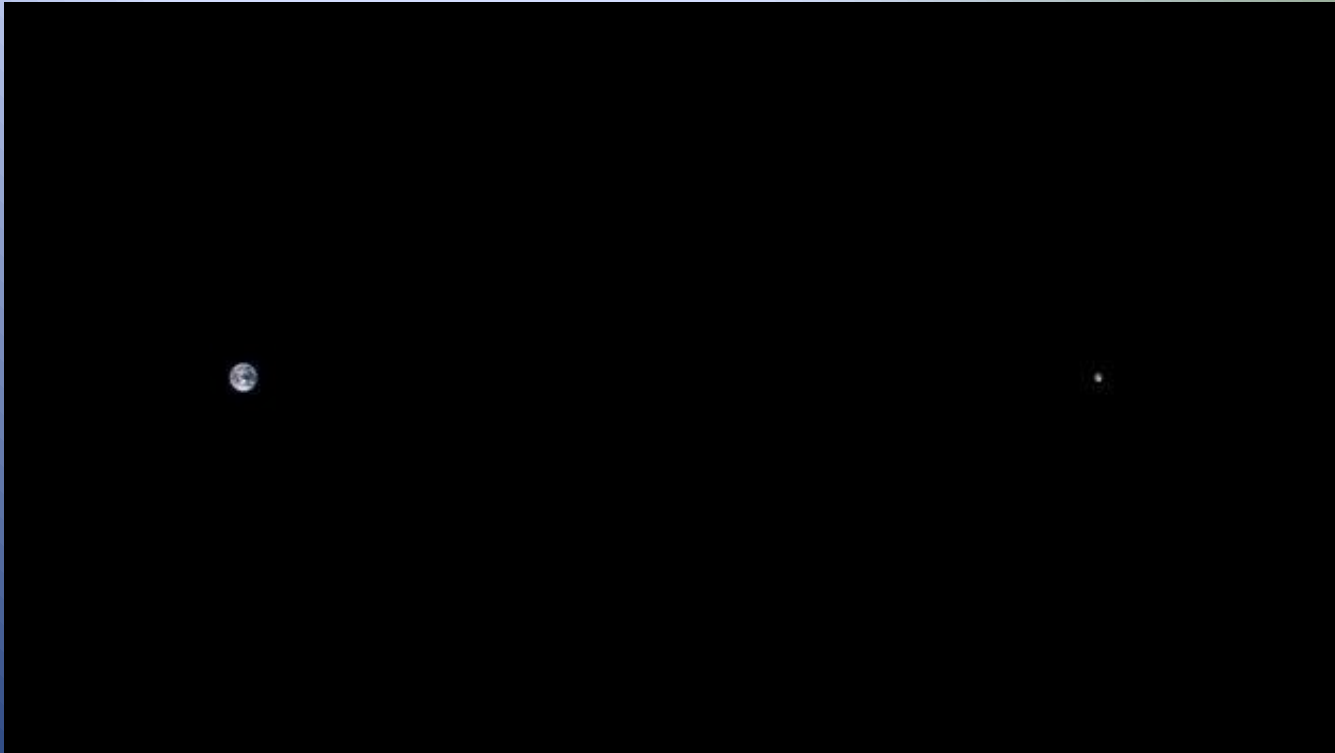


Il clima dalla Terra agli esopianeti



Gianluca Lentini, *Poliedra – Politecnico di Milano*

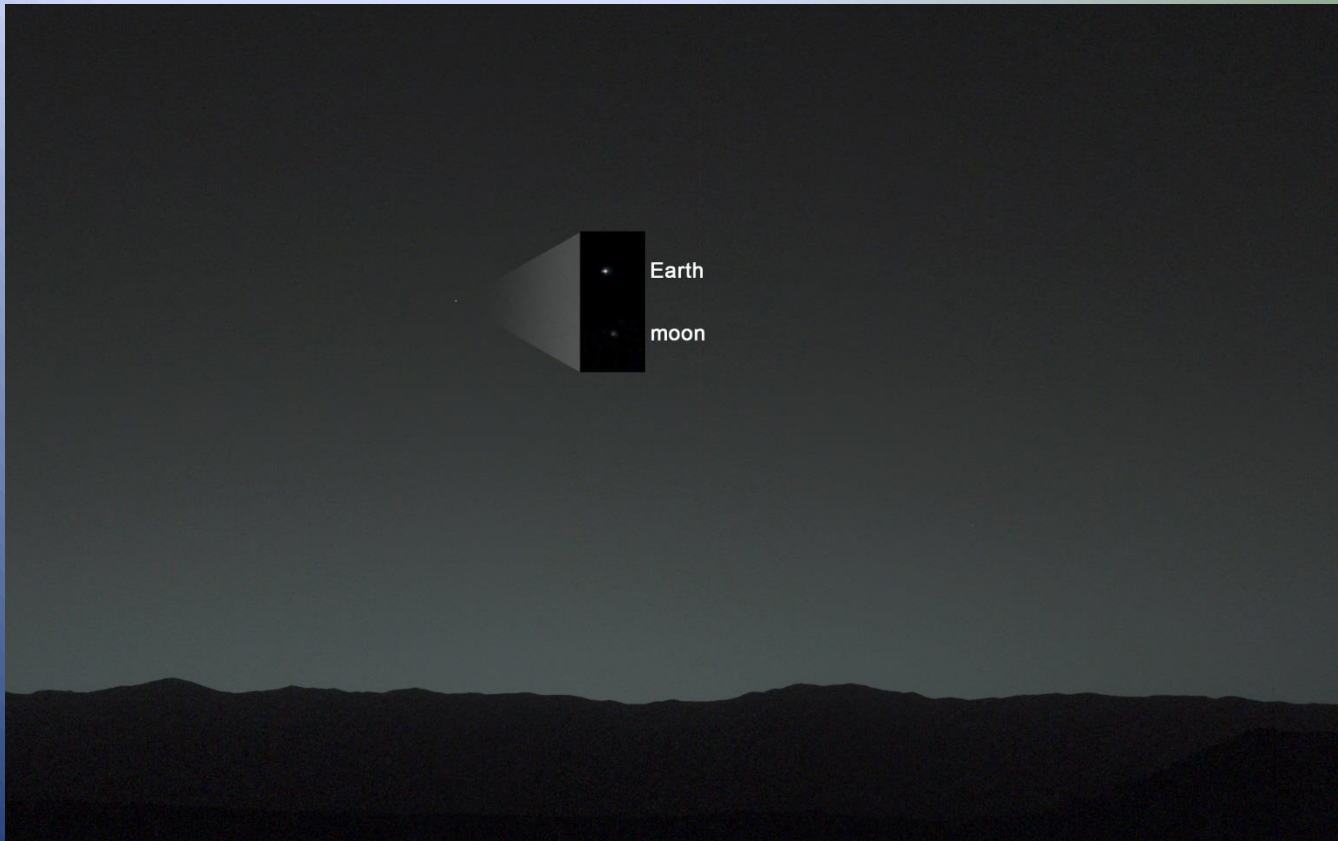


I Cieli di Brera

Conferenze pubbliche 2016

I Cieli di Brera, 21 settembre 2016, Istituto Lombardo

La Terra e le sue caratteristiche come pianeta



*Composizione = 47% (O), Si (28%), Al (8%), Fe (5%), Ca (4%),
Na-K-Mg (2%) in massa nella crosta*

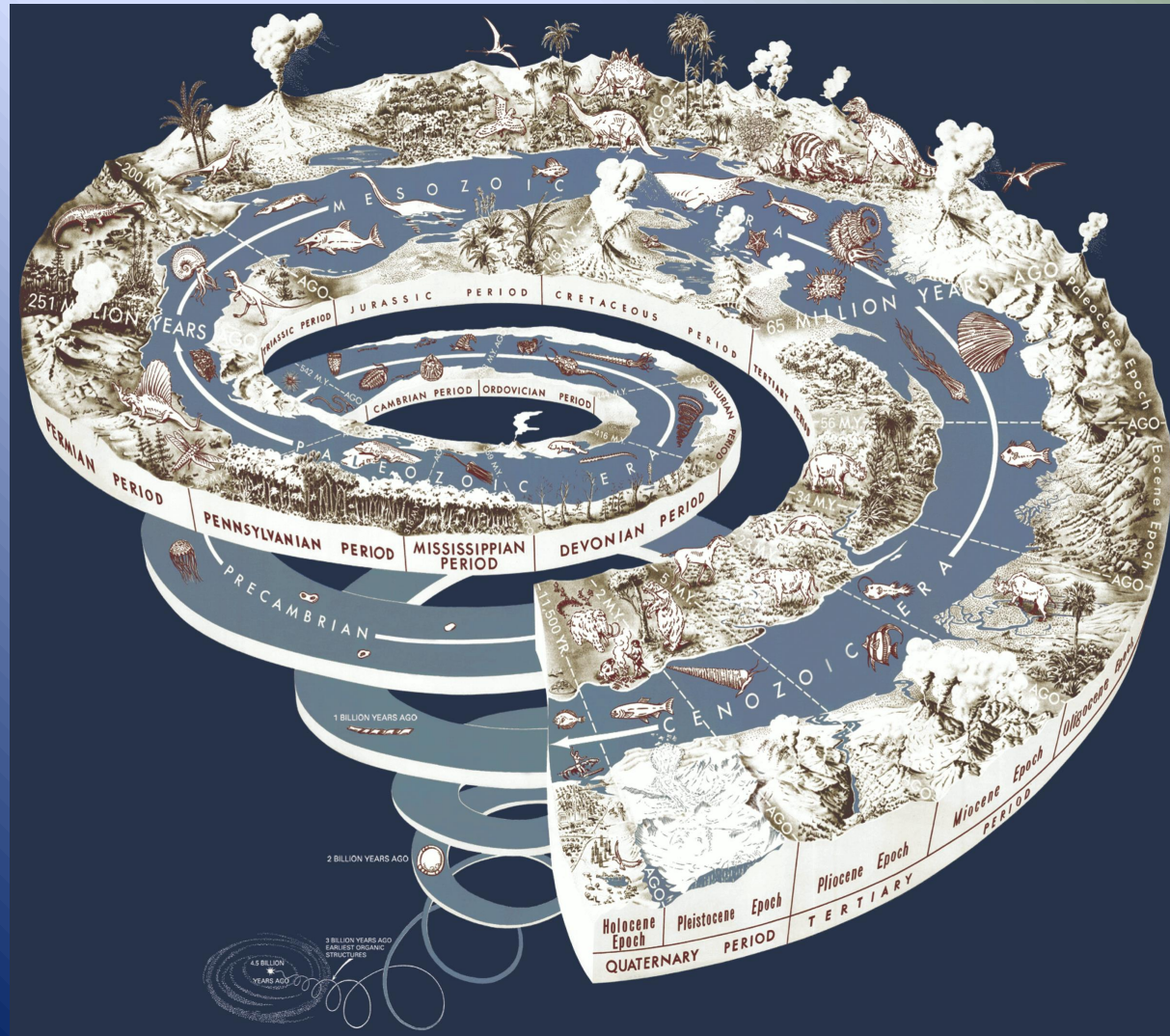
Temperatura = 15 ° C (da -89.2 a +56.7 ° C)

Inclinazione Asse = 23.4 °

Raggio = 6378 km (equatore), 6356 km (poli)

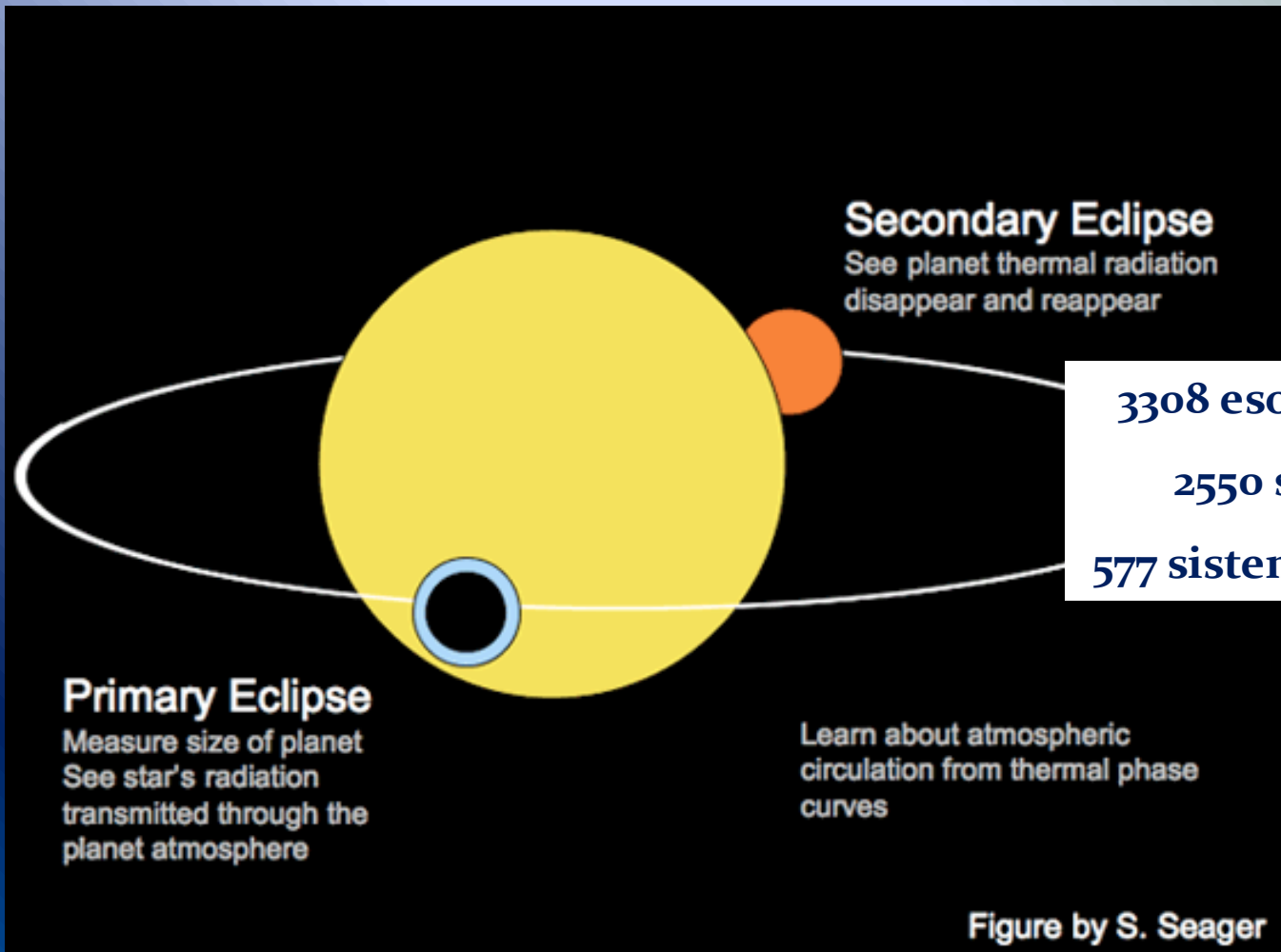
Massa = 5.97 x 10²⁴ kg

C'è vita sulla Terra?



