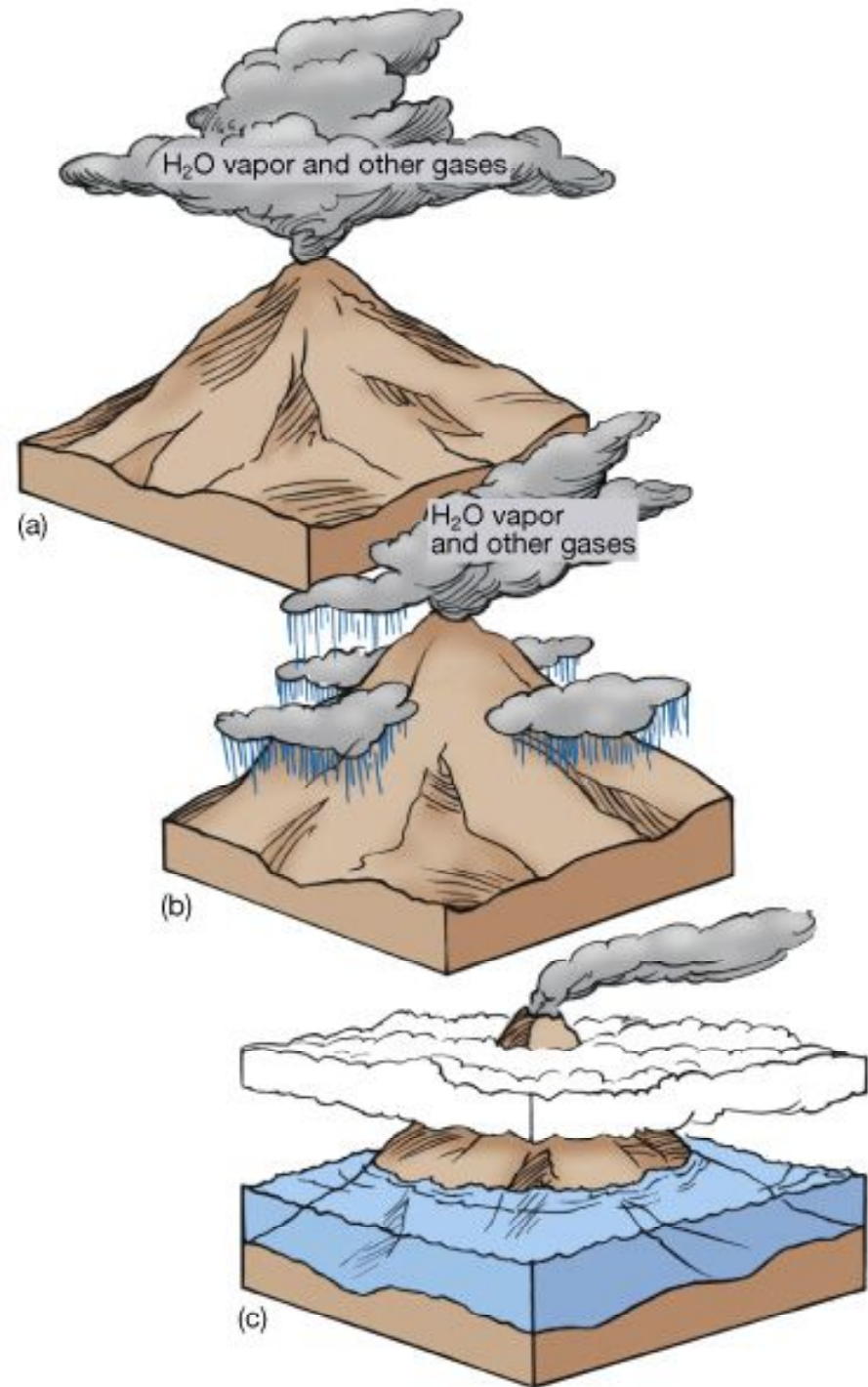


La prima goccia d'acqua



La prima evidenza di acqua sulla superficie terrestre risale a 3.8 Ga

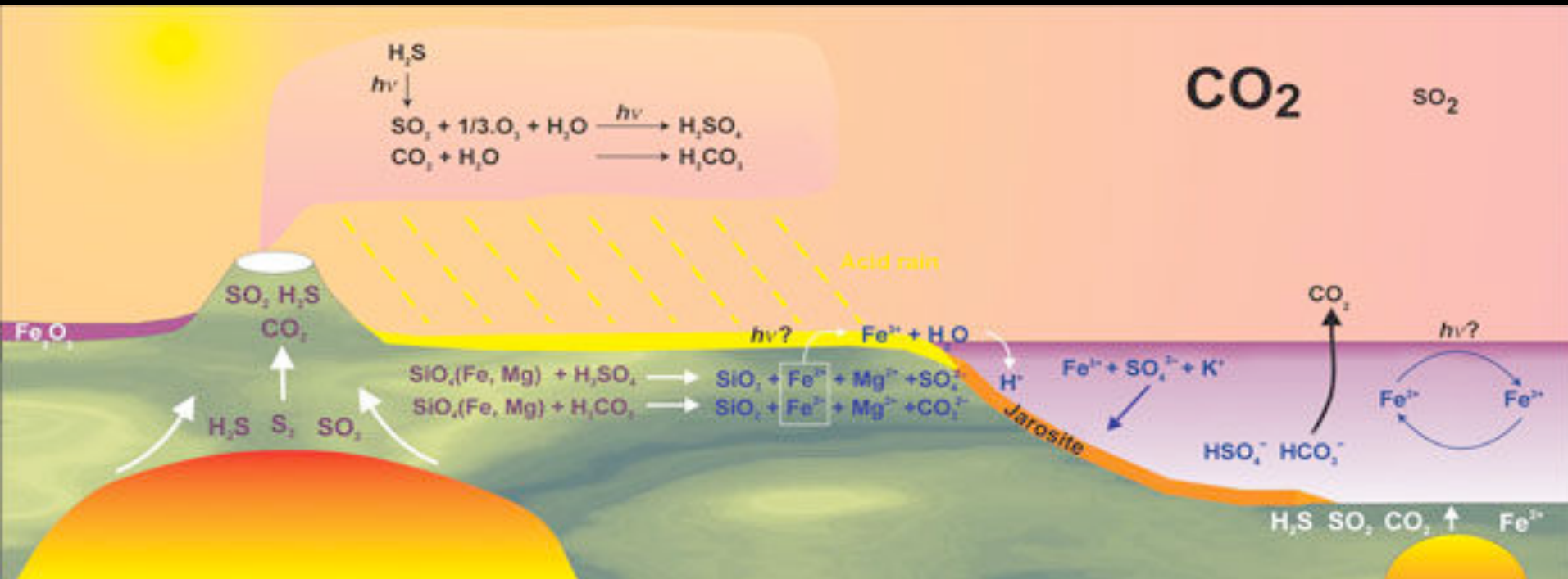




Water and Fire

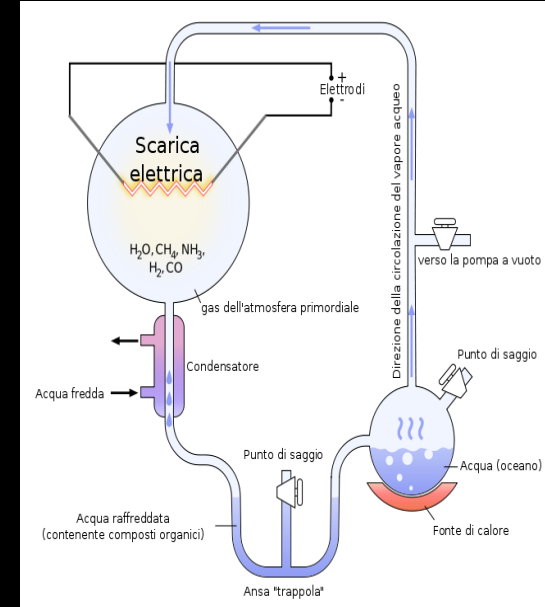
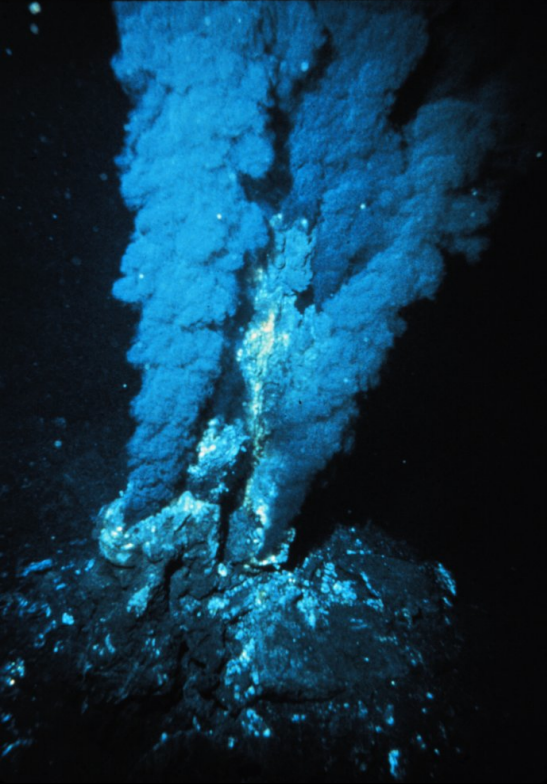
Condensazione del vapor d'acqua

Solubilizzazione dei gas acidi vulcanici



Alterazione dei silicati in presenza di un'atmosfera ricca in CO_2 ...conseguente mantenimento di un pH acido

Life in the ocean?

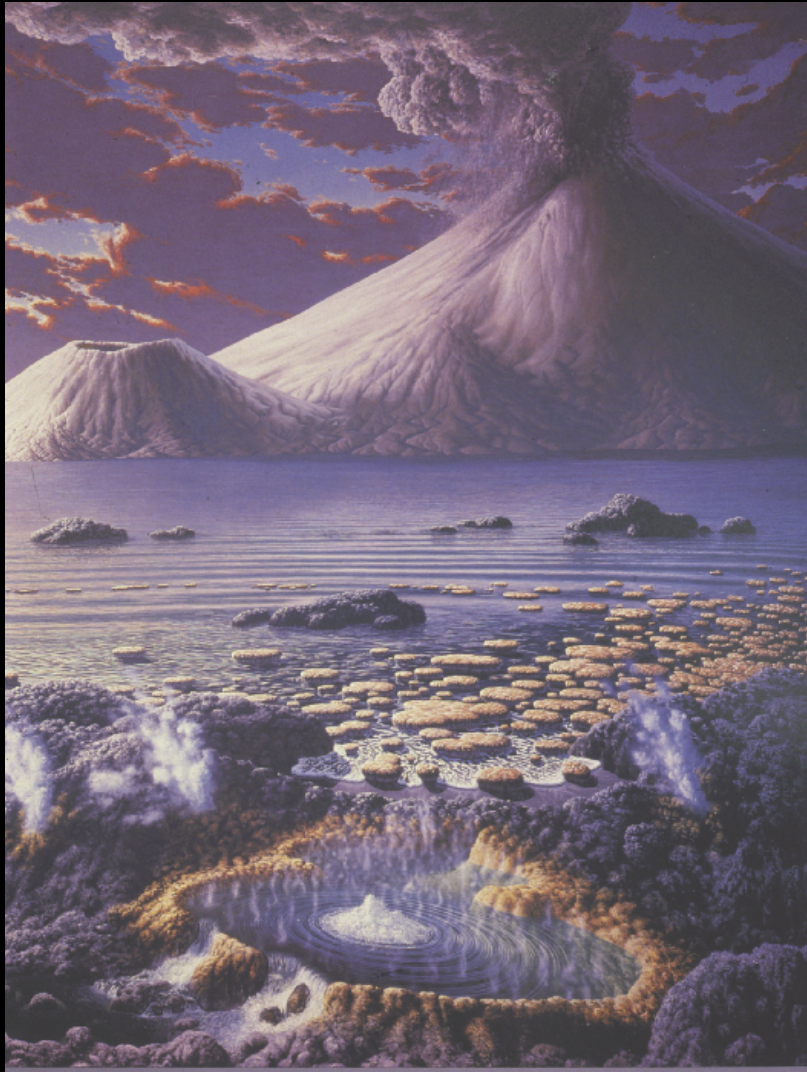


Life at the surface?

- Tutti gli organismi sono composti per lo più da:
 - carbonio (C)
 - idrogeno (H)
 - azoto (N)
 - ossigeno (O)
 - zolfo (S)
- Tutti presenti nella seconda atmosfera:
 - anidride carbonica (CO_2)
 - vapor d'acqua (H_2O)
 - azoto (N_2)
 - metano (CH_4)
 - ammoniaca (NH_3)
 - H_2S e SO_2

La II atmosfera

Prodotta da *volcanic out-gassing*



I gas prodotti erano presumibilmente simili a quelli emessi dai vulcani attuali: H_2O , CO_2 , SO_2 , CO , S_2 , Cl_2 , N_2 , H_2 , NH_3 e CH_4 .

No O_2 come avviene per i gas vulcanici attuali.

Ocean Formation – Come la Terra si raffredda, l'acqua prodotta dall'out-gassing condensa: Archeano Inferiore, formazione di oceani.

Evidenze – basalti pillow all'interno di sedimenti di mare profondo nelle **GREENSTONE BELTS**.

Greenstone Belts

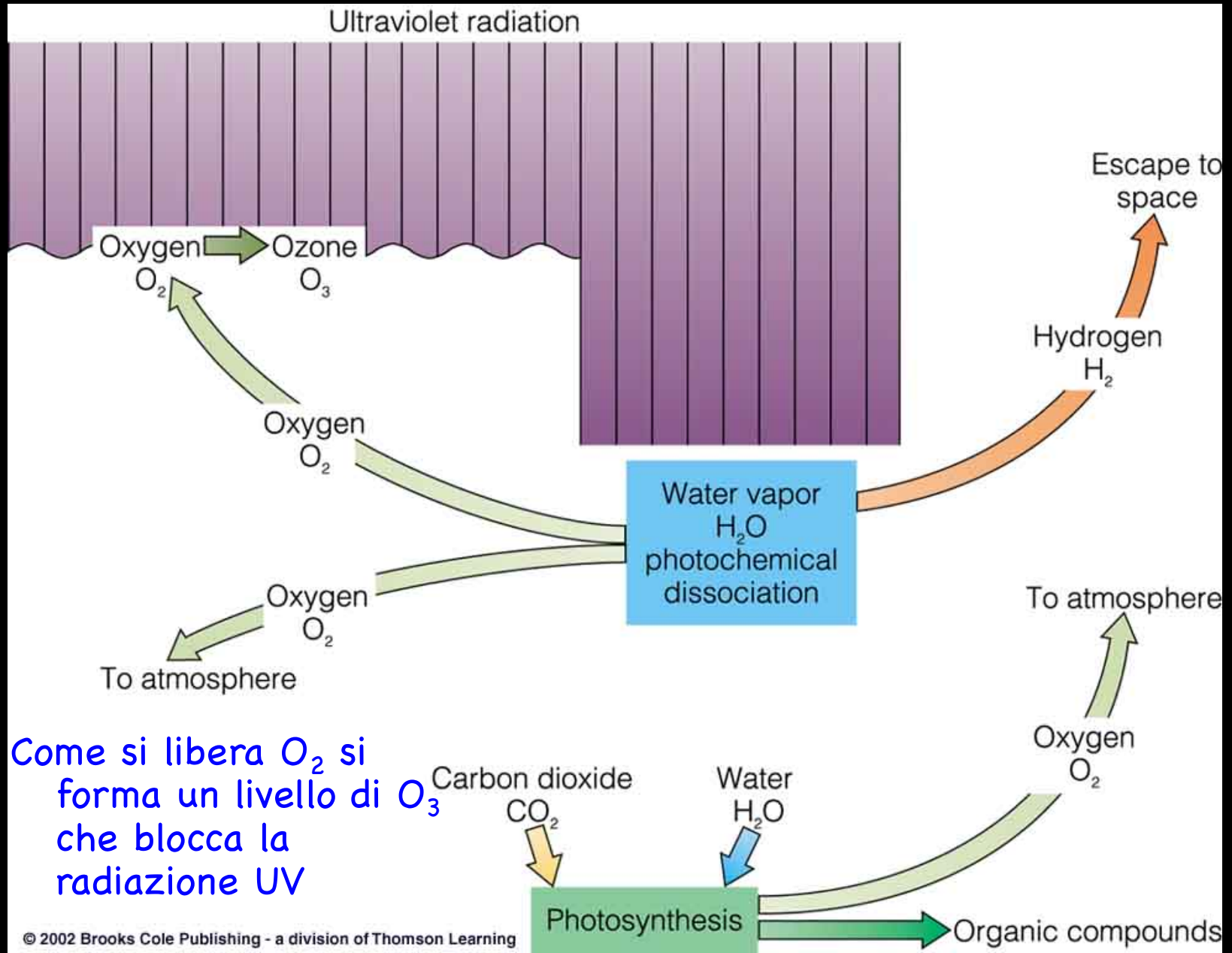


Terreni archeani-proterozoici che includono rocce ignee mafiche, ultramafiche intrusive ed effusive, vulcanici felsiche e alternanze e/o coperture sedimentarie.

Aumento di O_2 e la terza atmosfera

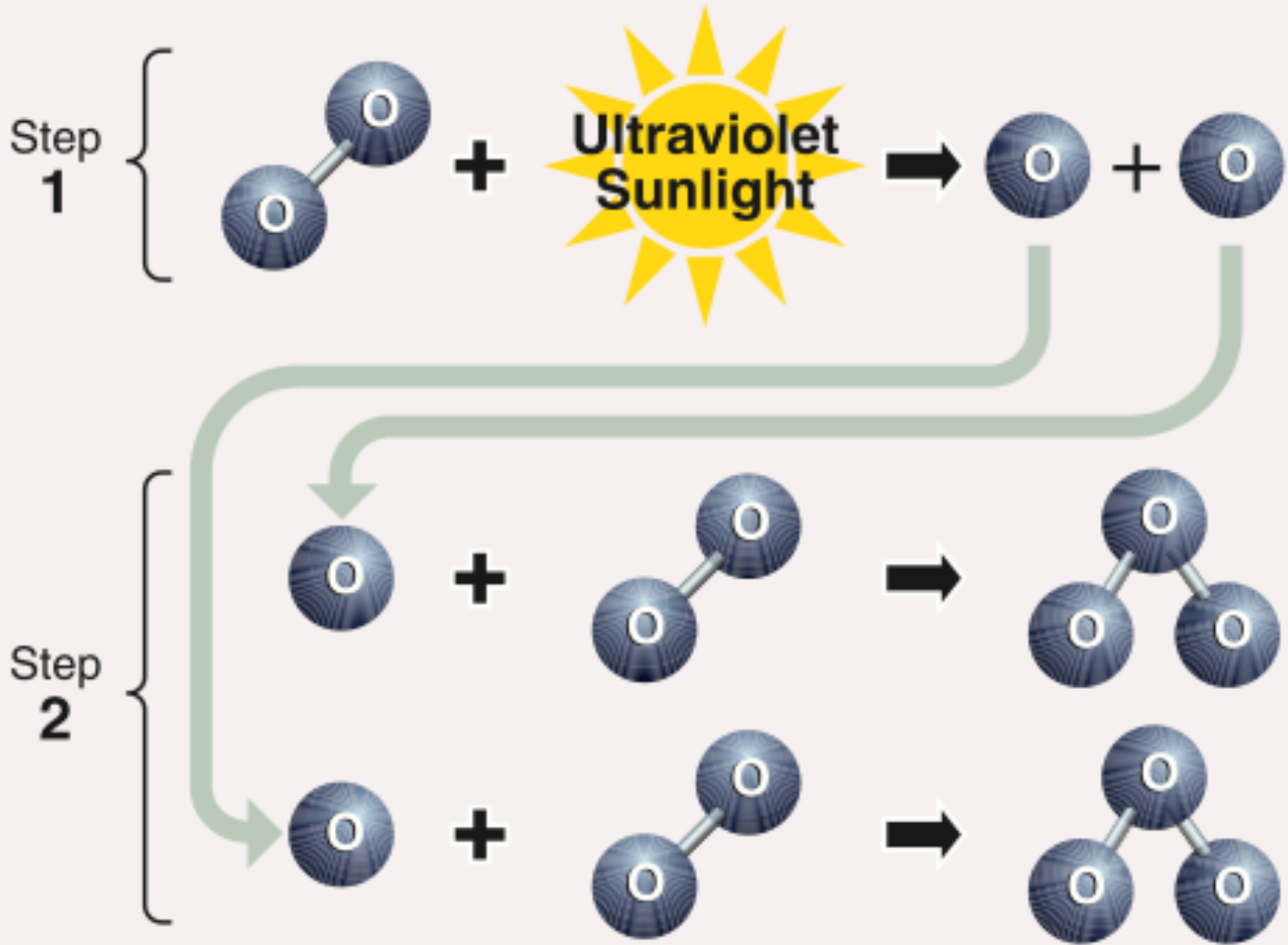
- Nei primi 2 Ga, le piccole quantità di O_2 derivano dalla dissociazione dell'acqua grazie alla radiazione solare.
- Sono alcune rocce ad evidenziarlo.
- In questa fase inizia probabilmente a formarsi un livello di O_3 che diminuisce la radiazione UV.
- Con la formazione dei batteri fotosintetici (cianobatteri) e le prime piante, O_2 aumenta.
- Tra 2.5 e 0.5 Ga, O_2 raggiunge i livelli attuali.

Nell'Archeano si assiste all'introduzione di O_2 nell'atmosfera per due motivi: i) dissociazione fotochimica (2% di O_2); ii) fotosintesi.



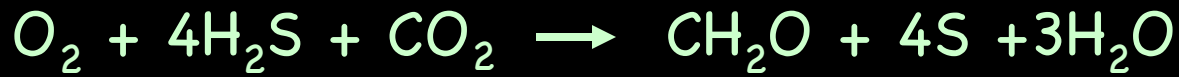
Come si libera O_2 si forma un livello di O_3 che blocca la radiazione UV

Stratospheric Ozone Production



Batteri chemiosintetici (estremofili)

● Chemiosintesi:

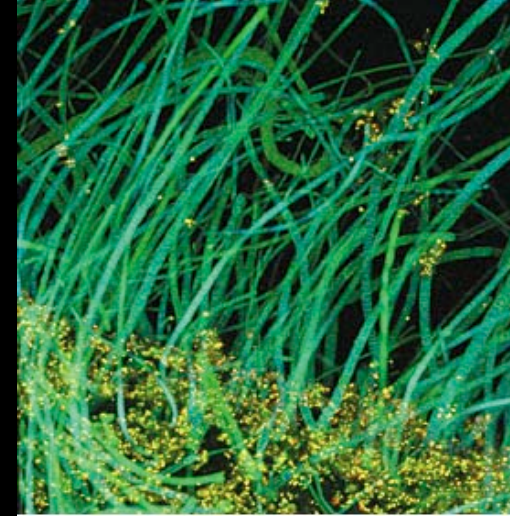


formaldeide



Stromatoliti (batteri & cianobatteri)

Australia occidentale e Africa meridionale ~ 3.5 Ga

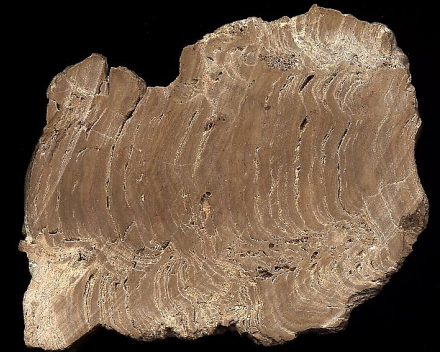


Magnified view of bacteria that inhabit vents.

● Fotosintesi:



glucosio

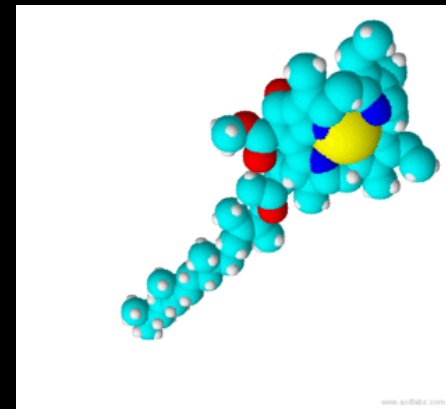


La **fotosintesi clorofilliana** è un processo attraverso il quale, mediante la clorofilla, viene trasformata l'energia solare (luce) in una forma di energia utilizzabile dagli organismi vegetali per la propria sussistenza.

