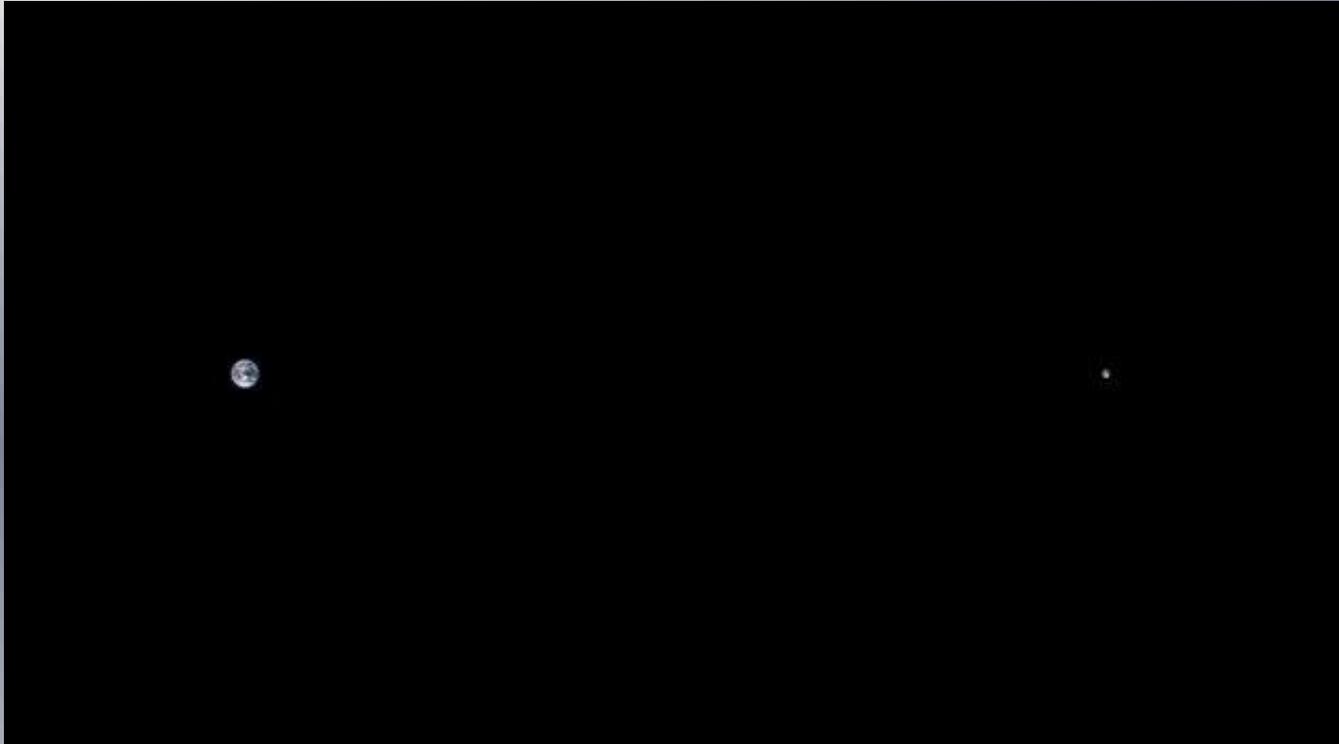


# Il pianeta Terra – uno sguardo planetologico al nostro mondo



Gianluca Lentini, *Poliedra – Politecnico di Milano*

# La Terra e il suo clima: le unità geofisiche



**GEOSFERA**



**IDROSFERA**



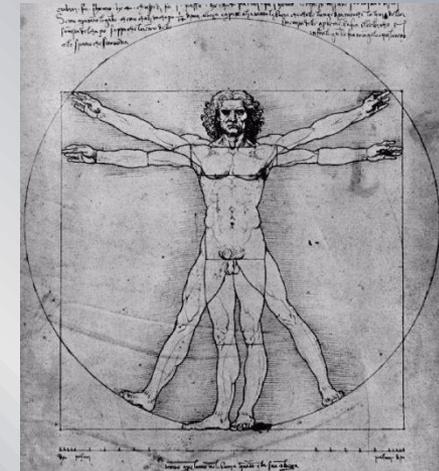
**CRIOSFERA**



**ATMOSFERA**



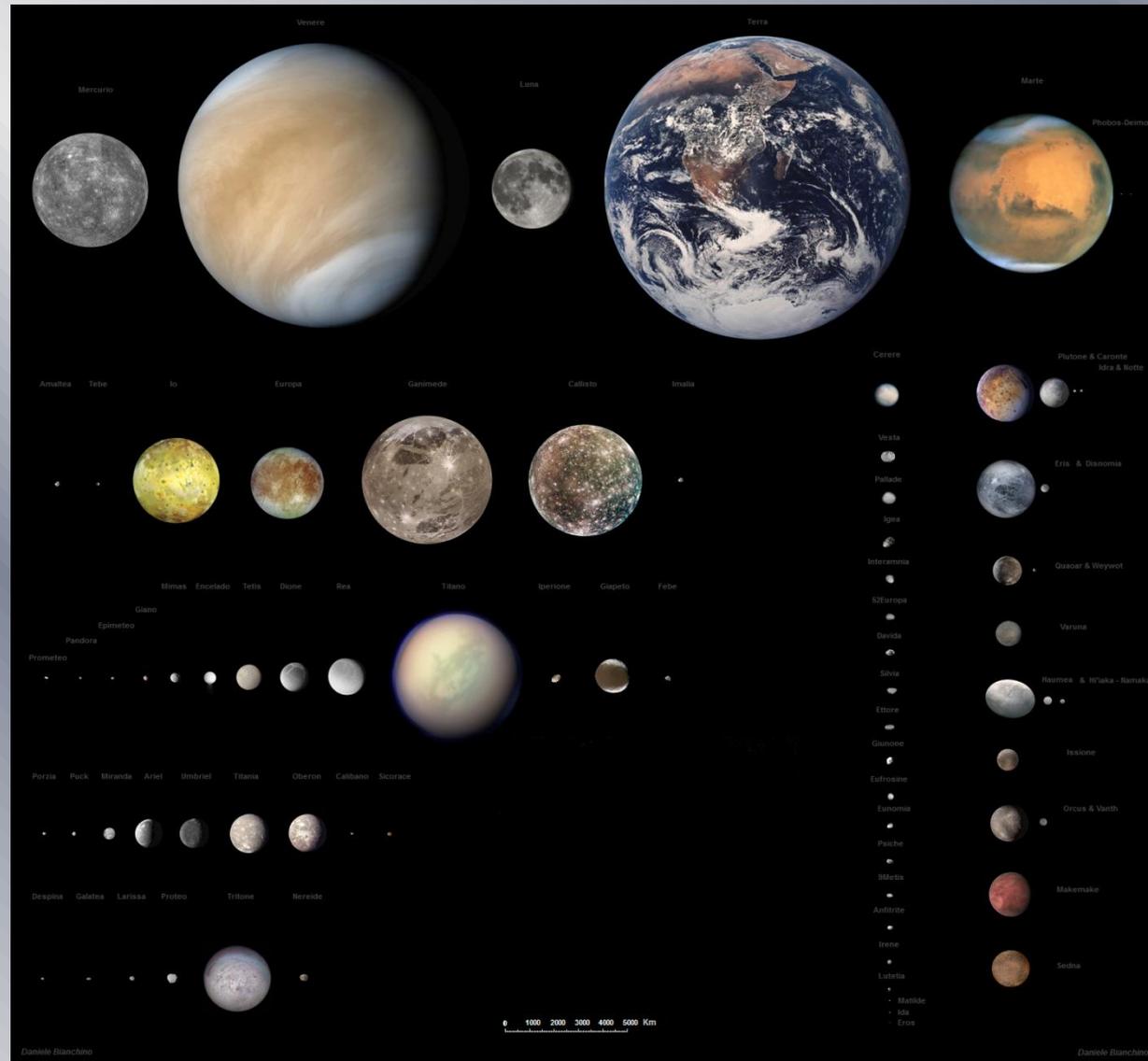
**BIOSFERA**



**ANTROPOSFERA**



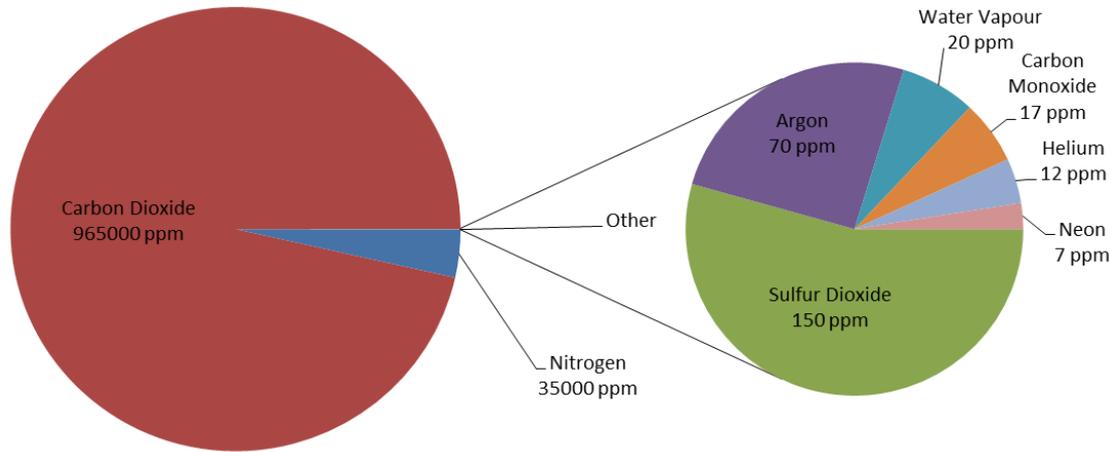
# Il regno del Sole – i corpi solidi



Terrestri, satelliti, asteroidi, pianeti nani...

# Un gemello parecchio diverso: Venere

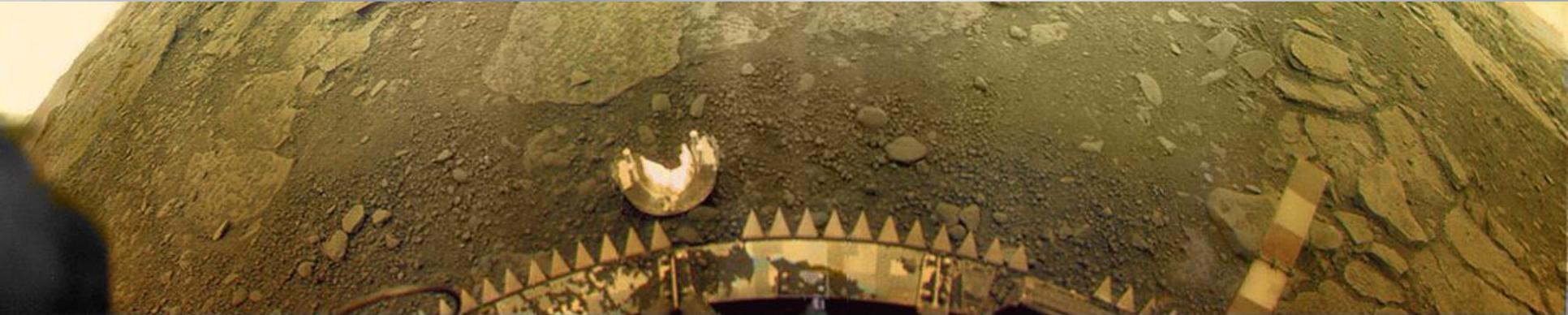
Venus' Atmospheric Composition in Parts per Million