E come facciamo a saperlo?

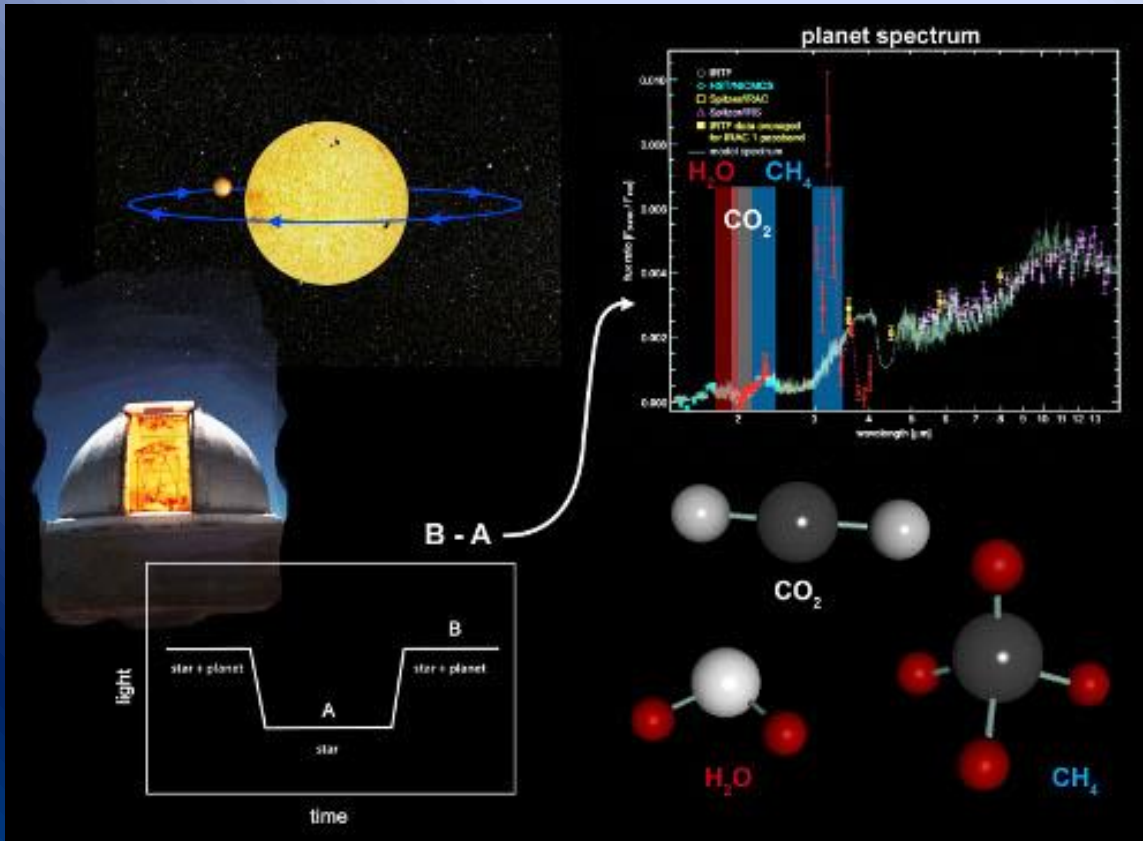
Gli esopianeti e la ricerca di vita



3308 esopianeti confermati
2550 sistemi planetari
577 sistemi planetari multipli

Missione Kepler e il metodo del transito – *firme* atmosferiche

Atmosfere Esoplanetarie



Ogni componente dell'atmosfera assorbe una *sezione specifica* della luce della stella: lascia la sua **firma leggibile!**

Spettrografia atmosferica e segnali dai componenti

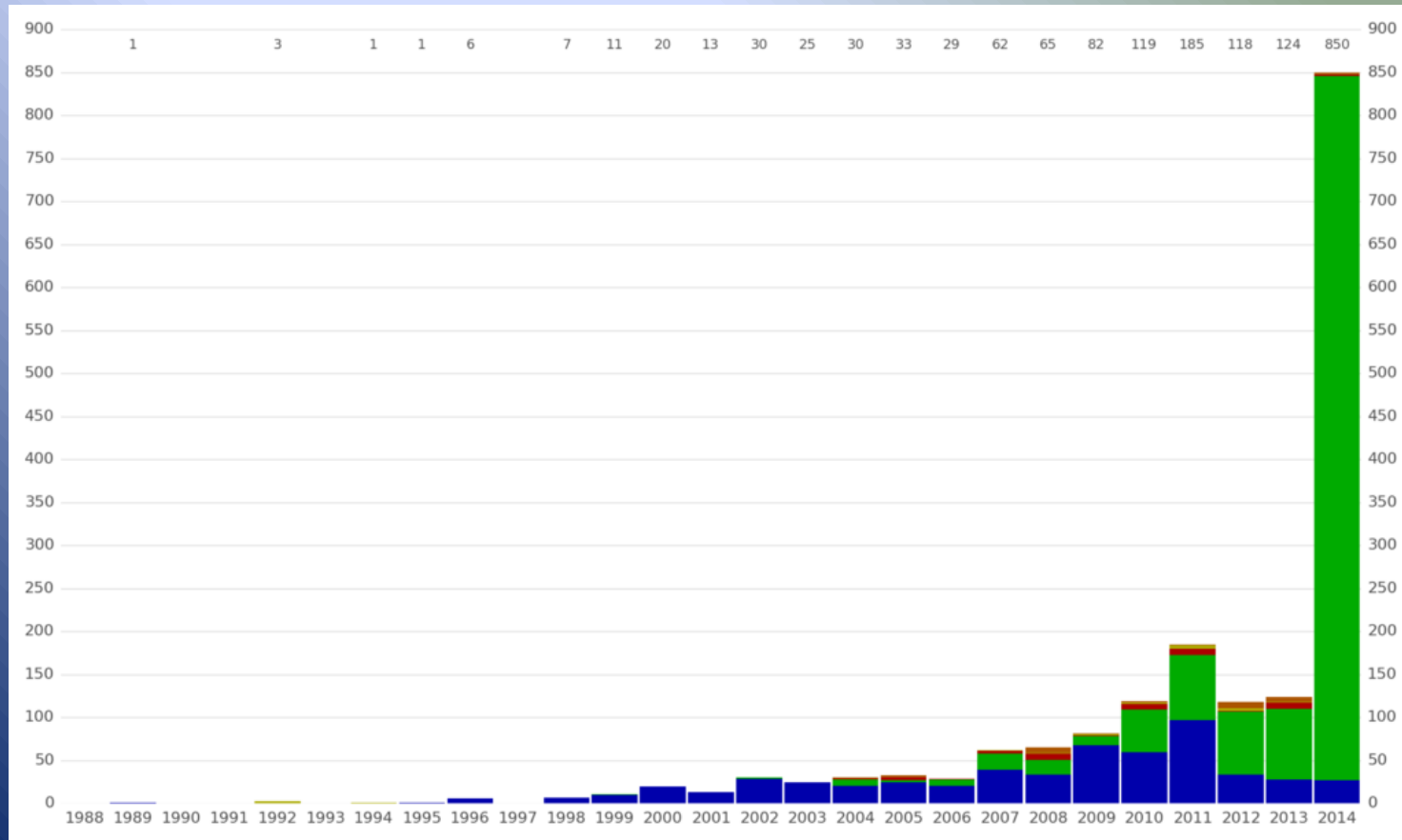
Da 70 Ophiuchi in poi: gli esopianeti

- **William Herschel**: «un compagno invisibile» nel sistema binario di 70 Ophiuchi (fine 18° sec).
- **1992**: Conferma di un pianeta intorno a una pulsar PSR 1257+12.
- **1995**: scoperta di «Bellerofonte», primo pianeta in orbita a una stella di sequenza principale - 51 Pegasi.
- **Oggi**: oltre 2000 esopianeti confermati!

Metodi di individuazione per esopianeti

- Immagine Diretta: individuazione diretta dell'esopianeta.
- Velocità radiale: spettroscopia Doppler, spostamento verso il rosso o il blu.
- Transito: passaggio del pianeta davanti al disco stellare.
- Microlensing: effetto di microlente gravitazionale causata dal pianeta.
- Variazioni temporali per transito: un secondo esopianeta perturba il transito del primo.

Metodi di individuazione per esopianeti



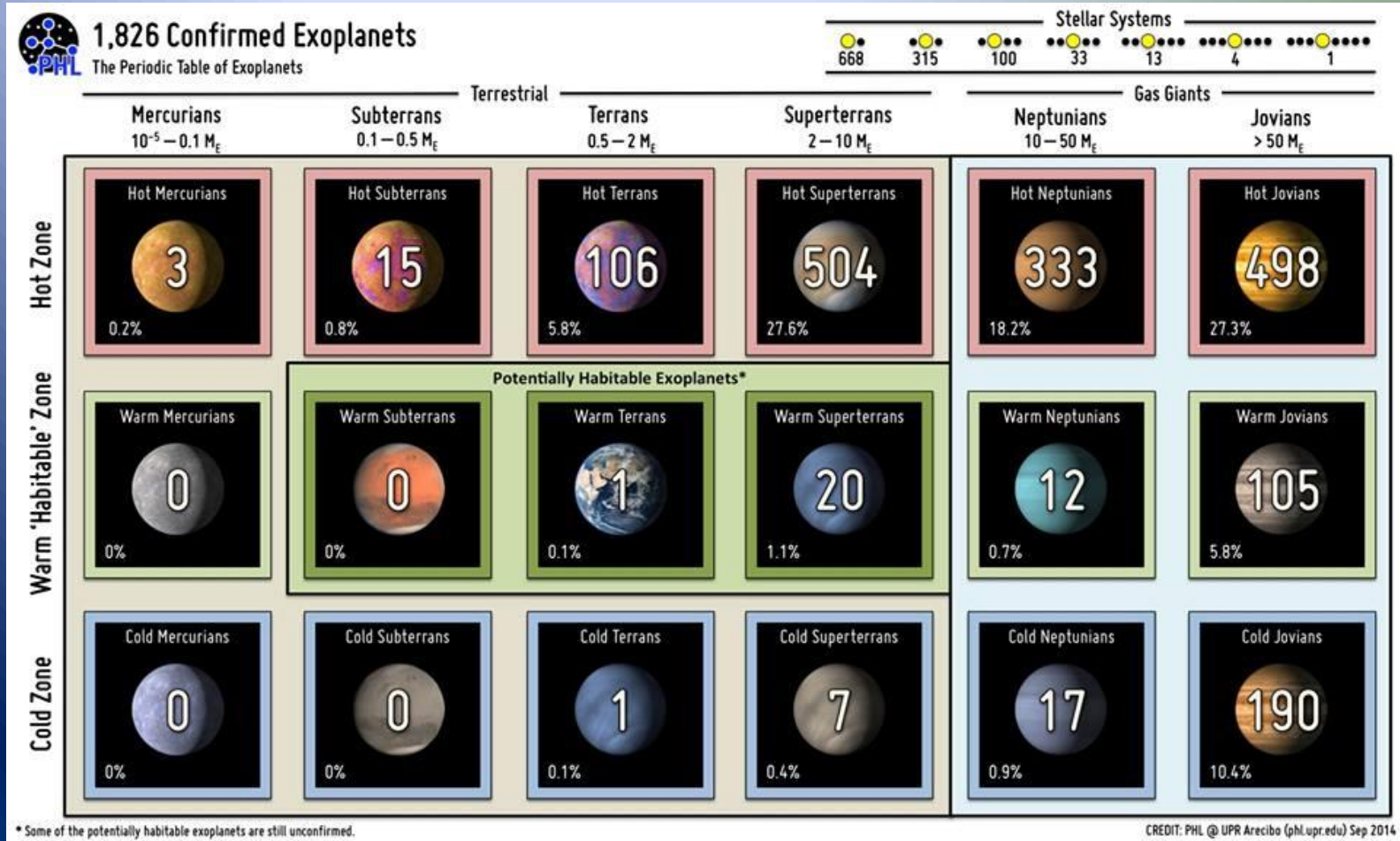
Transito (verde)

Velocità radiale (blu)

Microlensing (ocra)

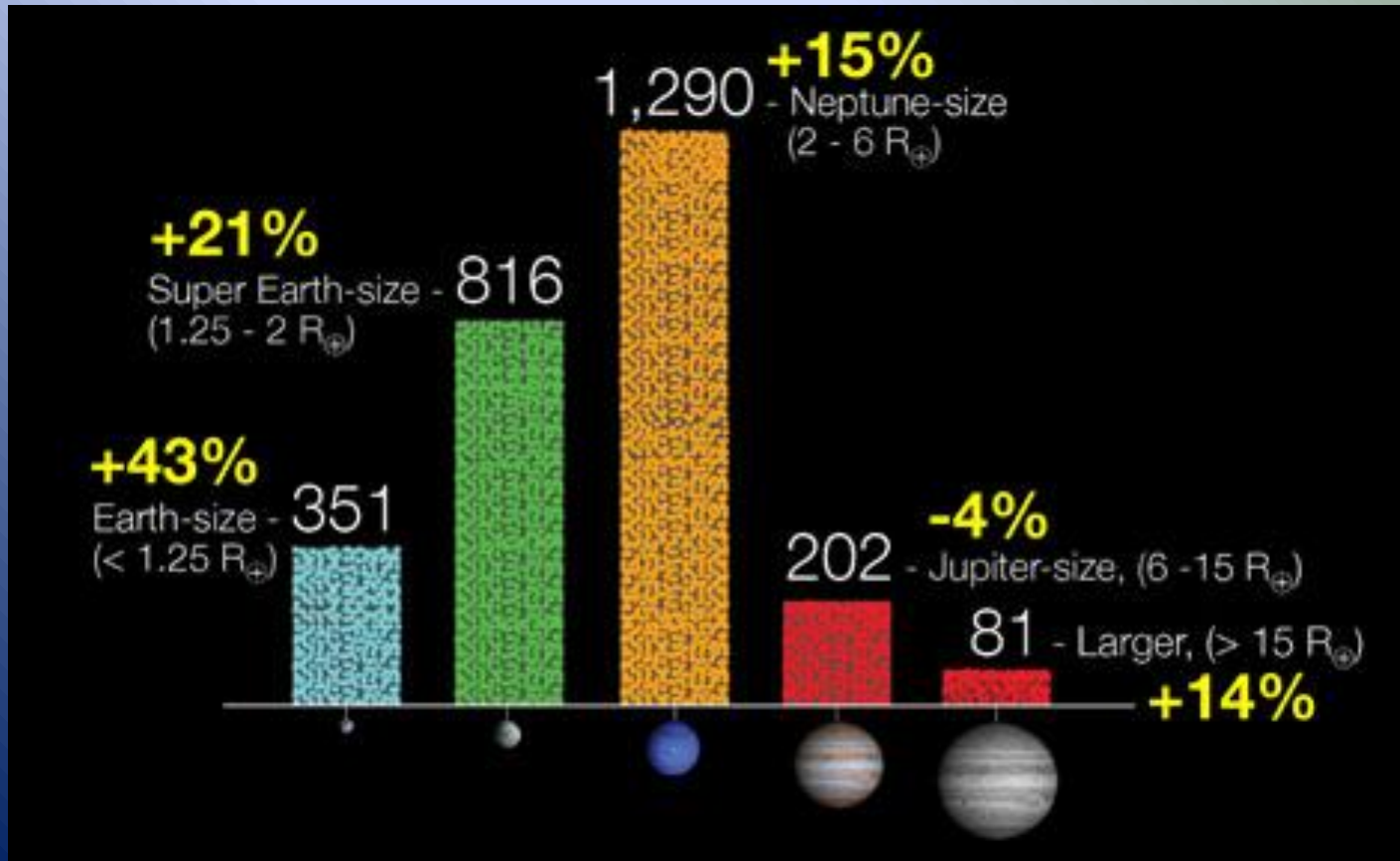
Immagine diretta (rosso)

ESOPIANETI: ben di più di una seconda Terra!