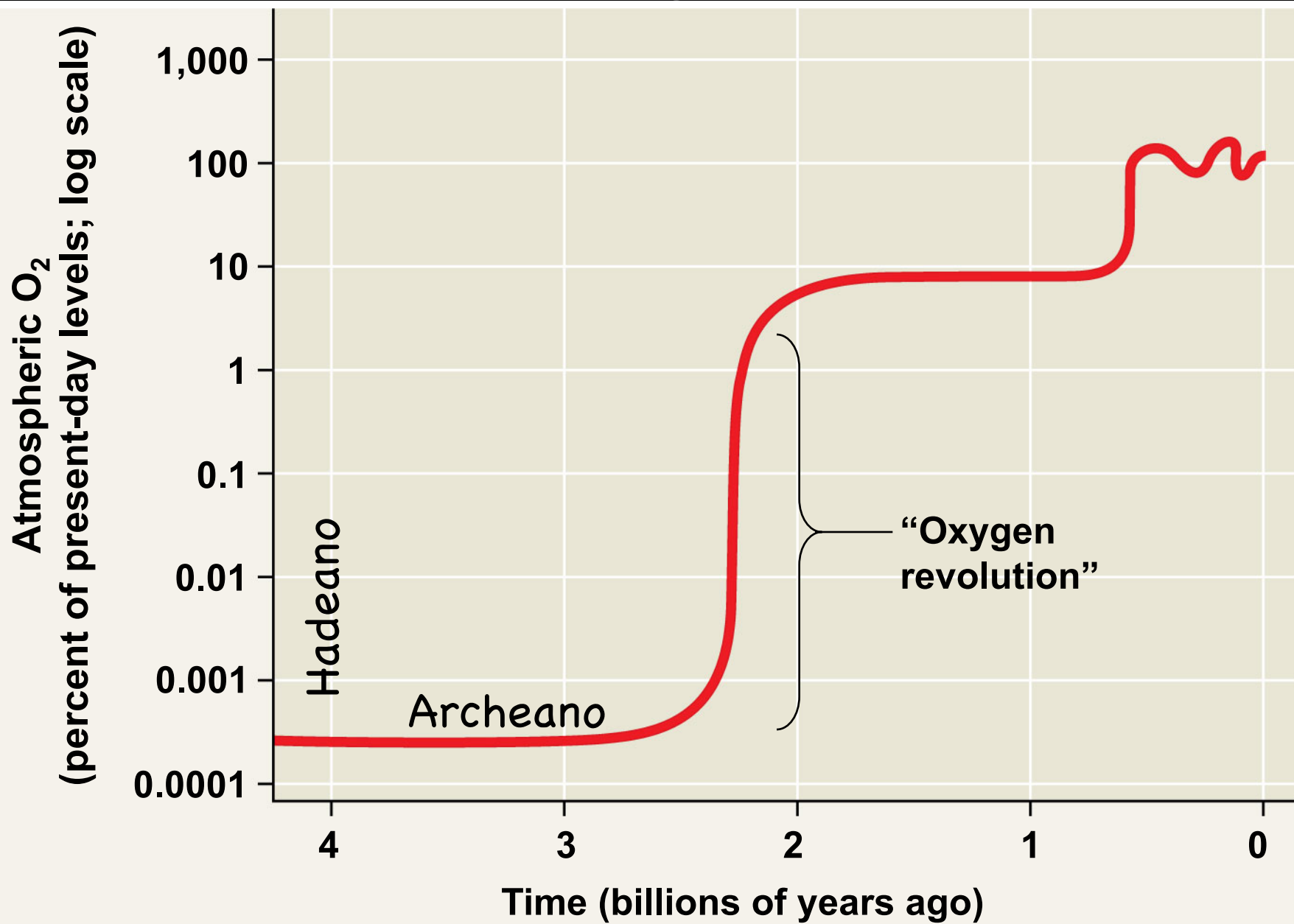
Energia solare



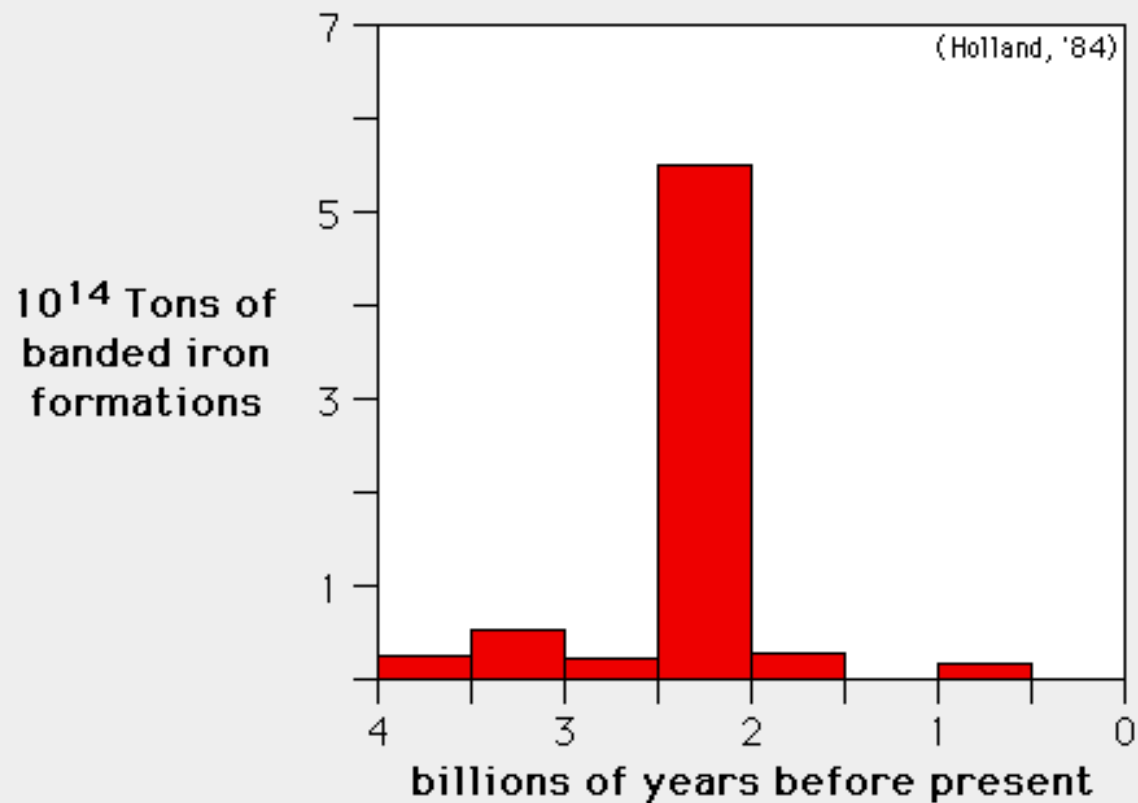
La sommatoria degli effetti derivanti dalla dissociazione per fotochimica dell'acqua e i processi di fotosintesi hanno permesso l'introduzione di elevate quantità di O_2 nell'atmosfera.



Ossigeno



Banded Iron Formations (very low O₂ in atm)



Very Large Fe Deposits

<u>Continent</u>	<u>Area</u>	<u>Age (10⁶_yrs)</u>
Africa	Transvaal, S.A.	2100-2600
Australia	Hamersley Range	2400-2700
Eurasia	Krivoi Rog, Ukraine	1900-2600
North America	Labrador Trough, Canada	1900-2500
South America	Minas Gerais, Brazil	2000-2700



A 2-3 Ga: Un pò di O₂ libero

Sono presenti in rocce sedimentarie di 2-3 Ga.

Alternanze di bande scure (contenenti FeO) e bande chiare di selce (SiO₂ e Fe₂O₃).

Precipitazioni alternate di FeO e selce e Fe₂O₃.

“Band” si formano dalle densità fluttuanti dei batteri. Quando i batteri si moltiplicano/riproducono, si forma O₂ e selci (si depositano sul fondo dell’oceano). La mancanza di O₂ favorisce il FeO.

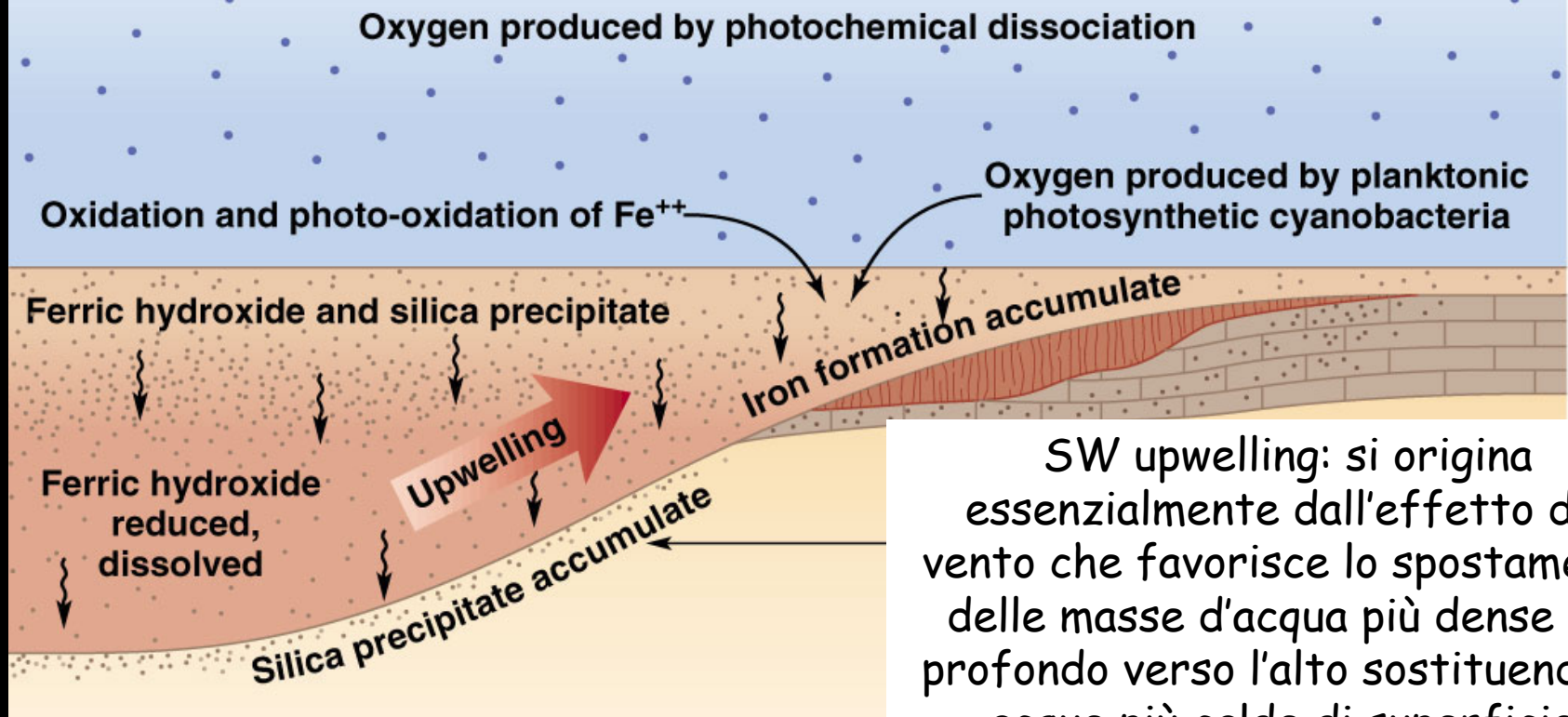
Banded Iron Formation (BIF)



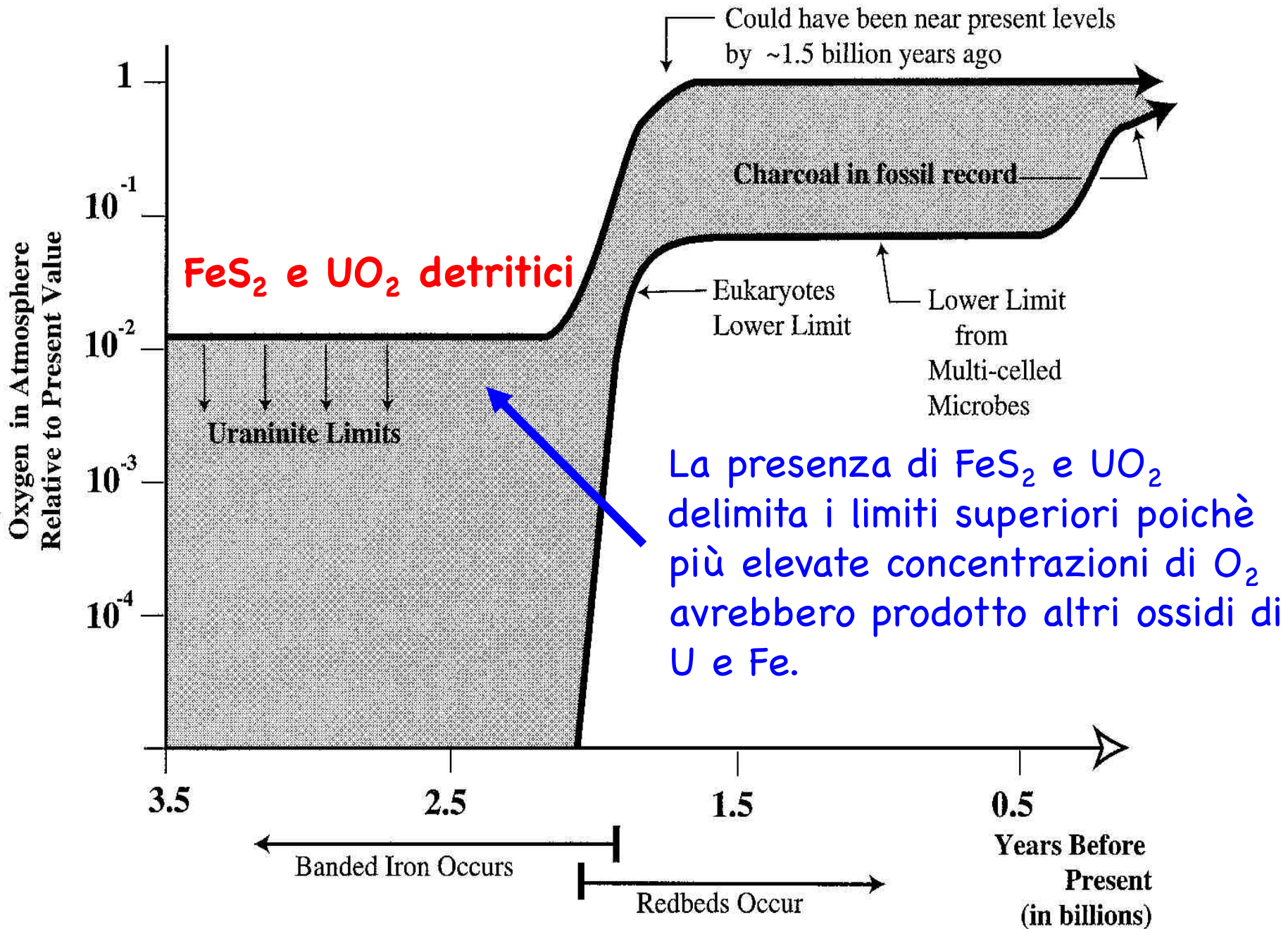
Formazione dei BIF

- Modello deposizionale per l'origine BIF

Il Fe^{2+} tende ad rimanere in soluzione mentre il Fe^{3+} tende a formare ossi-idrossidi e precipitare



SW upwelling: si origina essenzialmente dall'effetto del vento che favorisce lo spostamento delle masse d'acqua più dense dal profondo verso l'alto sostituendo le acque più calde di superficie.



Red Beds

- Red beds si osservano
 - A circa 2.0-1.8 Ga,
 - Aumentano nel Proterozoico (2.5-0.5 Ga),
 - E sono comuni in rocce fanerozoiche (da 0.5 Ga)
- L'inizio della deposizione dei Red Beds
 - Coincide con l'introduzione di O_2 libero
 - Tuttavia, l'atmosfera aveva a quel tempo O_2 libero: 1-2% di quello attuale
 - No O_3 ...ma più O_2 si forma più aumenta lo strato di O_3 : entrambi favoriscono l'alterazione dei minerali

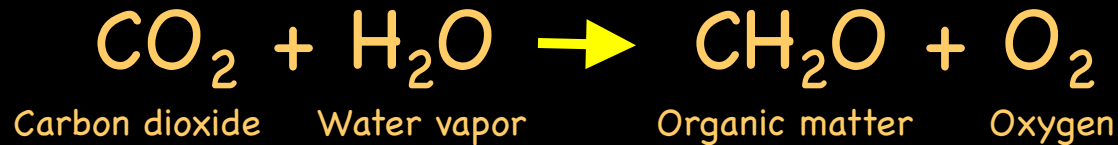


La terza atmosfera

- Mentre O_2 aumenta, CO_2 diminuisce per le seguenti ragioni:
- (1) consunzione di CO_2 durante la sintesi clorofilliana,
- (2) rimozione di CO_2 per alterazione chimica.

Rimozione di CO₂ dall'Atmosfera

Fotosintesi



Fitoplancton - oceani

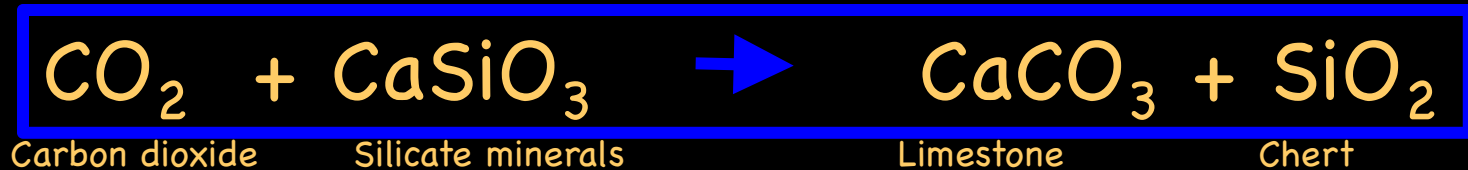
Piante - terra

Il seppellimento di materia organica riduce il livello di CO₂ nell'atmosfera.

Rimozione di CO₂ dall'Atmosfera

Alterazione dei silicati – Precipitazione carbonati

(in presenza di acqua)



CO₂ è rimossa durante l'alterazione dei silicati e seppellita come calcare (CaCO₃) dove è sequestrata per Ma sin tanto che i processi geologici (subduzione e metamorfismo) non la rilasciano.

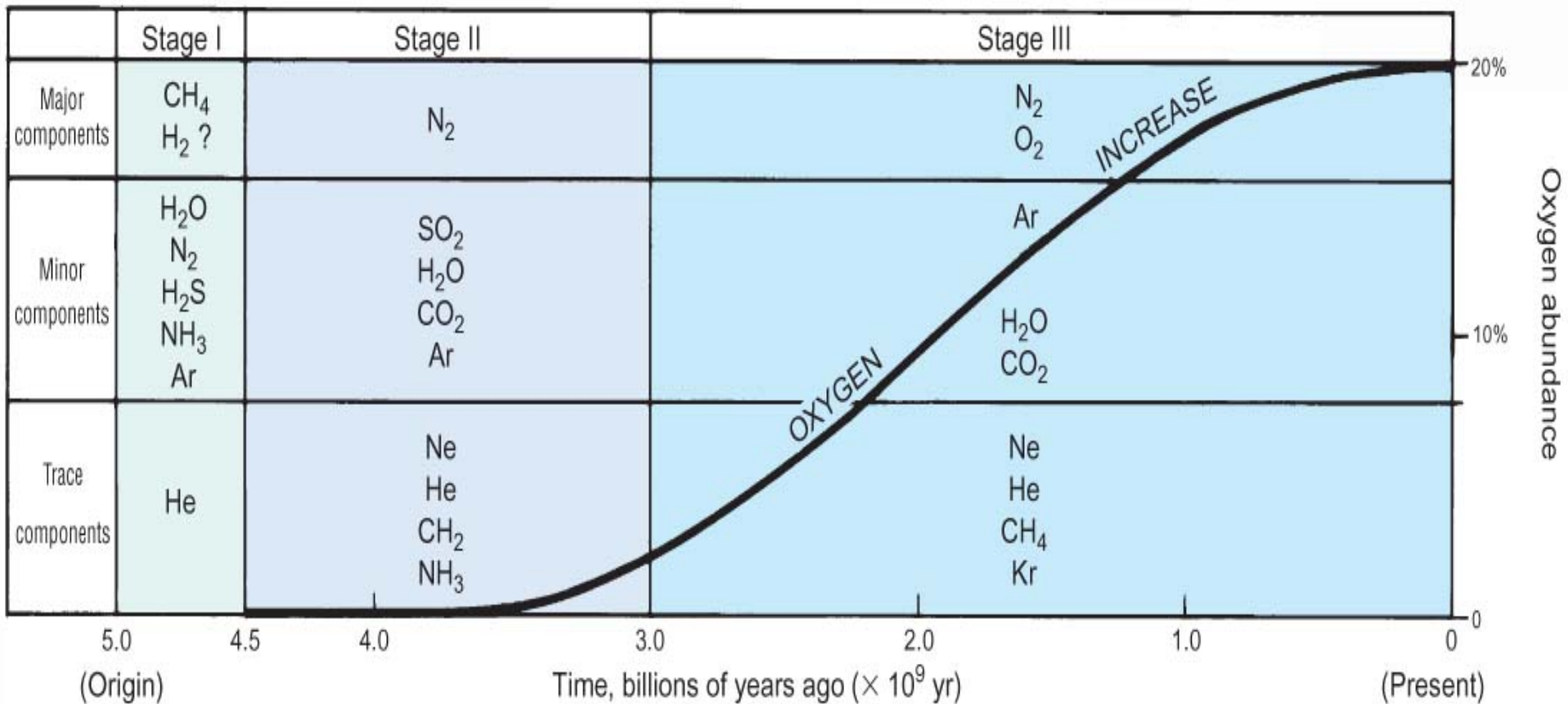
Rimozione di CO_2 dall'Atmosfera

Anche la condensazione del vapor d'acqua contribuisce a solubilizzare la CO_2 ("sink").

Produzione biochimica di calcare per sedimentazione di foraminiferi scheletrici dall'acqua di mare contribuisce ulteriormente al sequestro della CO_2 .

Il rapporto $\text{CO}_{2\text{SW}}/\text{CO}_{2\text{atm}}$ è di 60/1, mentre quello $\text{CO}_{2\text{sed}}/\text{CO}_{2\text{SW}}$ è di 3000/1.

Nel frattempo N_2 cresce in modo passivo a causa della sua bassa salinità nell'acqua di mare.



Come si spiega la massa del mare?

Rubey (1951): La portata delle acque termali associate ad ambienti vulcanici è di circa 6.6×10^{16} g di acqua per anno.

In 3.8 Ga \rightarrow 2.5×10^{26} g.

Nel mare attualmente ci sono 1.7×10^{24} g di acqua.

Questo implica una derivazione delle acque per origine vulcanica.

Ciclo geochimico

- La Terra è un sistema che contiene una quantità fissa di atomi o elementi. Ognuno di questi può esistere in diversi e differenti reservoir chimici. Ogni elemento sulla Terra si muove fra i vari reservoir nella terra solida, negli oceani, nell'atmosfera e negli organismi come parte dei vari cicli geochimici.
- Il movimento di materia fra i vari reservoir è gestito dalle sorgenti di energia interna ed esterna del nostro pianeta.

Ciclo geochimico

- Ciascun elemento ha un ciclo caratteristico che riflette l'insieme dei suoi comportamenti geochimici.
 - Il ciclo geochimico descrive l'intera dinamica di movimenti della materia e si può immaginare come un succedersi di **spostamenti e soste**.
 - Gli **spostamenti** sono determinati dai processi geologici e/o dall'energia solare che rimuovono la materia da una fase all'altra, le **soste** costituiscono le riserve (atmosfera, materia vivente, oceani, etc.).
- Avremo quindi una o più sorgenti (source), dei trasferimenti (transfer e transport) e dei serbatoi (reservoir).
- L'analisi ha inizio con la supposizione che vi sia un equilibrio tra input e output e che l'intero sistema sia ora generalmente stabile e che lo sia stato per lunghi periodi geologici nel passato (**stato stazionario**).

Tempo di residenza dell'acqua negli oceani

$$\text{Volume} = 1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$$

$$\text{Input fiumi} = 3.7 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{yr}$$

$$t = \text{Volume}/\text{Input}$$

$$t = \frac{1.4 \times 10^9 \text{ km}^3}{3.7 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{yr}}$$

$$t = 4000 \text{ anni}$$

Quanto tempo
necessita
all'acqua oceanica
per circolare
attraverso i
fiumi e ritornare
a questi?

Il grande ciclo geochimico

• Quanto tempo è necessario per fare un oceano salato?

- Circa 5×10^{22} g di solidi disciolti nell'oceano
- I fiumi portano circa 2.5×10^{15} g di solidi disciolti per anno

• Dovrebbero essere sufficienti 2×10^7 years (20 Ma)
per portare gli oceani alla salinità attuale:

Assumendo:

- I fiumi abbiano mantenuto approx. lo stesso input nel tempo
- Gli oceani abbiano mantenuto approx. la stessa composizione nel tempo

-ma sappiamo che gli oceani sono vecchi 3.8Ga

Questo confermerebbe che c'è stato output di materiale
che non è quello attuale!