*Composizione = 96.5% CO<sub>2</sub>,  
3.4% N<sub>2</sub>, 0.1% SO<sub>2</sub>*

*Pressione Sup. = 92 volte  
quella terrestre*

*Temperatura = circa 470 ° C*



# Il singolar globo di Marte

## Caratteristiche di Marte

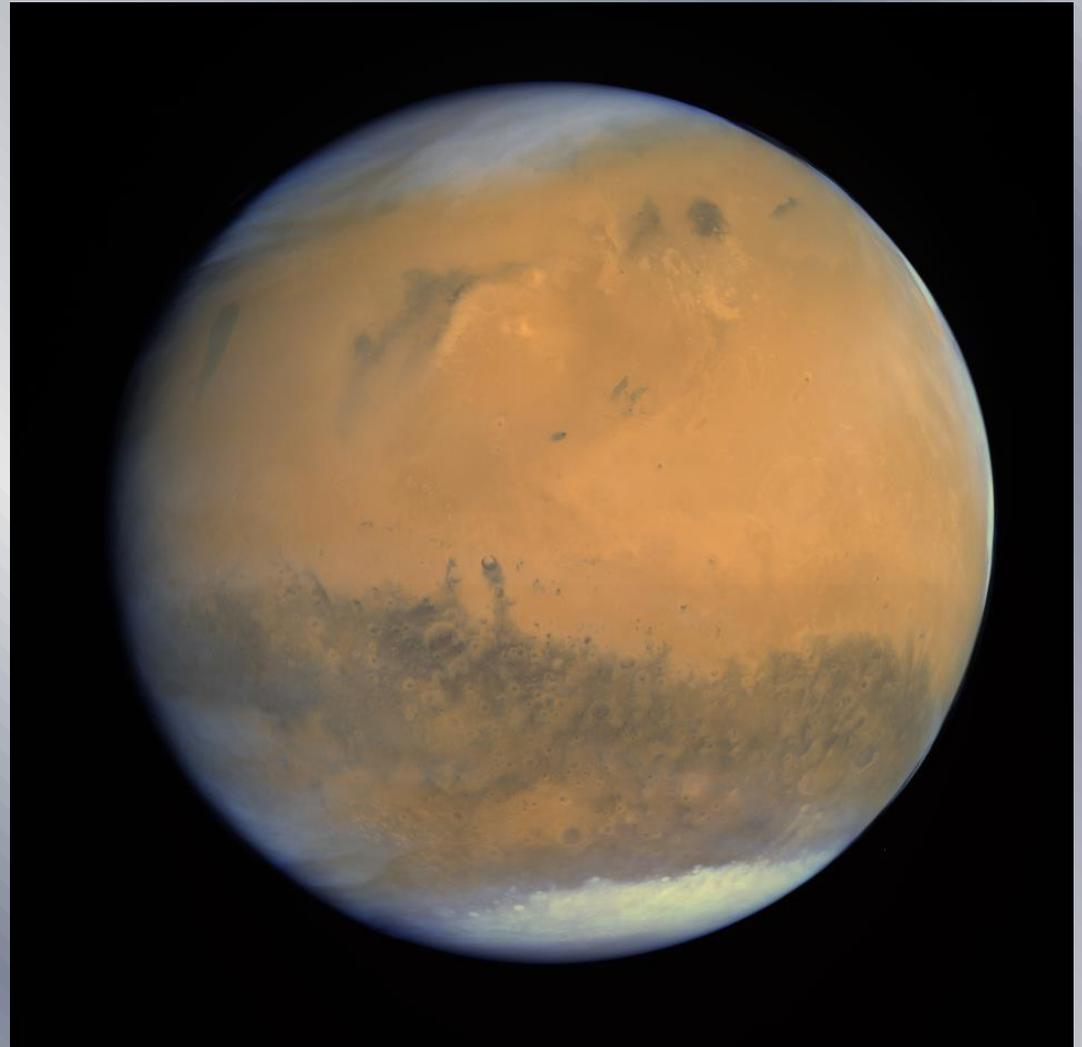
*Raggio = 1/2 Terra*

*Gravità = 1/3 Terra*

*Anno = 687 giorni terrestri*

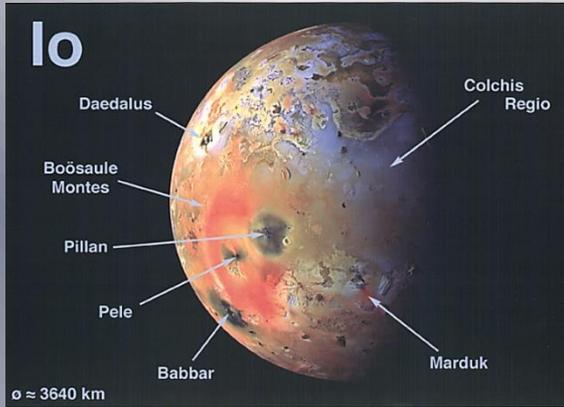
*Incl. Asse = 25°*

*Dist. media Sole = 1.6 UA*

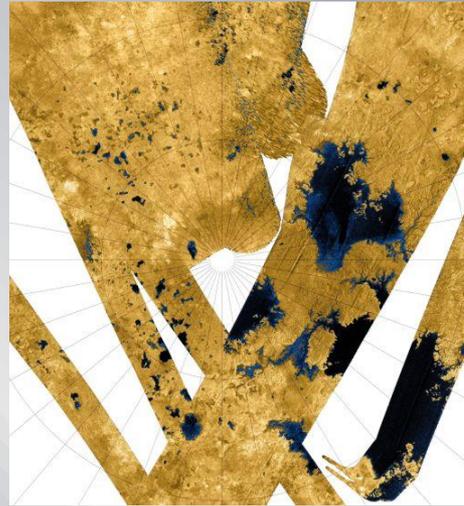


*Stagioni “di tipo terrestre”, lunghe il doppio*

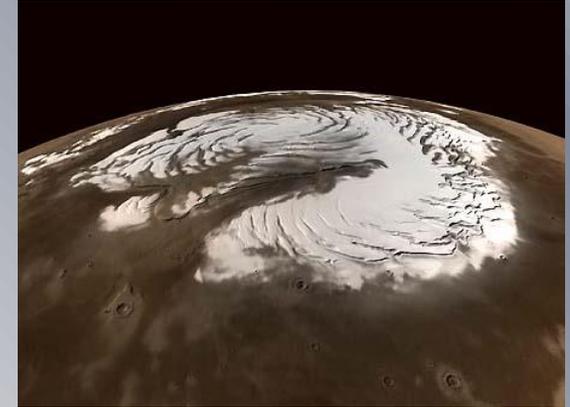
# Le unità geofisiche oltre la Terra



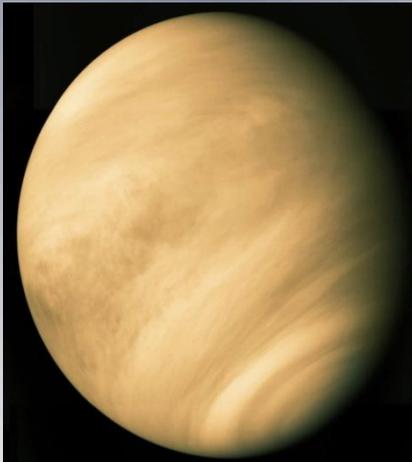
**GEOSFERA**



**IDROSFERA**



**CRIOSFERA**



**ATMOSFERA**

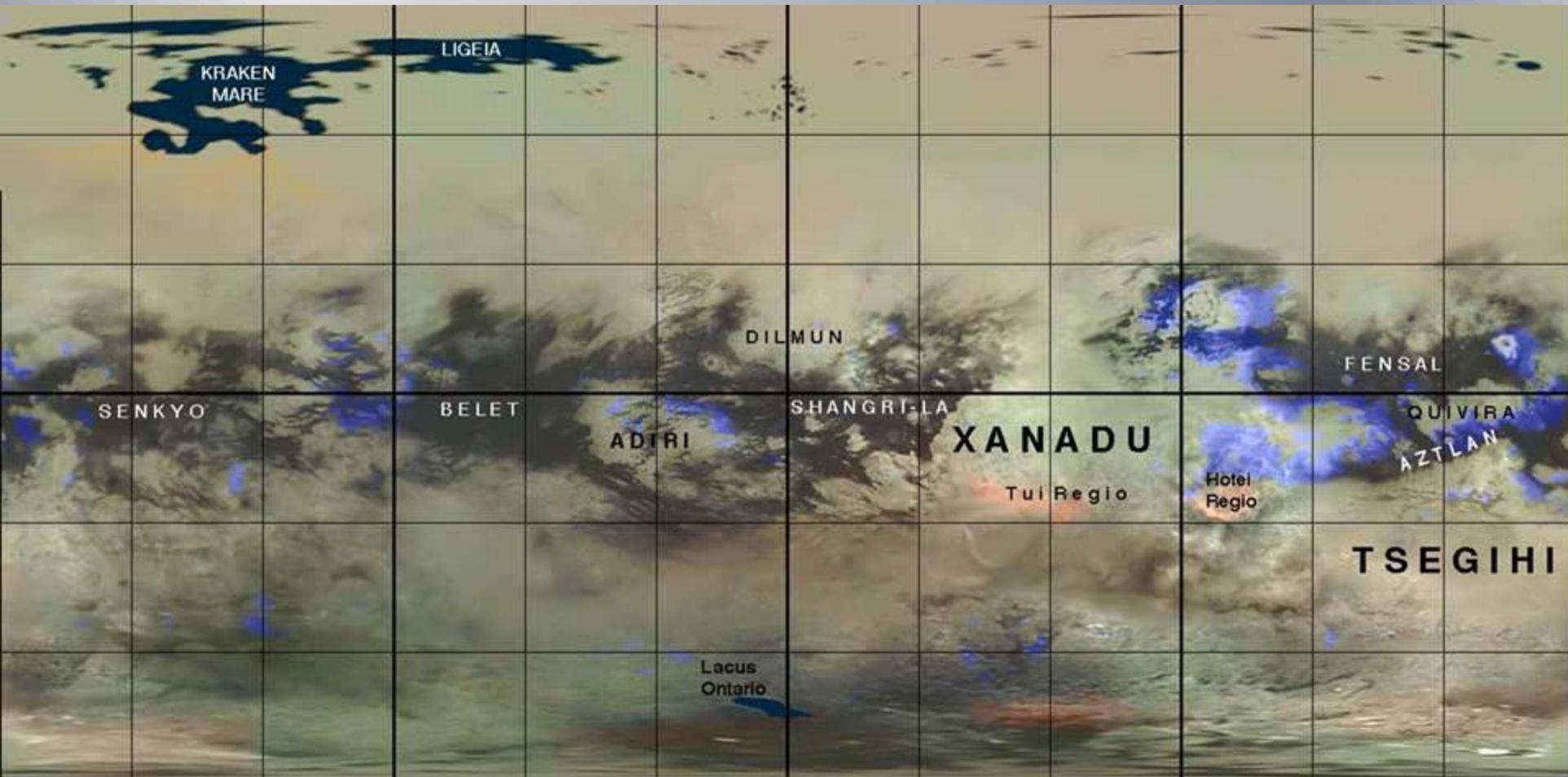