Il disequilibrio chimico e la vita come NON la immaginiamo

ESOPIANETI: ben di più di una seconda Terra!



ESOPIANETI: sistemi esoplanetari

*Circa 2000 esopianeti; 1210 sistemi esoplanetari
(almeno 2 pianeti); 480 sistemi planetari
multipli*






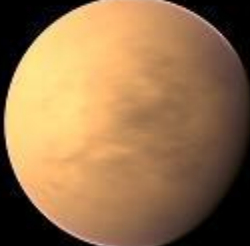
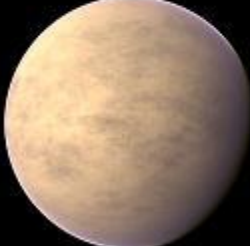

[Sole: 8 pianeti]

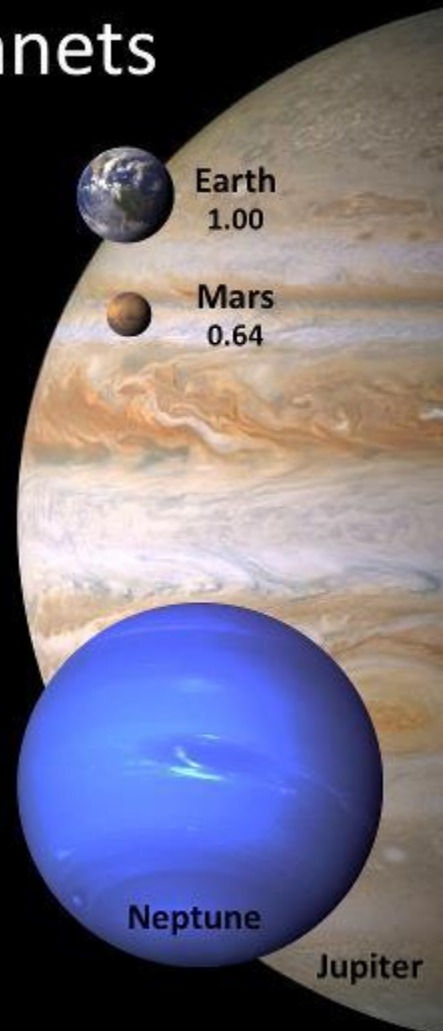
1. HD 10180: 7 (+2) pianeti
2. Kepler-90: 7 pianeti
3. HD 40307: 6 pianeti
4. Kepler-11: 6 pianeti
5. Gliese 667: 5 (+2) pianeti
6. 55 Cancri: 5 pianeti

Sistemi esoplanetari potenzialmente abitabili

Current Potential Habitable Exoplanets

Ranked in Order of Similarity to Earth

#1	#2	#3	#4	#5
				
Kepler-62 e 0.82	Gliese 581 g* 0.82	Gliese 667C c 0.79	Kepler-22 b 0.75	Tau Ceti e* 0.74
#6	#7	#8	#9	#10
				
NEW Kepler-61 b 0.72	Kepler-62 f 0.69	Gliese 163 c 0.68	HD 40307 g* 0.67	Gliese 581 d 0.50



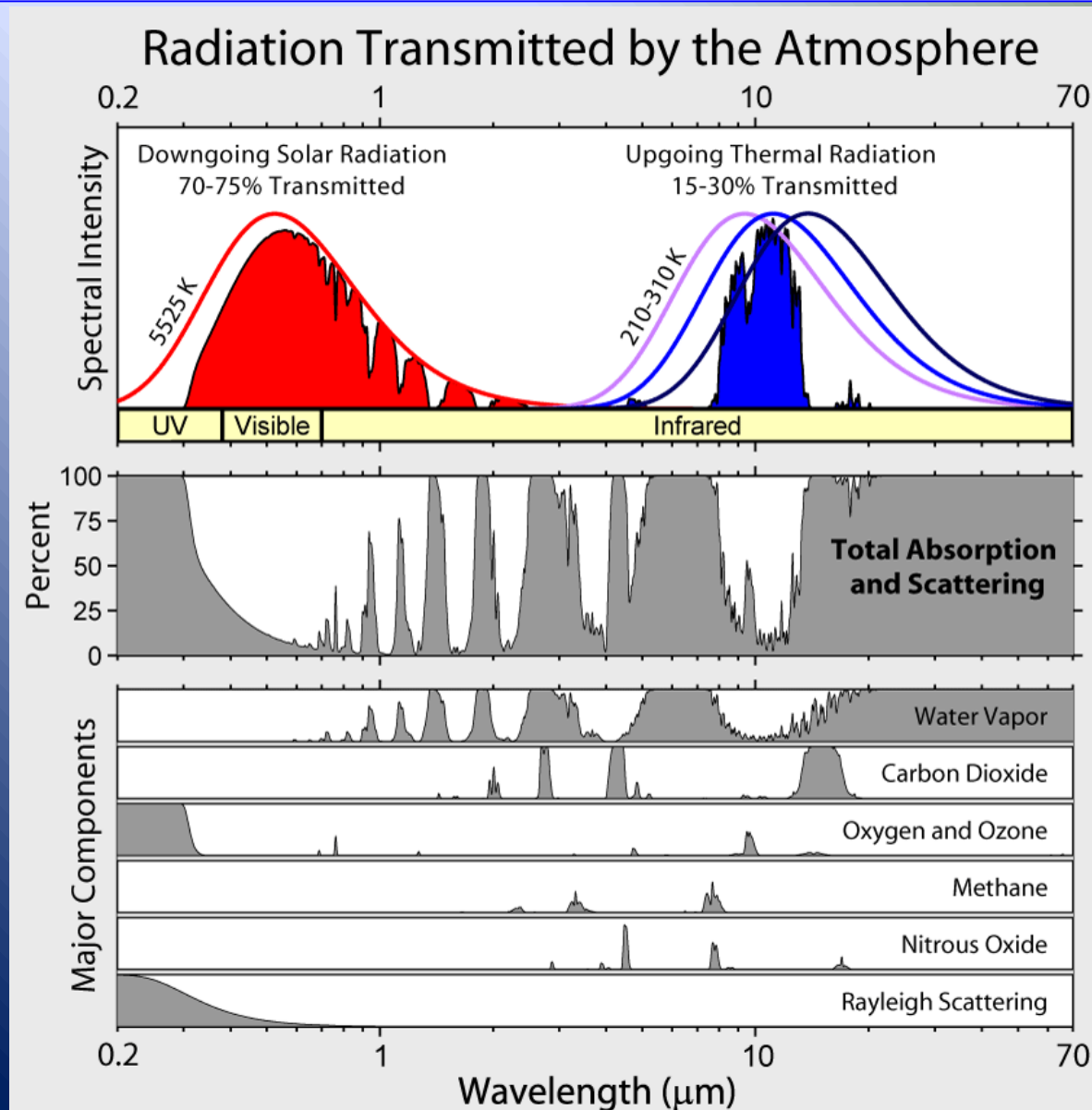
Number below the names is the Earth Similarity Index (ESI)

*planet candidates

CREDIT: PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) April 26, 2013

Earth Similarity Index: raggio, velocità di fuga, densità, temperatura

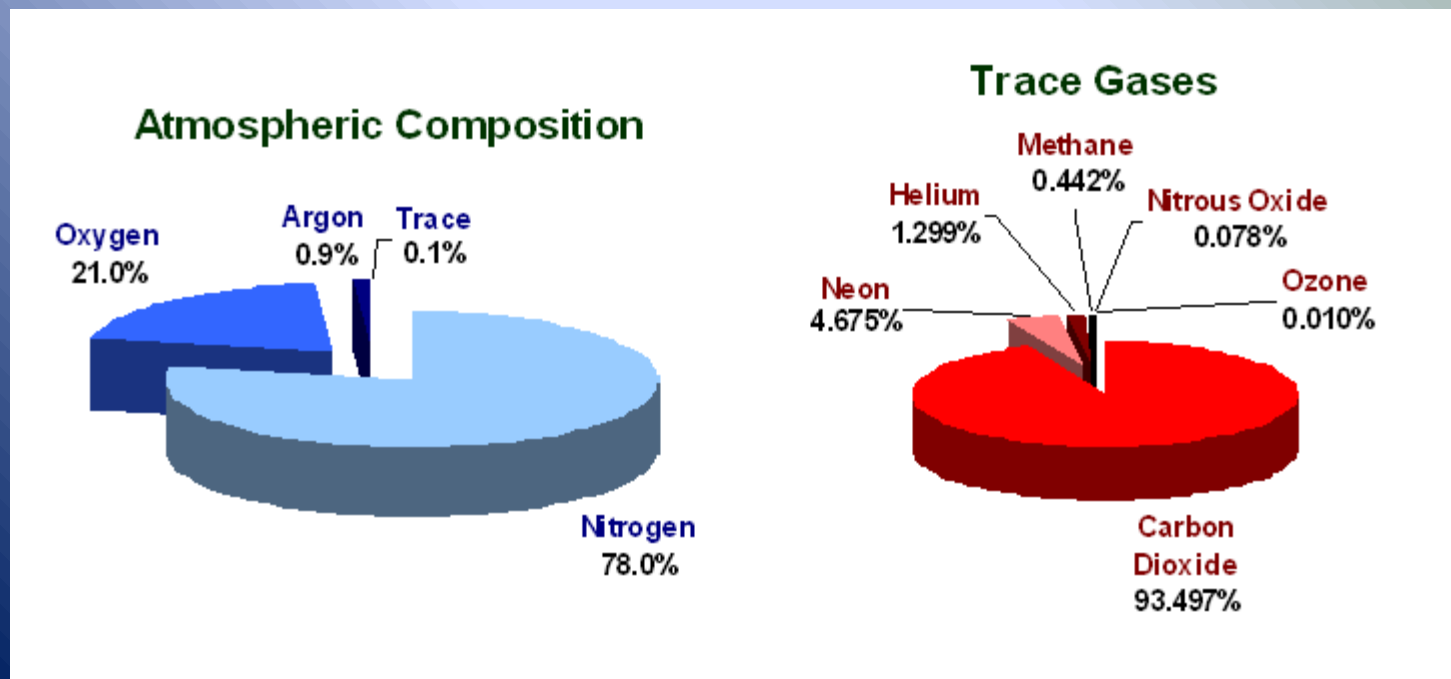
E se l'esopianeta fosse la Terra?



Spettrografia atmosferica terrestre e segnali dai componenti

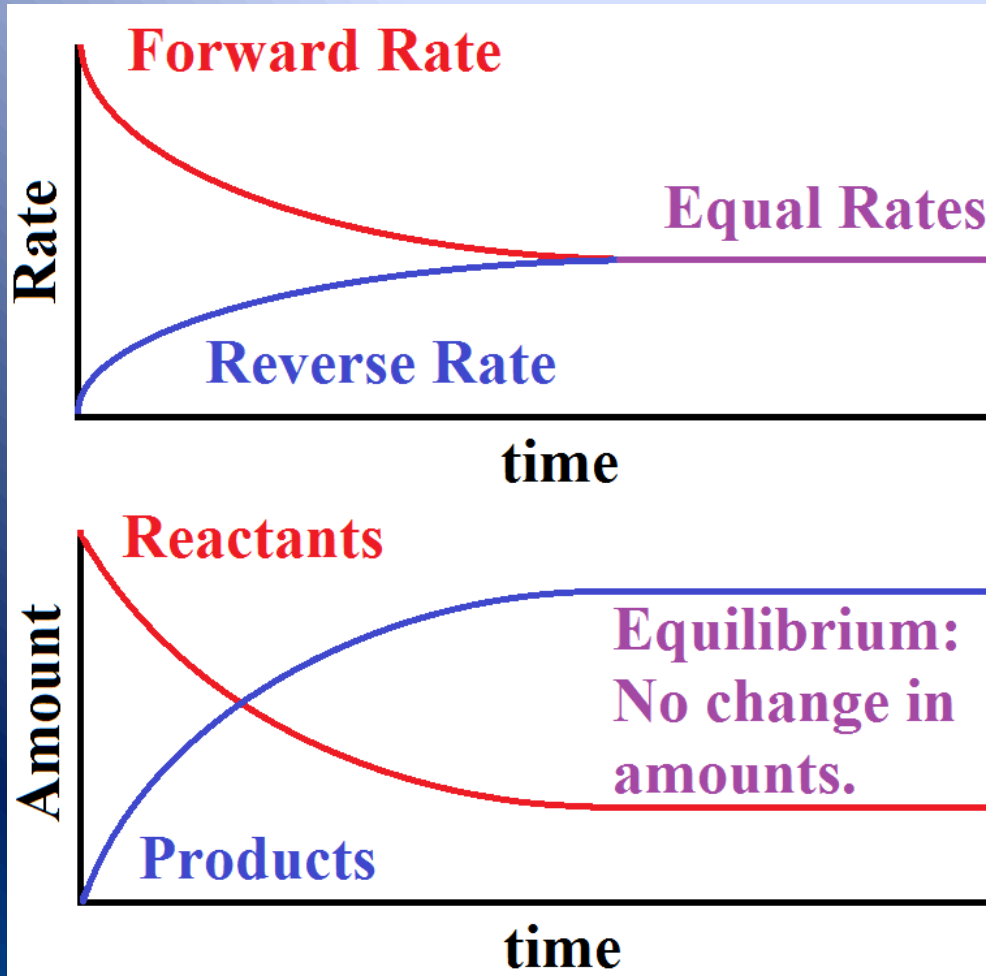
L'atmosfera della Terra – la terza atmosfera