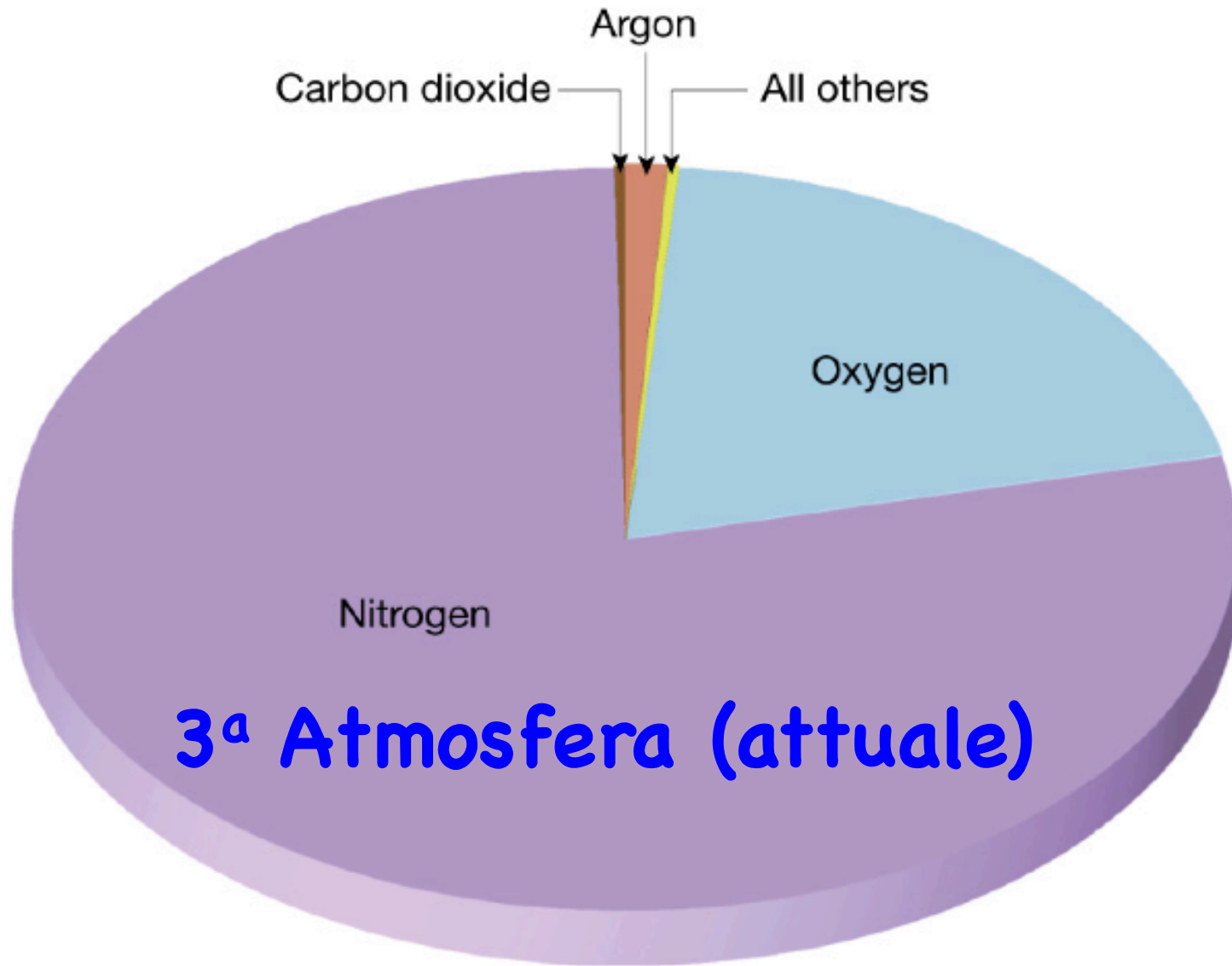
Il grande ciclo geochimico: Tempo di residenza

Prendiamo in considerazione:

Il tempo medio per il quale uno ione/sostanza rimane in soluzione nell'acqua di mare si chiama “**residence time**” ed è relativo ad uno specifico ione/sostanza

$$\text{Tempo di residenza (anni)} = \frac{\text{Quantità totale in SW (kg)}}{\text{Tasso di input (kg/yr)}}$$

Dove il tasso di input = concentrazione media nei fiumi (kg/km³) x quantità scaricata di acqua dolce in mare (km³/yr)



3^a Atmosfera (attuale)

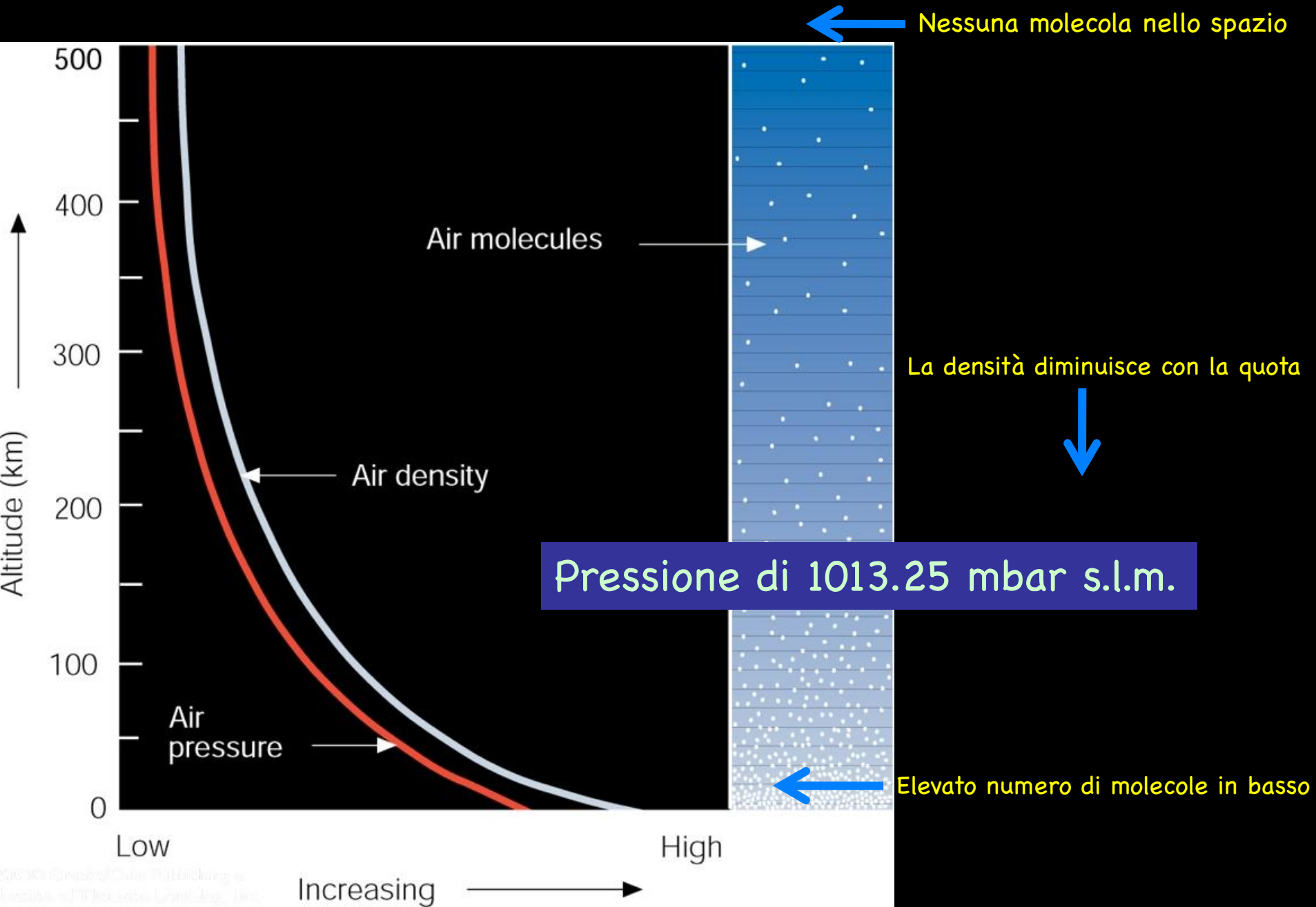
TABLE 2.1 Concentration of Gases in Air at Sea Level

Gas	Volume Percent in Air
Nitrogen (N ₂)	78.084
Oxygen (O ₂)	20.948
Argon (Ar)	0.934
Carbon dioxide (CO ₂)	0.036 0.04
Neon (Ne)	0.0018
Helium (He)	0.0005
Methane (CH ₄)	≈0.0002
Sulfur dioxide (SO ₂)	0–0.0001
Krypton (Kr)	0.0001
Hydrogen (H ₂)	≈0.00005
Nitrous oxide (N ₂ O)	≈0.00003
Carbon monoxide (CO)	≈0.00001
Nitrogen dioxide (NO ₂)	0–0.000002
Ammonia (NH ₃)	≈0.000001
Ozone (O ₃)	0–0.000001

Sources: Modified from Turekian (1972) and Walker (1977), with CO₂ updated to 1994.

H₂O + pulviscolo atmosferico

Struttura dell'atmosfera

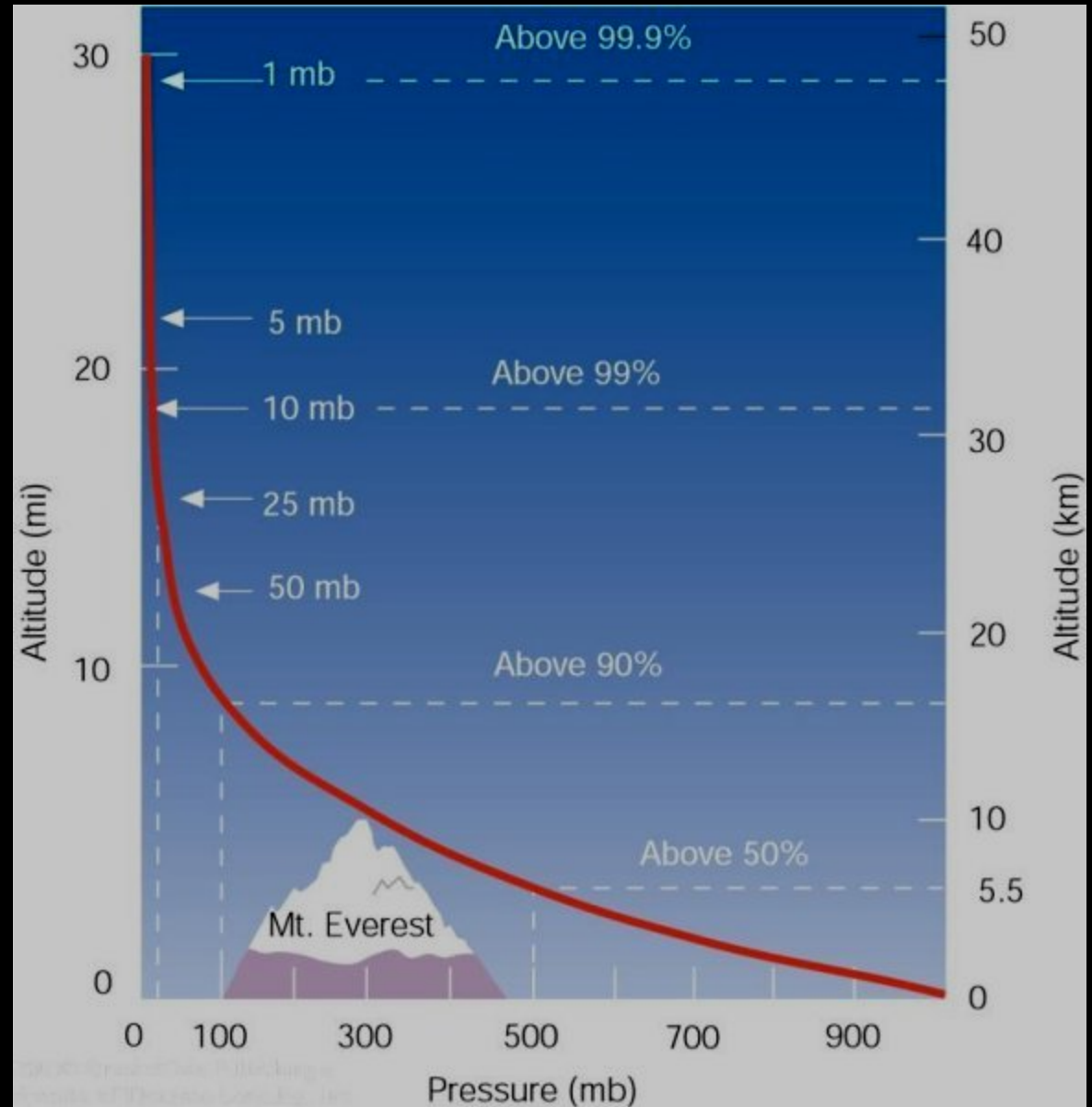


Profilo verticale della pressione

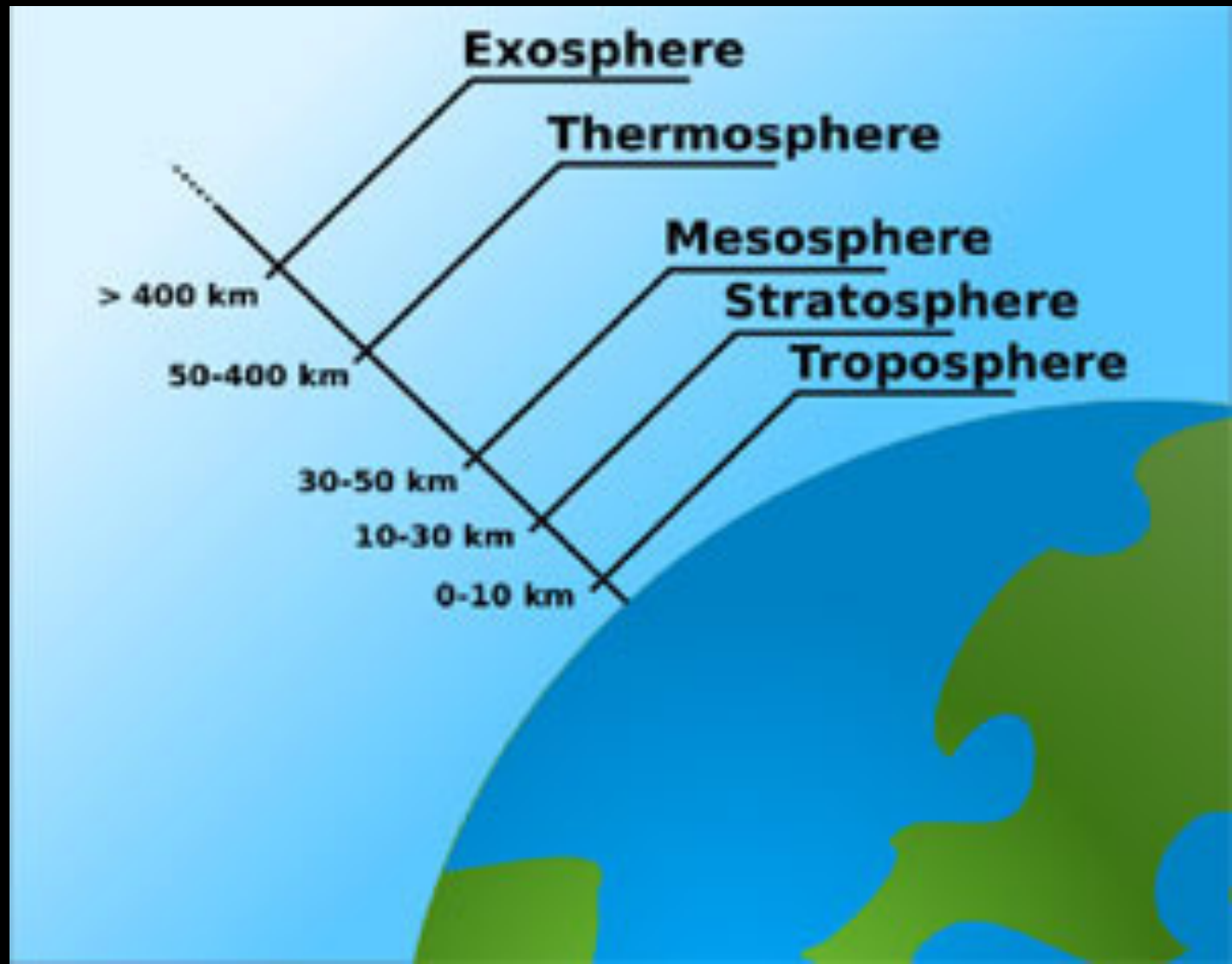
L'atmosfera ha una P che diminuisce velocemente con l'altitudine.
Alla quota di 5.5 km ($P=500$ mb), è presente la metà delle molecole al livello del mare.

Il 99% delle molecole dell'aria sono comprese nei primi 30 km di altezza

La temperatura diminuisce nelle parti basse dell'atmosfera con un tasso di 6.5 °C/km.



L'esosfera è lo strato più esterno dell'atmosfera ove le particelle gassose raggiungono e superano la velocità di fuga (11.2 km/sec).



Exosphere

over ~500 km (300 mi)

Ionosphere

~50-500 km (30-300 mi)

F region

D Region

E Region

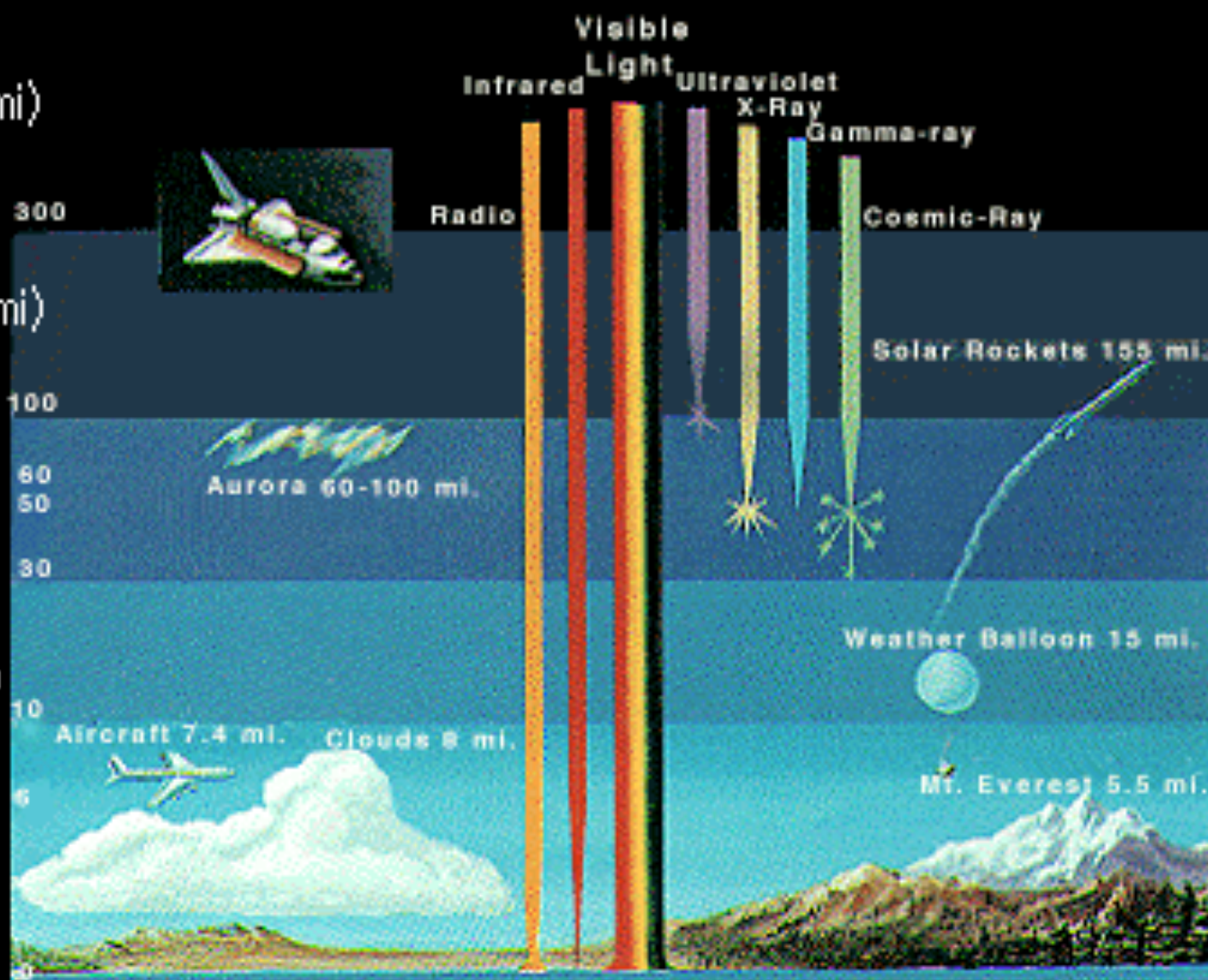
Stratosphere

16-50 km (10-30 mi)

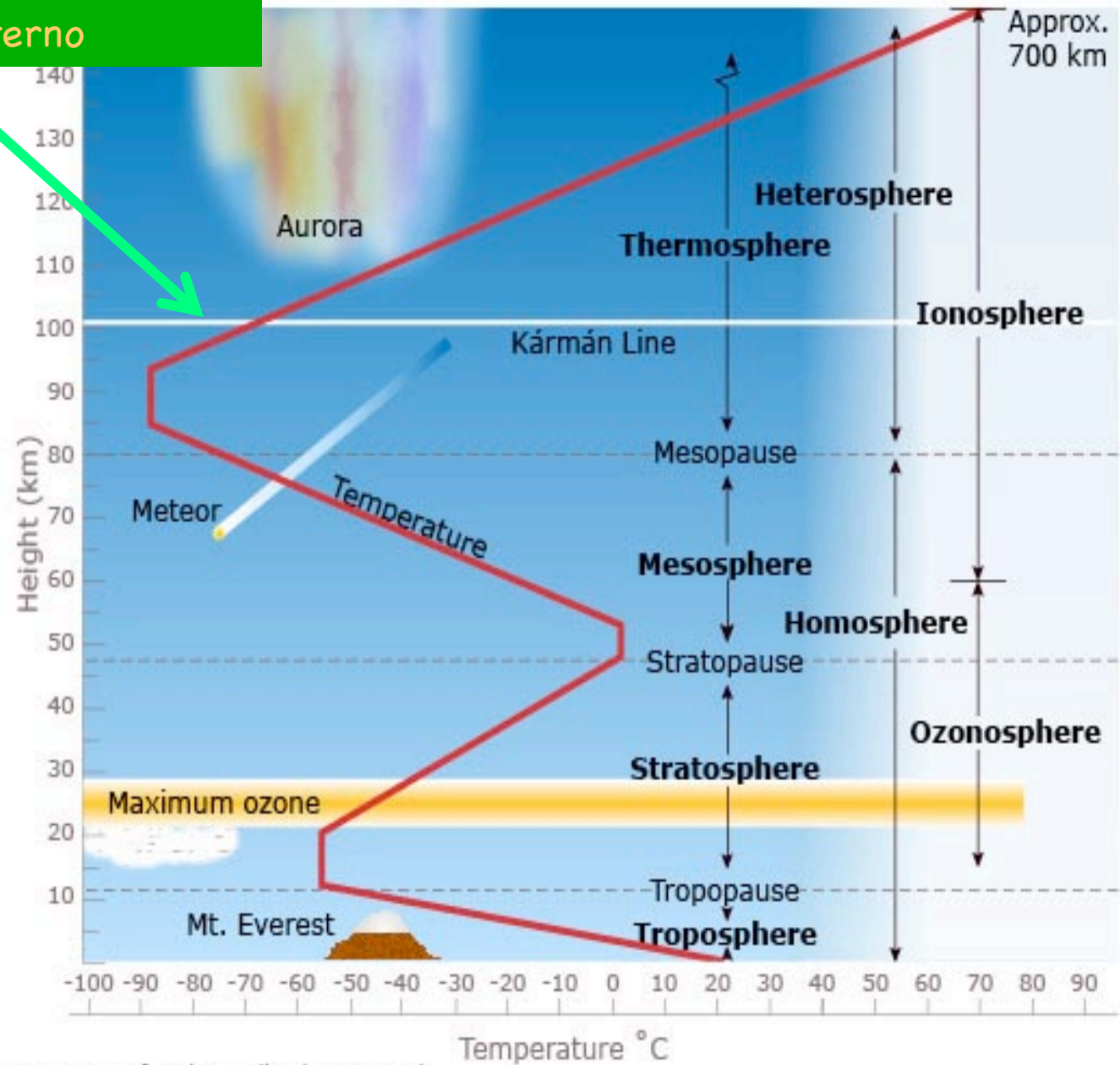
Troposphere

0-16 km (0-10 mi)