**BIOSFERA**



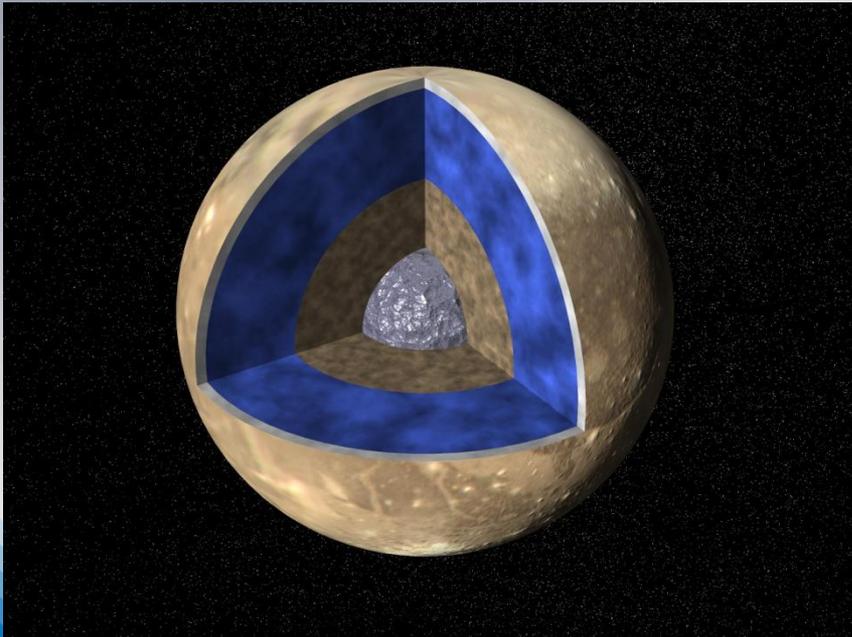
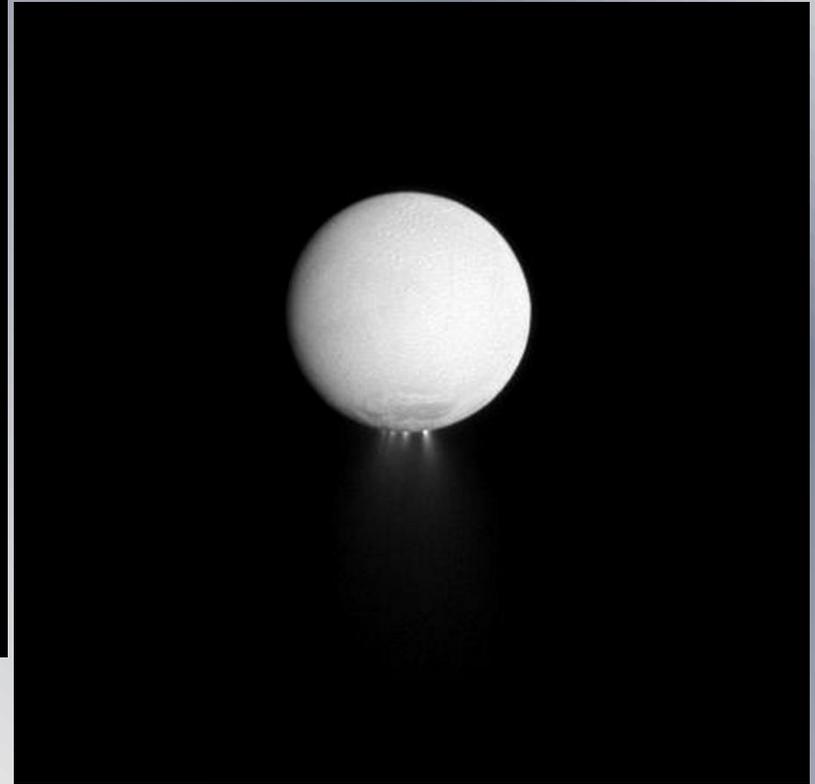
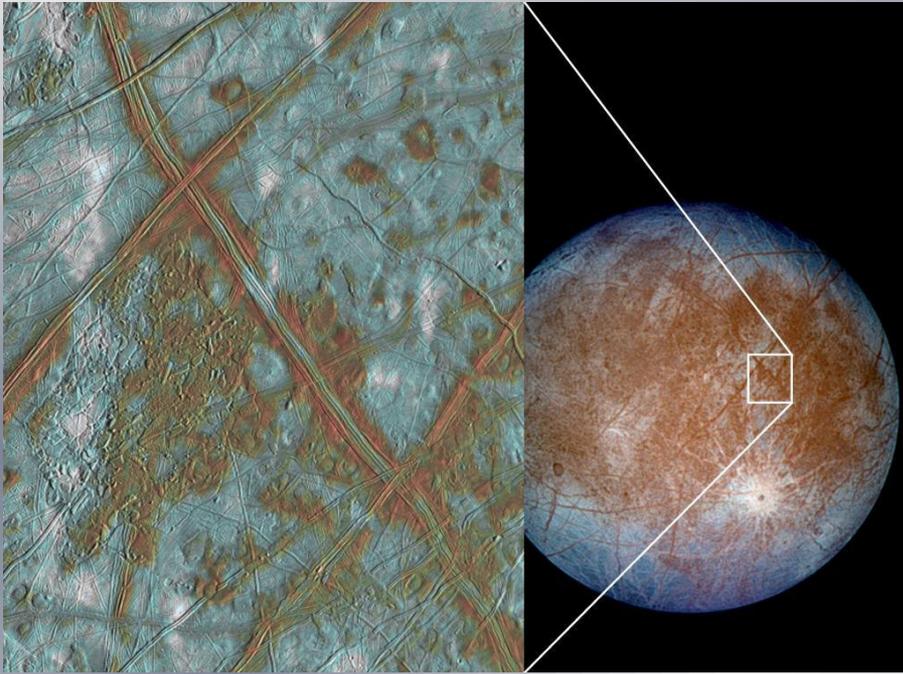
**ANTROPOSFERA**

# Una gita al lago? Titano



Mostri marini e terre incantate: i laghi polari di etano e metano

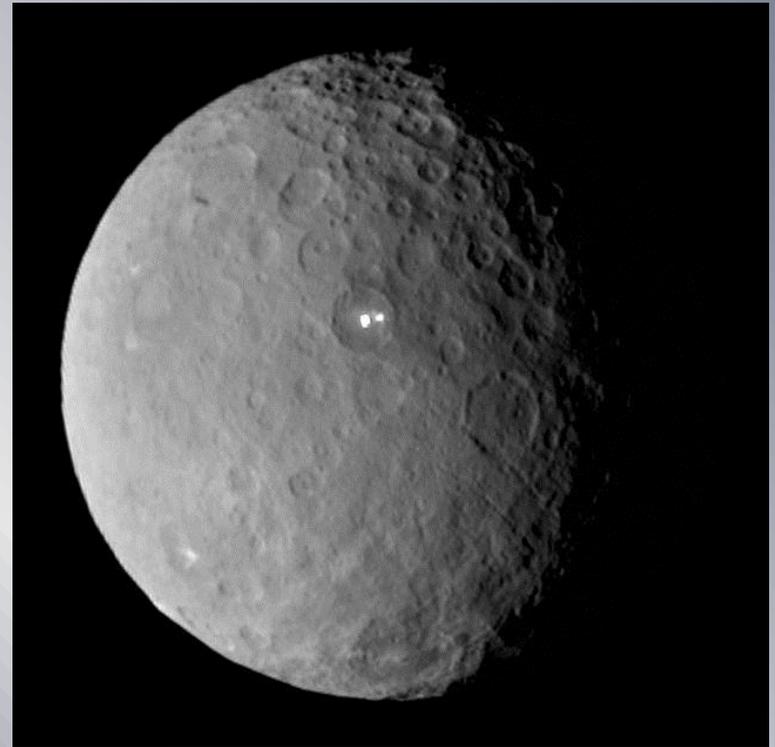
# Oltre Marte e Venere: Europa, Encelado, Ganimede, ...



*Un Sistema Solare ricco  
d'acqua: la vita come noi la  
conosciamo?*

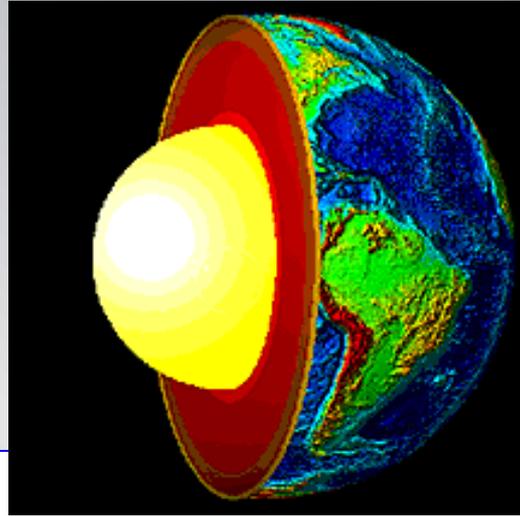
# La famiglia del Sole: l'incredibile 2015 dei pianeti nani

*Plutone, 14 luglio 2015*



*Cerere, marzo e aprile 2015*

# La Terra come sistema fisico



*Costituita da diversi componenti in mutua interazione*

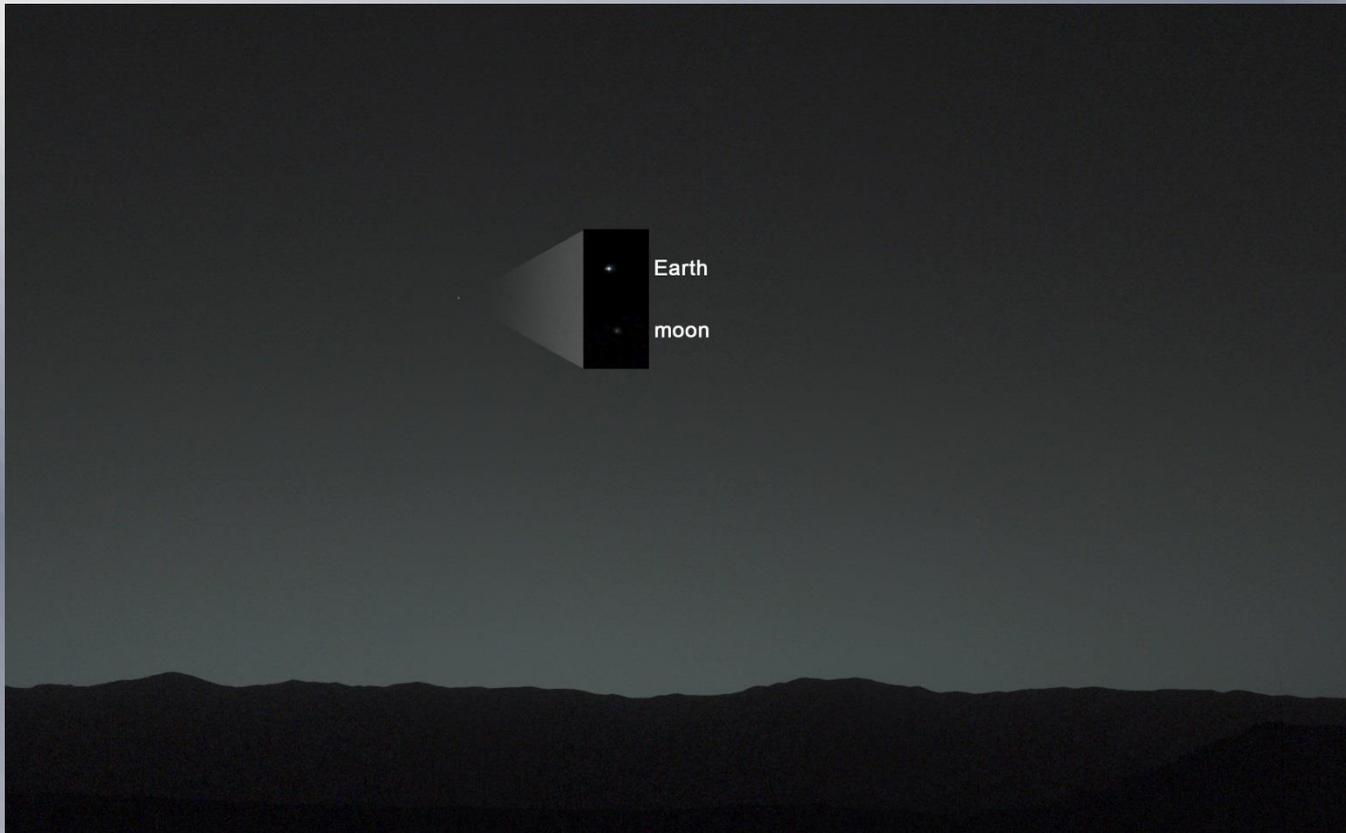
*Caratterizzata da interscambi di **MASSA** ed **ENERGIA** (...)*