Uno sguardo all'atmosfera: la via privilegiata per comprendere un pianeta e la sua storia



Informazioni essenziali sull'equilibrio o disequilibrio chimico

Equilibrio e disequilibrio chimico

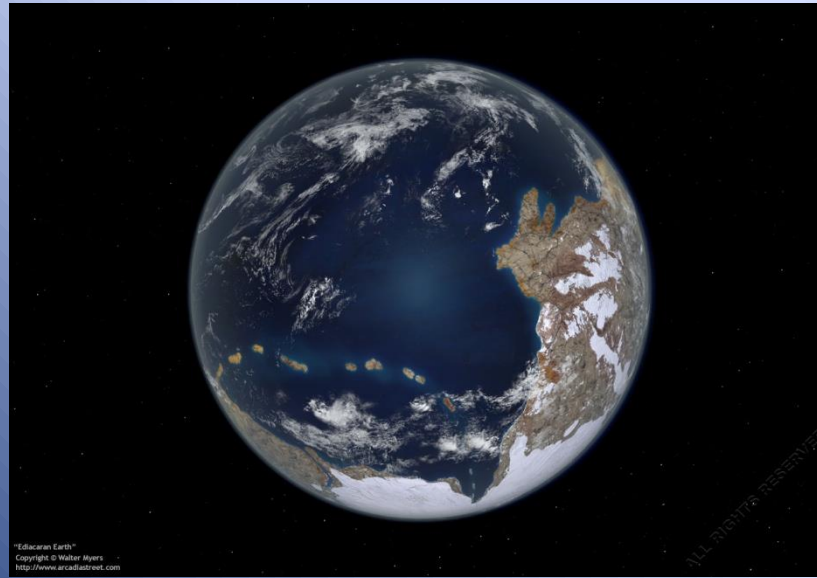


La vita può essere definita, fisicamente, come una temporanea e localizzata diminuzione dell'entropia di un sistema (Schrödinger)

Reazioni non biologiche (o irreversibili) conducono all'equilibrio chimico

L'atmosfera della Terra – la seconda atmosfera

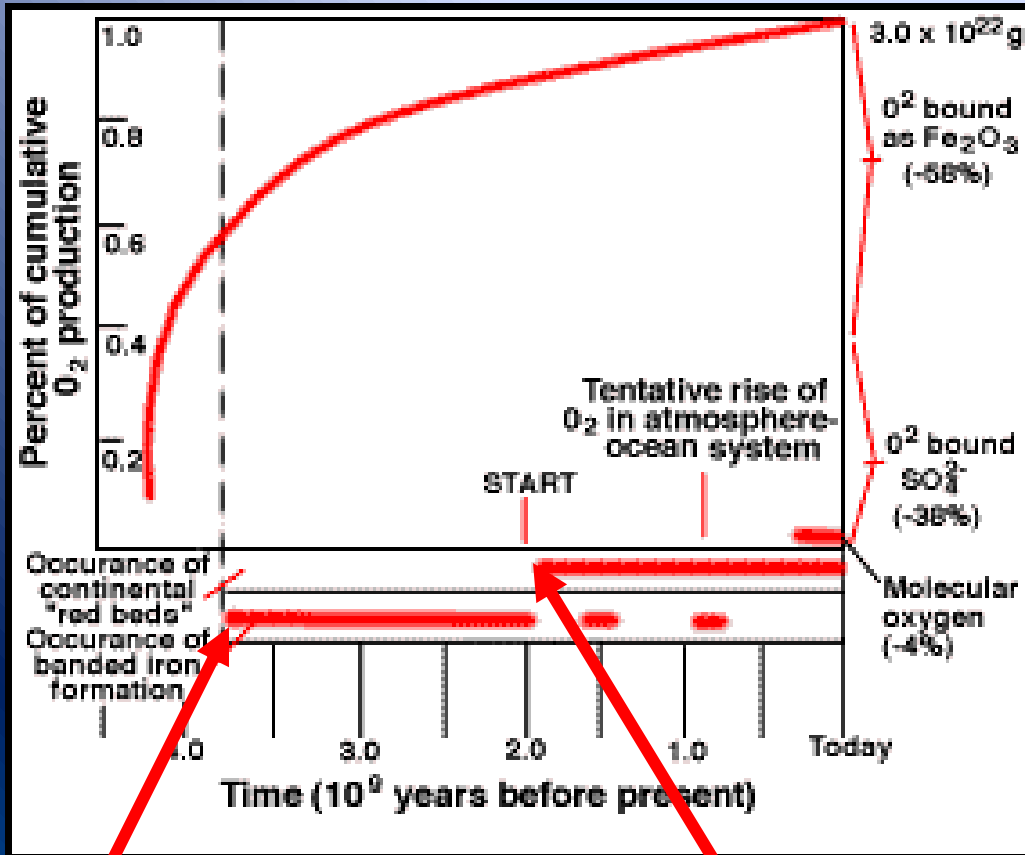
La seconda atmosfera: un equilibrio chimico scardinato dalla vita



80% N₂; 18% CO₂; 1% H₂O; 1% H₂

La coevoluzione bio-geofisica

La biosfera terrestre, la terra solida e l'O₂ atmosferico



La presenza di **rocce con minerali di Ferro ossidati** (es. ematite: Fe₂O₃) è indice della presenza di Ossigeno nell'atmosfera.

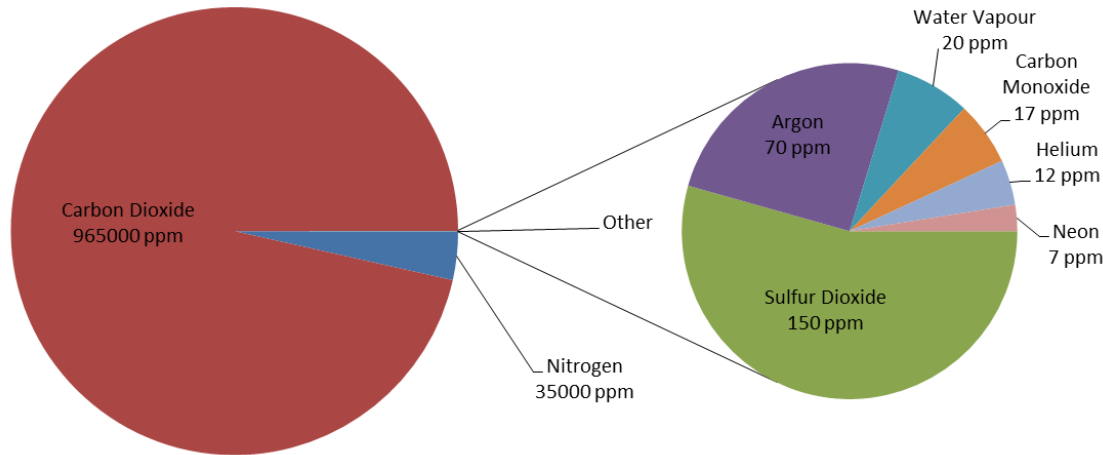
L'accumulo di Ossigeno nell'atmosfera comincia 3.8 Bya (rocce con bande di Ferro); a partire da 2 Bya la quantità di O₂ è tale da permettere la formazione dei **Red Beds**.

Bande di Ferro: 3.8 Bya

Red Beds: 2 Bya

Un gemello parecchio diverso: Venere

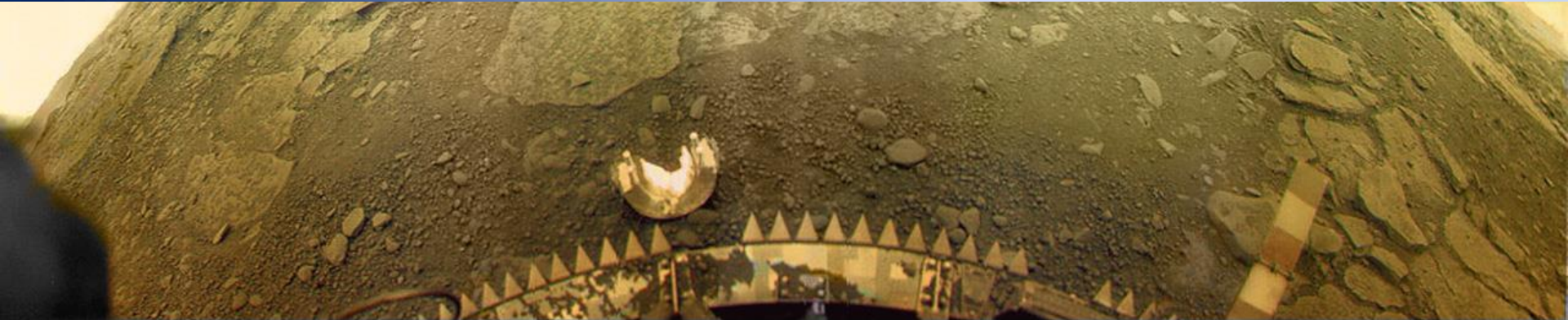
Venus' Atmospheric Composition in Parts per Million



*Composizione = 96.5% CO₂,
3.4% N₂, 0.1% SO₂*

*Pressione Sup. = 92 volte
quella terrestre*

Temperatura = circa 470 ° C



Il singolar globo di Marte

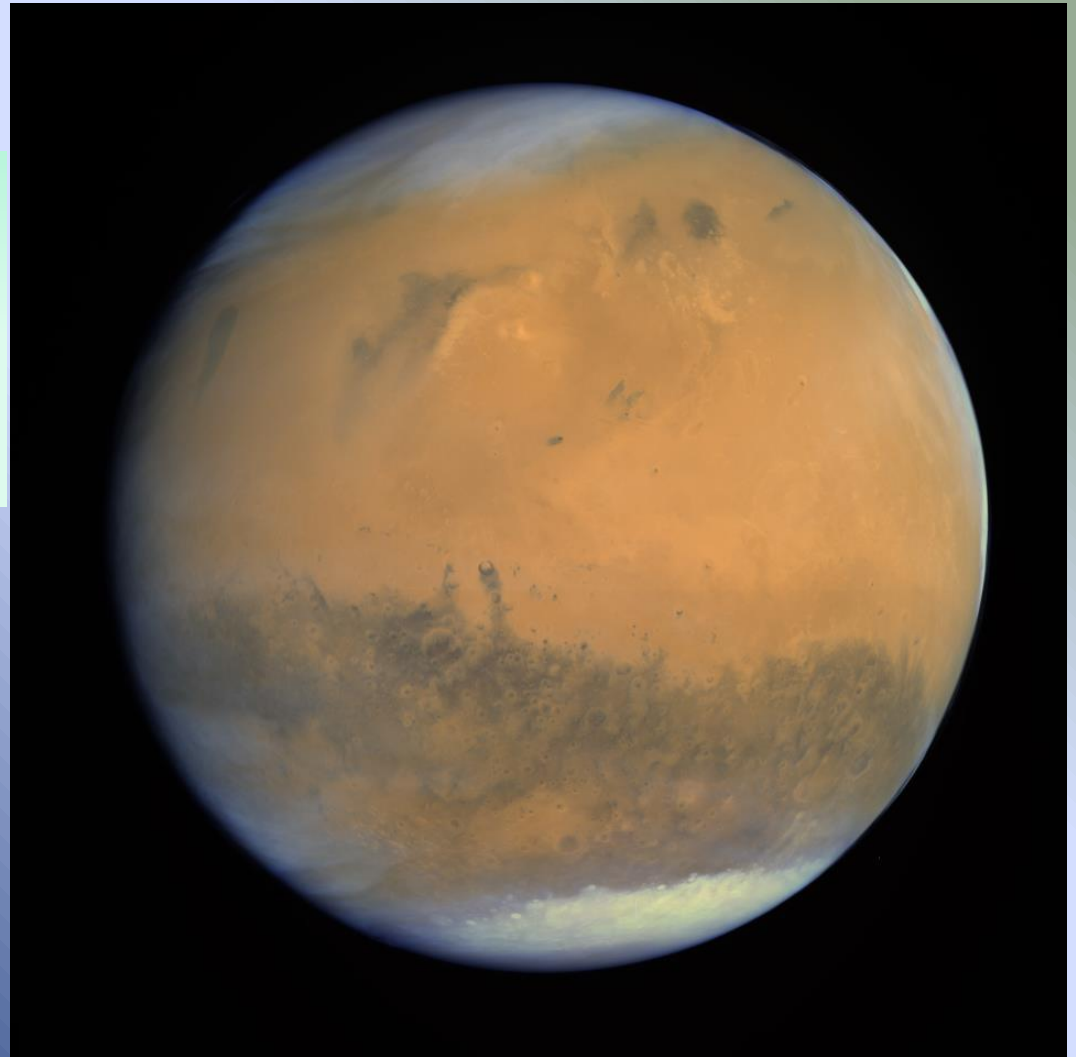
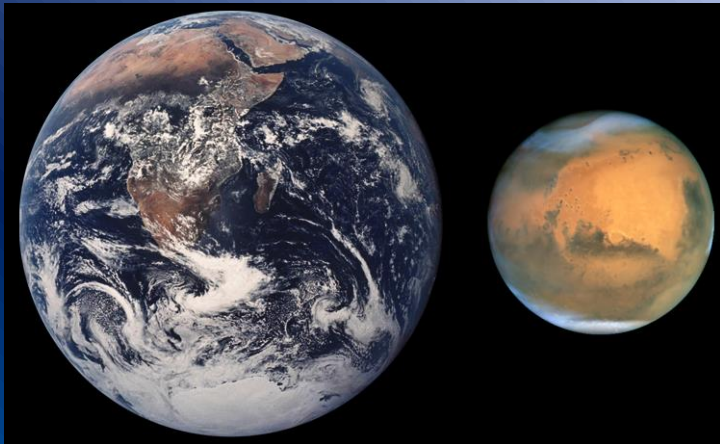
Caratteristiche di Marte