Sea Level

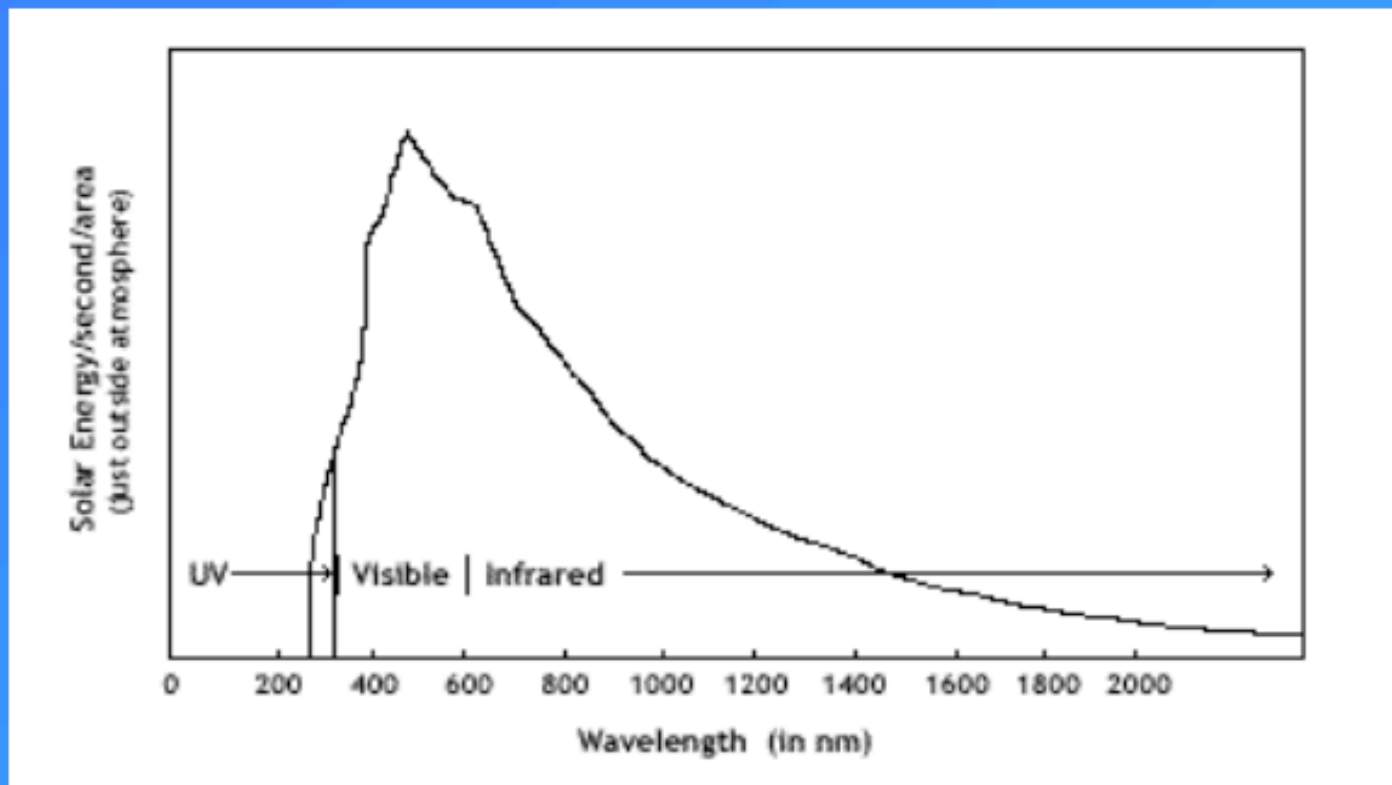


Confine fra atmosfera e lo spazio esterno

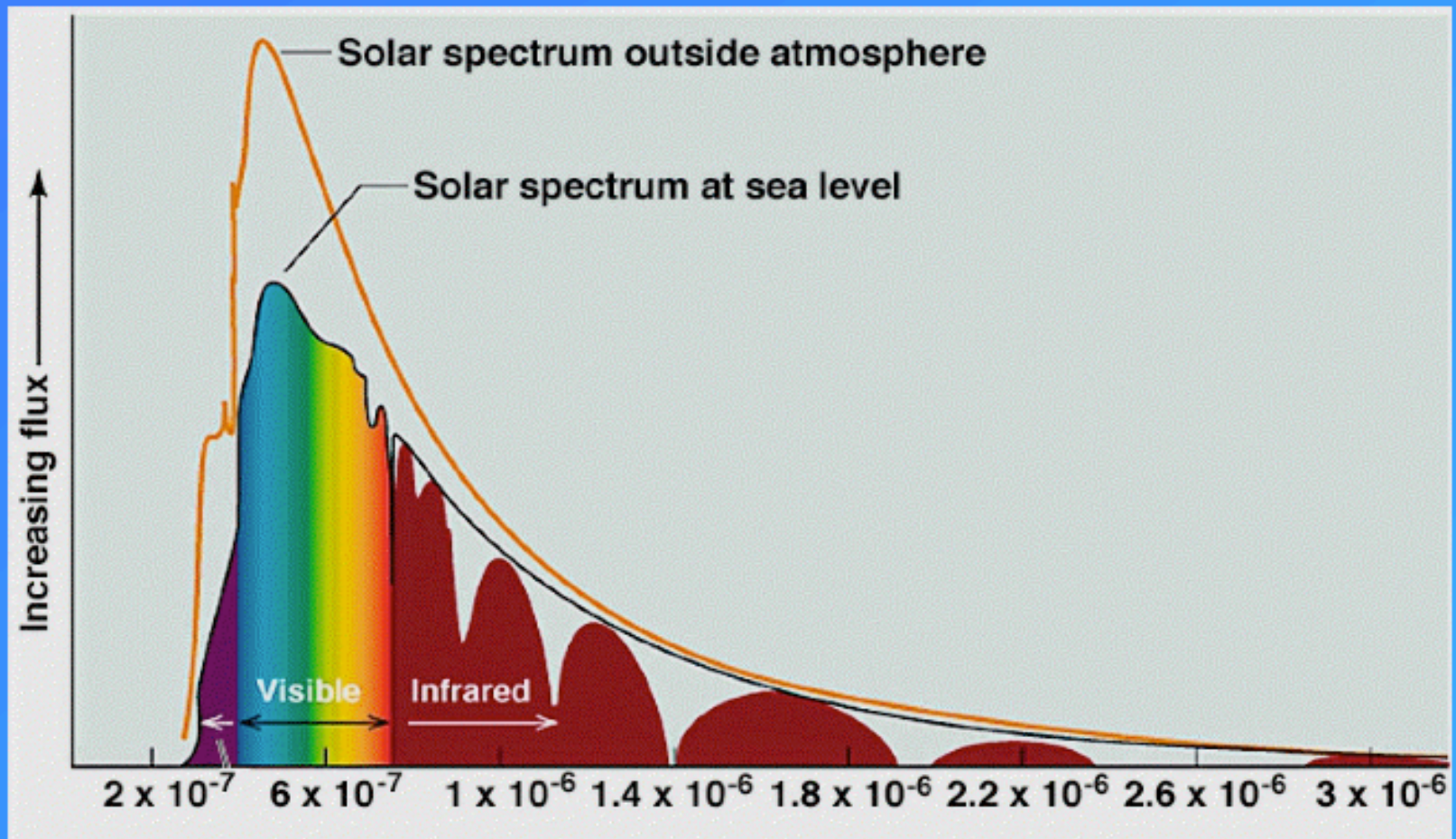


Spettro di emissione del Sole

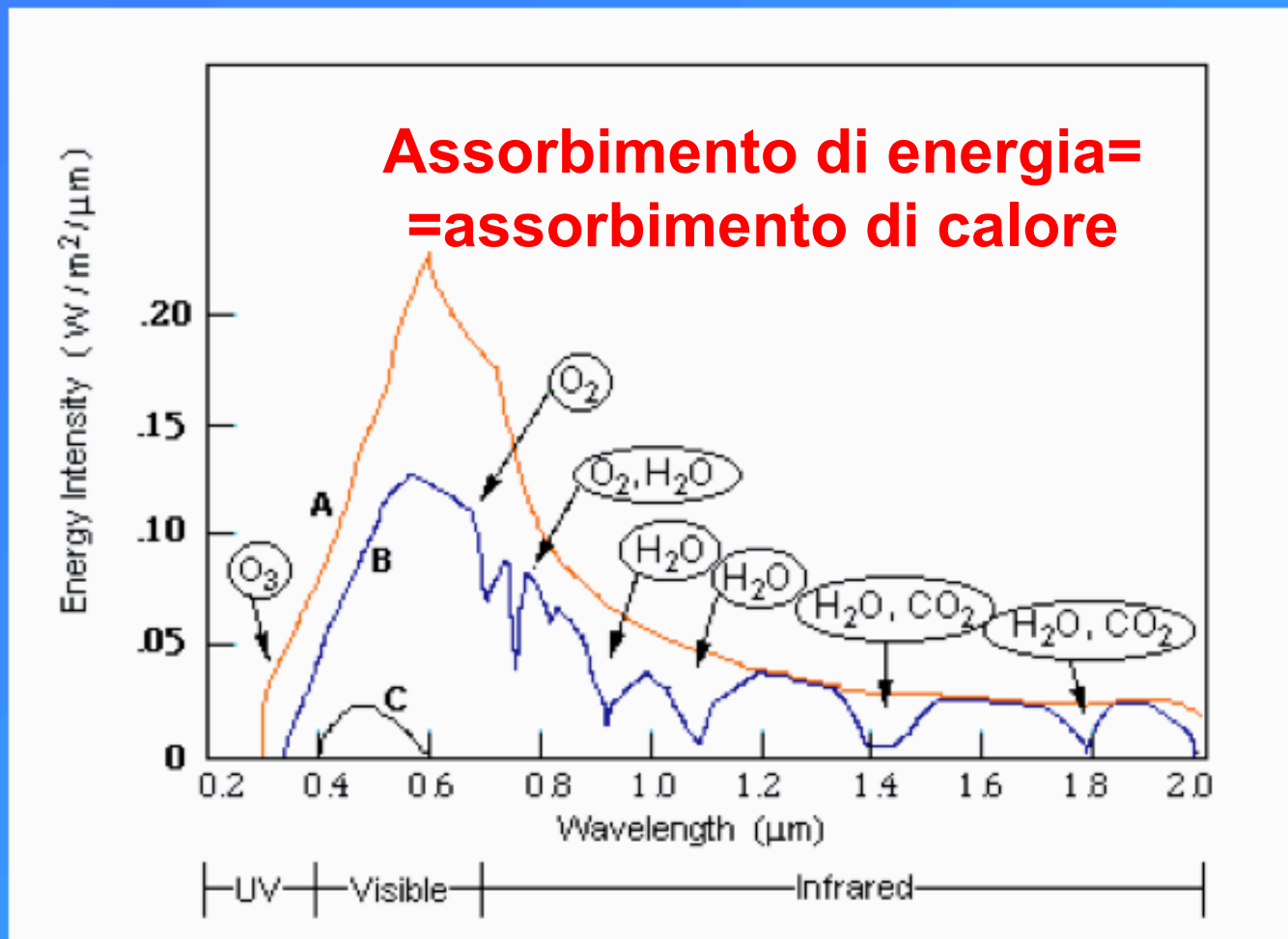
- Il range di lunghezze d'onda che cadono sull'atmosfera



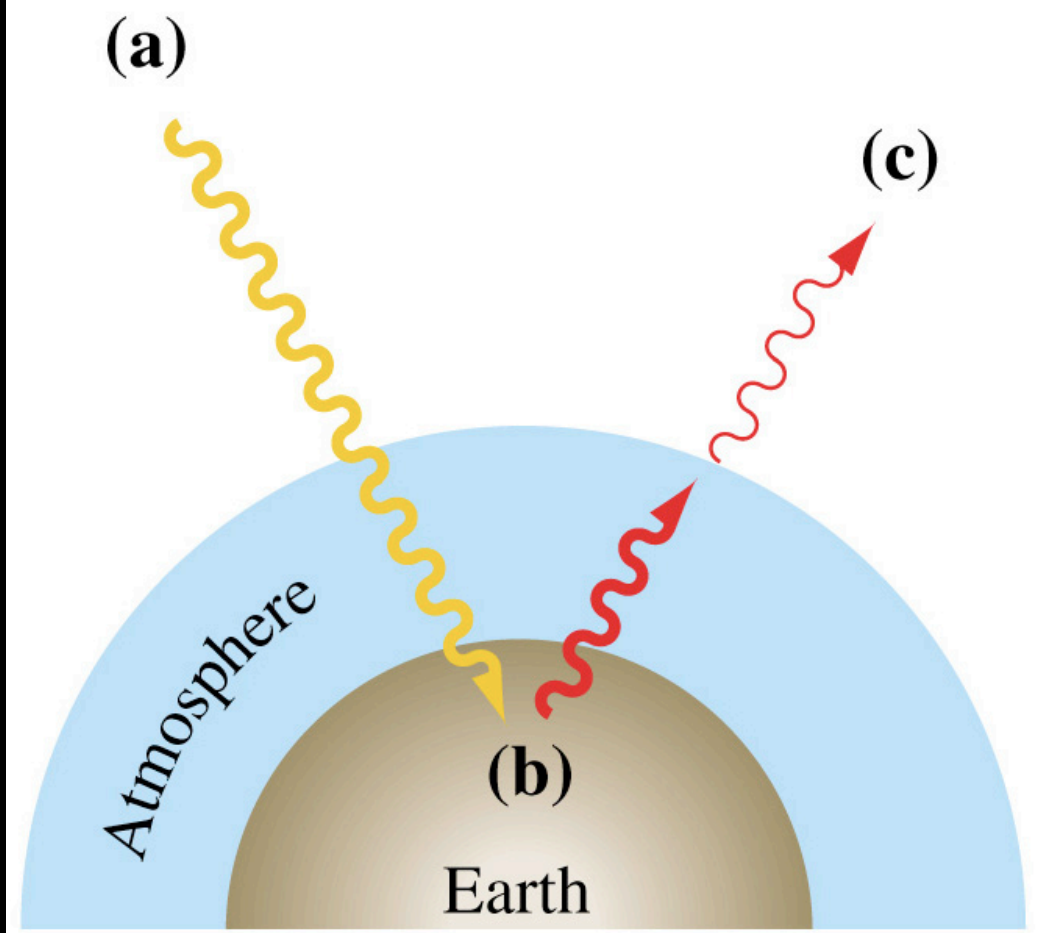
Quanta energia entra nell'atmosfera?



Molecole responsabili dell'assorbimento



Effetto Serra



-L'attuale temperatura media del Pianeta Terra è 14° C

- Se non ci fosse l'effetto serra, la temperatura stimata in superficie sarebbe di -27° C .

LA NOSTRA ATMOSFERA E' UN FILTRO POTENTE PER LA RADIAZIONE SOLARE

a) La radiazione solare colpisce la sup. terr.

b) La sup. terr. la ri-emette alla lunghezza d'onda degli IR

c) IR sono assorbiti in atmosfera dalla CO_2 e altri gas serra

d) L'Atmosfera si riscalda

CO_2 , CH_4 , H_2O , O_3



L'UOMO E LA QUARTA ATMOSFERA

Atmosfera

Farman et al., 1985: diminuzione di O_3 nella stratosfera in Antartide

Friedli et al., 1986: aumento di CO_2 da 250 (1750) a 390 ppmv nel 2012 a >400 ppmv nel 2015

Zandler et al., 1989: aumento di CO

Khalil & Rasmussen, 1987: aumento di CH_4

Pearman et al., 1986: aumento di NO_x

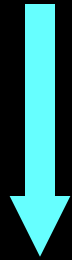
Graedel & Crutzen, 1993: aumento di Cl

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

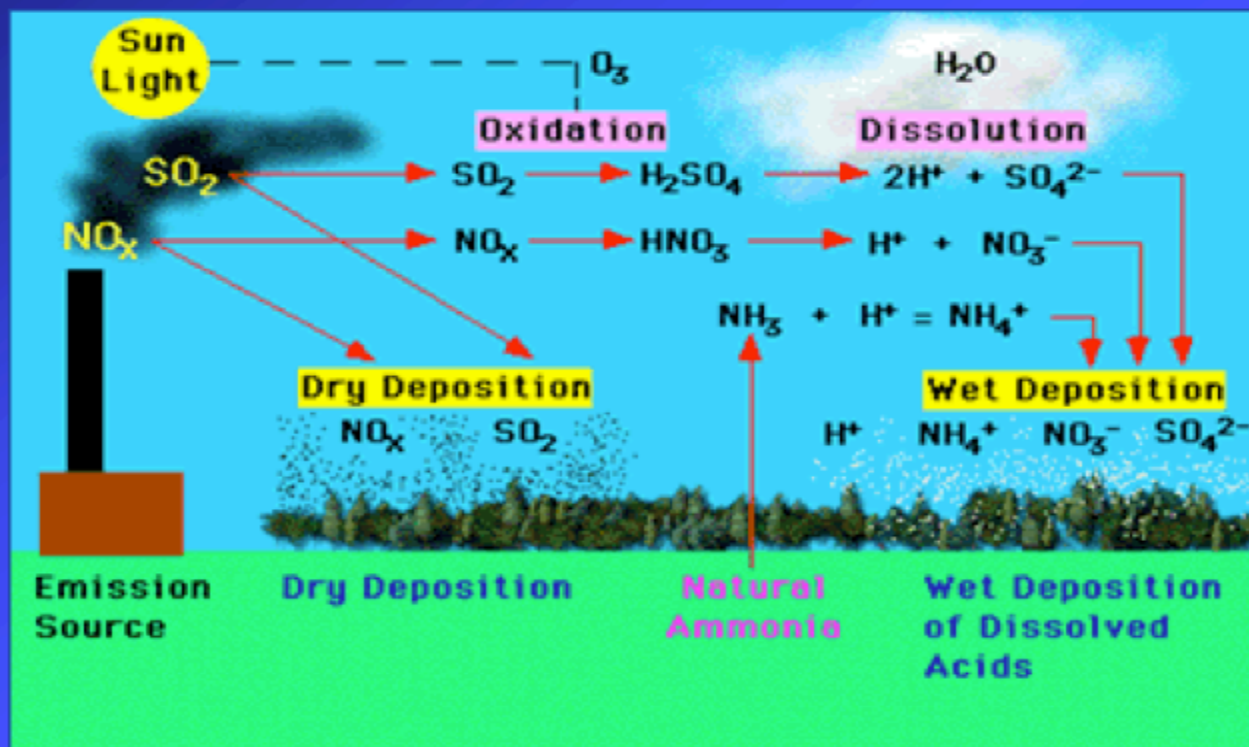


Effetti

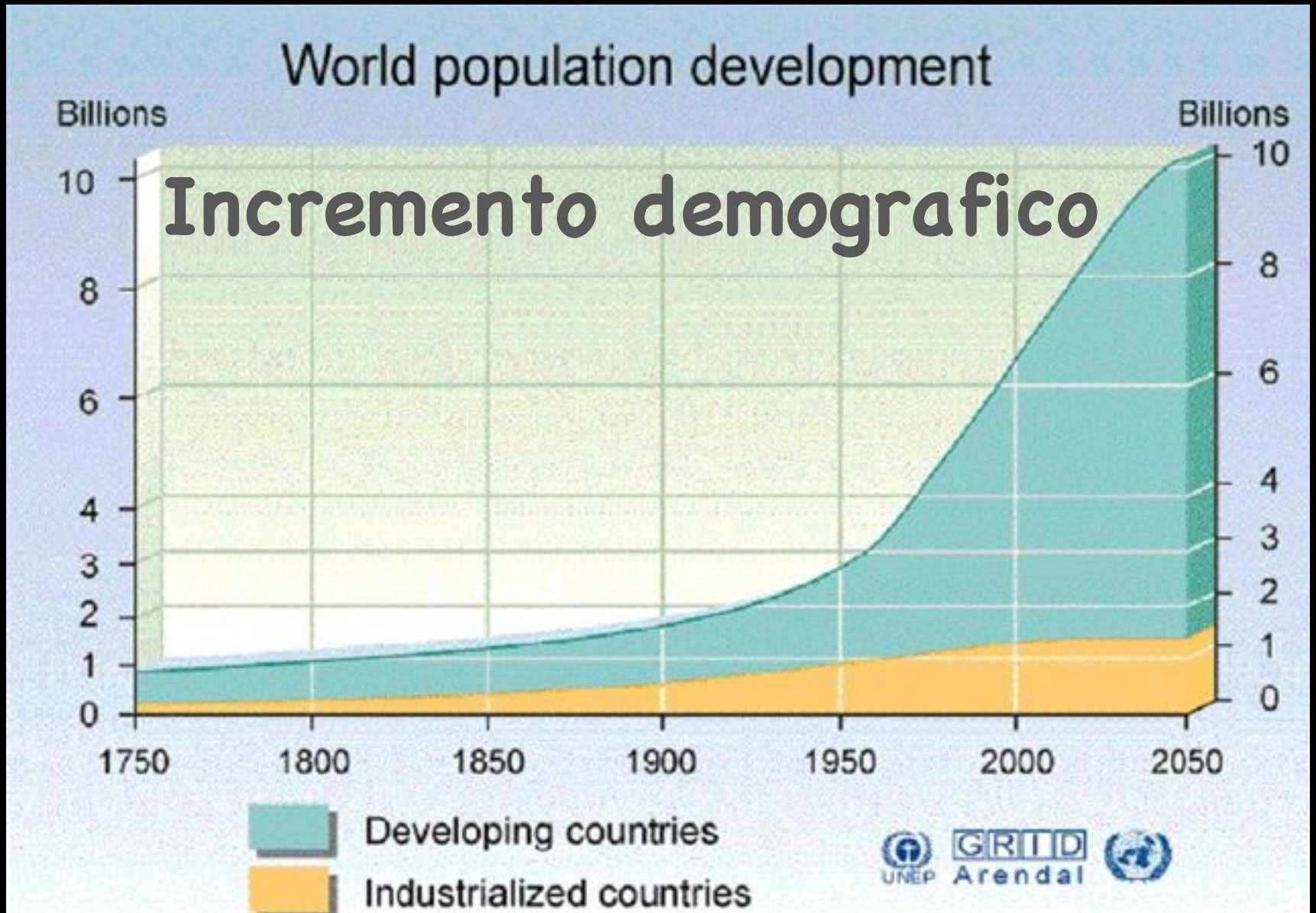


Concentrazione attuale, Greenhouse Warming Potential (GWP): capacità di assorbire la radiazione IR, tempo di residenza (RT) nell'atmosfera.

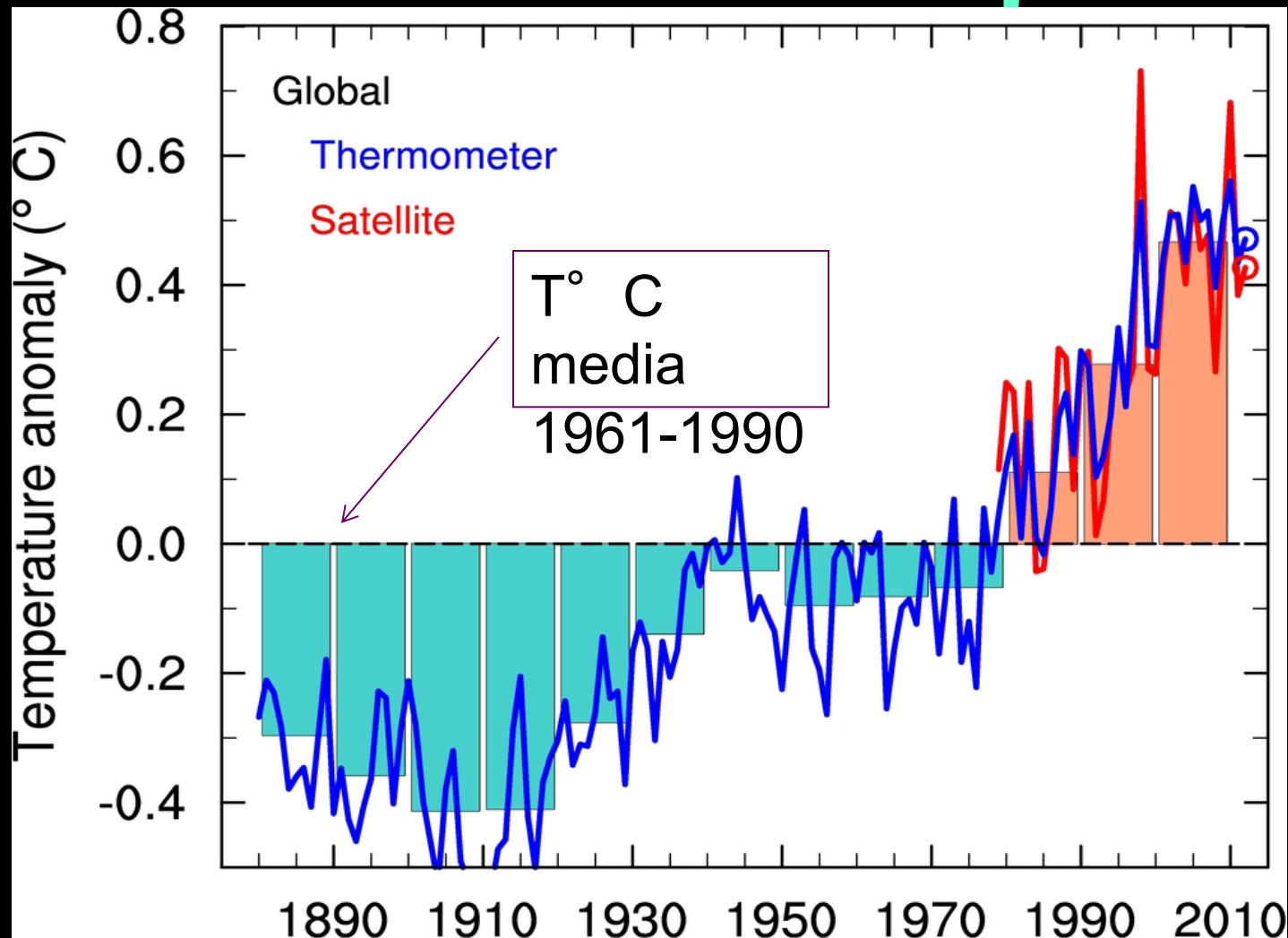
Gas	[conc.]	GWP	RT(y)
CO ₂	400 ppm	1	1x10 ⁴ (??)
CH ₄	1745 ppb	25	12
N ₂ O	314 ppb	296	120
CFC11	268 ppt	4600	1x10 ²
CFC13	4 ppt	14000	1x10 ²
SF ₆	4 ppb	23900	2x10 ³



Stiamo andando verso una 4^a atmosfera?

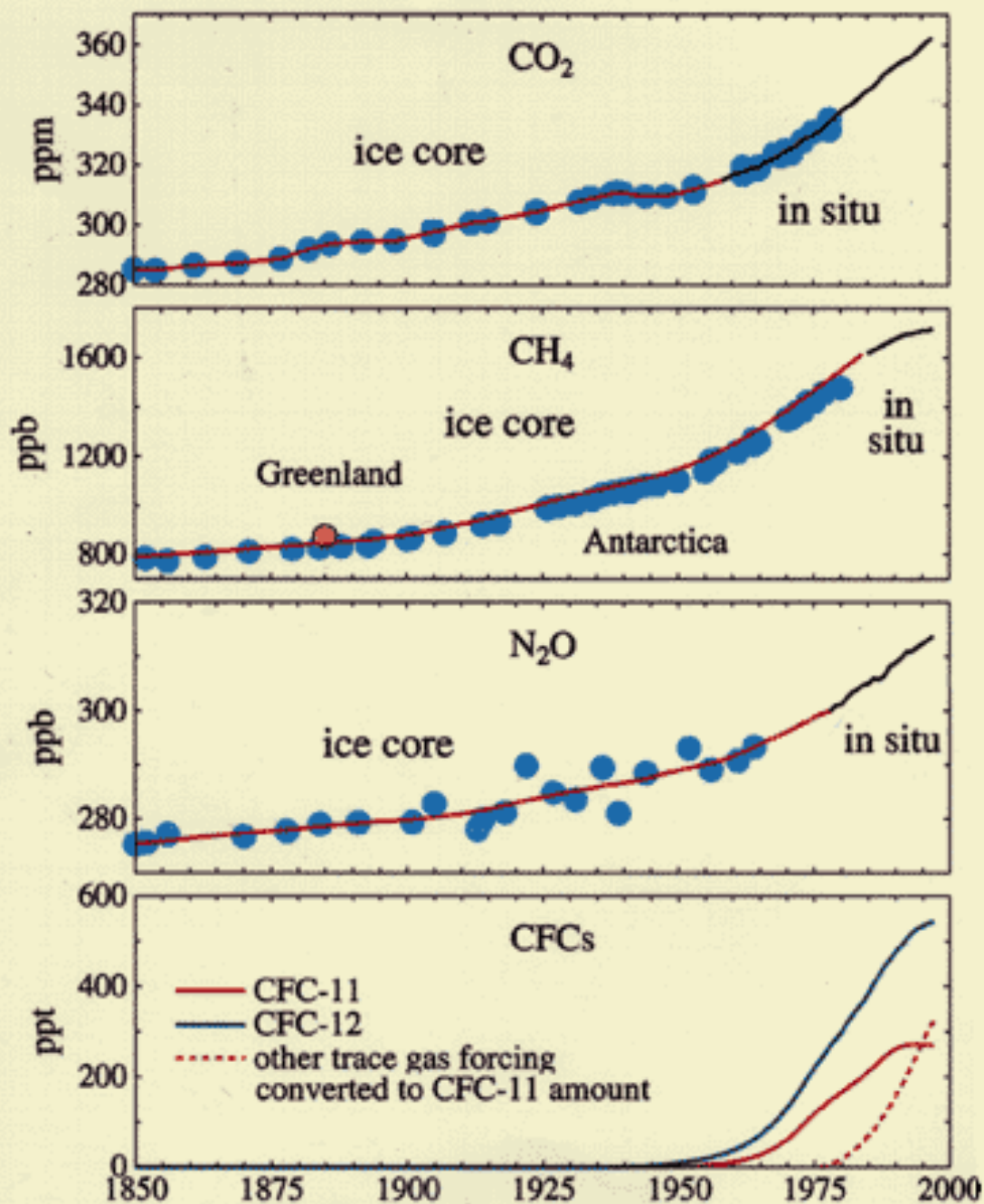


Incremento della Temperatura



- Riscaldamento globale: andamento crescente della temperatura negli ultimi 120 anni, dovuto probabilmente all'immissione di gas serra (CO_2) dalla combustione di petrolio e carbone

Greenhouse Gas Mixing Ratios



Con NO_x si indicano collettivamente tutti gli ossidi di azoto e le loro miscele. L'azoto è in grado di formare diversi ossidi:

l'ossido di azoto (NO);

il diossido di azoto o ipoazotide (NO_2)

l'ossido di diazoto o protossido di azoto (N_2O)

il triossido di diazoto o anidride nitrosa (N_2O_3)

il pentossido di diazoto o anidride nitrica (N_2O_5)