*Evoluzione descrivibile in termini di “equilibrio mobile”*

*Processi **ESTERNI** ed **INTERNI** al sistema, con **TEMPI** diversi*

*Caratterizzata dal ruolo della **BIOSFERA***

# 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*

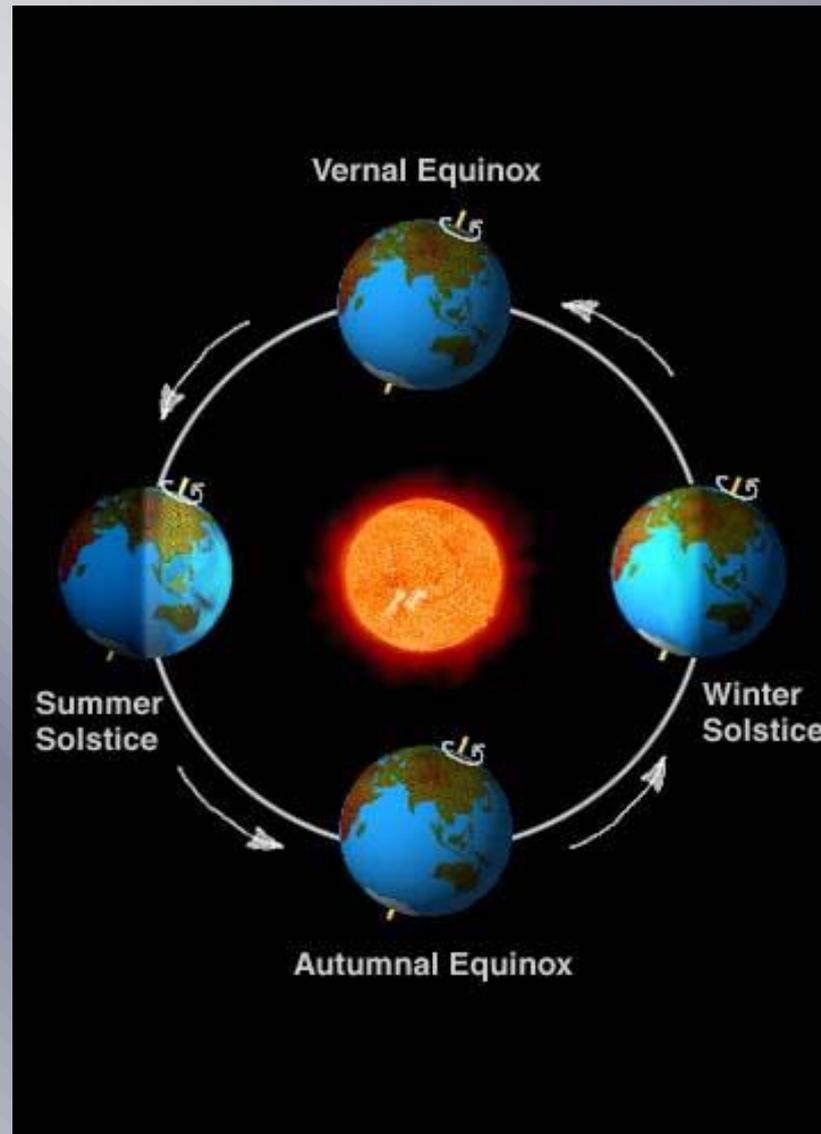
*Temperatura = 15 ° C (da -89.2 a +56.7 ° C)*

*Inclinazione Asse = 23.4 °*

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

*Massa = 5.97 x 10<sup>24</sup> kg*

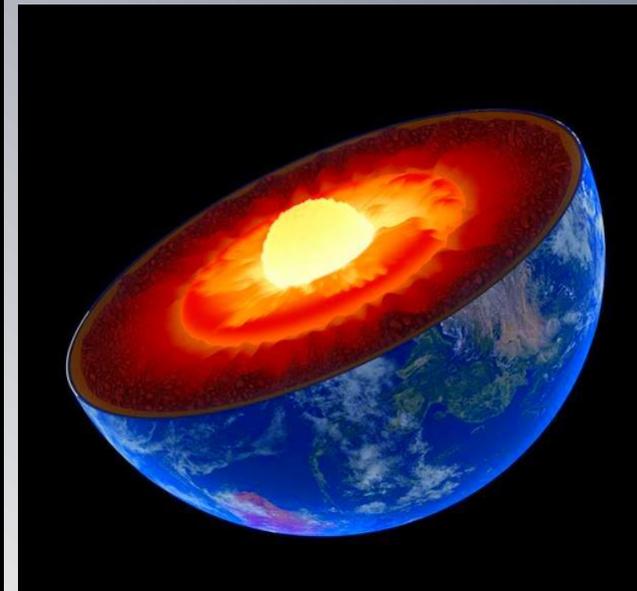
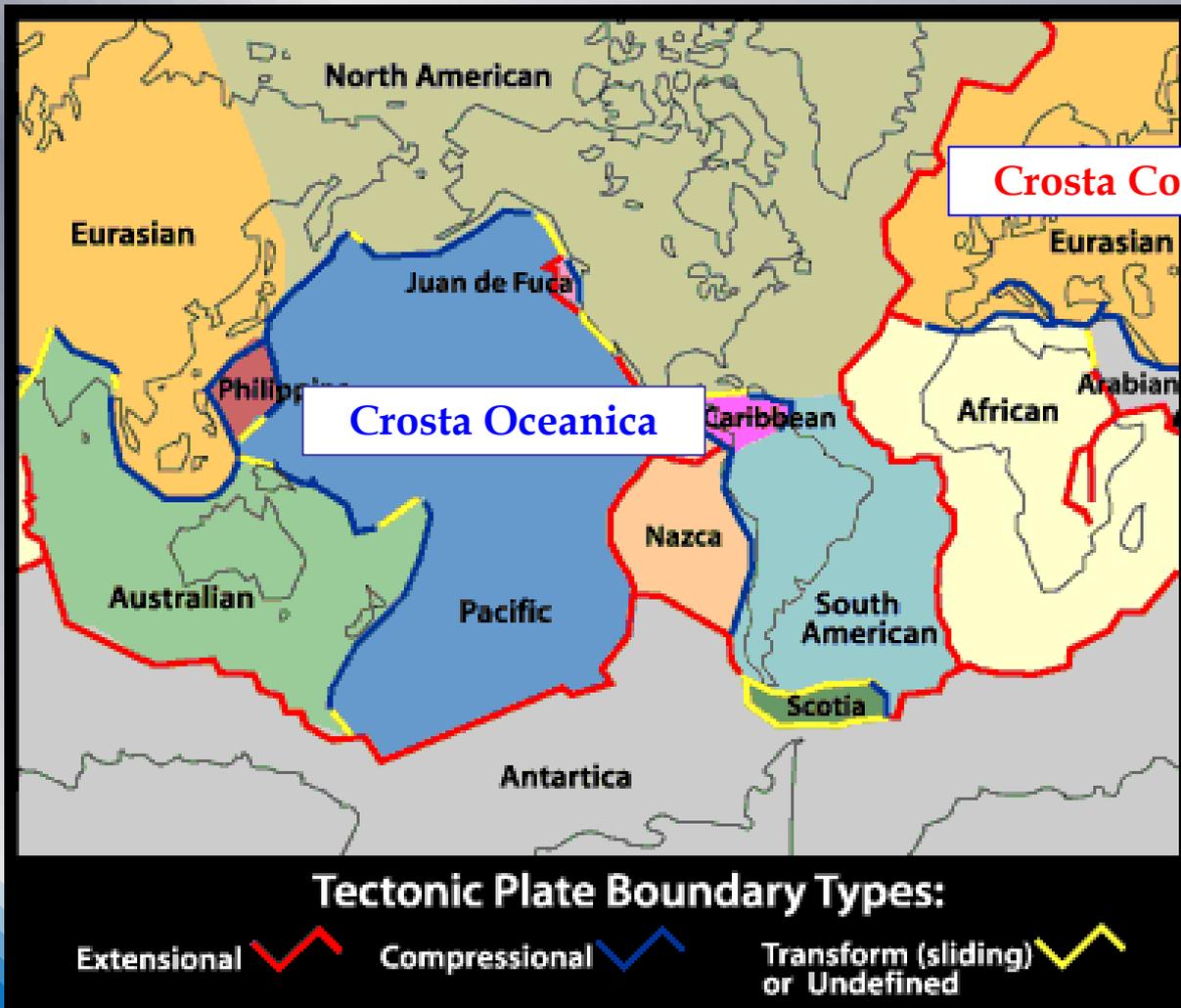
# I processi fondamentali – milioni di anni



Orbita terrestre e suoi cicli = grandi glaciazioni

# I processi fondamentali – milioni di anni

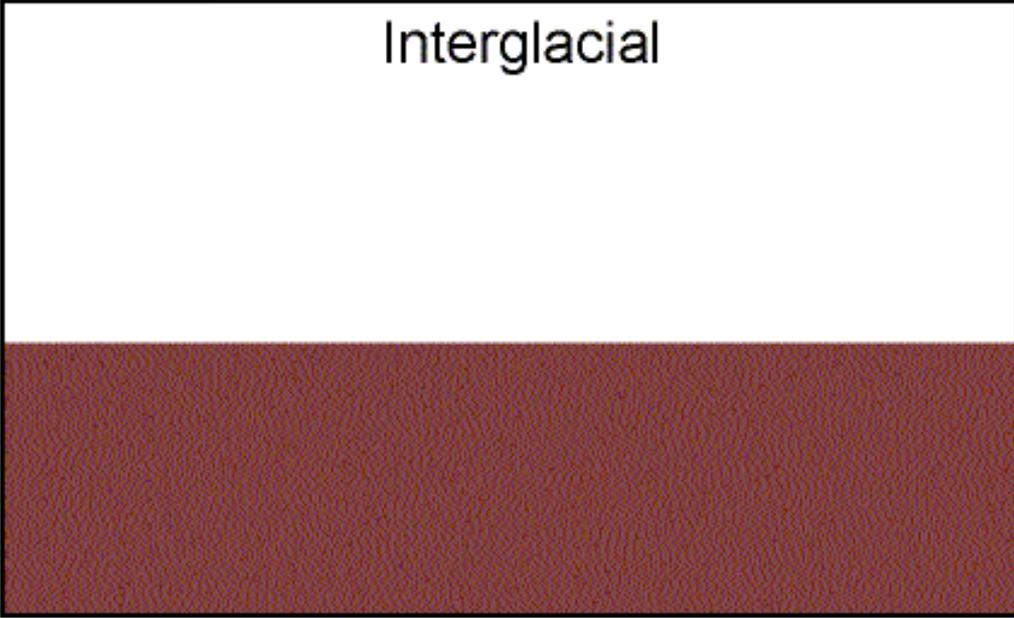
## LA TETTONICA A PLACCHE



# I processi fondamentali – migliaia di anni

## L'ISOSTASIA E IL RIMBALZO POSTGLACIALE

Interglacial



Stoccolma - Venezia



Responsabili dei maggiori movimenti VERTICALI della crosta (cm/anno)