Composizione = 95% CO₂, 3% N₂, 1.6% Ar, 0.3% O₂

Pressione Sup. = 0.6% Terra

Temperatura = tra -140 ° C a +30 ° C

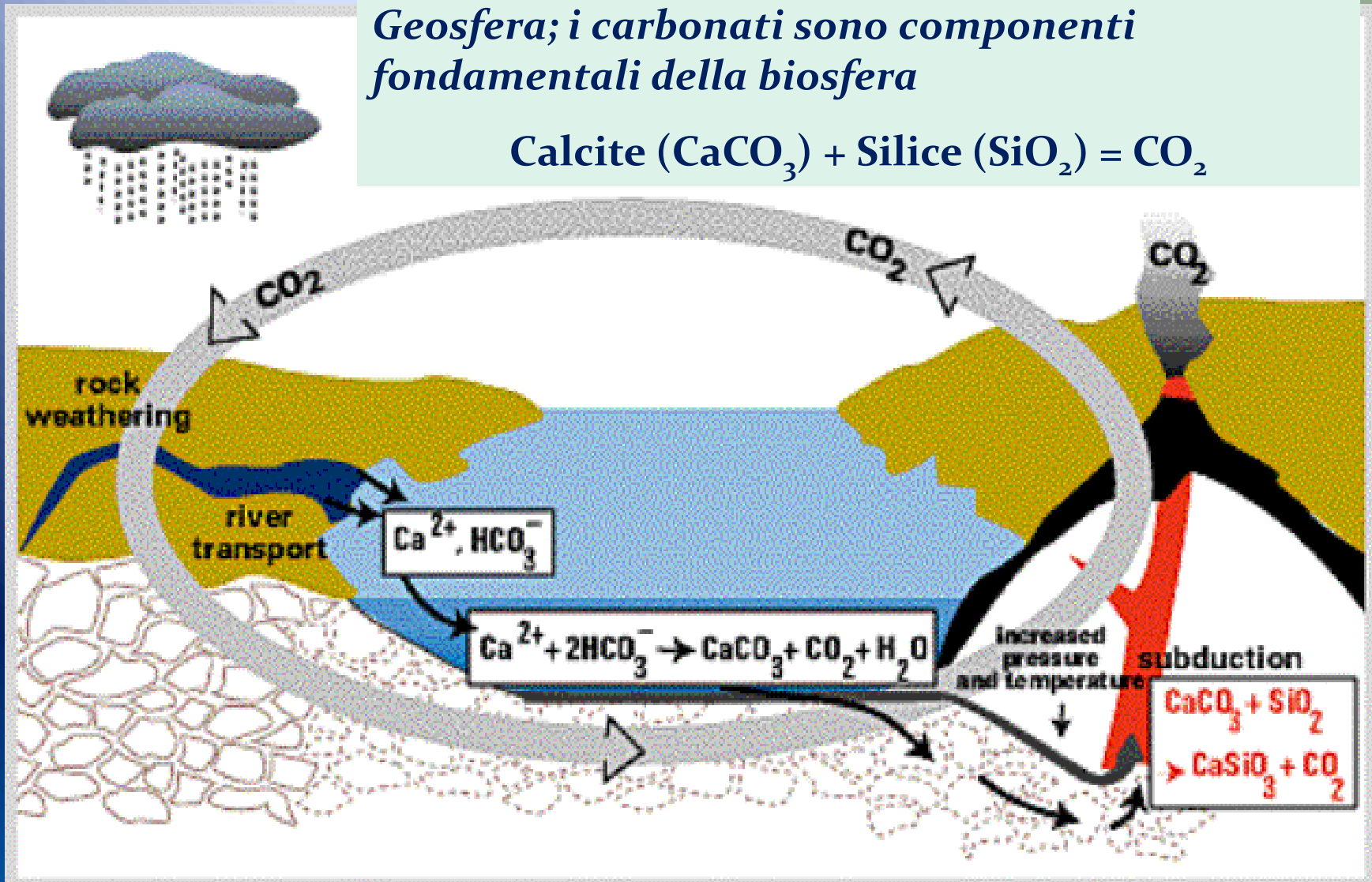
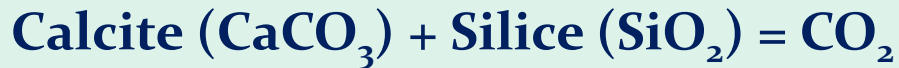
Stagioni = da 150 a 190 giorni



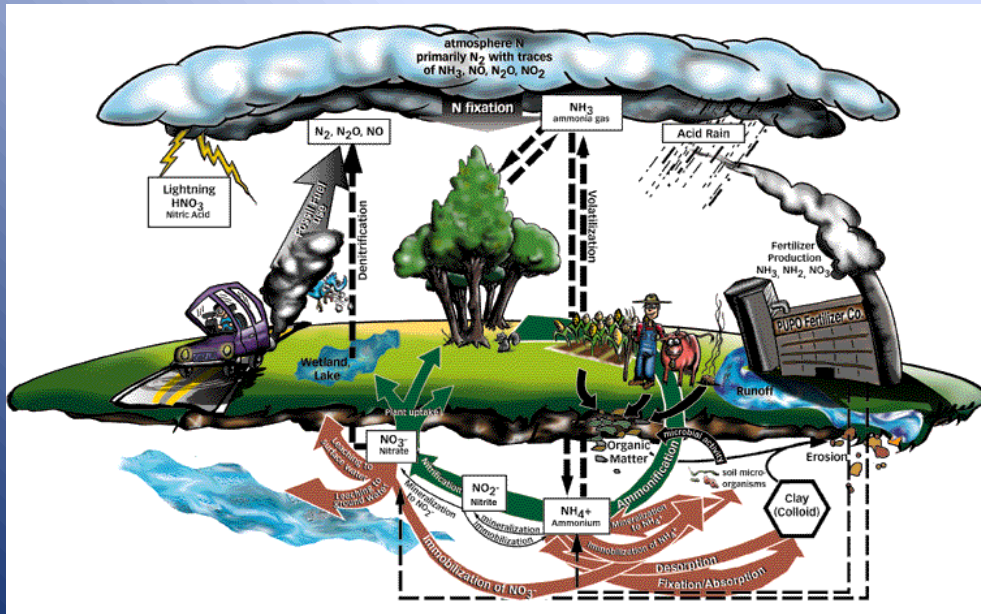
Stagioni “di tipo terrestre”, lunghe il doppio

La CO₂ e il suo ciclo biogeofisico

I Silicati sono componenti fondamentali della Geosfera; i carbonati sono componenti fondamentali della biosfera

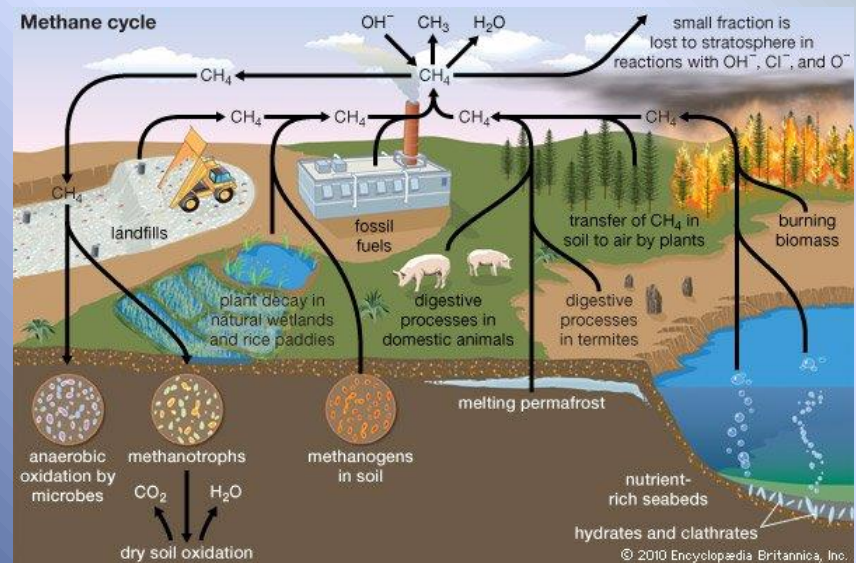


I cicli dell'azoto e del metano

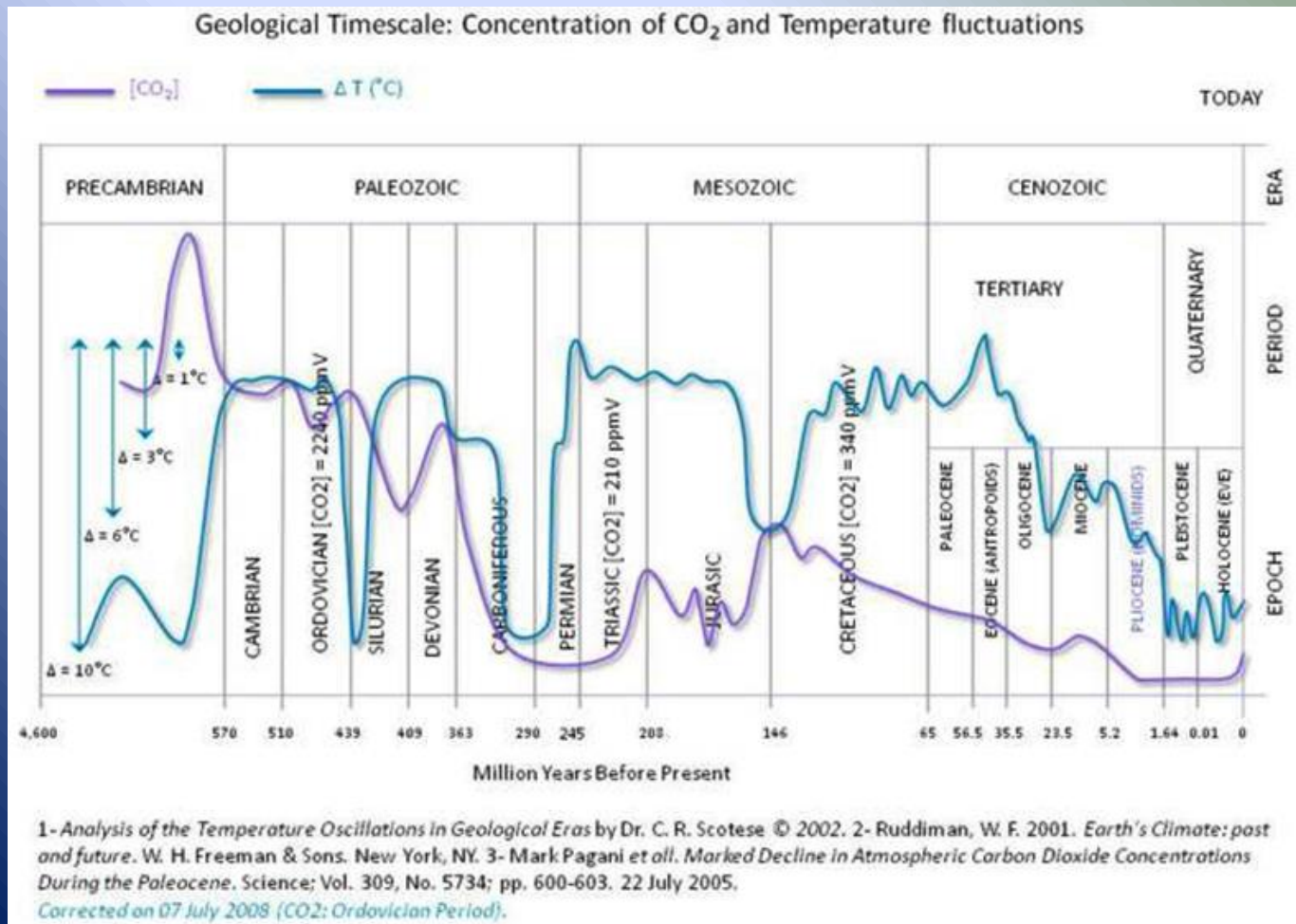


Passaggi in atmosfera, geosfera e ruolo fondamentale della biosfera...

...e, dalla rivoluzione industriale, dell'antroposfera.



La vita come componente essenziale della Terra



Dopo l'inizio della vita, la temperatura planetaria ha sempre permesso l'esistenza di acqua liquida in superficie

L'atmosfera: è una questione di “forza”

Leggi Dinamiche e Termodinamiche

*L'atmosfera di un pianeta è la **cassa di risonanza** dei cambiamenti che avvengono in tutte le unità geofisiche*

Masse reciproche delle unità geofisiche sulla Terra

Geosfera: $5.9 * 10^{24}$ kg

Idrosfera: $1.4 * 10^{21}$ kg

Atmosfera: $5.1 * 10^{18}$ kg

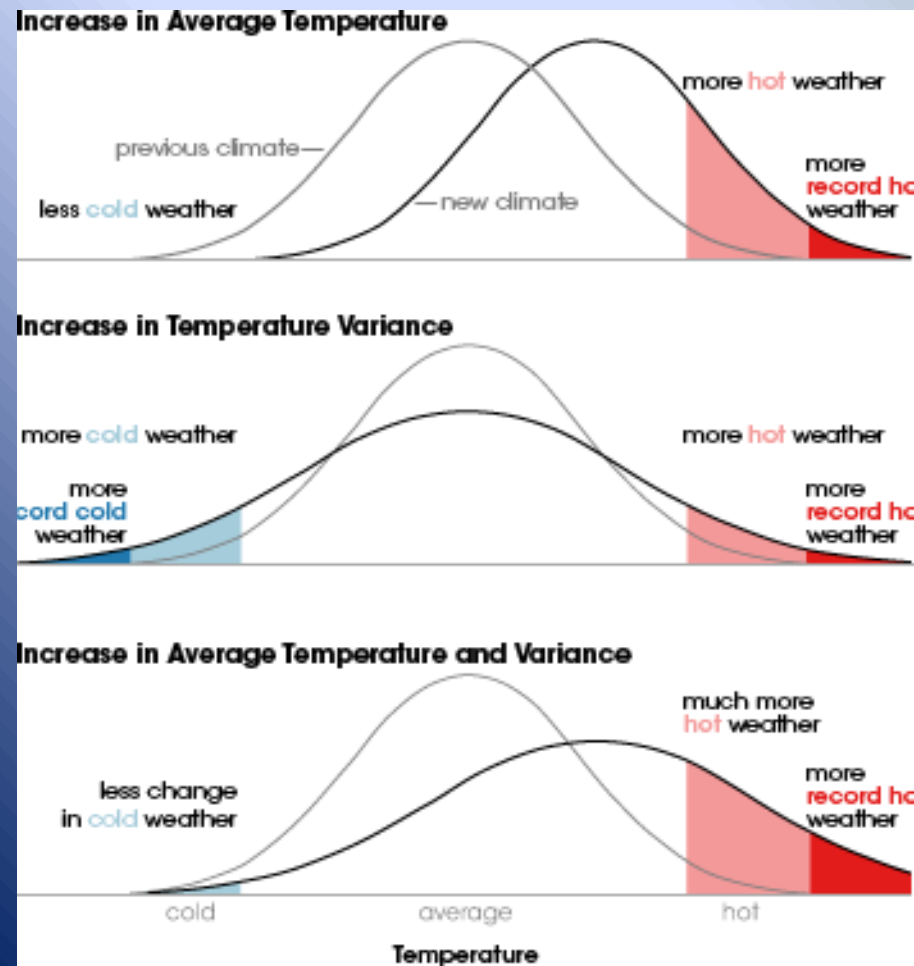
Cosa sta succedendo alla Terra?