Gli NO_x si formano per processi di combustione

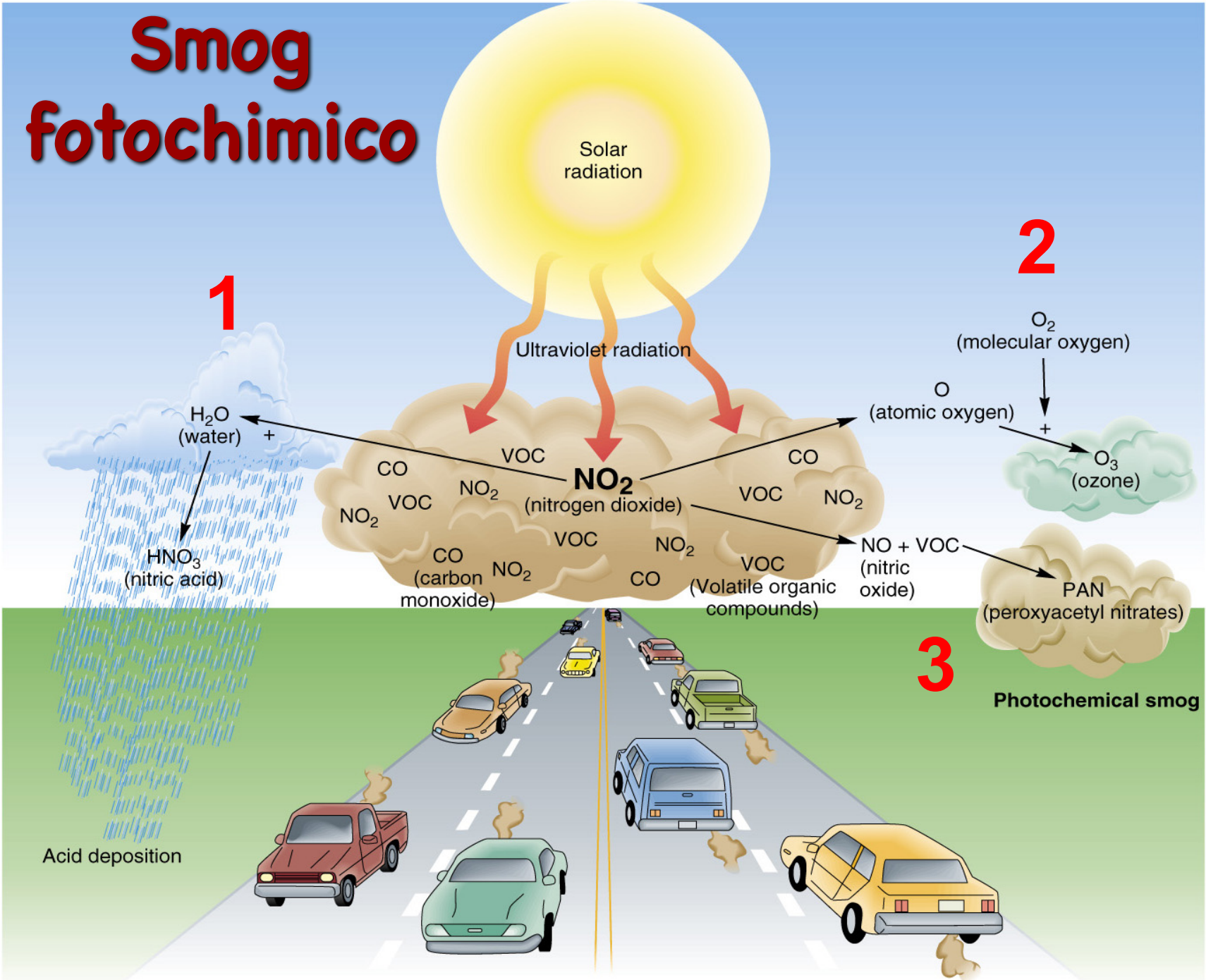
→ **prompt, thermal e fuel** ←

parte iniziale della combustione

elevate temperature e quantità di O_2

combustibili solidi con N, i.e. cianuro o ammina

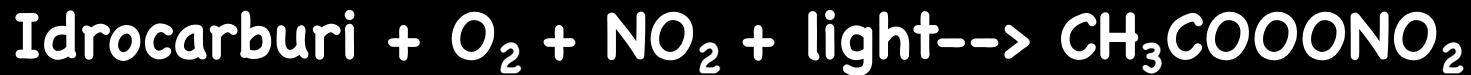
Smog fotochimico



PAN: Nitrati di perossiacetile

I PAN sono inquinanti secondari in quanto non direttamente emessi, poichè si formano per reazioni (foto)chimiche in atmosfera.

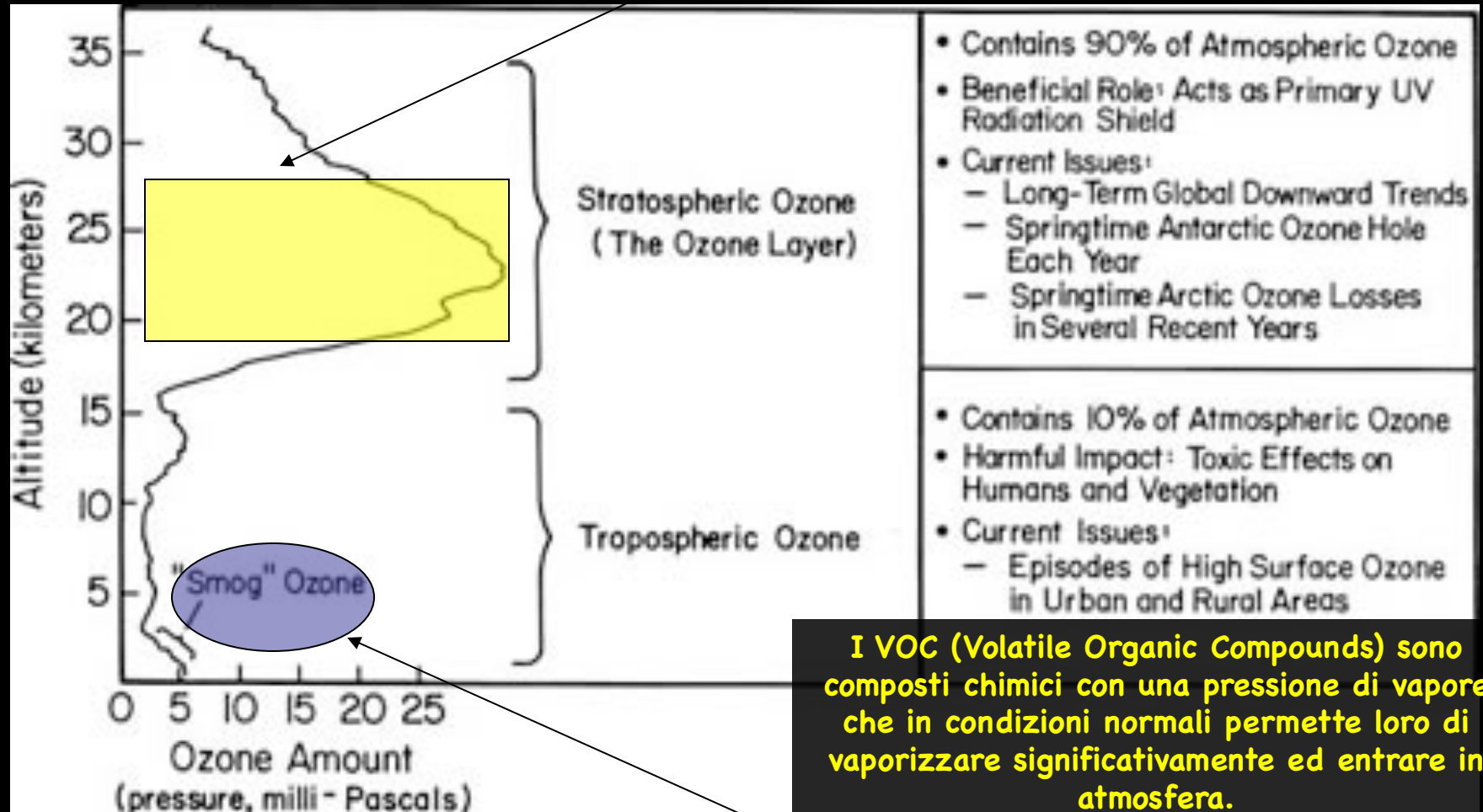
Idrocarburi, composti di N e O (PAN),



Poche ppt sono irritanti per gli occhi. A più alti tenori causa danni alla vegetazione. Sia i PAN che i derivati clorinati (cloroformio, diclorometano, clorobenzeni) sono mutageni, causando tumori della pelle

% --> ppm --> ppb --> ppt
1/100 1/10⁶ 1/10⁹ 1/10¹²

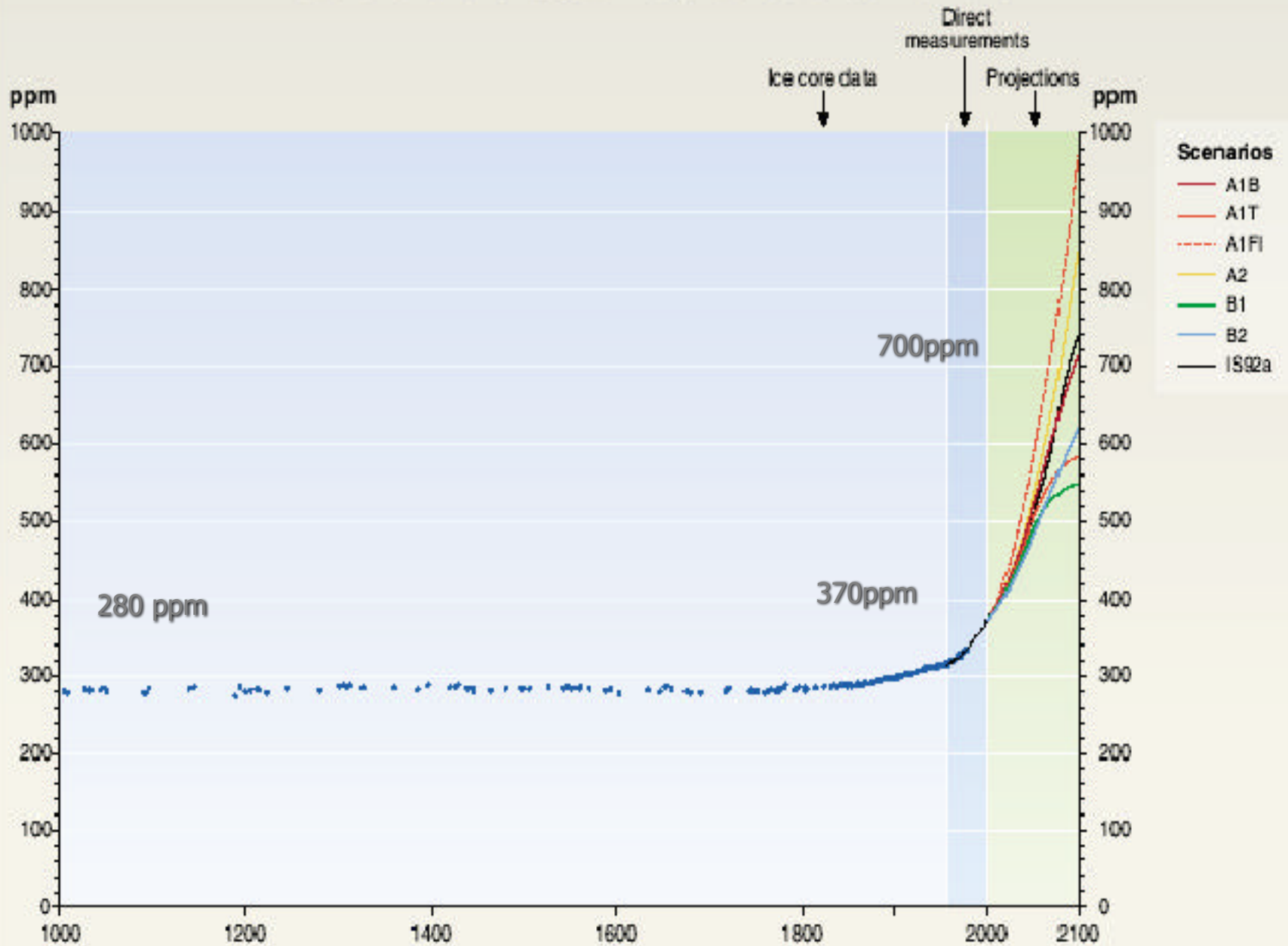
Ozono naturale

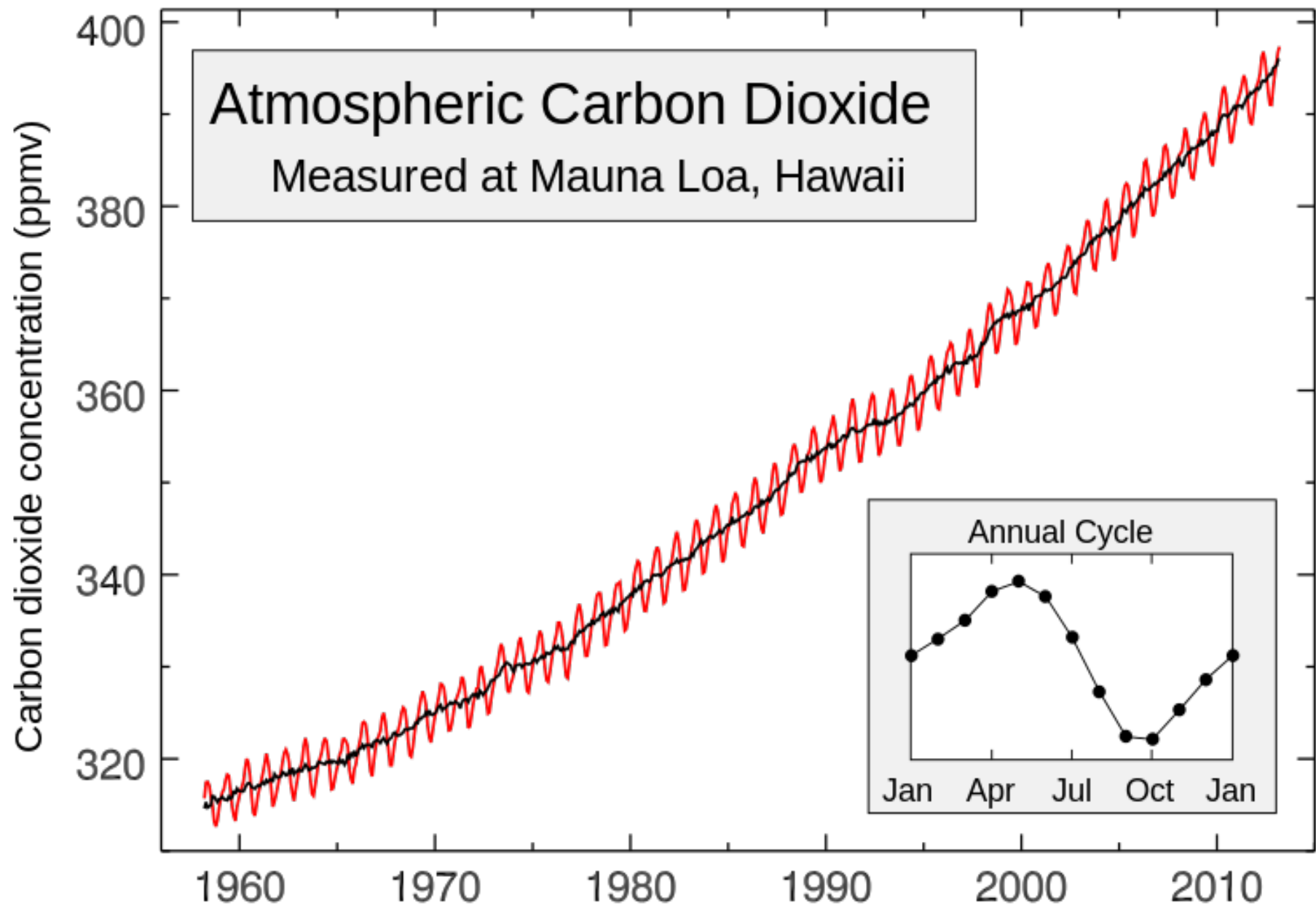


Ozono antropico

Molto dell'ozono troposferico si origina quando NO_x , (CO) e Volatile Organic Compounds (VOC), e.g. xylene, reagiscono in presenza della radiazione solare. NO_x e VOC sono chiamati O_3 -precursors. Emissioni industriali, trasporti e solventi chimici sono le sorgenti di questi composti.

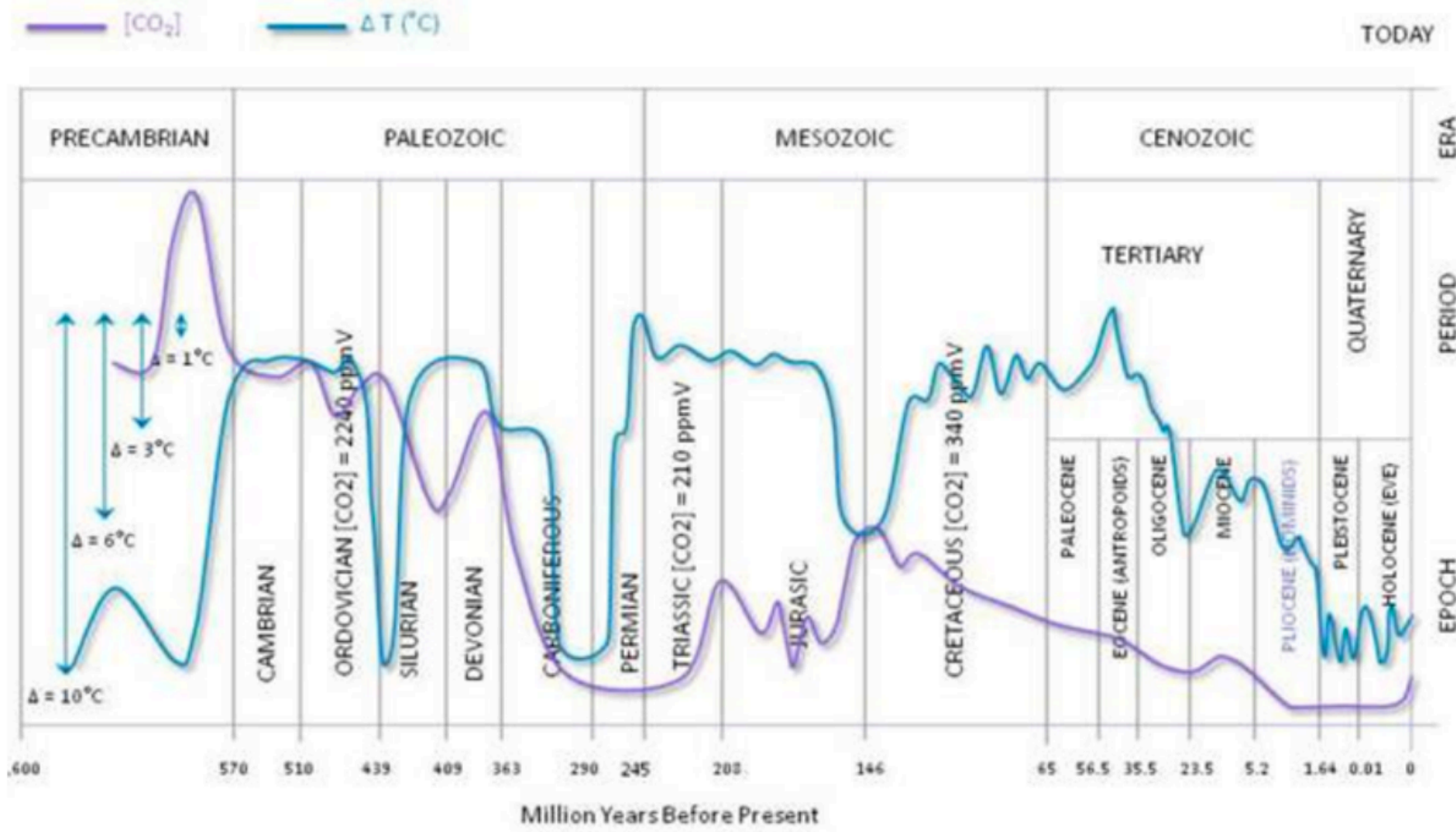
Past and future CO₂ atmospheric concentrations