# I processi fondamentali – anni



[Envisat MERIS] © ESA

**Iceberg:  
INTERAZIONI  
TRA CRIOSFERA  
ED IDROSFERA**



**Plancton:  
INTERAZIONI  
TRA BIOSFERA,  
IDROSFERA,  
ATMOSFERA**

# I processi fondamentali – anni

**Eruzioni:**

**INTERAZIONI  
TRA TERRA  
SOLIDA E  
ATMOSFERA**



[Envisat MERIS] © ESA



**Agricoltura:**

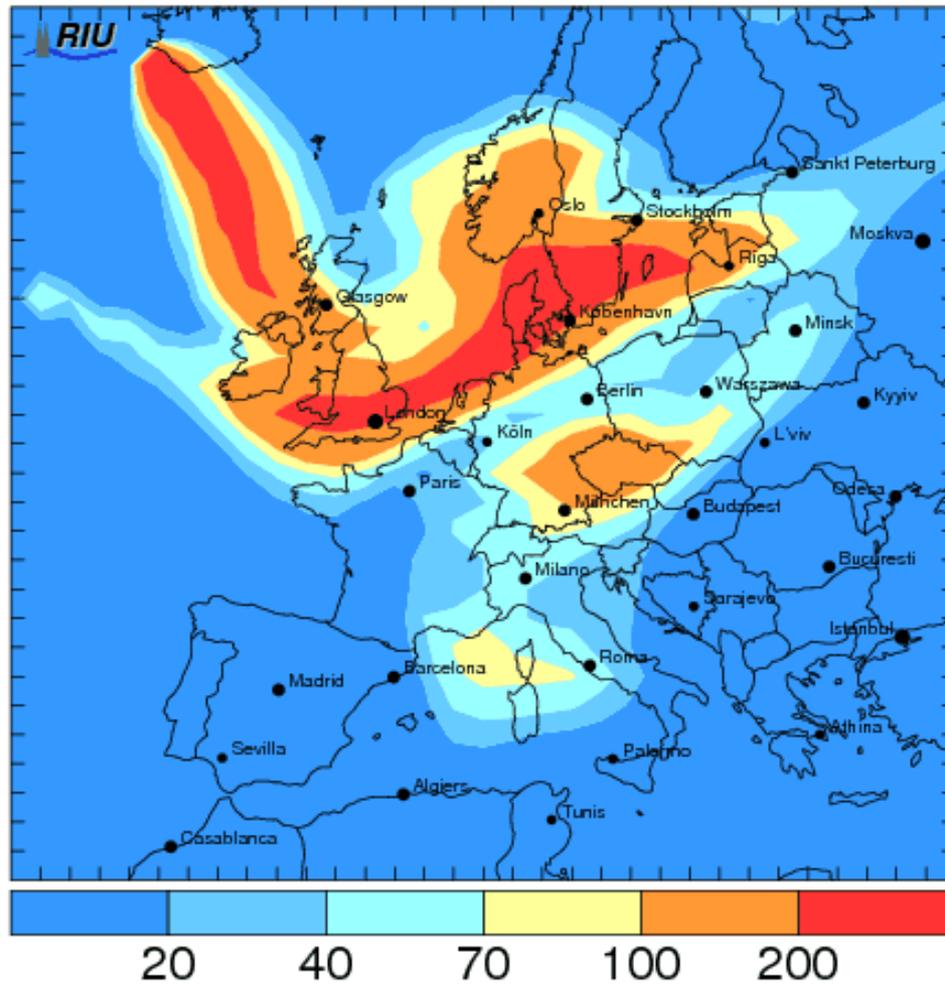
**INTERAZIONI TRA  
*ANTROPOSFERA*,  
BIOSFERA E  
ATMOSFERA**

# I processi fondamentali – mesi/anni

PM10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Level 20

20.04.2010 00 UTC (F+48)



VISAQ

Eyjafjallajökull

Espansione della nube (in microgrammi al metro cubo), Dip. Fisica, UniAQ

# I processi fondamentali – giorni



Nube di polveri e particolato – tempo di residenza di poche settimane

**INTERAZIONI TRA  
ANTROPOSFERA E  
ATMOSFERA**

# La biosfera come unità geofisica:

Noël Antoine Pluche,  
*Spectacle de la Nature*  
(1732-1745)

*“La Provvidenza ha creato gli animali domestici affinché vivano accanto all’uomo per servirlo ... quelli feroci per punirlo quando diventasse peccatore e perversito... se l’aria fosse visibile non potremmo godere dello spettacolo della natura... Dio ha cacciato benevolmente le pietre sotto terra, per permettere all’uomo di spostarsi e di coltivare, ma le ha poste a una profondità giudiziosamente accessibile per i bisogni dell’uomo... la Provvidenza ha voluto che l’uomo fosse padrone e unico proprietario del soggiorno terrestre.”*

Jacques Henri Bernardin  
de Saint Pierre, *Etudes de  
la Nature* (1784)

*“Innumerevoli sono gli esempi della materna condiscendenza e della regale lungimiranza della Provvidenza nella Natura... la vacca possiede quattro mammelle, nonostante partorisca un solo vitello alla volta, raramente due, perché le mammelle supplementari sono destinate a nutrire il genere umano... la Natura ha collocato cespugli e liane nei luoghi difficili da scalare, al fine di facilitarne l’accesso all’uomo...”*

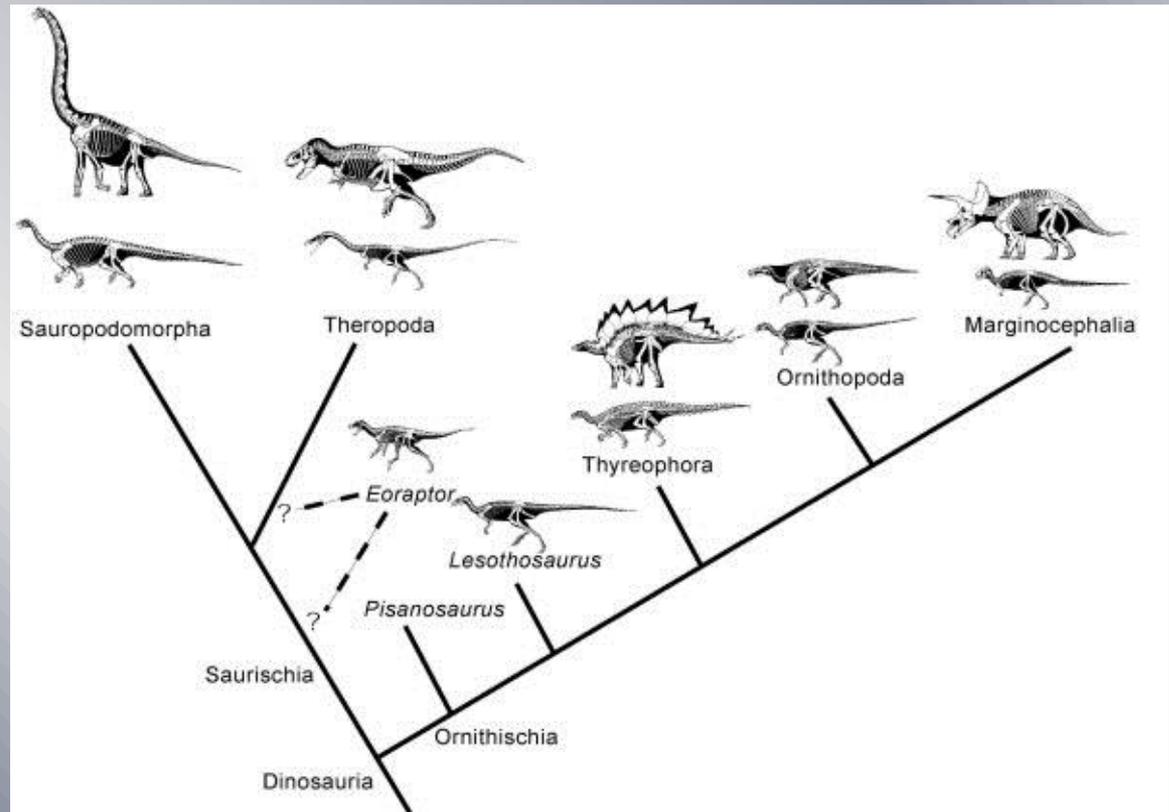
...dalla Teologia Naturale...

# ...alla *Natura con zanne e artigli rossi di sangue...*

La nascita della paleontologia e il ruolo dei fossili



Mary Anning (1799-1847)



“Man...

Who trusted God was love indeed  
And love Creation's final law  
Tho' Nature, red in tooth and claw  
With ravine, shriek'd against his creed.”

Alfred, Lord Tennyson, *In Memoriam* (1832)

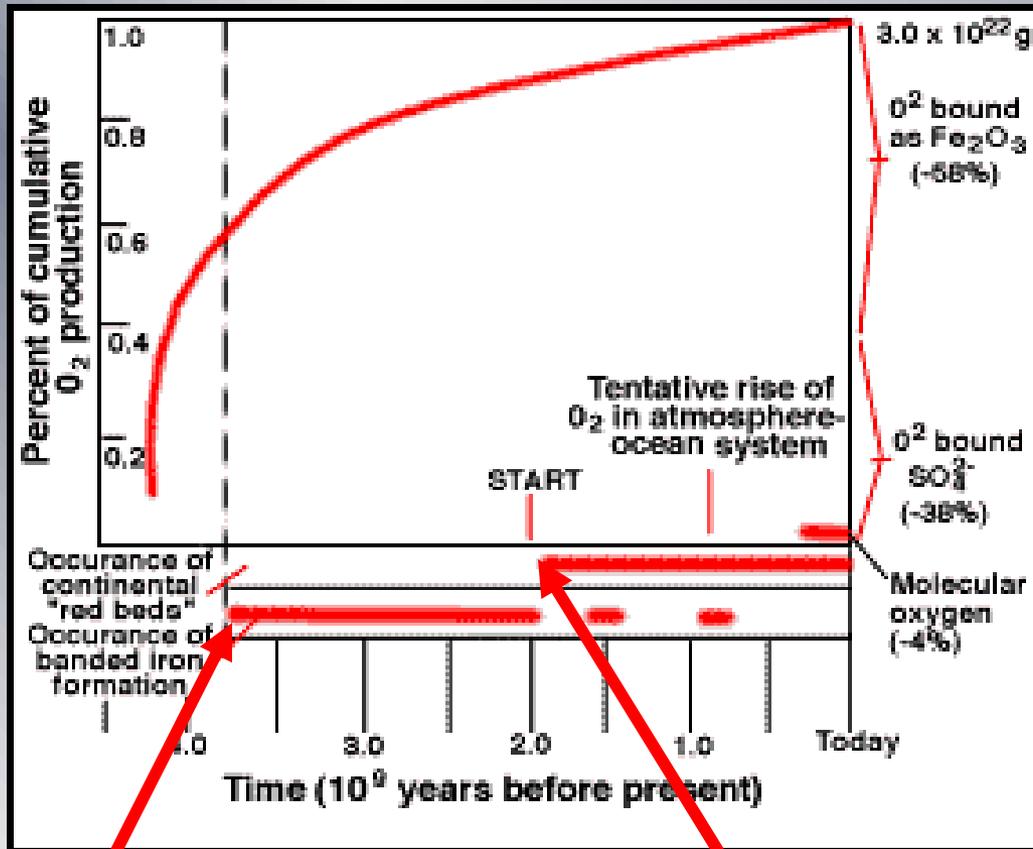
# ...alla nascita del concetto di ecologia...