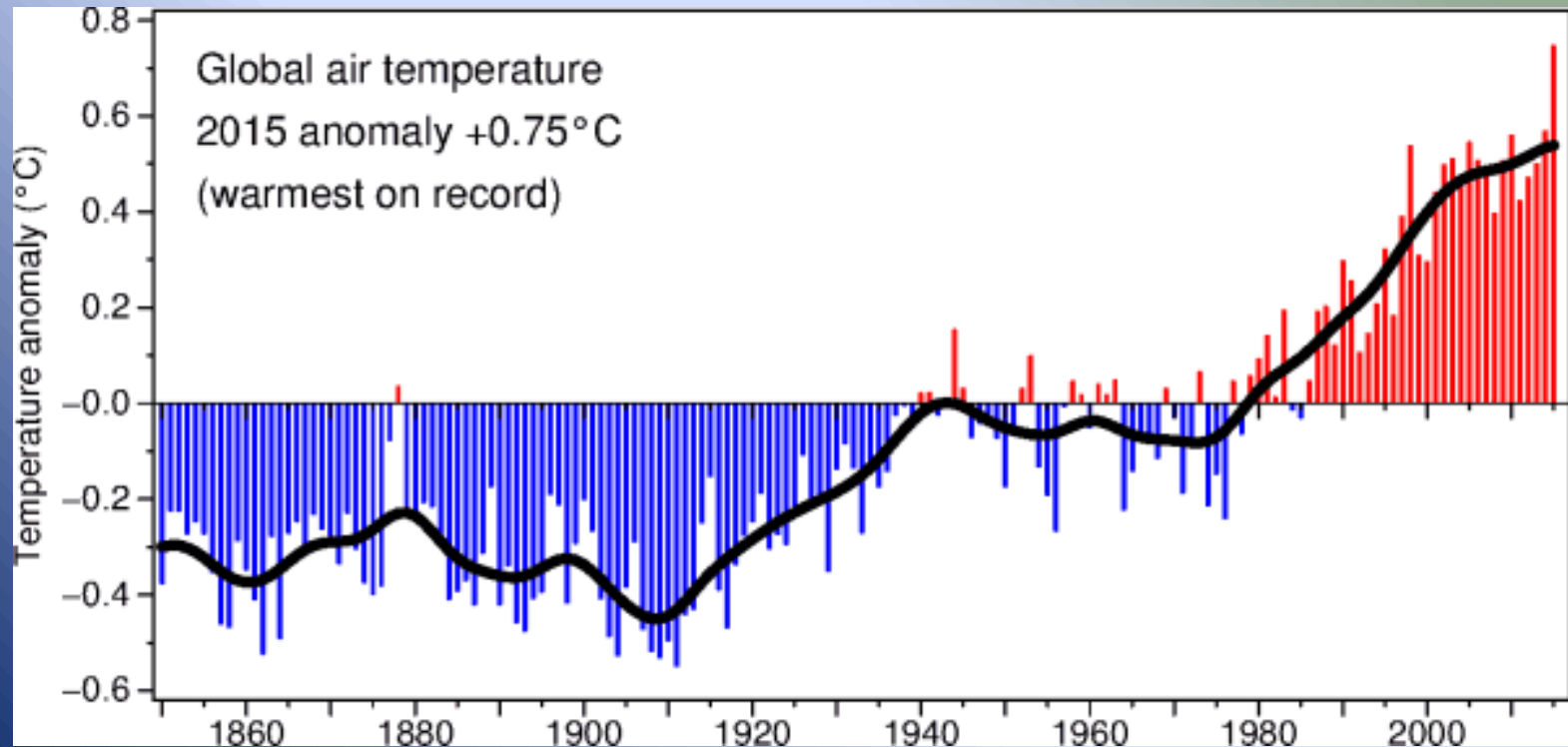
TERMINOLOGIA

CAMBIAMENTO CLIMATICO?

Variazione sistematica della distribuzione statistica di variabili meteorologiche in intervalli di tempo di diversi decenni o superiori (30 anni, WMO)



Il Riscaldamento Globale

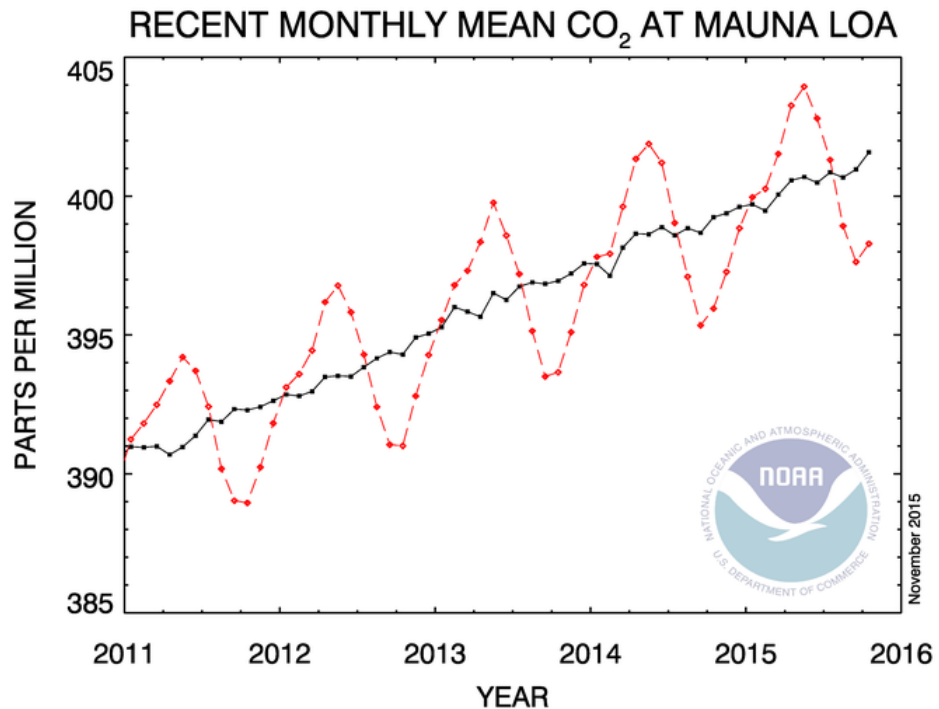


Anomalie di Temperatura (°C) rispetto alla media 1971-2000

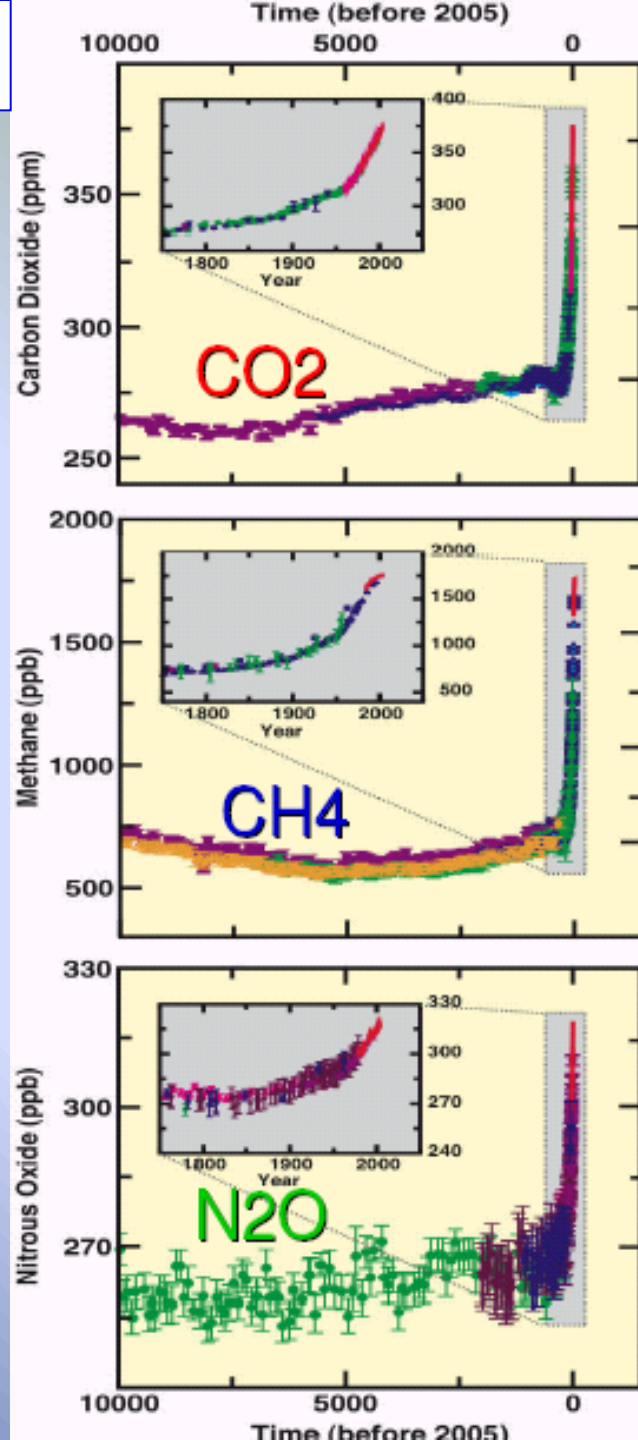
da Climatic Research Unit, University of East Anglia,
<http://www.cru.uea.ac.uk/>

ATTUALE MANIFESTAZIONE del cambiamento climatico sulla superficie terrestre, alla luce dei dati osservativi

Il ruolo dei gas clima-alteranti



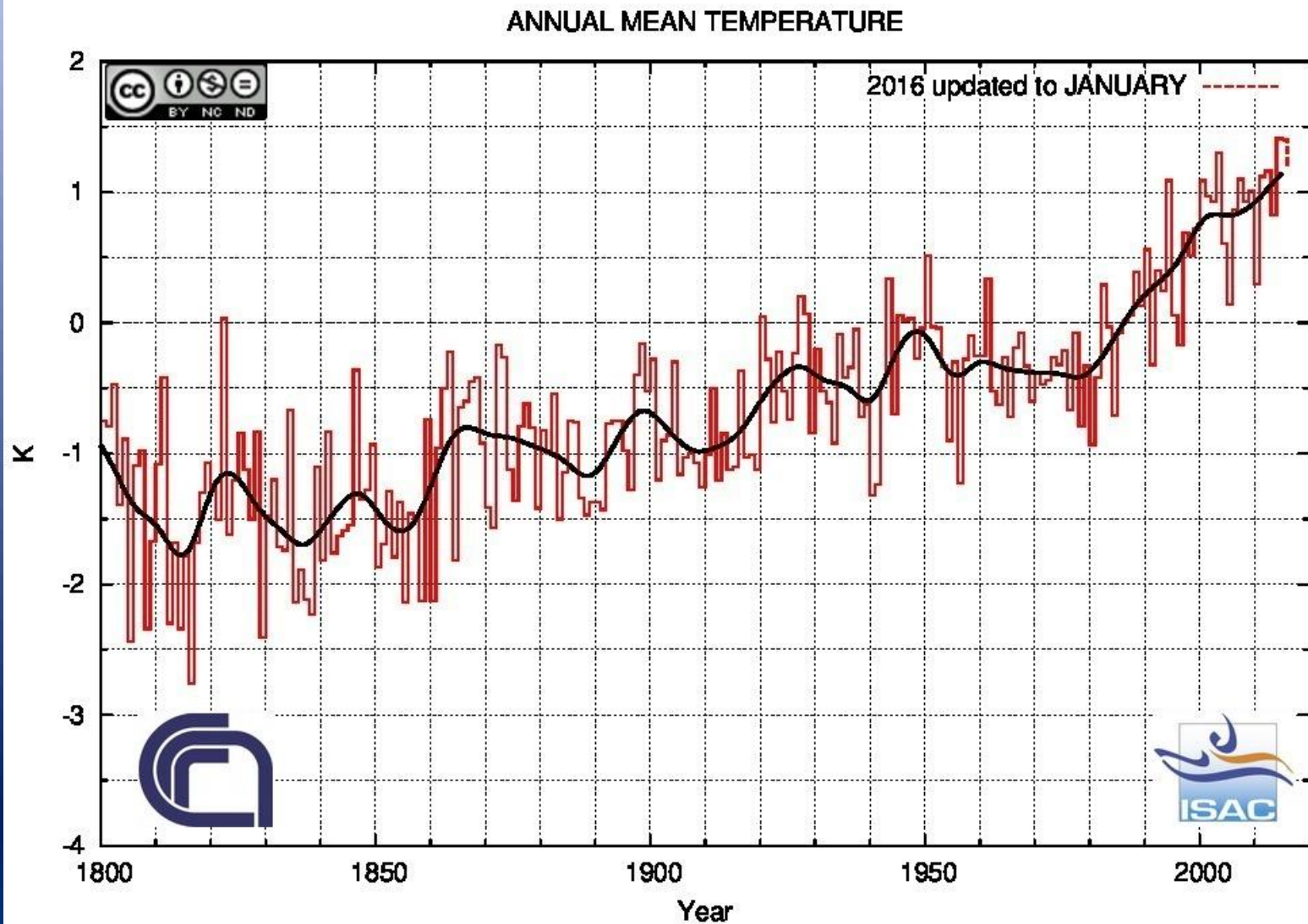
Forte aumento nelle concentrazioni dei gas serra, attribuito, in modo pressoché unanime, alle attività umane



ATTRIBUZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

- Il riscaldamento di terre emerse e superficie degli oceani è **inequivocabile**. Molti degli impatti ad esso associati **non hanno precedenti** per intensità e per tasso.
- C'è un'**evidente influenza umana** sul riscaldamento globale.
- E' estremamente probabile (probabilità >99%) che l'influenza umana sia **la causa dominante** del riscaldamento globale osservato dopo il 1950.
- Quanto più attenderemo a mitigare le emissioni, tanto più severe saranno le conseguenze.

Il Riscaldamento Globale in Italia



Anomalie di T medie annuali rispetto al 1971-2000 (in K)

http://www.isac.cnr.it/~climstor/climate_news.html

La serie meteorologica di Milano Brera

Thermometer sites

old window

1835-1963

1968-1987

145 m a.s.l.

present site

1993 →

148 m a.s.l.

near "Cupola a fiore"

1987-1993

143 m a.s.l.

first site (?)

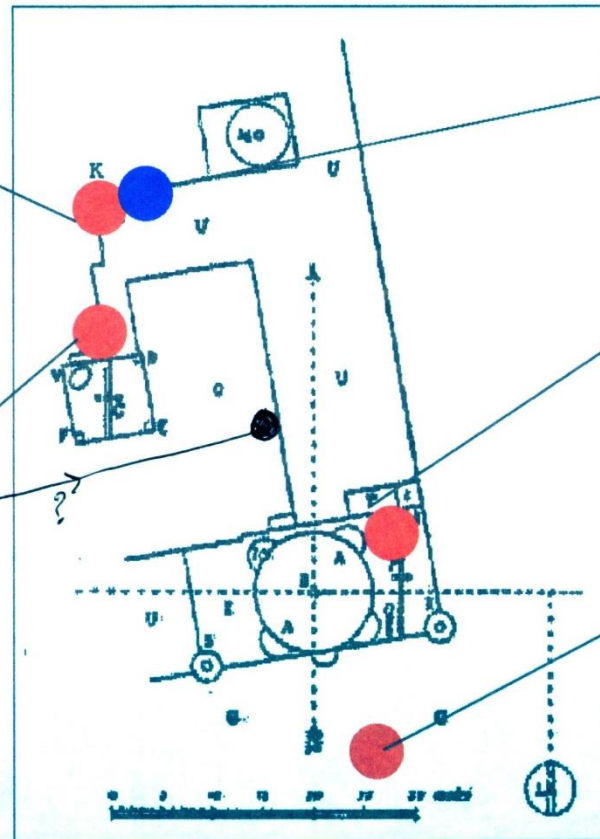
1763-1834

131 m a.s.l.

botanical garden

1963-1968

121 m a.s.l.