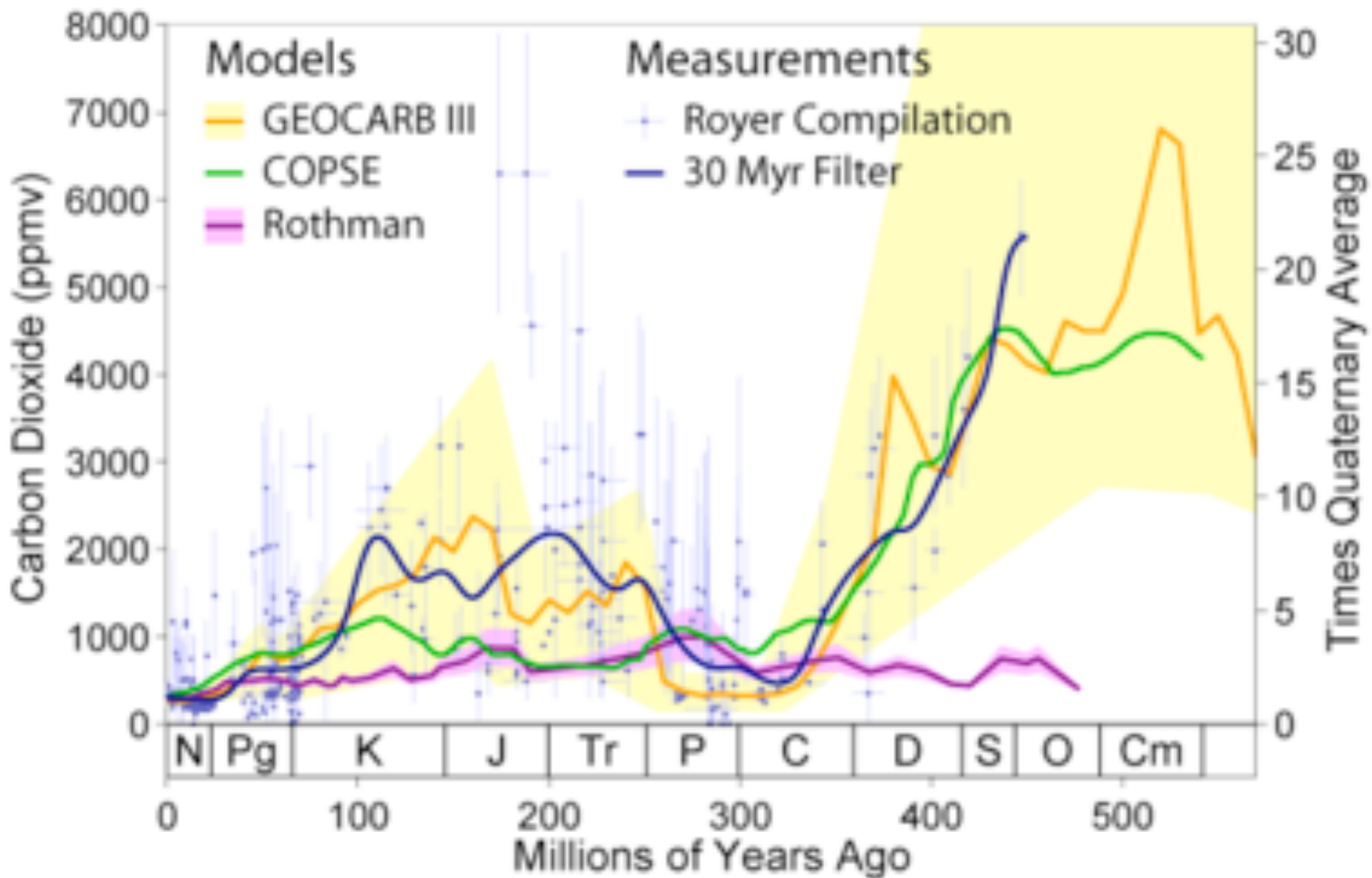


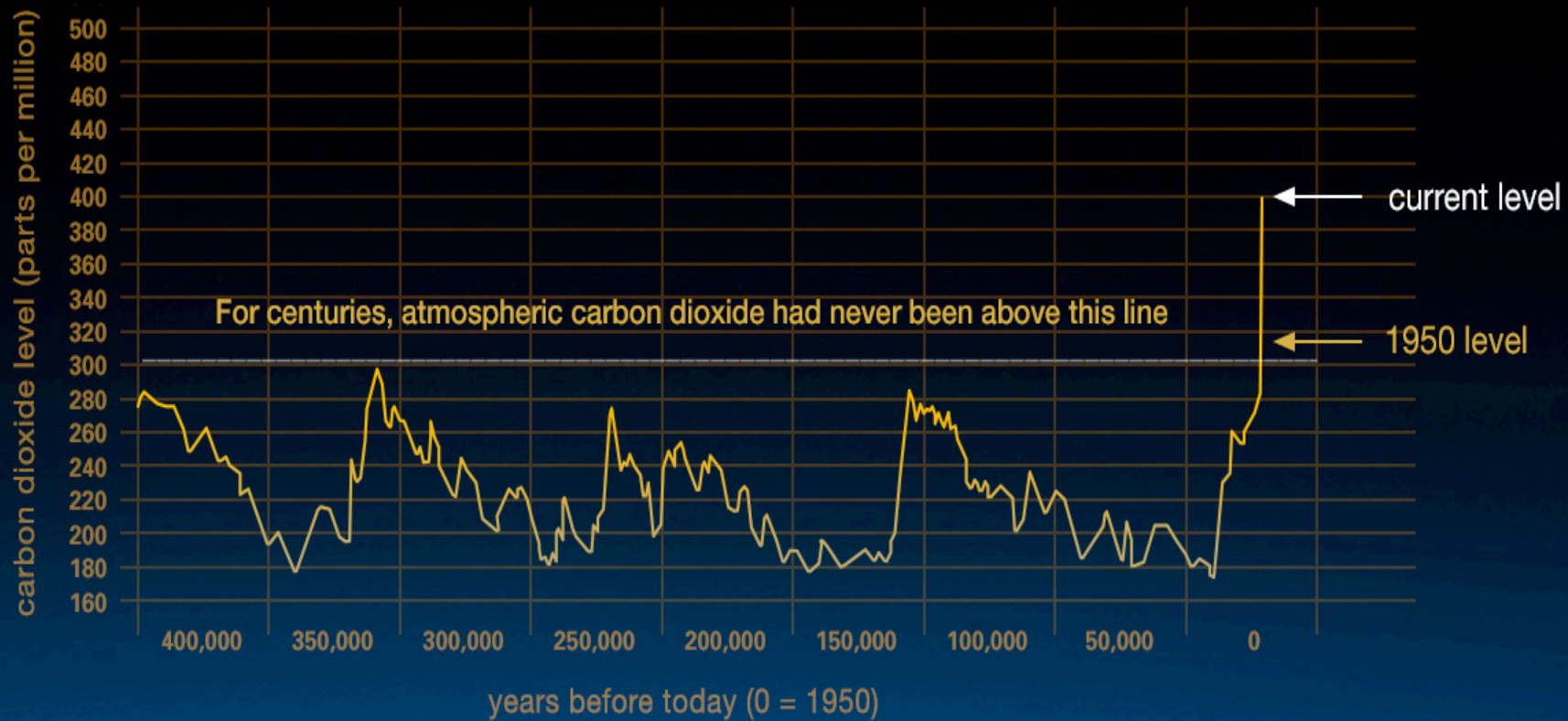
April 2013

Geological Timescale: Concentration of CO₂ and Temperature fluctuations



Phanerozoic Carbon Dioxide





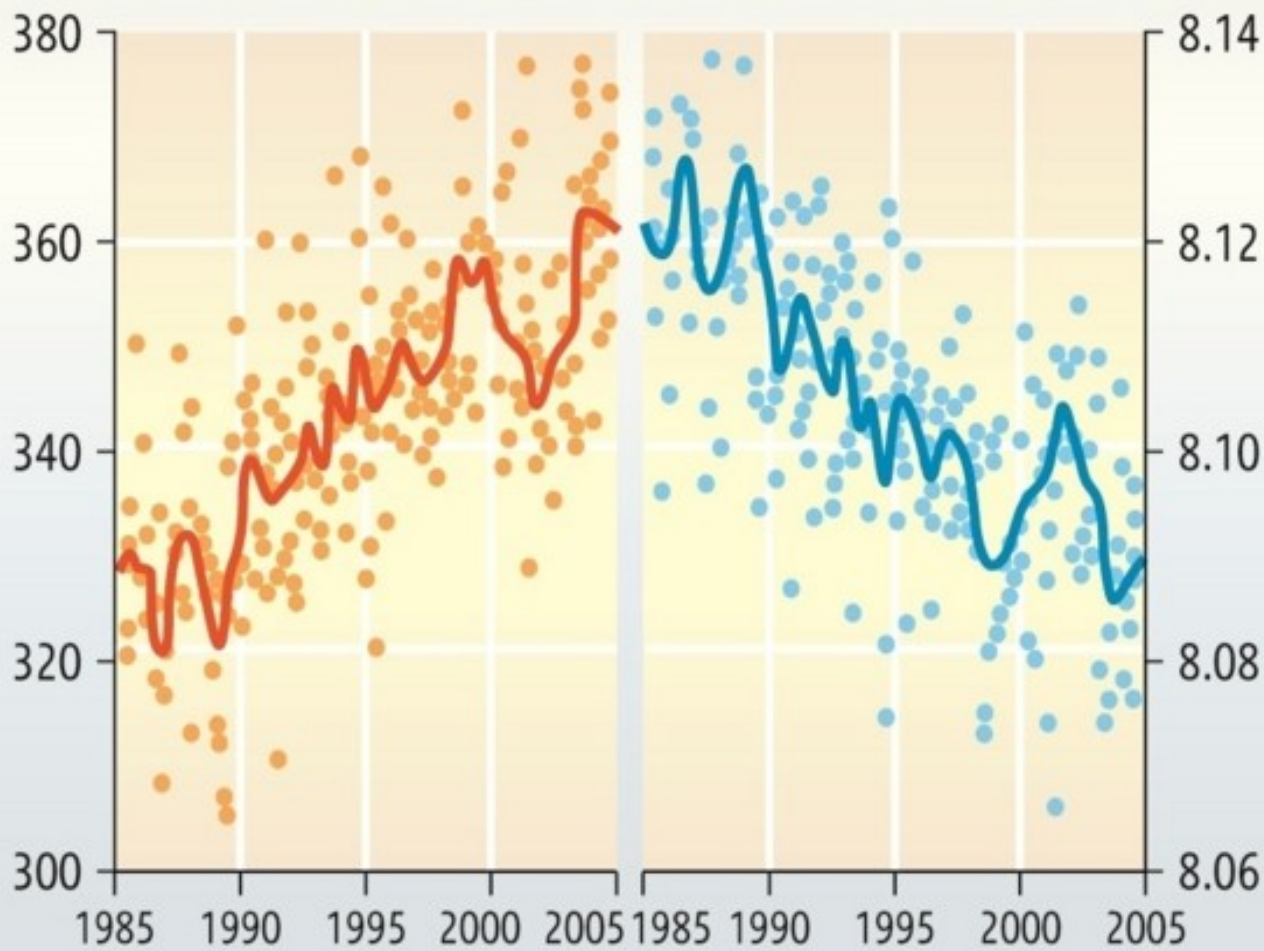
Global ocean acidification

Oceanic CO₂
concentration

atm

Ocean water
acidity

pH



Source: IPCC, 2007.

Positive proof of global warming.



**18th
Century**

1900

1950

1970

1980

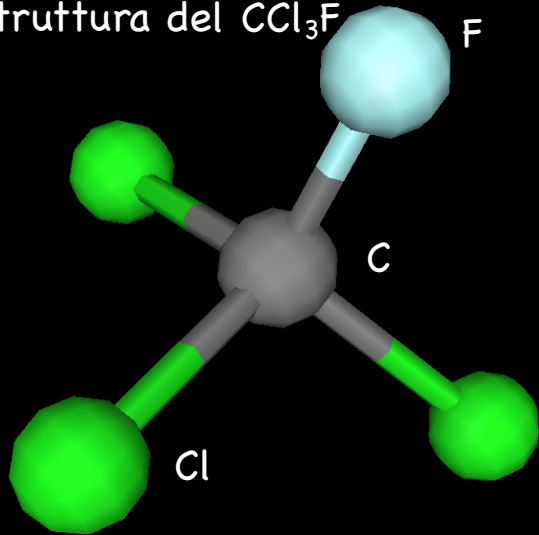
1990

2006

CO₂

(Idro)Clorofluorocarburi o (H)CFC

Struttura del CCl_3F



Non tossici, non infiammabili: contengono C, H, Cl e F.

Usi: aerosol spray, agenti per schiuma, materiale per contenitori, refrigeranti, ecc.

Gruppo degli alocarburi, la dizione della specie è sulla base del numero di atomi di C,

H, F, e Cl: $\text{CCl}_3\text{F} \rightarrow \text{CFC-11}$: $90+11=101$, i.e. 1:

C, 0: H, 1: F \rightarrow 3Cl;

CFC-12 : $90+12=102$, i.e. 1: C, 0: H, 2: F, 2: Cl

1974, Rowland e Molina (California): i CFC liberano Cl nella stratosfera per decomposizione da UV

L'attivazione di Cl distrugge O_3

1987, protocollo di Montreal: riduzione 50% dei CFC prima del 2000.

Tempo di residenza dei CFC nell'atmosfera (55 anni per CFC-11 e 140 anni per CFC-12, CCl_2F_2)

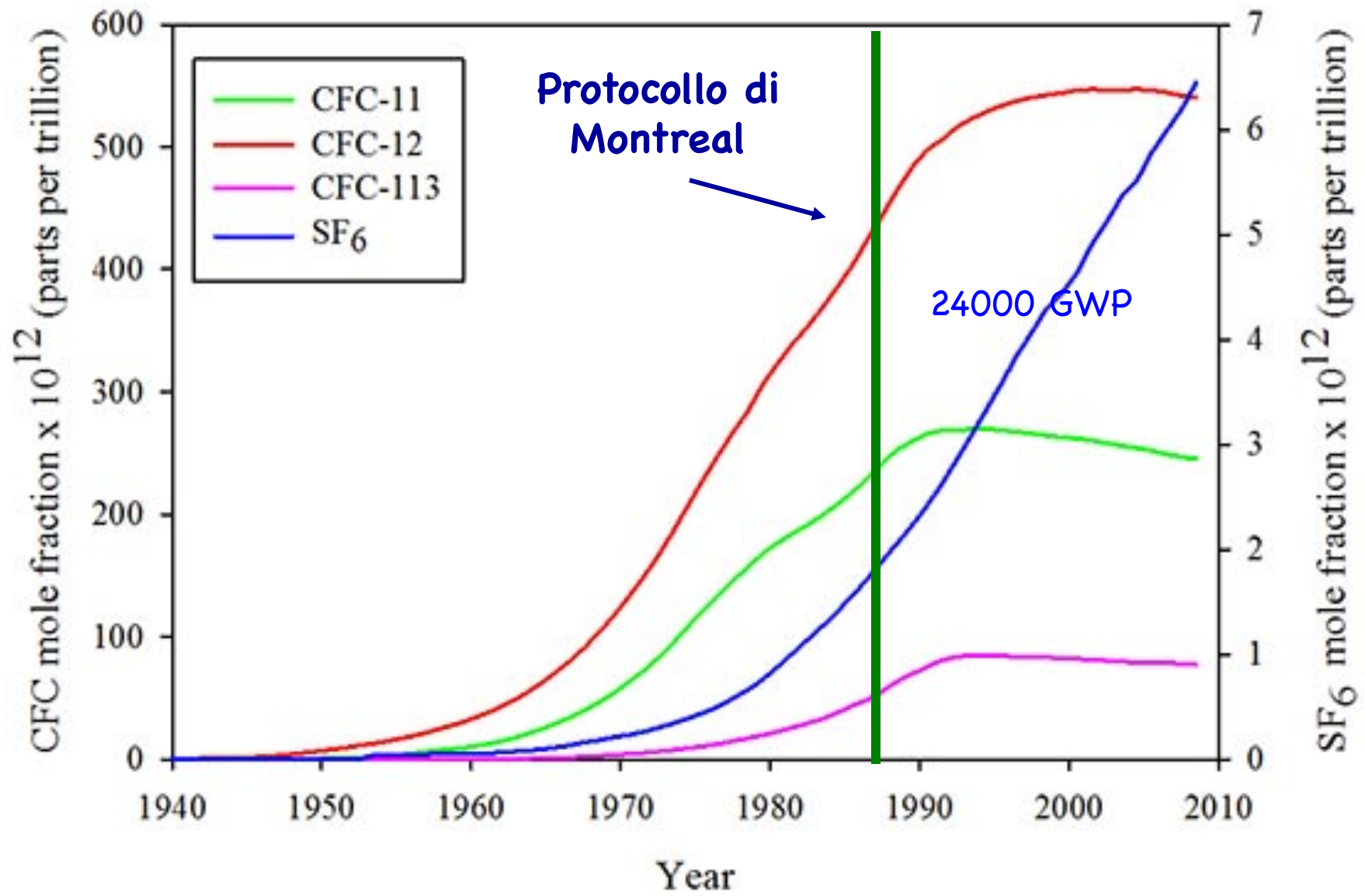
La produzione si interrompe nel 1996. Eccezioni: paesi terzo mondo, medicina (i.e., inalatori asma), ricerca.

Sostituti: HCFC che includono H, Cl, F, e C: tempo di residenza, 13 anni. HCFC contengono Cl.

L'emendamento di Copenhagen (2009) ha proposto la loro messa al bando per il 2030.

HFC sono i migliori: assenza di Cl, tempo di residenza breve. USA: HFC-134a è usato nei sistemi di condizionamento.

CFCs and SF₆ in the Northern Hemisphere Atmosphere





EFFETTO SERRA

Emissione gas antropogenici/anno nel 2014

CO₂: 36 Gt: 9.800.000.000 di C!

CH₄: 310 Mt

SF₆: 37.7 Mt

NO: 6.7 Mt

CFCs: 1.57 Mt

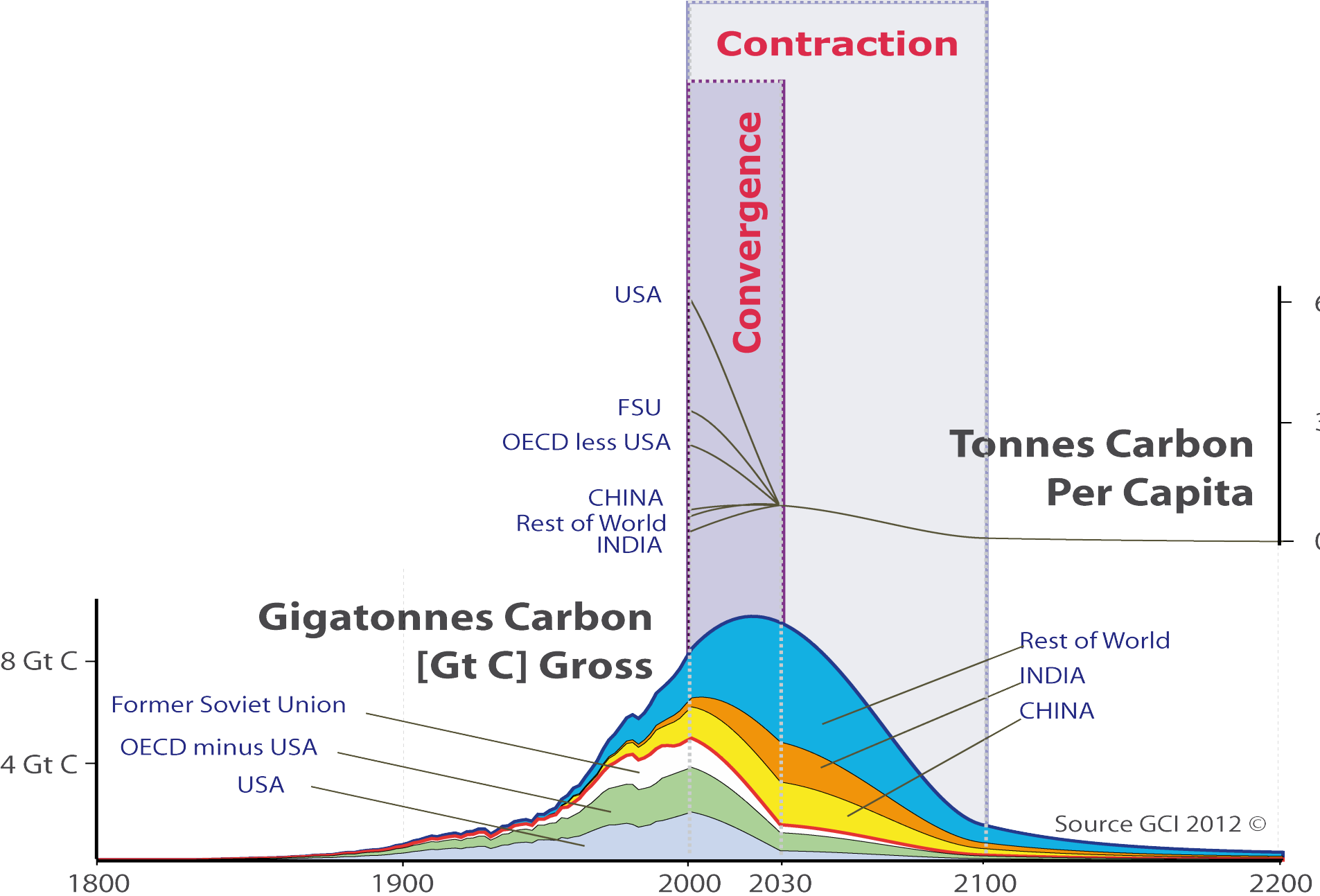
PROTOCOLLO DI KYOTO (1997)



**Accordi Post Kyoto operativi-vincolanti paesi UE: Piattaforma ZEFFPP
(Zero Emission Fossil Fuels Power Plants)**



**Tecnologie CCS (CO₂ Capture & Storage), entro 2020:
Sequestrazione geologica CO₂**



This example shows rates of global C&C in 6 regions. It is for a 450 ppmv Contraction Budget with Convergence by 2030.

Cattura geologica di CO₂

DOVE INIETTARE LA CO₂

- Acquiferi salini profondi
- Depositi di carbone non sfruttabili
- Pozzi petroliferi esauriti

• New Mexico

• Polonia



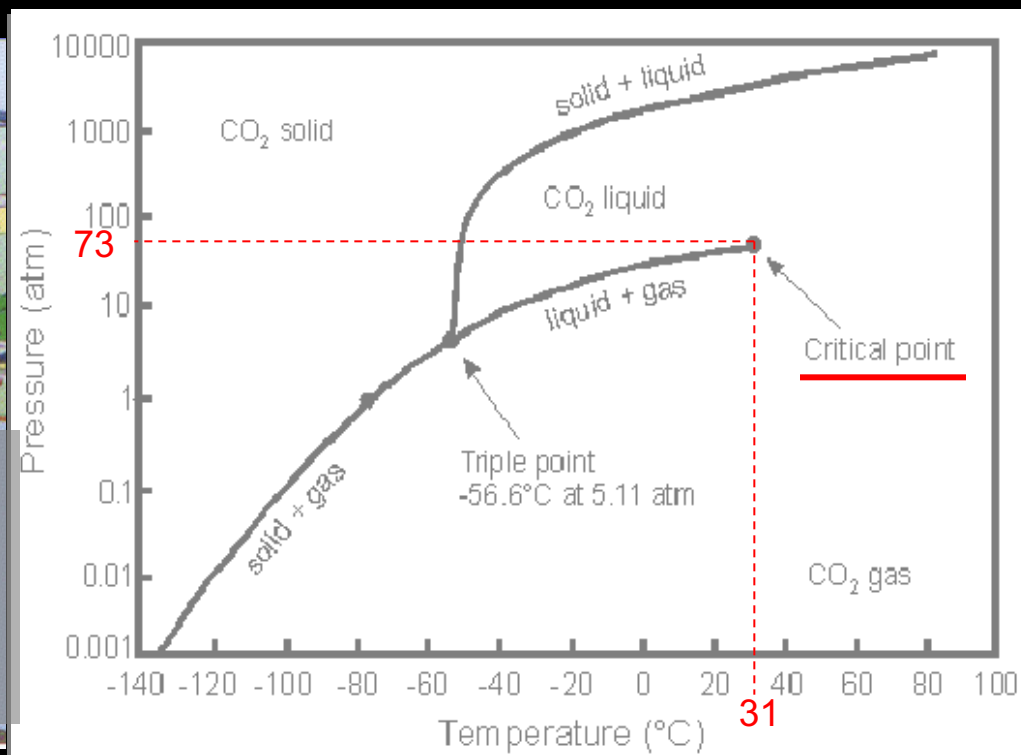
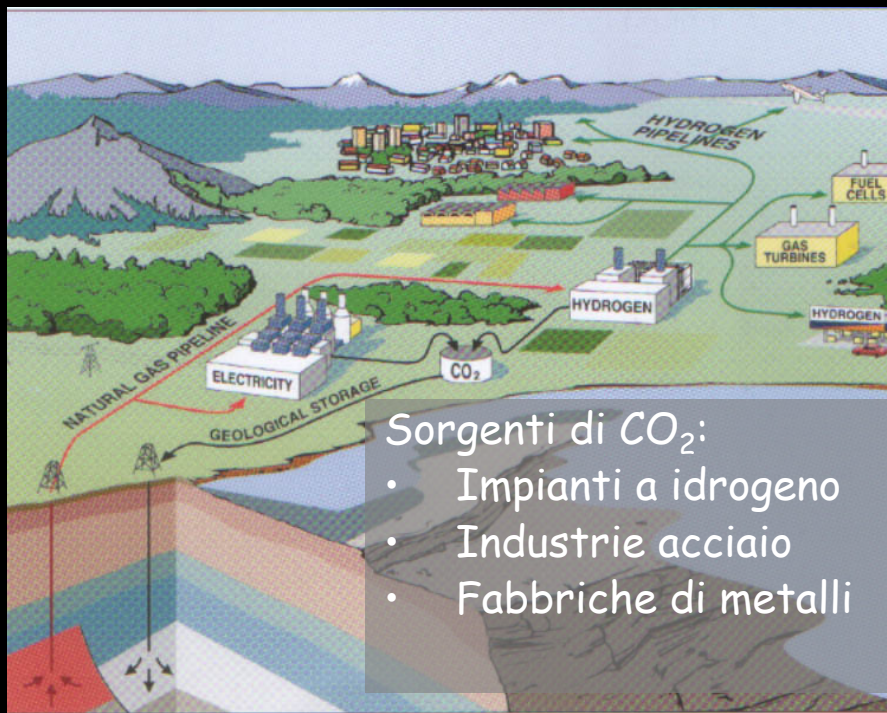
SITO	CAPACITÀ DI STOCCAGGIO IN Gt CO ₂
Acquiferi salini profondi	400-10.000
Serbatoi esauriti di petrolio e gas	930
Depositi di carbone non estraibile	30
Emissione di CO ₂ mondiale	36 Gt CO ₂ per anno

cattura

compressione

trasporto

iniezione

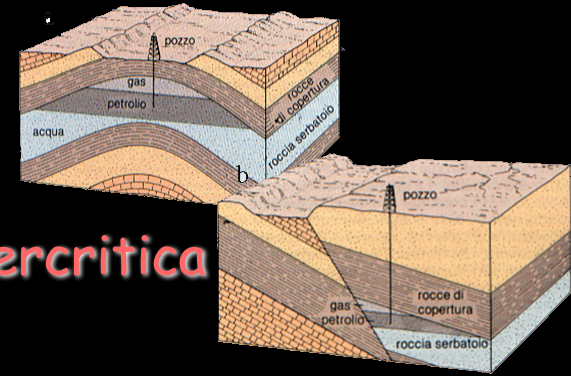


La CO₂ è trasportata come un gas "secco" supercritico con densità (ca. 760 kg/m³) e viscosità < acqua; così che tenderà a "galleggiare" al top della zona di iniezione

La T critica di un gas è quella al di sopra della quale una sostanza non può esistere come liquido (fase gassosa e liquida indistinguibile). Al di sotto della T critica abbiamo condensazione per ogni incremento di pressione

- ✓ Physical trapping
- ✓ Hydrodynamic trapping
- ✓ Solubility trapping
- ✓ Mineral trapping

TRAPPOLE



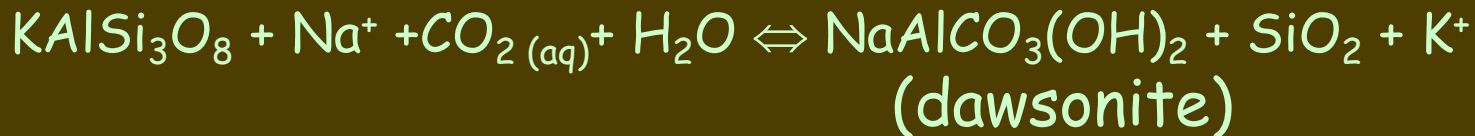
- **Strutturale/stratigrafica: CO_2 libera in fase supercritica**
physical trapping

- **Solubilità: CO_2 è neutralizzata in soluzione a formare ione HCO_3^-**
solubility trapping

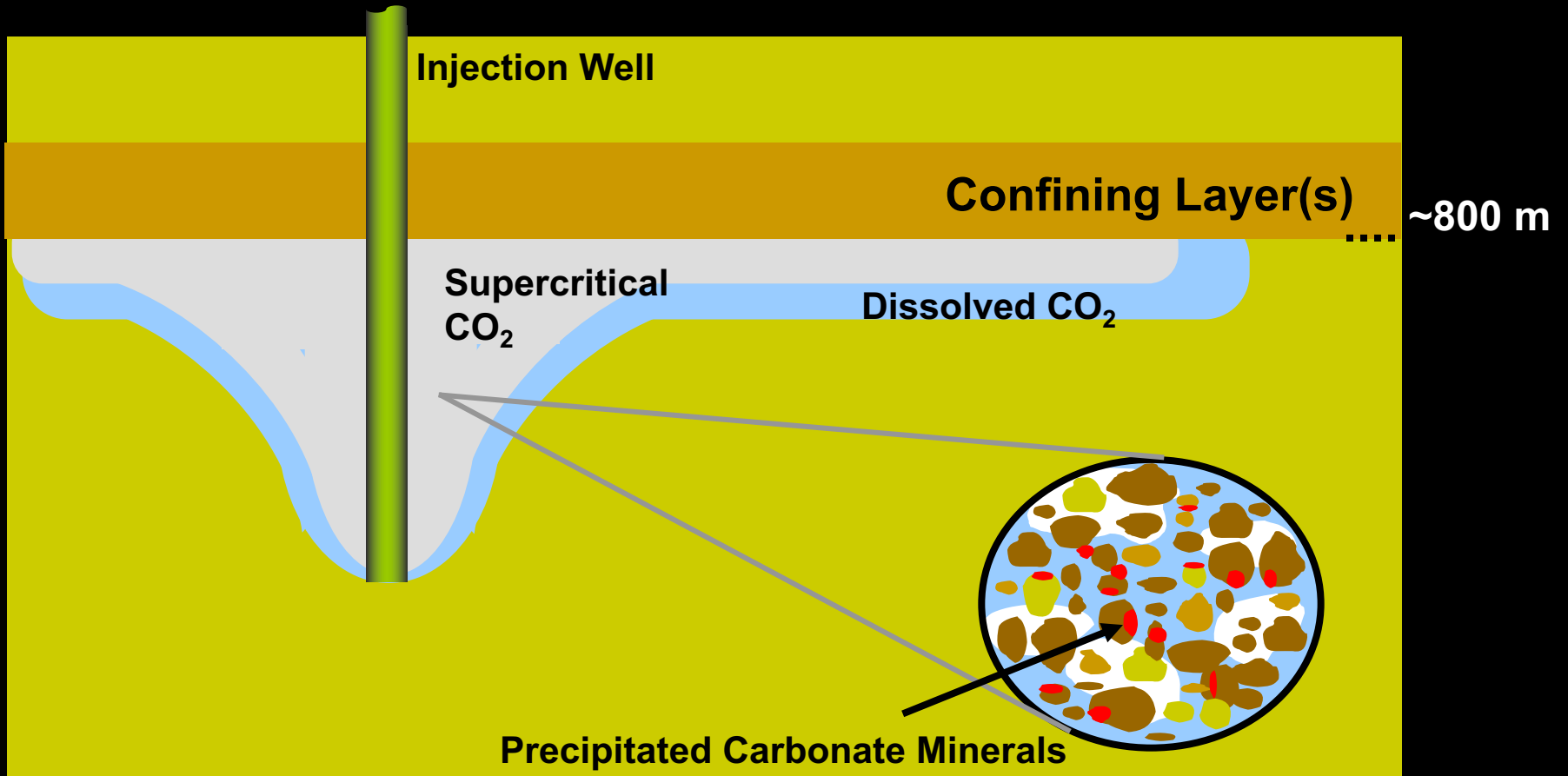


- **Idrodinamica: $CO_2 (aq)$ si muove con l'acquifero 1-10 cm/anno**
hydrodynamic trapping