Ernst Haeckel, *Natürliche  
Schöpfungsgeschichte* (1868)

*“Ove l'**uomo** disbosca e sradica senza riguardo le foreste, là cogli alberi spariscono anche i muschi che coprono la loro corteccia o che, riparati sotto la loro ombra, rivestono il suolo e riempiono le lacune fra le piante più grosse. Ora, coi muschi spariscono pure gli utili serbatoi che raccolgono la pioggia e la rugiada e la conservano per il tempo della siccità. Ne nasce un'irreparabile aridità del suolo. **Tutto il clima ne viene peggiorato.**”*

# ...alla coevoluzione bio-geofisica.

## La biosfera terrestre, la terra solida e l'O<sub>2</sub> atmosferico



La presenza di rocce con minerali di Ferro ossidati (es. ematite: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 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 O<sub>2</sub> è tale da permettere la formazione dei Red Beds.

Bande di Ferro: 3.8 Bya

Red Beds: 2 Bya

# 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*

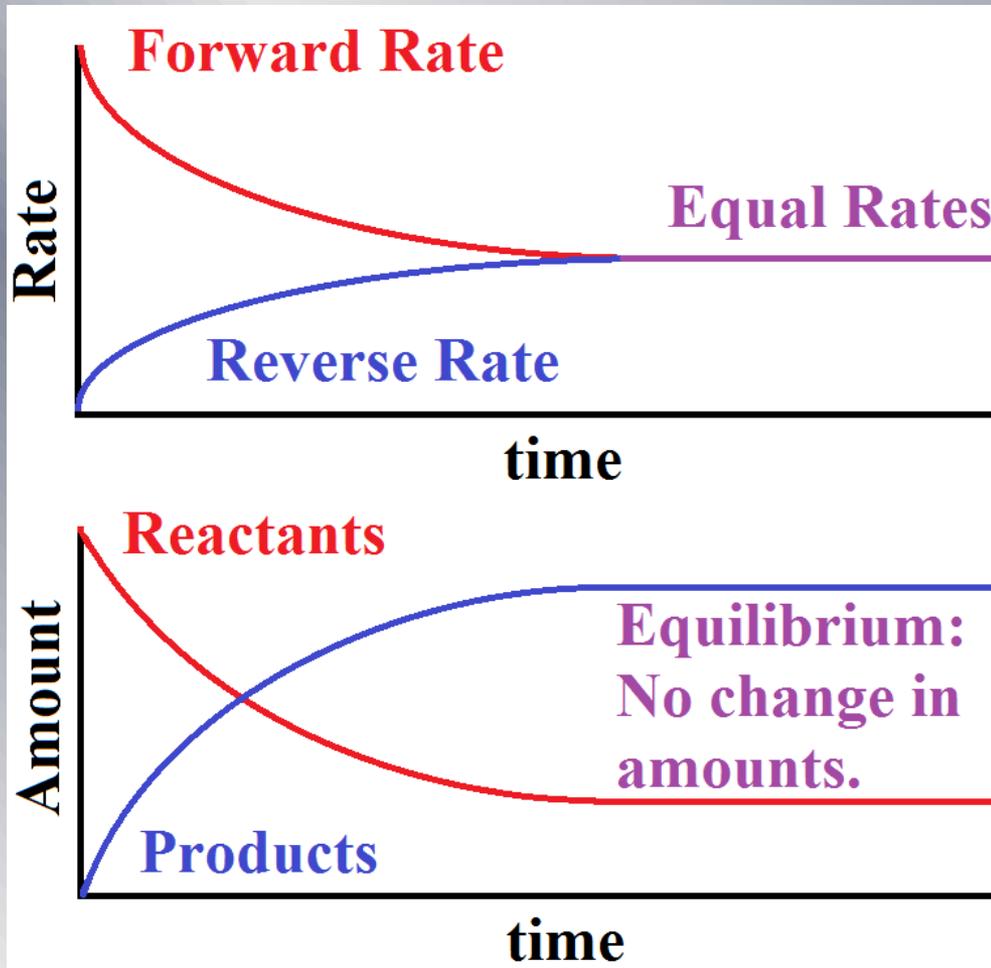
## **Masse reciproche delle unità geofisiche sulla Terra**

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

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

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

# Equilibrio e disequilibrio chimico

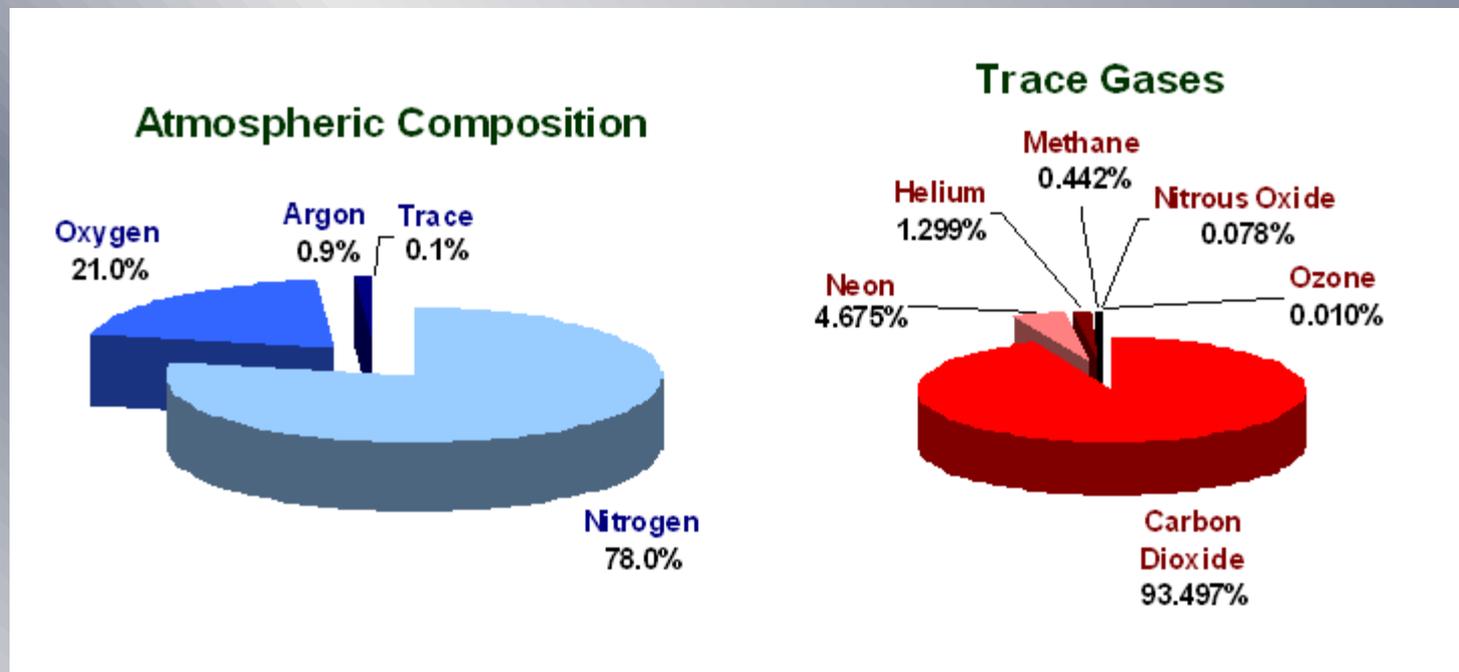


*La vita può essere definita, fisicamente, come una temporanea e localizzata diminuzione dell'entropia di un sistema (Schrödinger)*

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

# L'atmosfera della Terra – la terza atmosfera

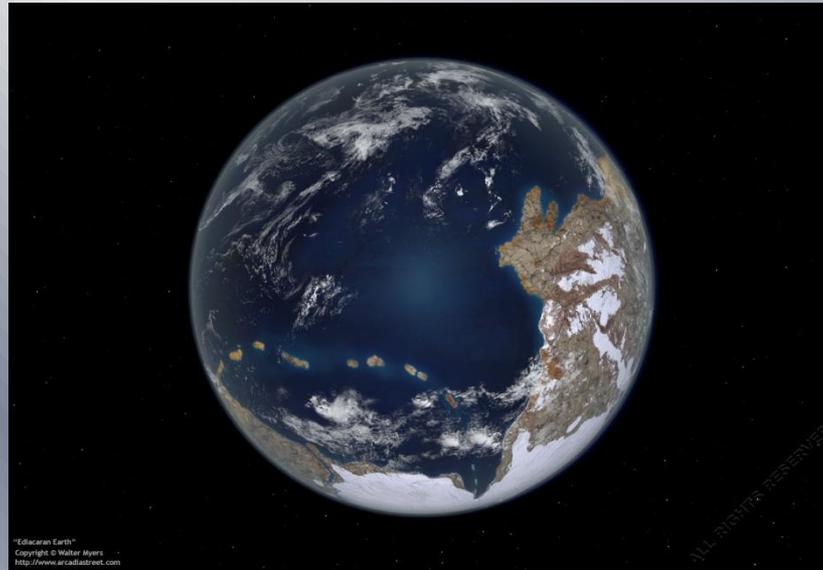
Uno sguardo all'atmosfera: la via privilegiata per comprendere un pianeta e la sua storia



*Informazioni essenziali sull'equilibrio o disequilibrio chimico*

# L'atmosfera della Terra – la seconda atmosfera

**La seconda atmosfera: un equilibrio chimico scardinato dalla vita**



**80% N<sub>2</sub>; 18% CO<sub>2</sub>; 1% H<sub>2</sub>O; 1% H<sub>2</sub>**

# L'interdipendenza tra natura e cultura:

Theodosius Dobzhansky,  
*Mankind evolving* (1962)

*“... la specie umana rappresenta biologicamente un successo straordinario perché la sua cultura è capace di cambiare molto più in fretta del suo patrimonio genetico: e questa è la ragione per cui l'evoluzione culturale è diventata, dal punto di vista adattativo, la più potente derivazione dell'evoluzione biologica.*

*Da almeno diecimila e forse da un milione di anni, l'uomo adatta il suo ambiente ai suoi geni molto più che i suoi geni al suo ambiente, e la supremazia della cultura nei riguardi dell'adattamento continuerà senza dubbio in futuro.*

*E non solo viviamo in tutti i due mondi (natura e cultura), ma quello della cultura può durare solo fintanto che la maggior parte dell'umanità possiede l'attrezzatura genetica che favorisce la cultura; d'altra parte, la maggior parte di questa attrezzatura genetica è tale, oggi, che i suoi portatori non potrebbero probabilmente sopravvivere senza il beneficio della cultura. La parola d'ordine dovrebbe essere: interdipendenza.”*