253 anni nel 2016!

Il 1816, l'anno senza estate

Nebbia e pioggia persistente negli Stati Uniti

Nevicata in USA, Canada, Europa Occidentale fino a luglio

Episodi di neve rossa in Italia, neve marrone in Ungheria

Temperature di diversi gradi sotto la media, con improvvisi aumenti

Perturbazione dei monsoni; alluvioni in Asia Orientale

Alluvioni in Europa

Avanzamento dei ghiacciai: distruzione di dighe

Carestia del grano, del frumento, delle patate (Irlanda)

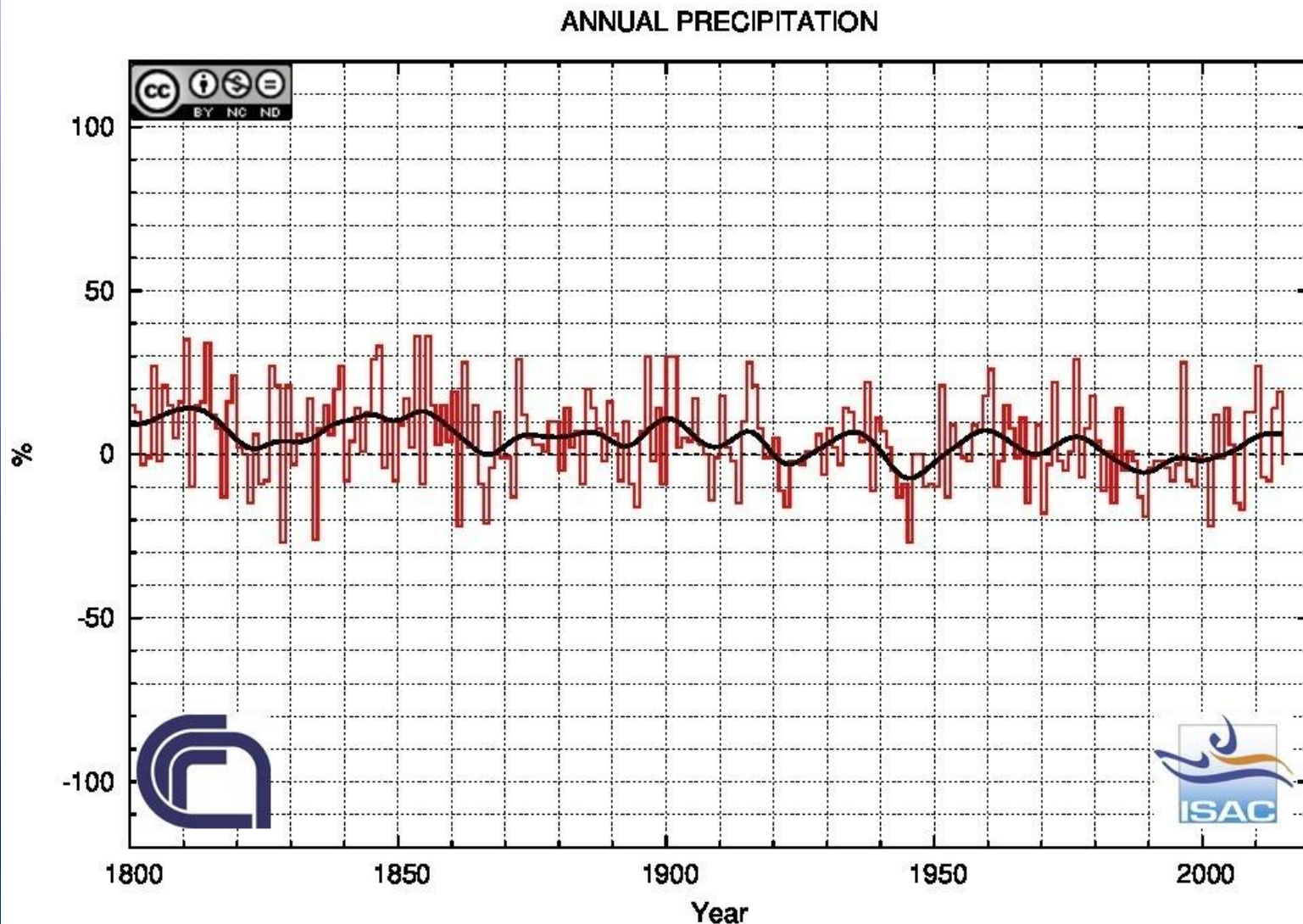
Penuria di riso (Cina)

Rivolte per il pane in Gran Bretagna, Francia, Svizzera

Epidemie di colera e di tifo

Moria dei cavalli: penuria di mezzi di trasporto

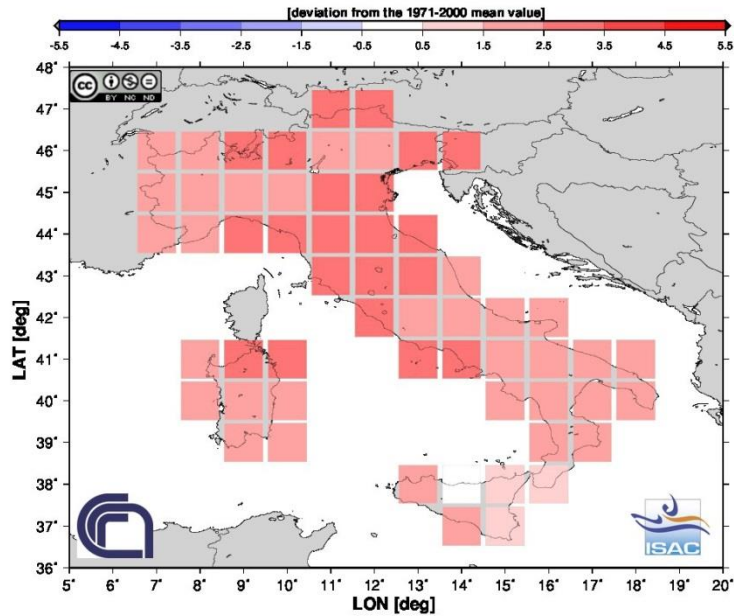
Il Riscaldamento Globale in Italia



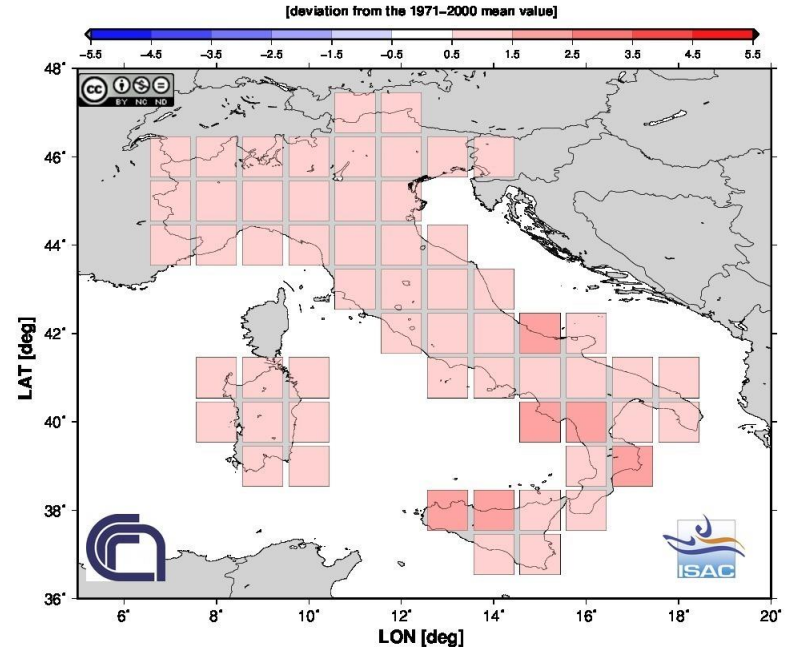
Anomalie di P medie annuali rispetto al 1971-2000 (in %)

http://www.isac.cnr.it/~climstor/climate_news.html

Riscaldamento globale, anno 2015

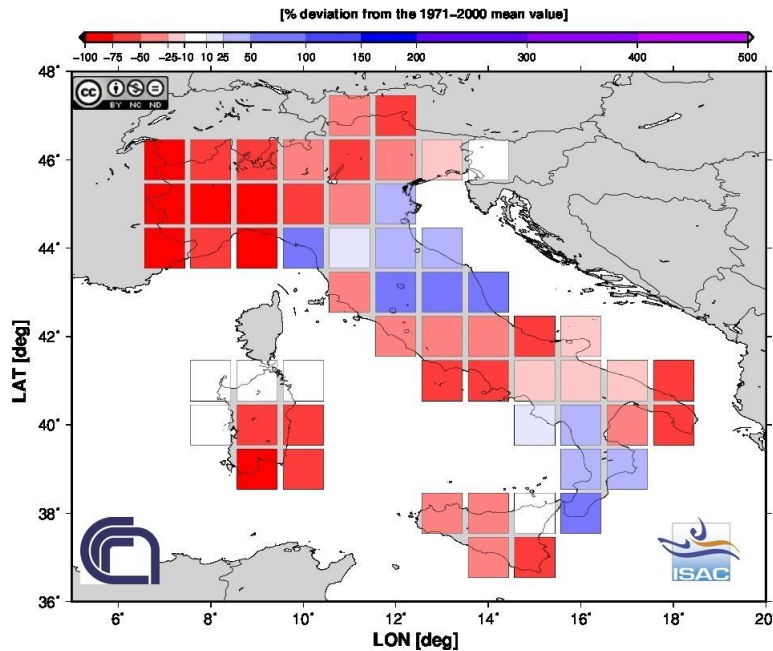


Anomalie TEMP, Estate 2015

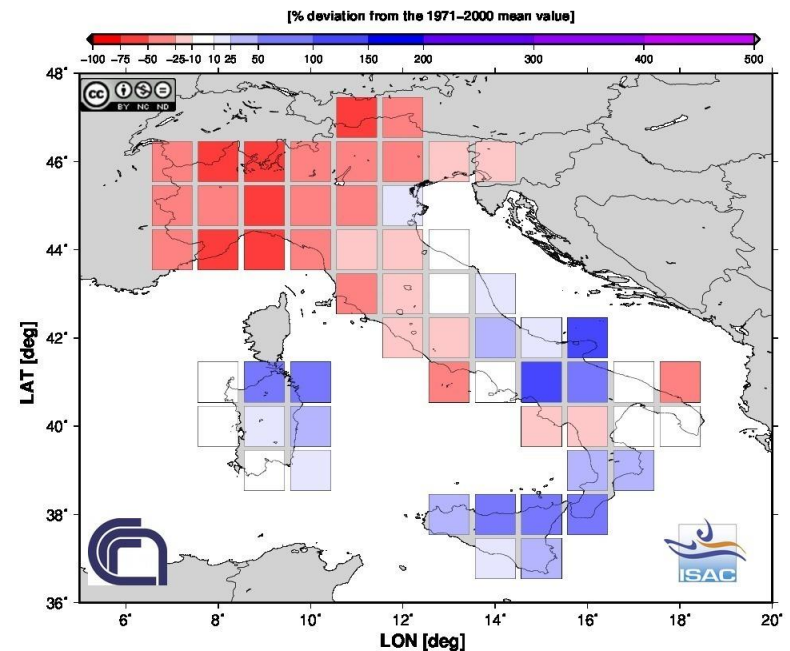


Anomalie TEMP, Autunno 2015

Riscaldamento globale, anno 2015-2016

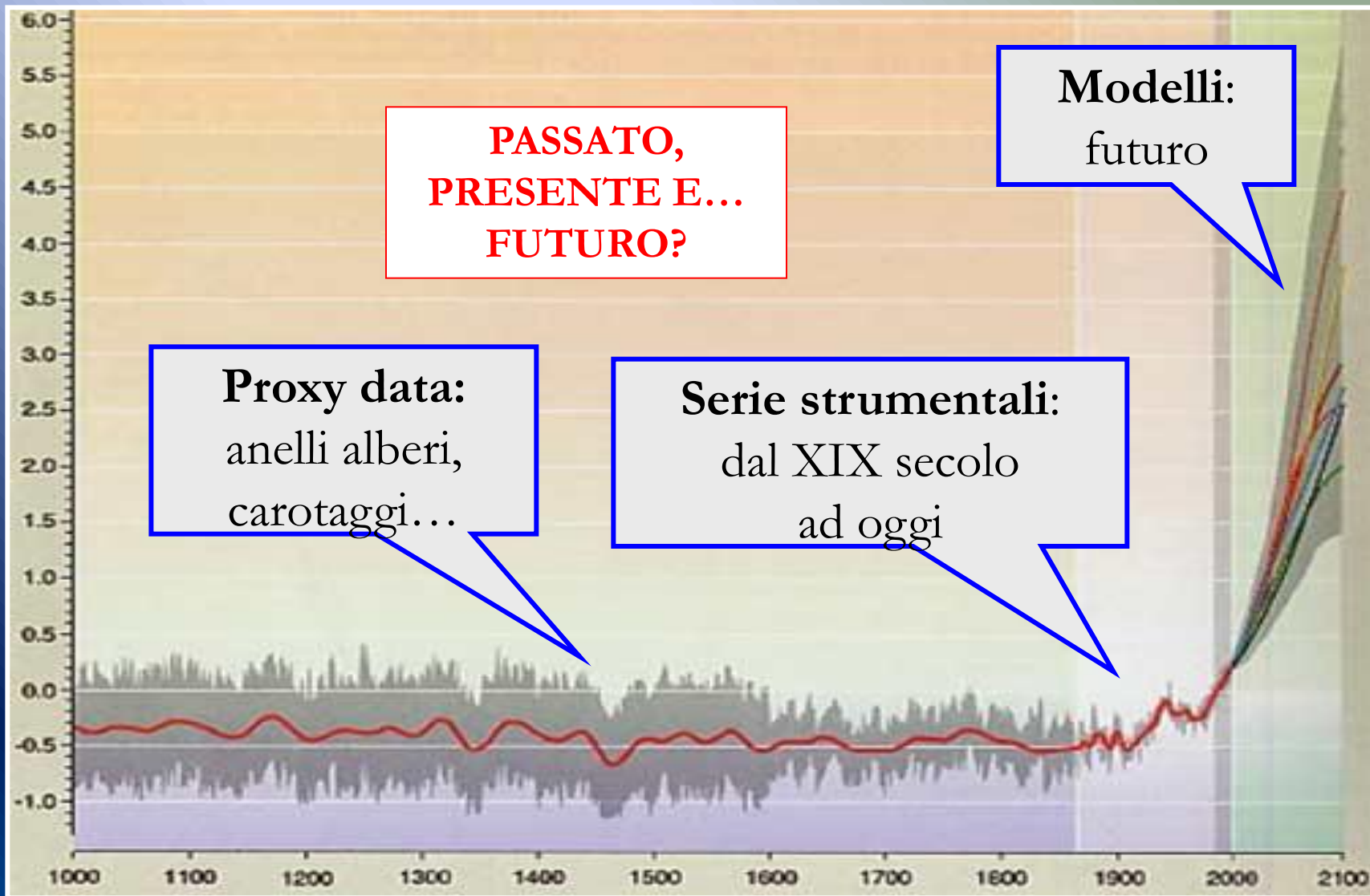


Anomalie PREC, gennaio 2016



Anomalie PREC, autunno 2015

IL SISTEMA CLIMA: I DATI



Incertezza per i dati di proxy; massima incertezza, naturalmente, per le proiezioni future