- **Mineralogica: $CO_2 (aq)$ precipitata come fase solida tamponando il pH**
mineral trapping



1000 m = 100 bar



La CO_2 è presa dalla sorgente di una power plant in tre modi:

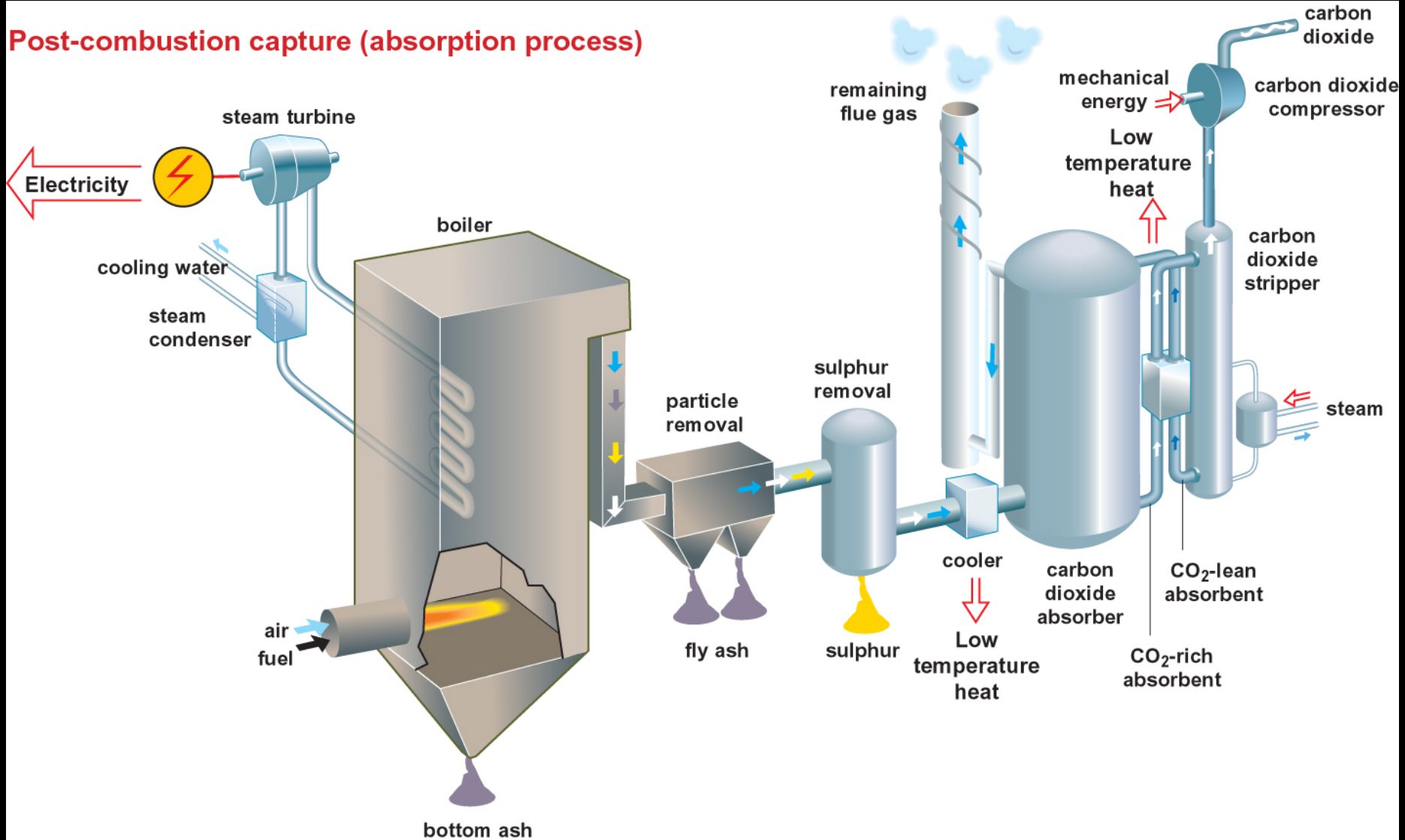
- Post-combustion,
- Pre-combustion
- Oxy-fuel combustion.

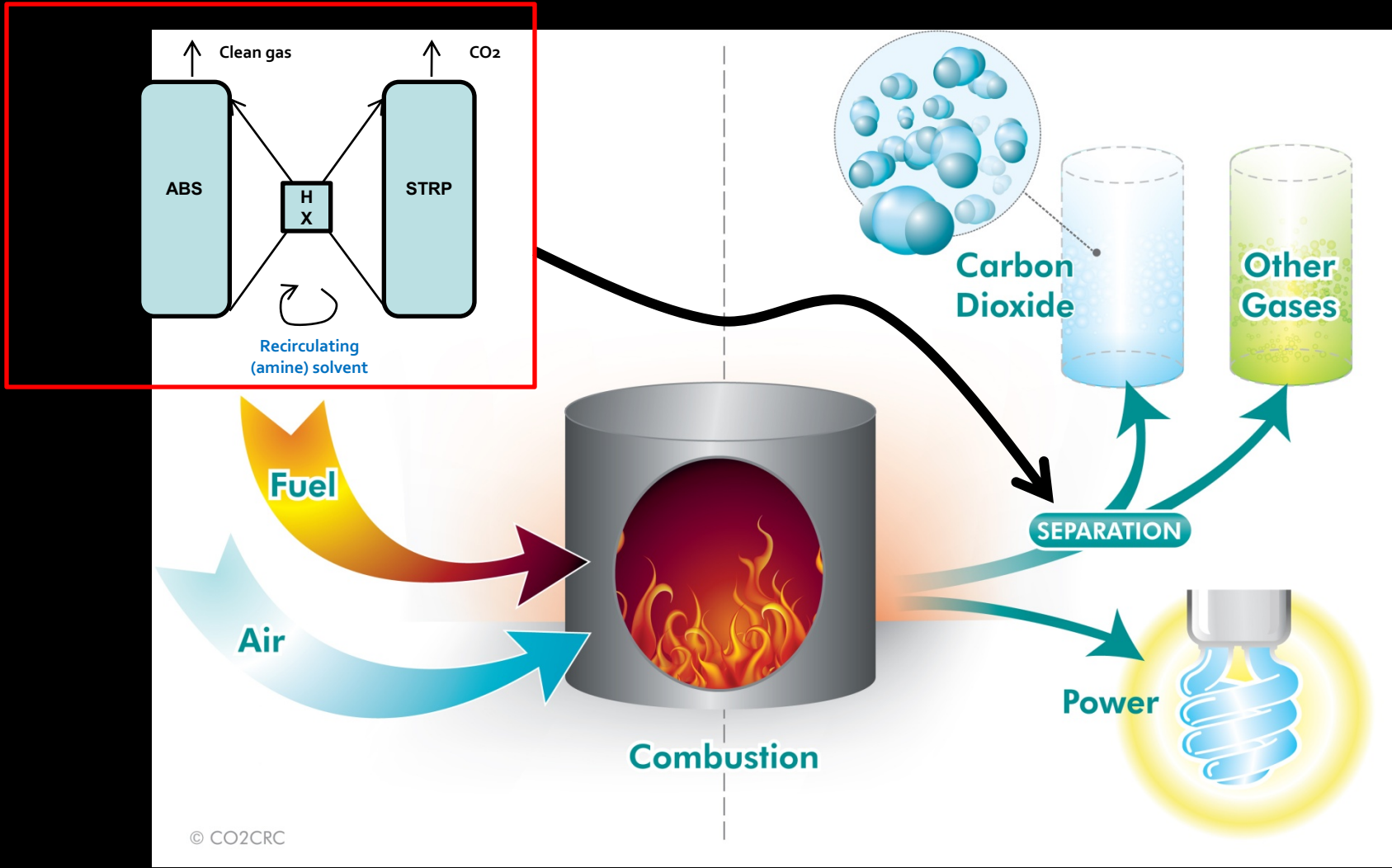


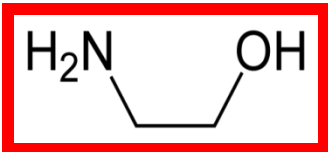
Una centrale per combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturali) produce calore che surriscalda acqua per formare vapore. Il vapore è dirottato ad una turbina connessa ad un generatore elettrico.



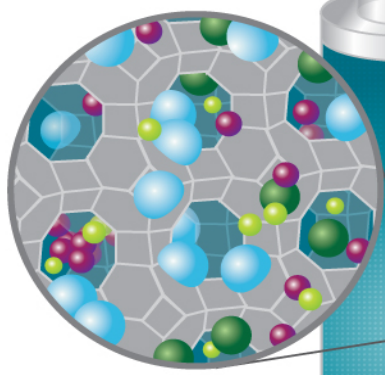
Post-combustion capture (absorption process)



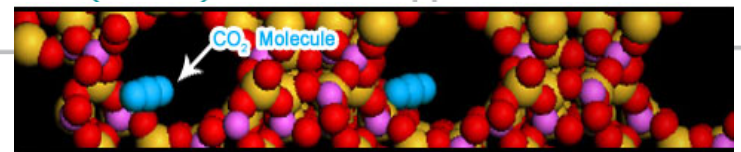




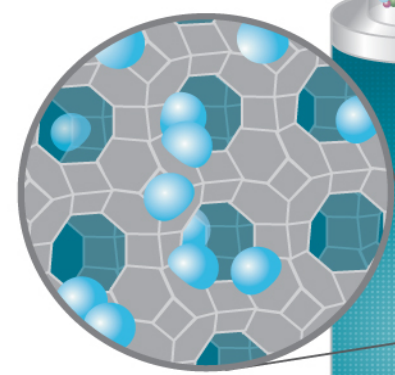
Adsorb CO_2



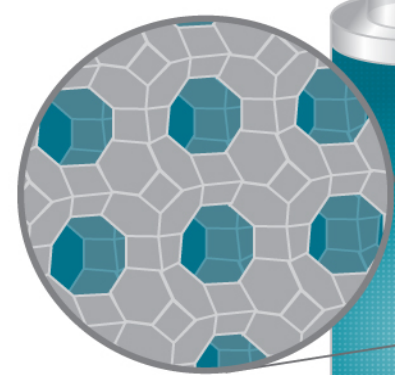
Process stream containing CO_2



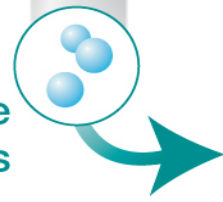
Remove other gases



Decrease pressure or increase temperature to desorb CO_2



Remove CO_2 -rich gas

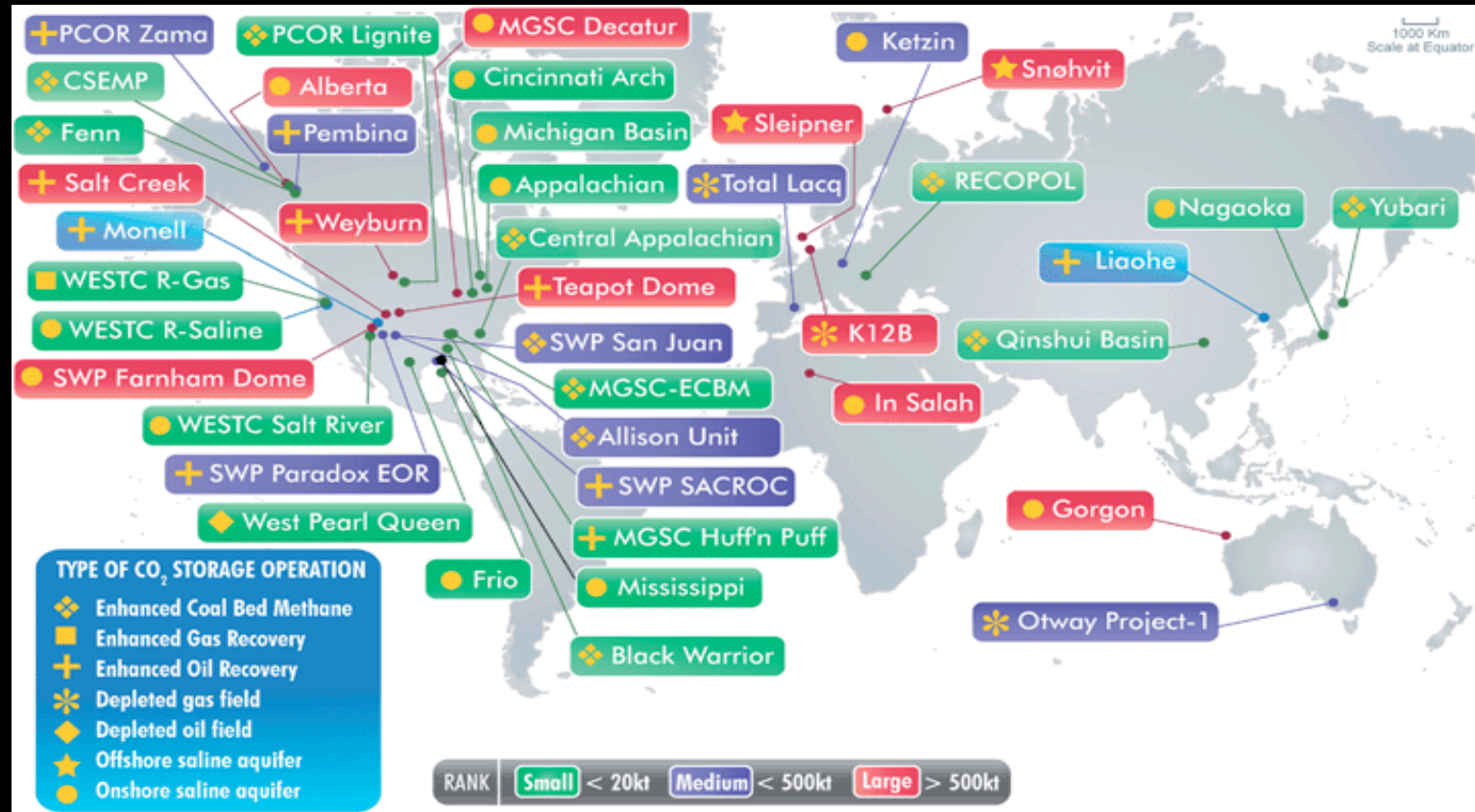


Carbon dioxide (CO_2)



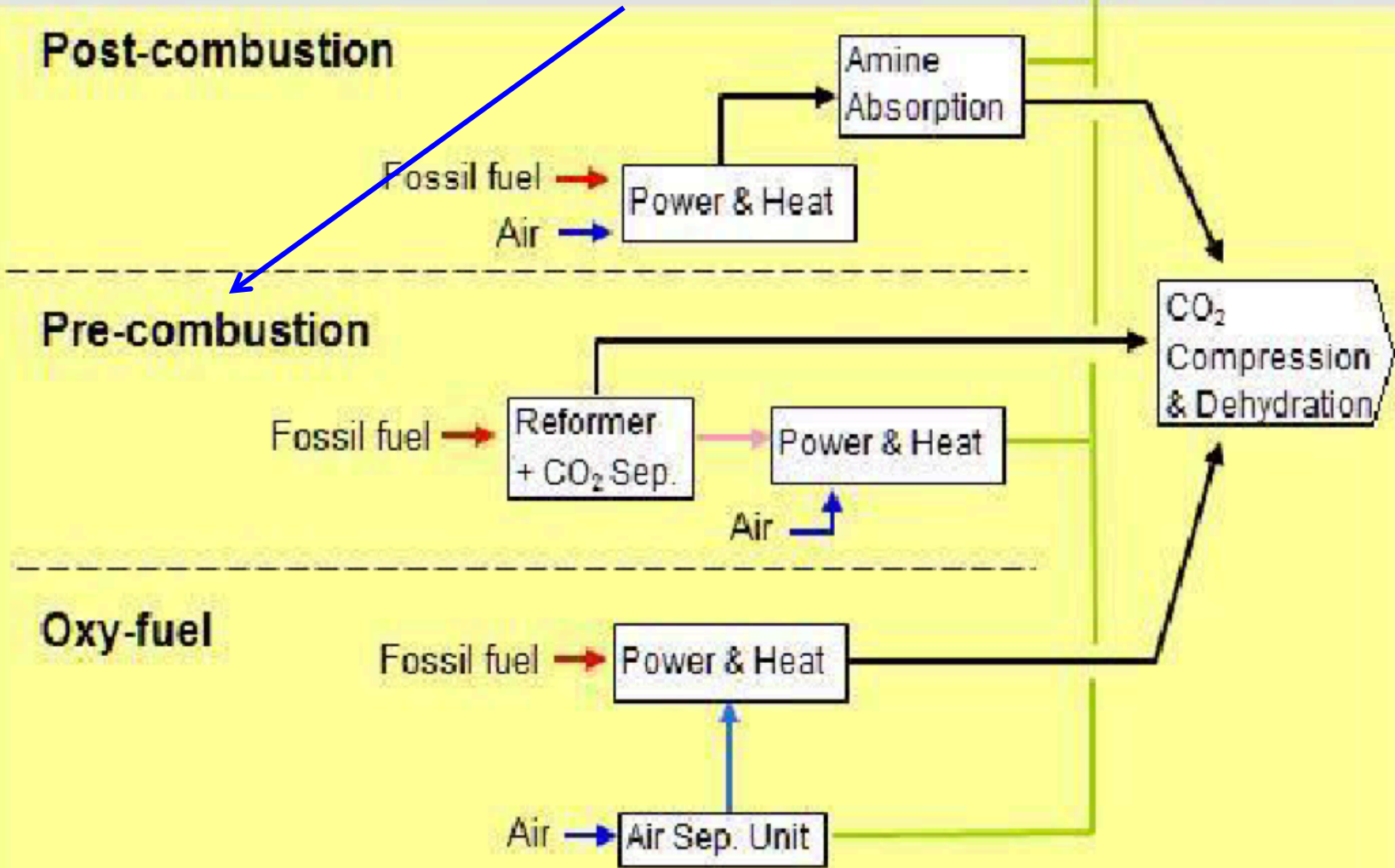
Other gases

PROGETTI DI STOCCAGGIO DI CO₂ NEL MONDO



Progetto	Capacità di stoccaggio in Mt CO ₂ /anno
Sleipner	1.09
Weyburn	1.82
In salah	1.27
Snovit	0.73

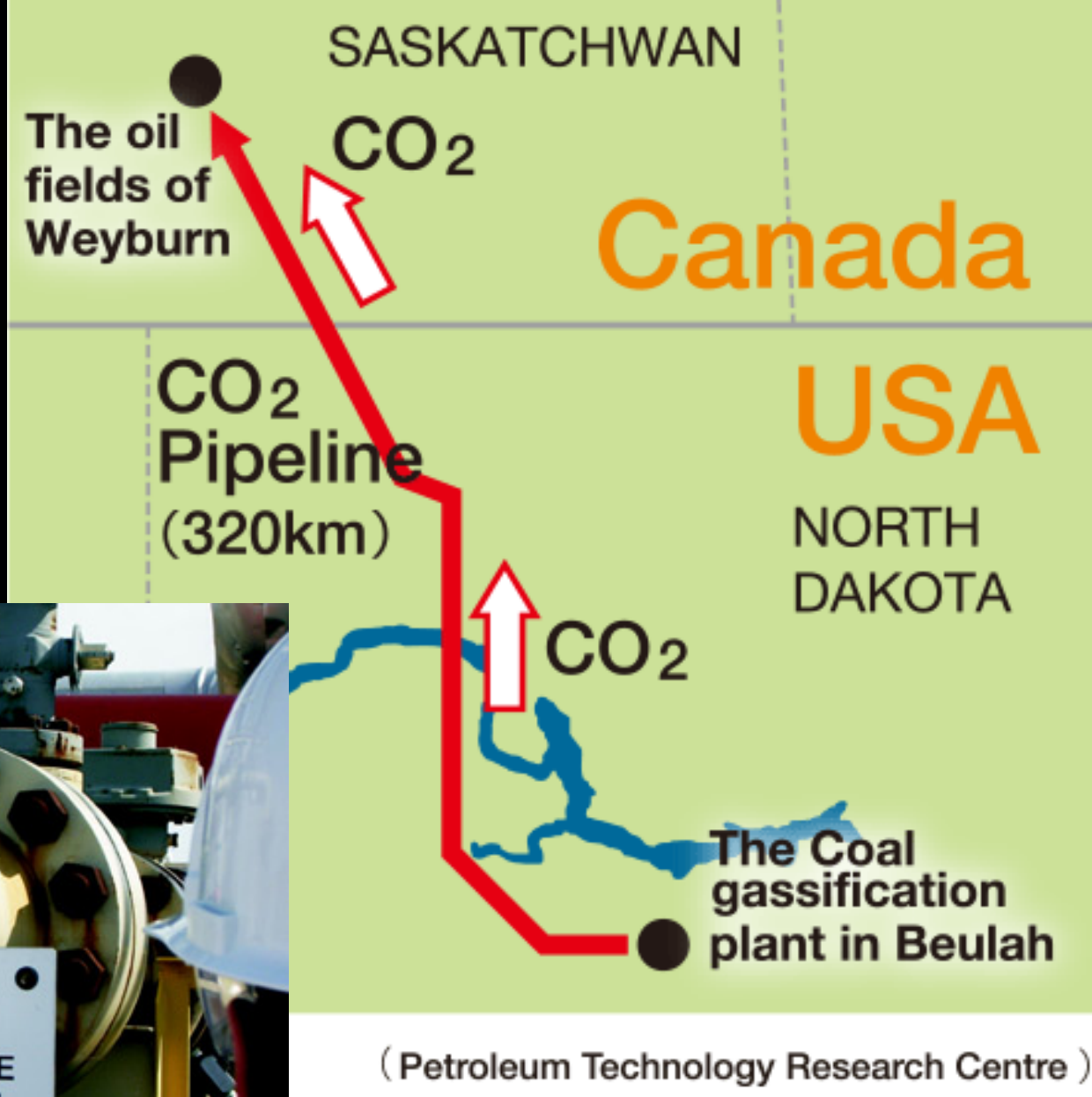
Pre-combustion: reazione fra CO e H₂ con vapore per produrre (syngas). CO reagisce con il vapore per formare CO₂ e più H₂.



Weyburn Saskatchewan, Canada

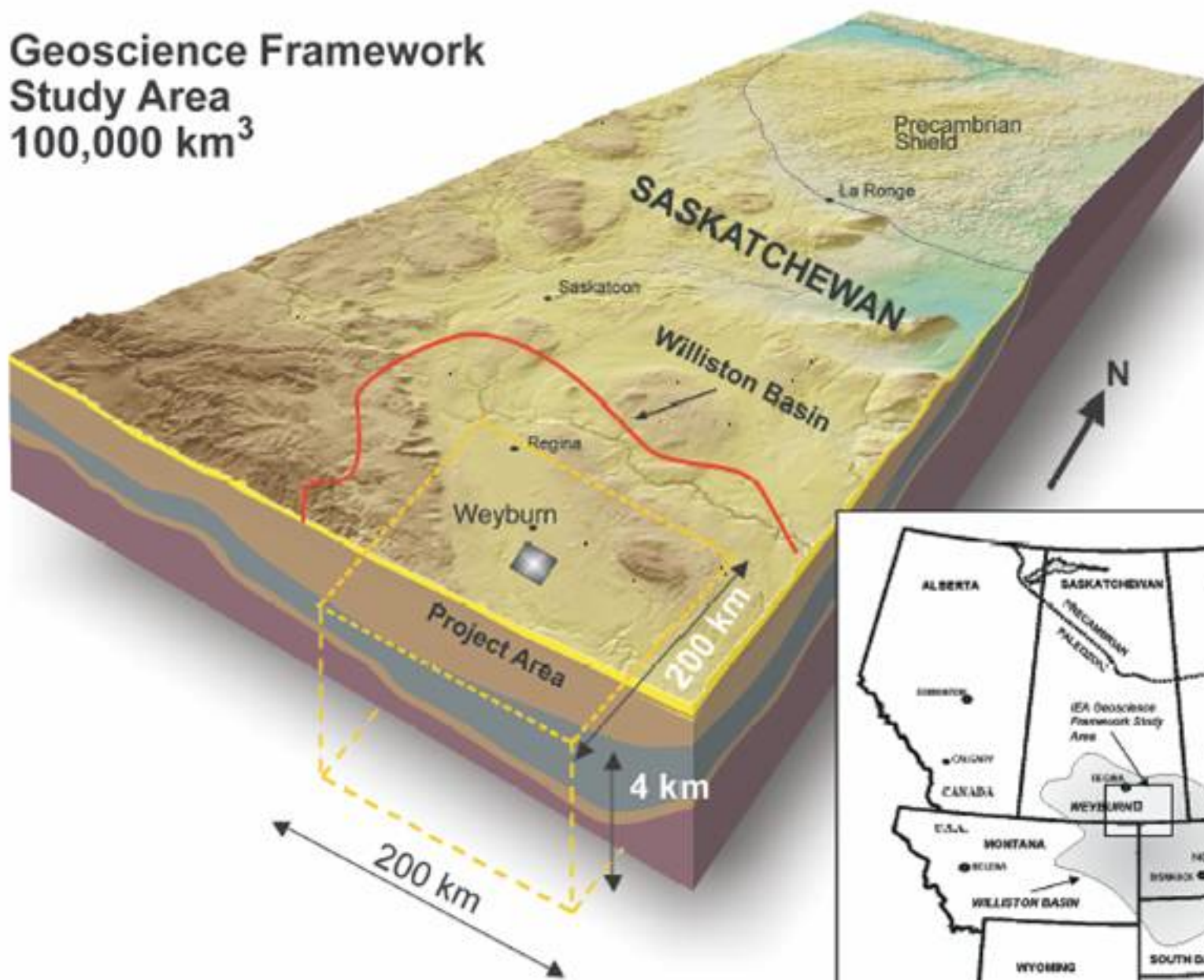


- Scoperto nel 1954, di proprietà dell'EnCana Corporation
- Nell'Ottobre 2000 è cominciata l'iniezione di 5.000 t/giorno di CO₂
- Stoccaggio di 20 milioni di tonnellate di CO₂ in 15 anni con una produzione straordinaria di 130 milioni di barili di olio