## L'antroposfera

# Cosa sta succedendo alla Terra?

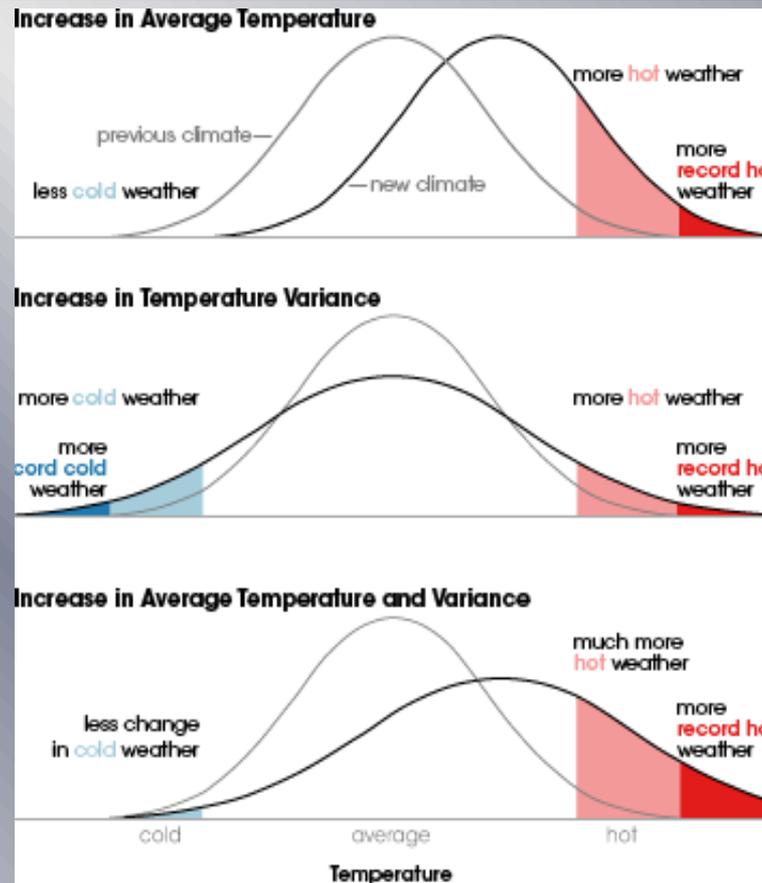


**Ghiacciaio di Pasterze (Austria)**

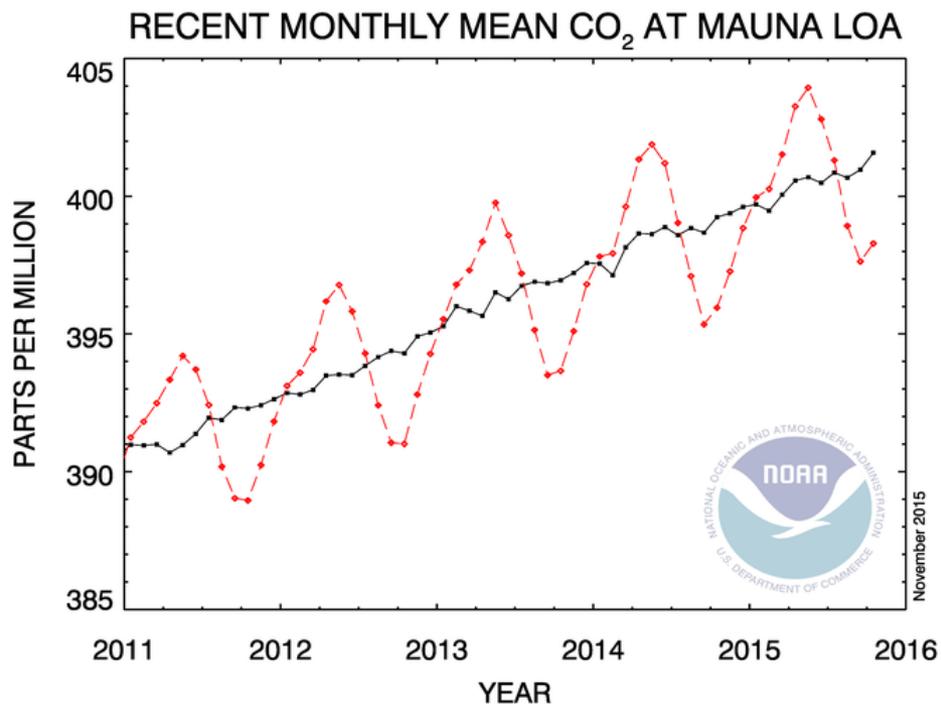
# TERMINOLOGIA

## CAMBIAMENTO CLIMATICO?

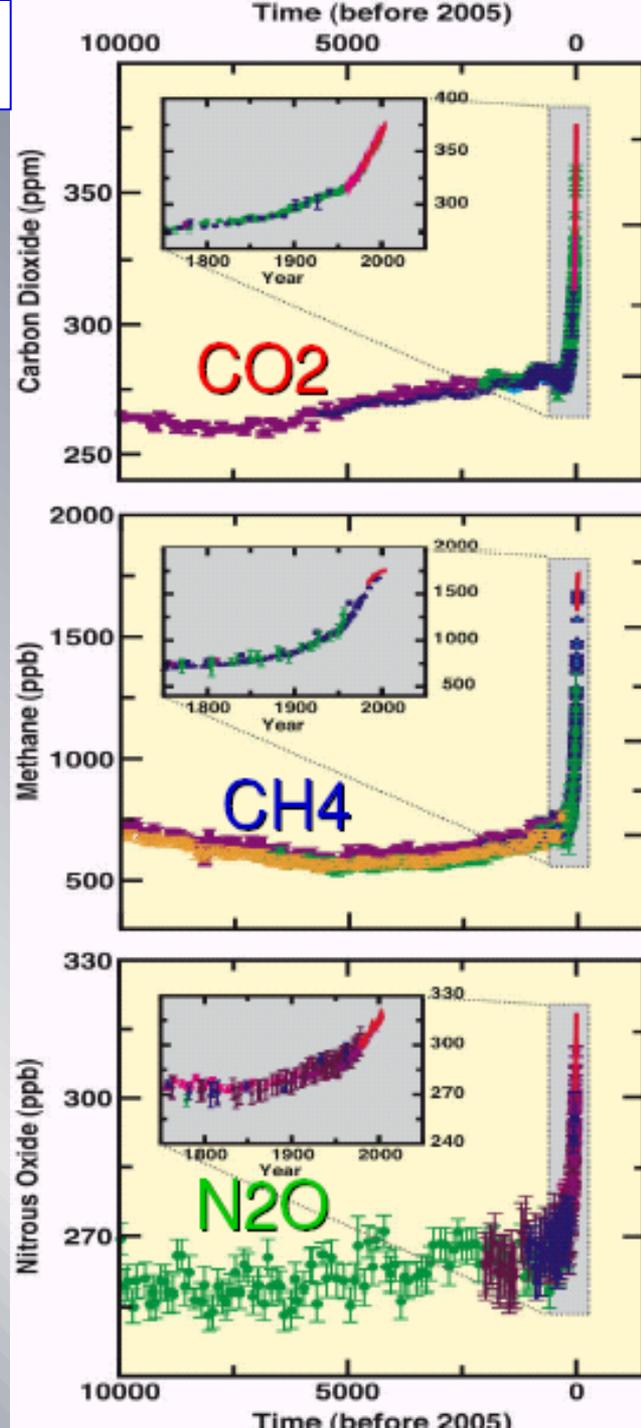
*Variazione sistematica della distribuzione statistica di variabili meteorologiche  
in intervalli di tempo di diversi decenni o superiori (30 anni, WMO)*