PRESENTE E FUTURO

PRESENTE:

INNALZAMENTO DELLE TEMPERATURE

CAMBIAMENTO DI DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

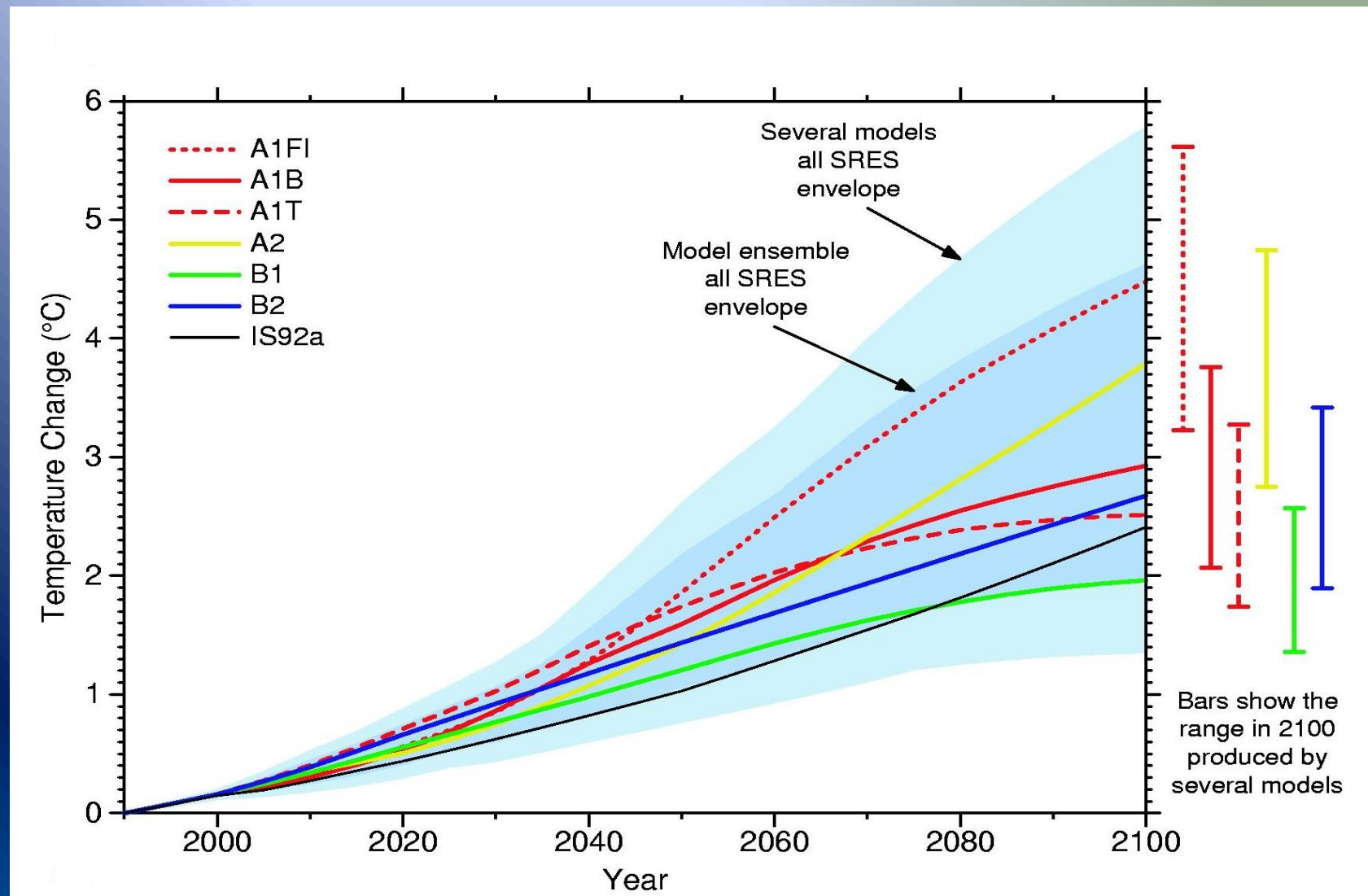
E IL FUTURO?



“Fare **previsioni** è molto difficile,
specialmente riguardo il futuro.”

Niels Bohr, fisico danese (1885 - 1962)

I MODELLI CLIMATICI: 1e PROIEZIONI



Le Proiezioni sono, PER DEFINIZIONE, affette da grandi incertezze

Le Strategie d'Adattamento: elementi chiave

1. Quadro conoscitivo: *com'è l'ambiente su cui interveniamo?*
2. Scenario di riferimento: *come sarà il futuro?*
3. Obiettivi e indicatori: *cosa vogliamo fare?*
4. Azioni/alternative: *come intendiamo farlo?*
5. Stima degli effetti delle azioni/alternative
6. Confronto e scelta tra alternative
7. Attuazione e monitoraggio: *come controlleremo?*

*Coinvolgimento e partecipazione dei diversi soggetti
Realtà locali interessate*

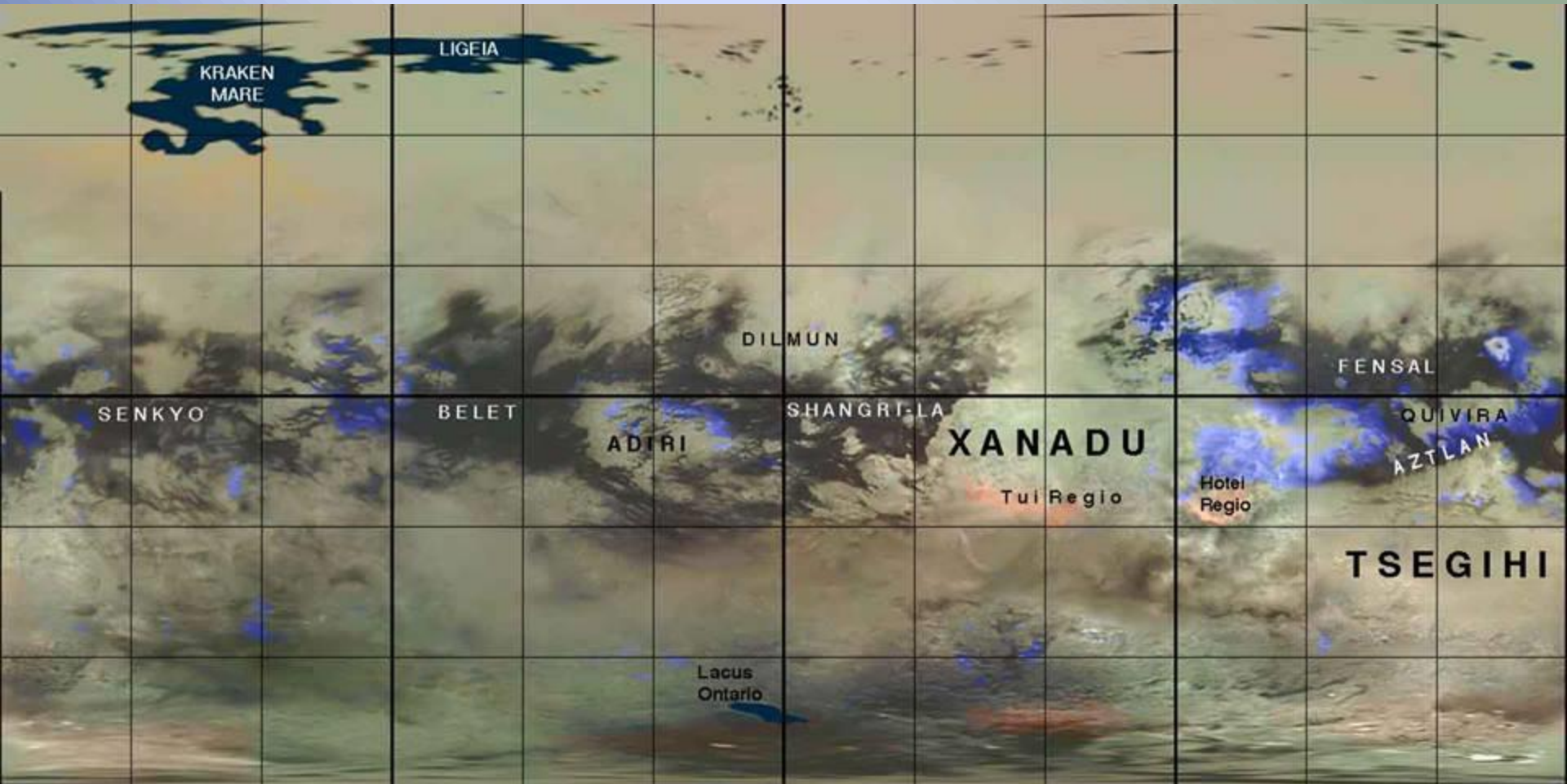
Procedure lunghe, laboriose, complesse...

Le Strategie di Mitigazione: la COP21

The Paris Agreement	Grade	What happened?	Commentary
Anchoring emission reduction commitments		Parties must make successive emission reduction commitments and "shall pursue domestic mitigation measures".	Legally binding requirement to produce on-going emission reduction commitment.
Mitigation Long-term goal		<i>"A balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in the second half of this century."</i> <i>"Well below 2 °C...and to pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C."</i>	Implies moving to net zero emissions from energy by 2050-60. Strengthening of overall temperature goal requires faster short term cuts.
Ambition mechanism		Clear 5 year cycles for raising ambition linked to a global stock take on progress towards the long term goal. Starting with a review of current climate action contributions by 2018, to be re-submitted by 2020.	There is a near-term political moment in sight, with a regular process of 5 year cycles where countries come forward with contributions to put us on track to achieve the below 2C or 1.5C limit on warming.

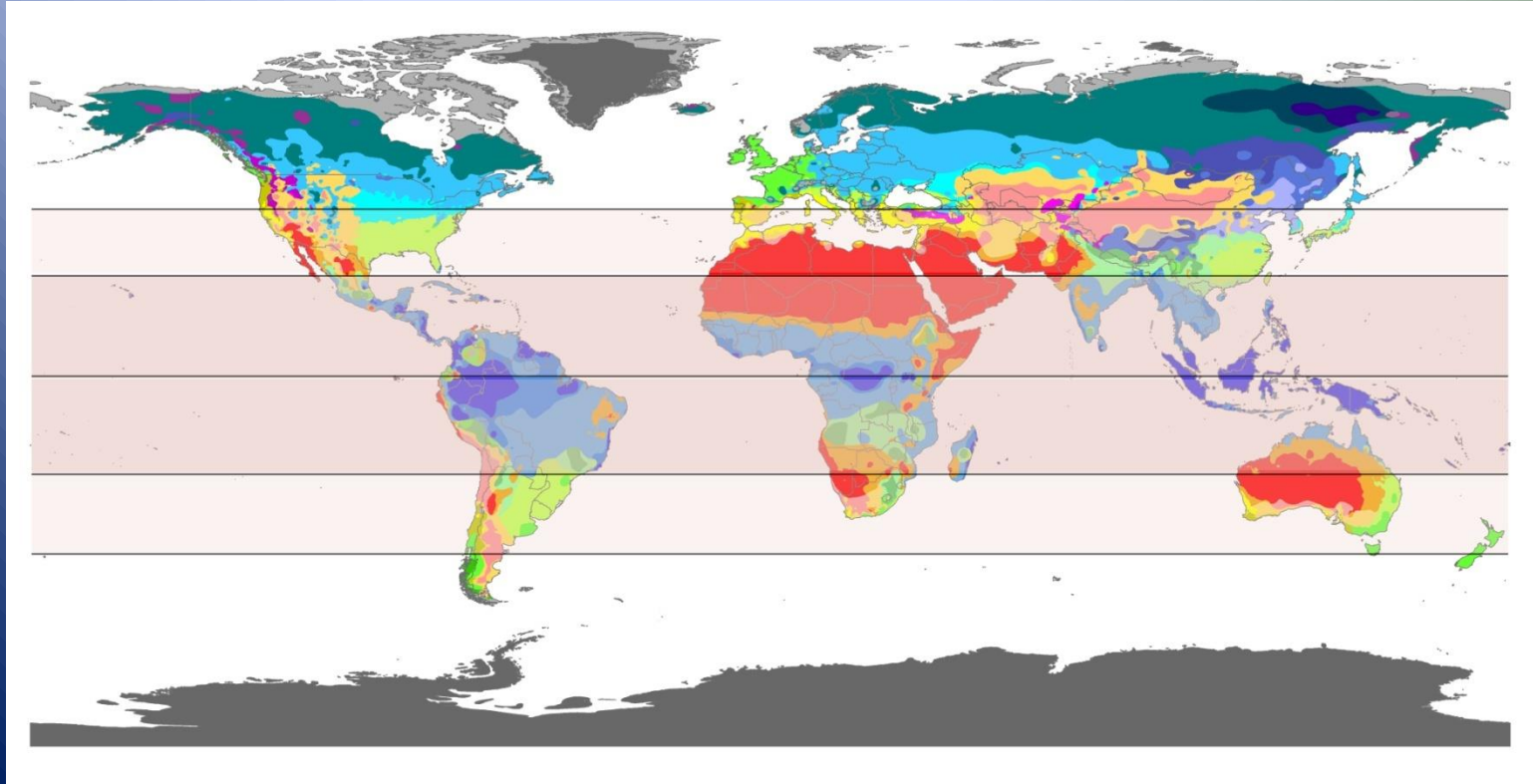
Obiettivo: decarbonizzazione totale entro il 2050! $dT < 2^{\circ} C$

Una gita al lago?



Il raffreddamento globale su Titano...

Grazie per l'attenzione



gianluca.lentini@polimi.it