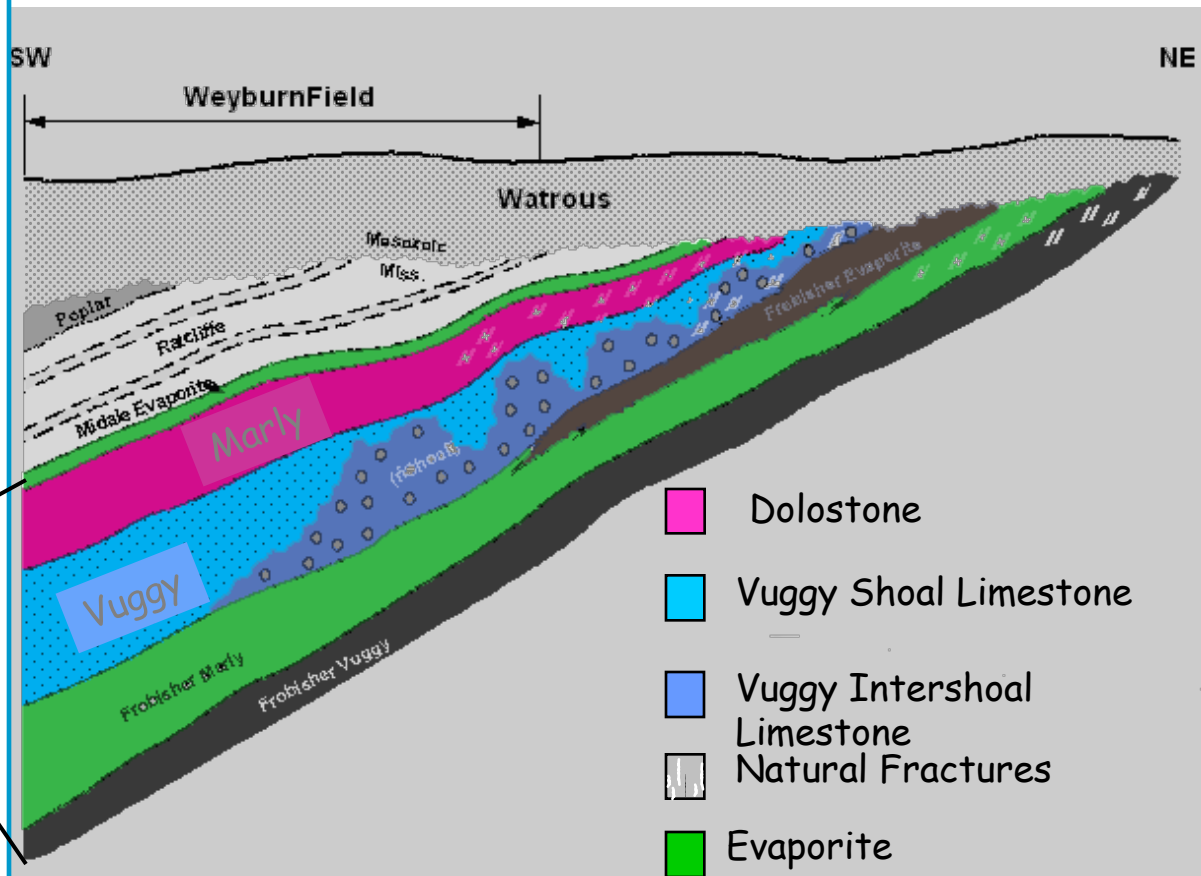
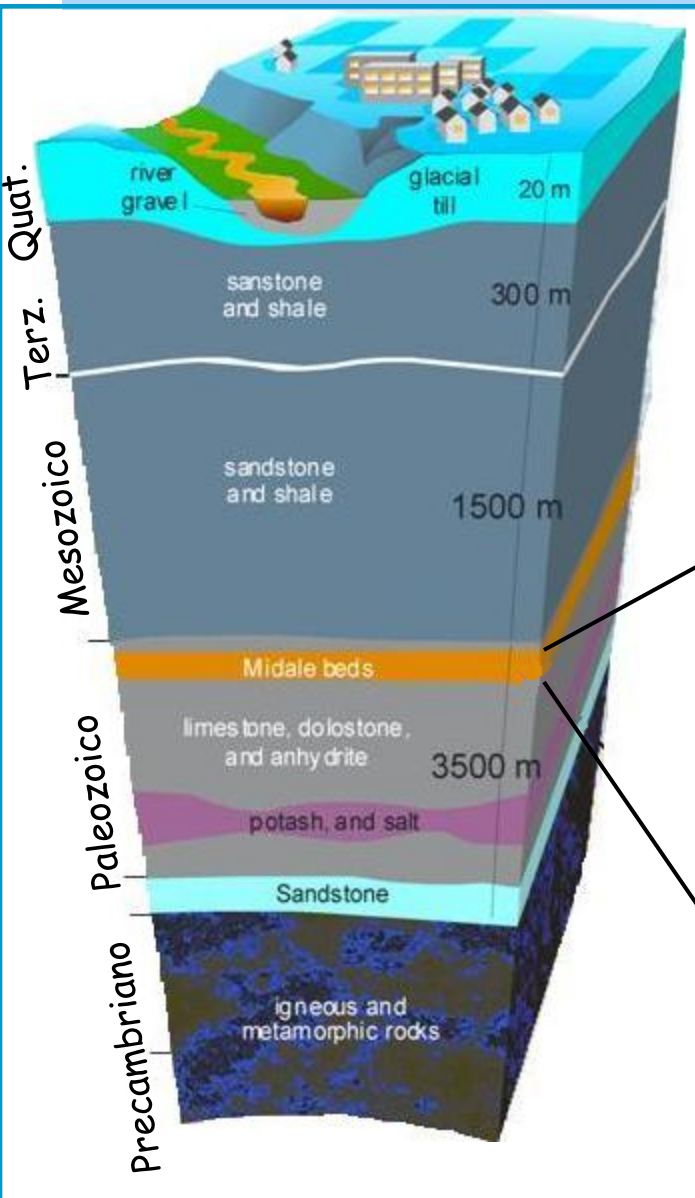


Singas: mistura di H₂, CH₄, CO₂, CO

Geoscience Framework Study Area 100,000 km³



SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA E-W



Temperatura (62 ° C) e Pressione media (150 atm)

Porosità (26-15%) e permeabilità (11-15 mD) media

Weyburn Project - Background

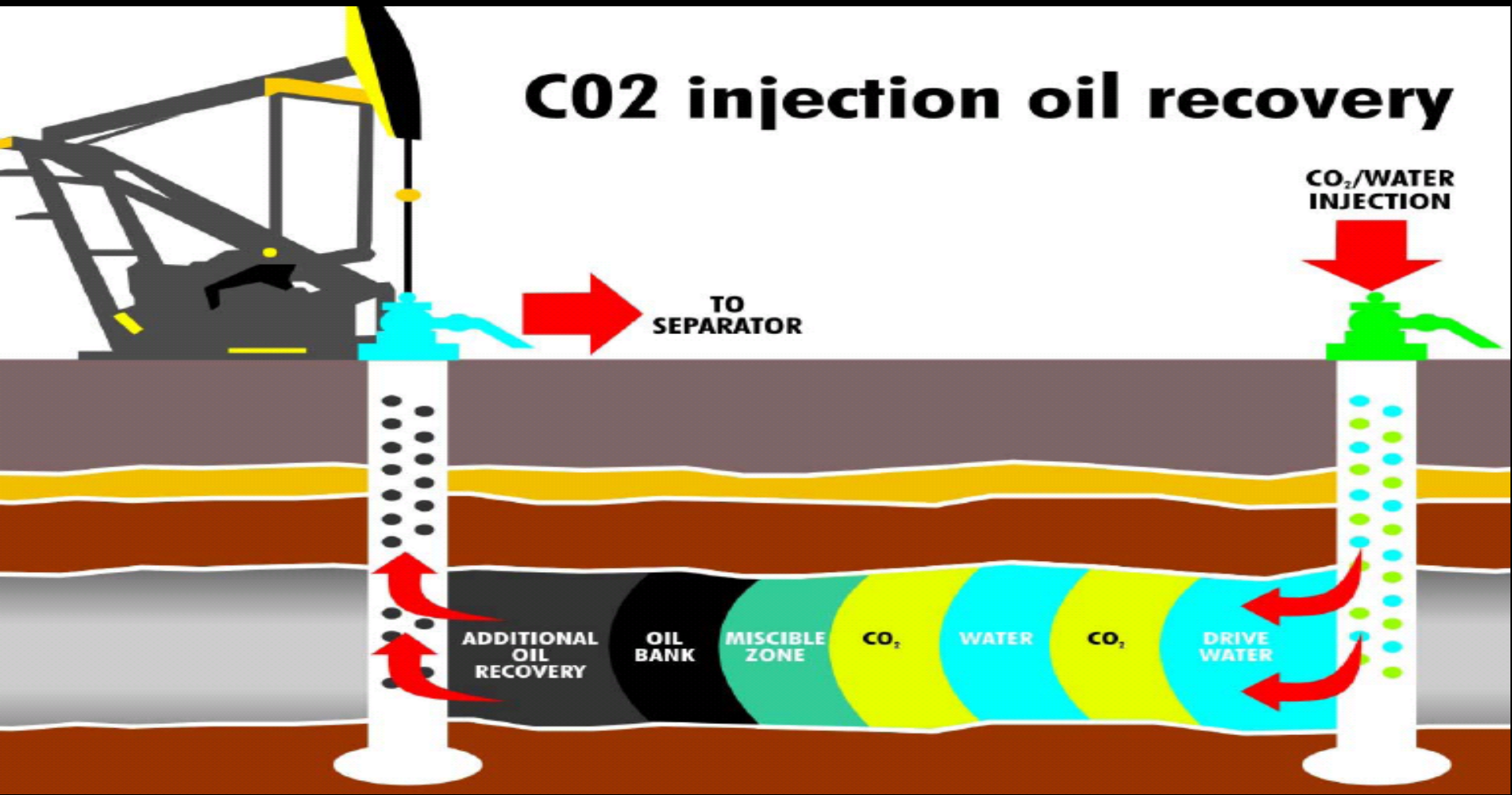
- Scoperto nel 1954
- 360×10^6 di barili di petrolio estratti con iniezione di acqua
- Aggiunta di CO_2 aggiungono l'estrazione di 130×10^6 di barili
- La CO_2 è trasportata attraverso una tubazione di 320 km da un impianto di gassificazione a carbone a Beulah (ND, USA)
- Più di 700 pozzi in produzione
- Produzione attuale di 30.000 bbl/day
- Produzione attesa 40.000 bbl/day

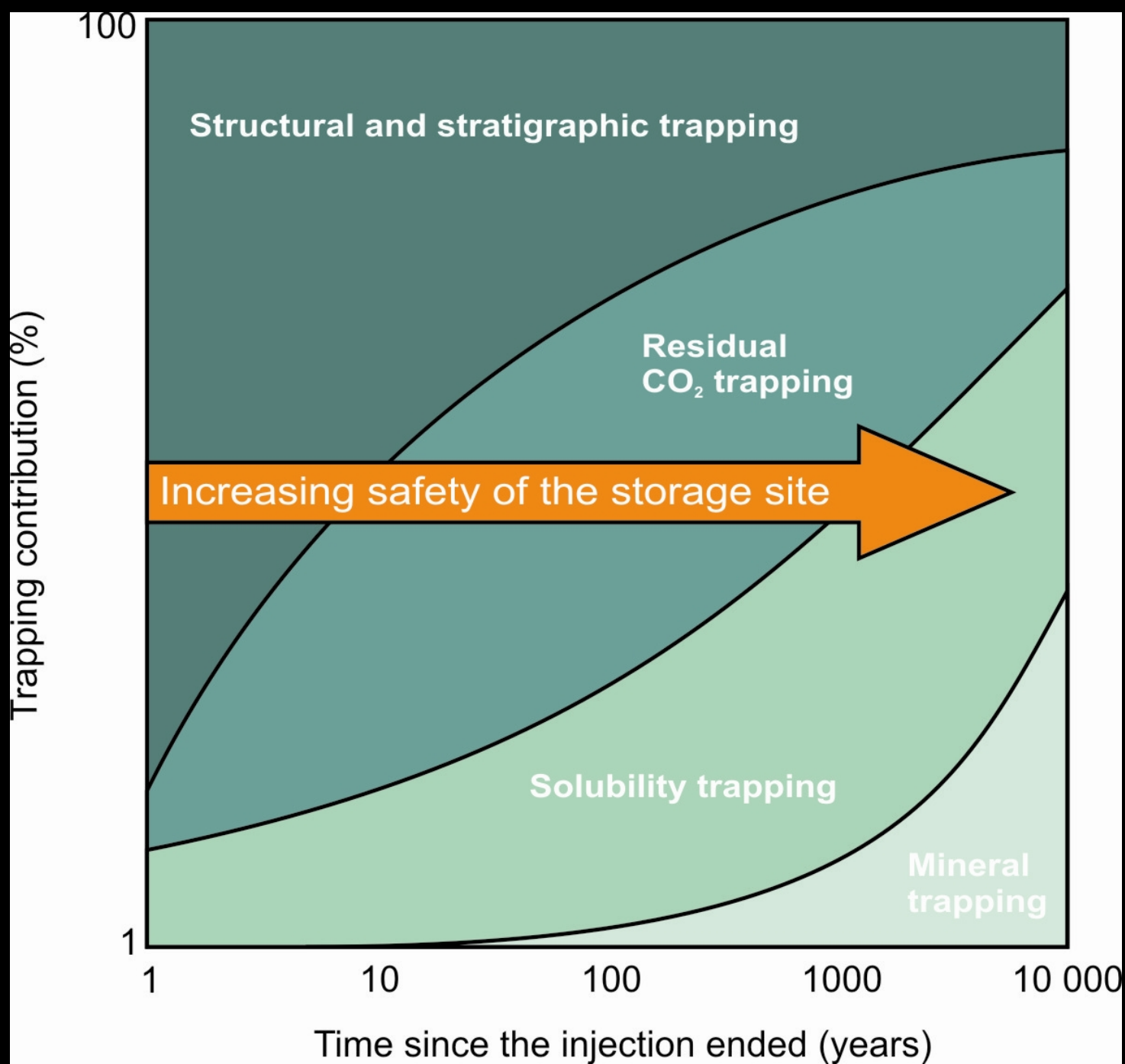
Miscible flood

- Come funziona

- Processo per spiazzamento che introduce un gas (solvente) nel reservoir che si mescola e completamente si dissolve nel reservoir petrolifero.
- Questo permette alla mistura CO_2 -petrolio di essere trasportata al pozzo di produzione
- Il flooding consiste nell'iniezione intermittente di CO_2 seguita da iniezione di acqua

CO₂ injection oil recovery





PROBLEMI E RISCHI ASSOCIATI ALL'INIEZIONE

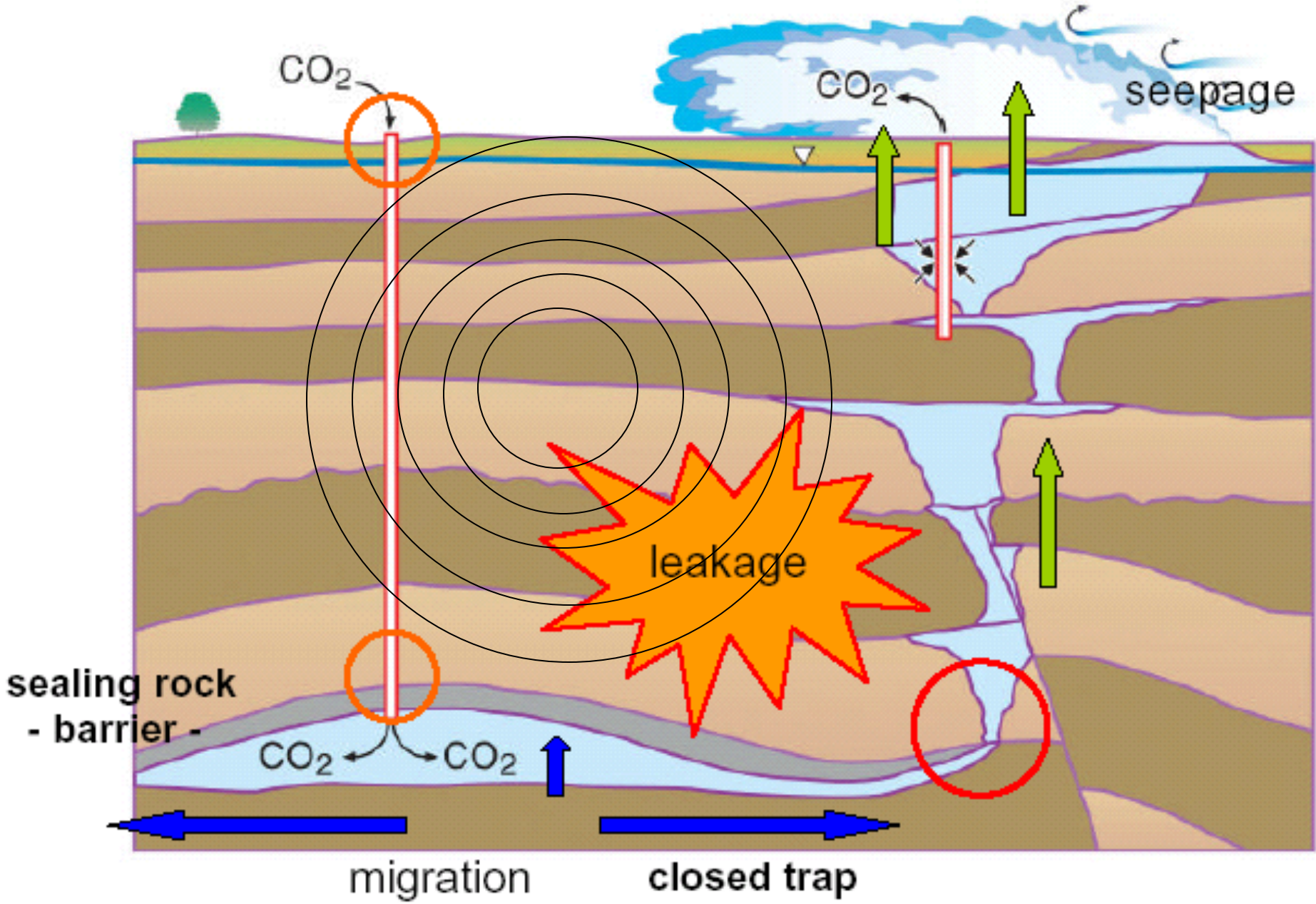
L'iniezione di CO_2 in un serbatoio naturale comporta una variazione delle condizioni di equilibrio tra le fasi presenti.

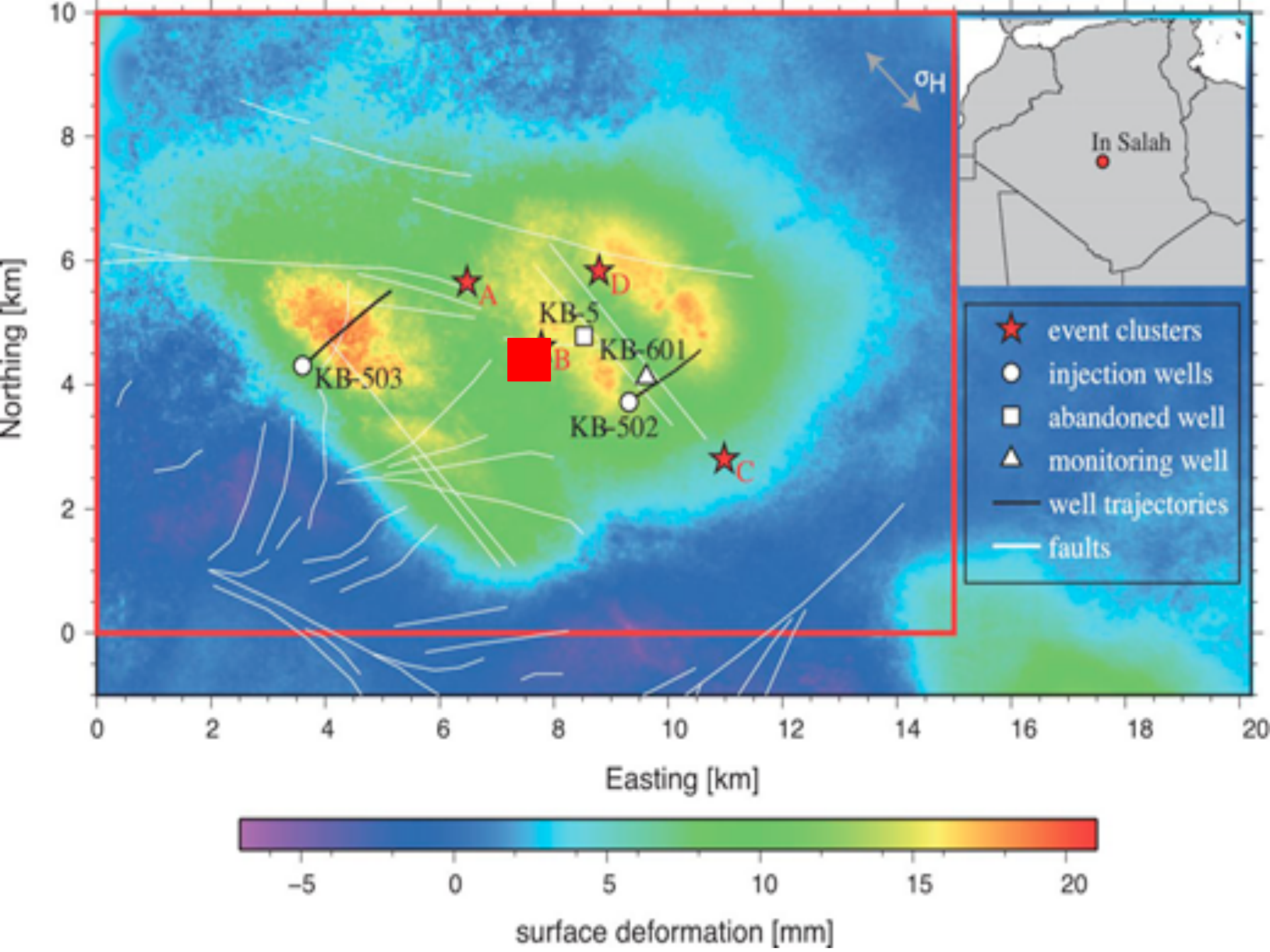
Da un punto di vista chimico-fisico:

- ✓ Aumento della pressione all'interno del serbatoio
- ✓ Diminuzione del pH
- ✓ Dissoluzione/precipitazione di minerali



Porosità



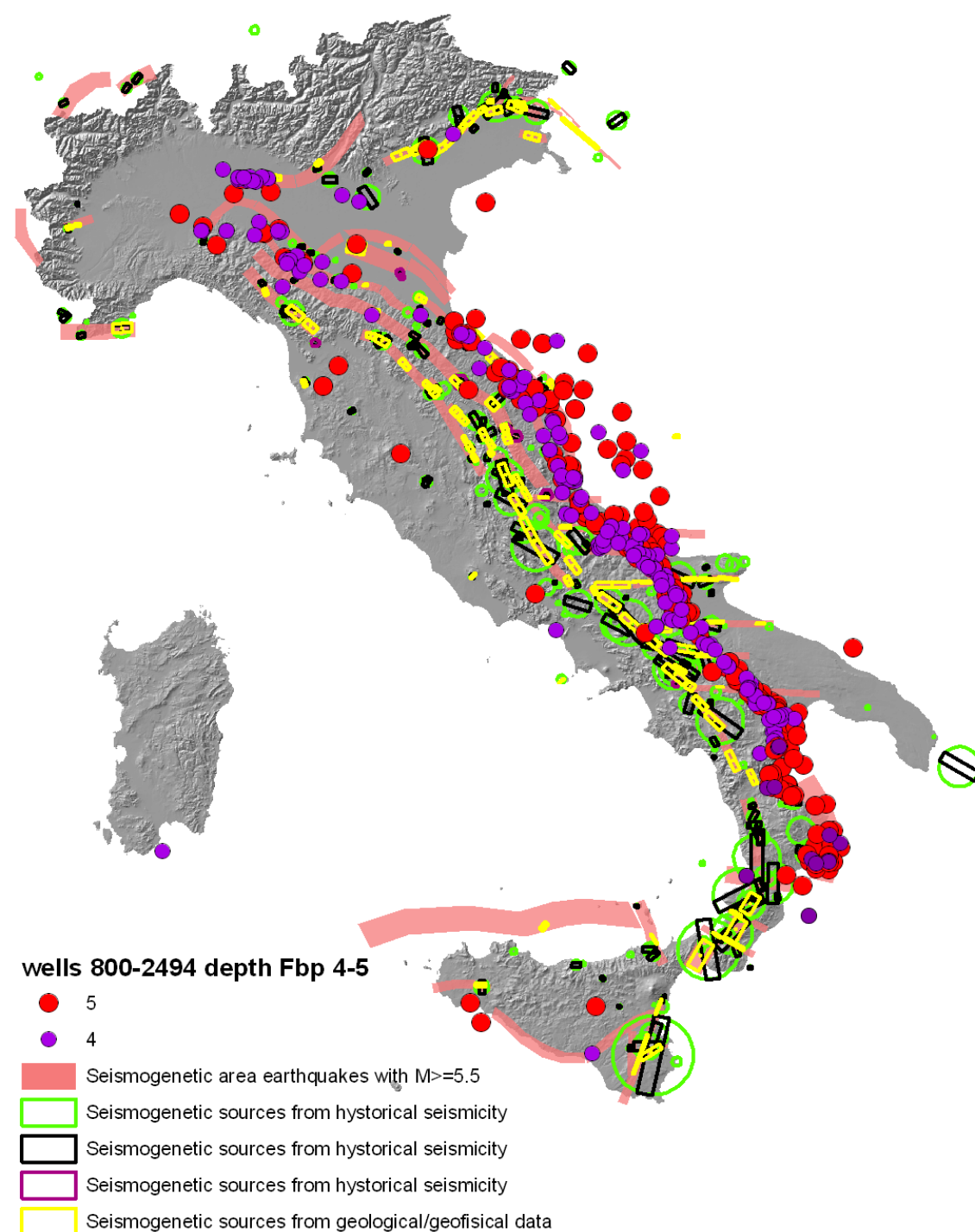


Siti potenziali:

- Costa adriatica e Fossa Bradanica
- Pianura Padana e offshore adriatico settentrionale
- Alcune strutture offshore Alto Lazio
- Sardegna: in carbone profondo Sulcis (ECBM)



Modellizzazione
geochimica, uno studio sui
rischi associati allo
stoccaggio di CO_2



Monitoraggio geochimico

Punto "0": sorgenti, pozzi di monitoraggio, domestici ed industriali: caratteristiche geochimiche ed isotopiche.

Punto "0": misura del flusso di CO₂ dal suolo

Raggio di influenza di un possibile leakage

Quali parametri possono essere modificati?