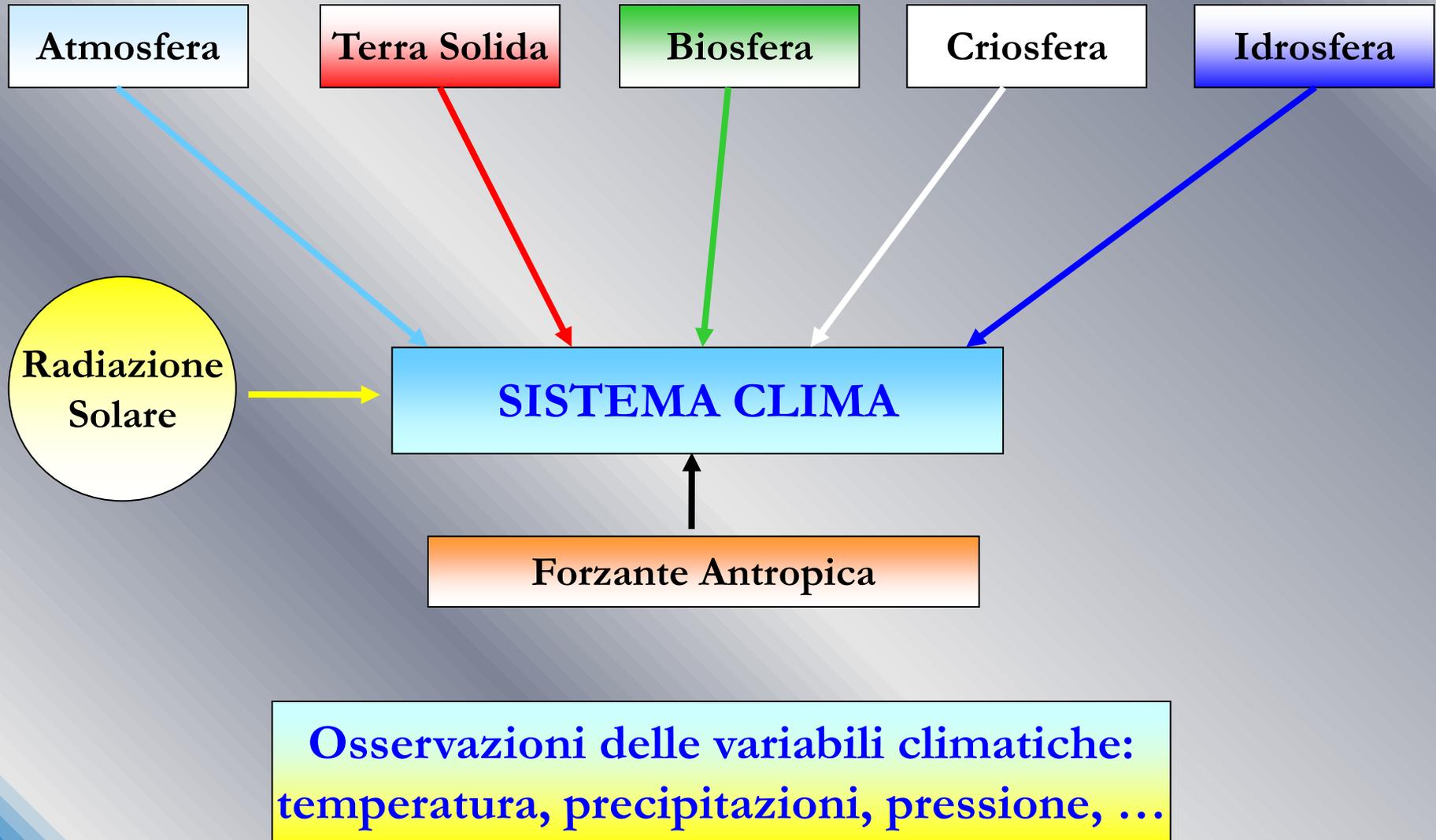
# Il ruolo dei gas clima-alteranti



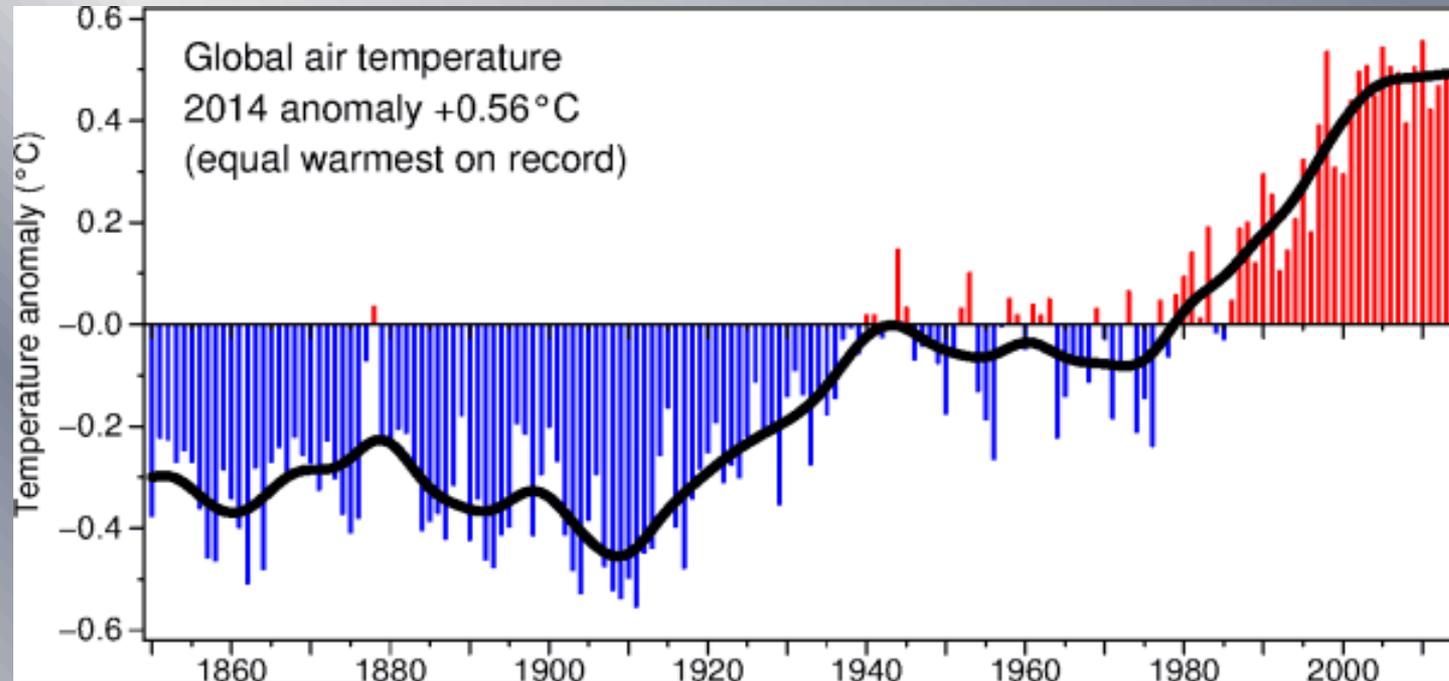
**Forte aumento nelle concentrazioni dei gas serra, attribuito, in modo pressoché unanime, alle attività umane**



# Il clima: la cassa di risonanza dell'equilibrio terrestre



# Il Riscaldamento Globale



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

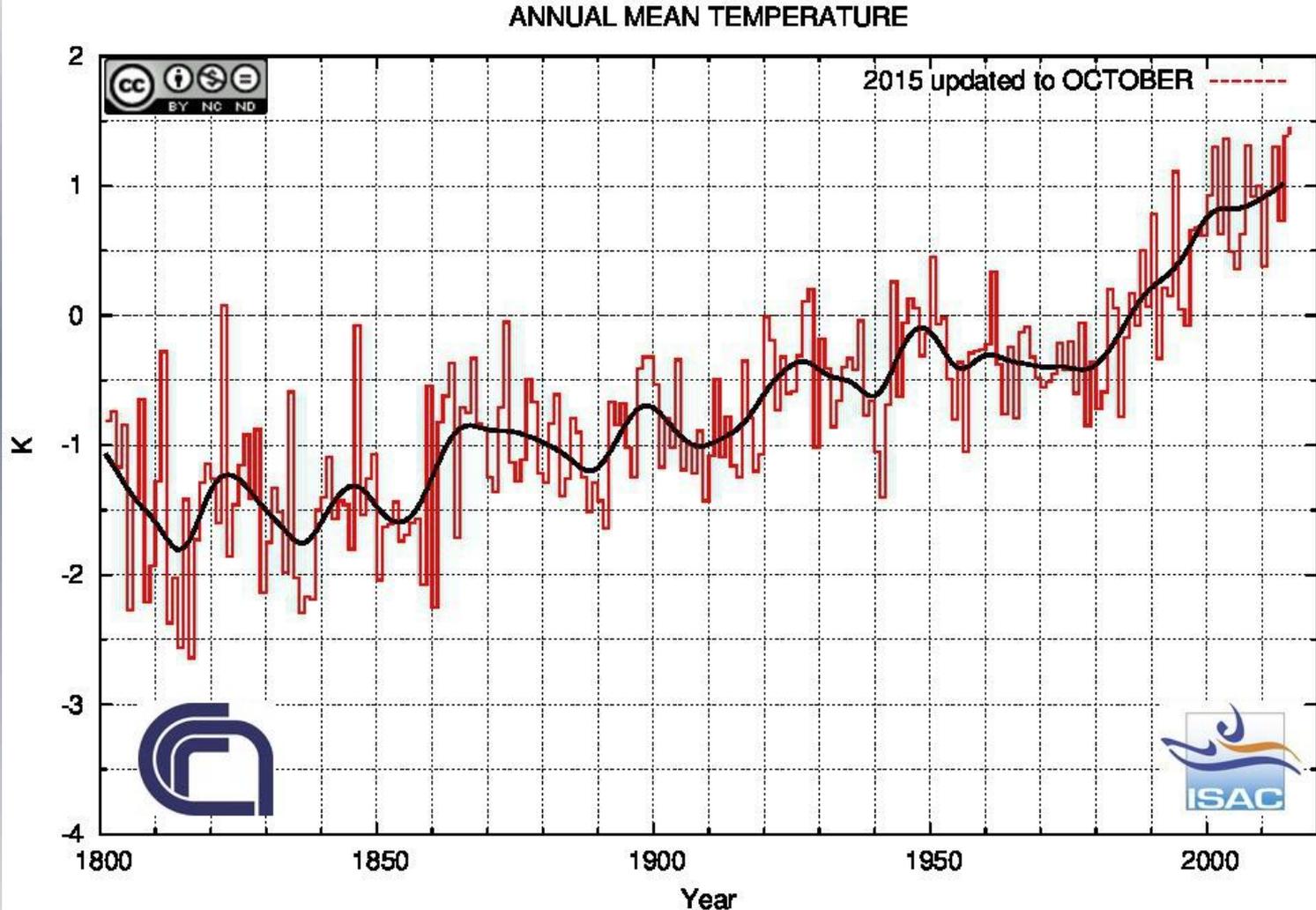
*da Climatic Research Unit, University of East Anglia,  
<http://www.cru.uea.ac.uk/>*

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

# ATTRIBUZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

E' "molto probabile (90-95%)" che l'aumento della concentrazione di gas serra dovuto alle attività umane abbia causato la maggior parte del riscaldamento globale osservato dalla metà del 20mo secolo.

# Il Riscaldamento Globale in Italia

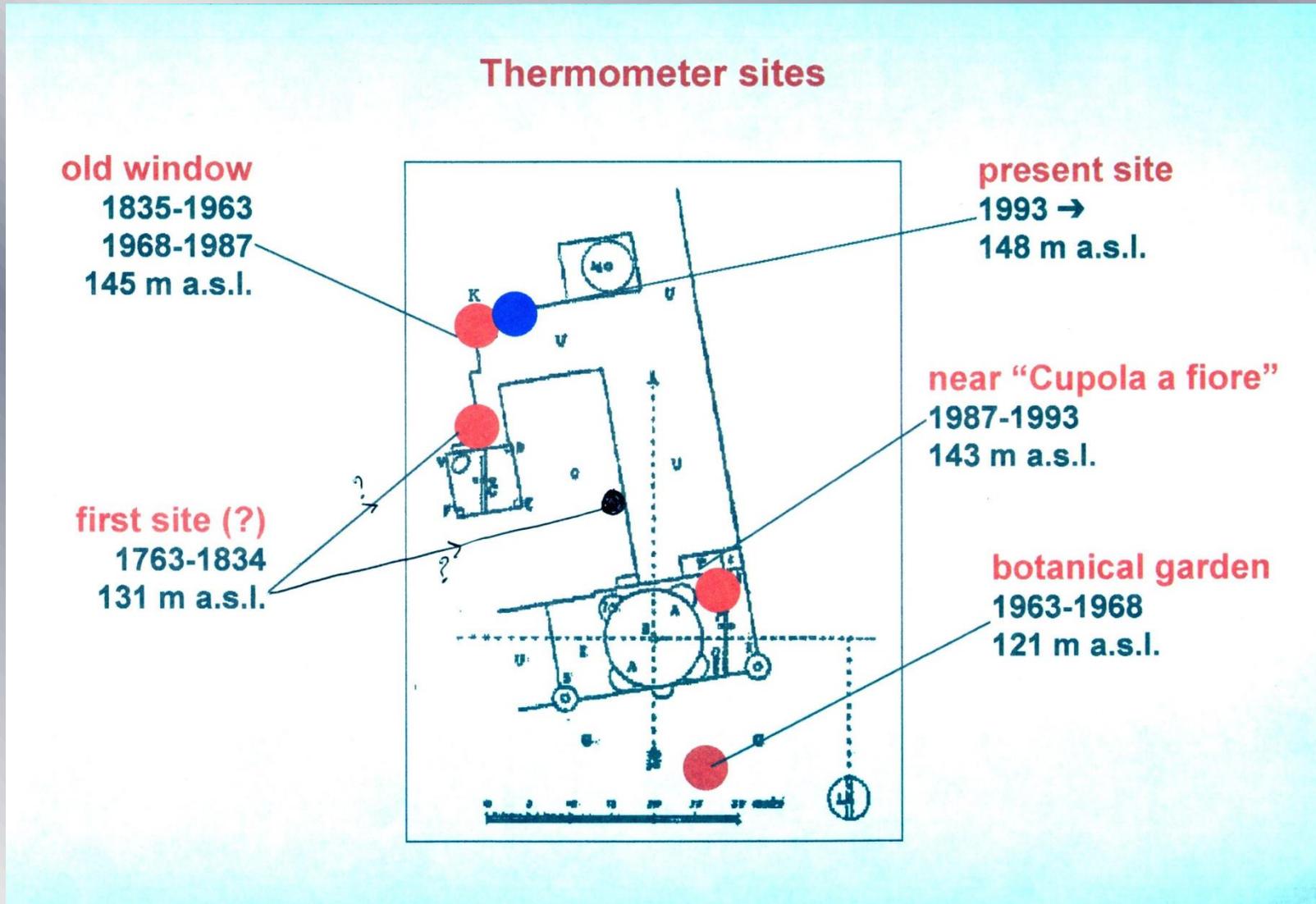


Anomalie di T medie annuali rispetto al 1971-2000 (in K)

[http://www.isac.cnr.it/~climstor/climate\\_news.html](http://www.isac.cnr.it/~climstor/climate_news.html)



# La serie meteorologica di Milano Brera



252 anni nel 2015!

# “Nelle belle sere dell’autunno passato..” a Brera



Giovanni Virginio Schiaparelli

*‘Noi dunque desidereremmo essere liberati da cotesto incubo della meteorologia, che consuma metà delle nostre risorse senza alcuna soddisfazione...’*

# LE MANIFESTAZIONI NELLE ALPI:

## TEMPERATURE

|           | <b>T_MED</b>         | <b>T_MAX</b>         | <b>T_MIN</b>         |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
|           | <i>ALPI ITALIANE</i> | <i>ALPI ITALIANE</i> | <i>ALPI ITALIANE</i> |
| ANNO      | <b>1.0 ± 0.1</b>     | <b>0.8 ± 0.1</b>     | <b>1.2 ± 0.1</b>     |
| INVERNO   | <b>1.2 ± 0.2</b>     | <b>1.2 ± 0.2</b>     | <b>1.4 ± 0.2</b>     |
| PRIMAVERA | <b>1.0 ± 0.2</b>     | <b>0.9 ± 0.2</b>     | <b>1.2 ± 0.1</b>     |
| ESTATE    | <b>1.0 ± 0.2</b>     | <i>0.4 ± 0.2</i>     | <b>1.2 ± 0.2</b>     |
| AUTUNNO   | <b>0.8 ± 0.2</b>     | <b>0.6 ± 0.2</b>     | <b>1.0 ± 0.2</b>     |

**TREND (°C/100y)**

# 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***

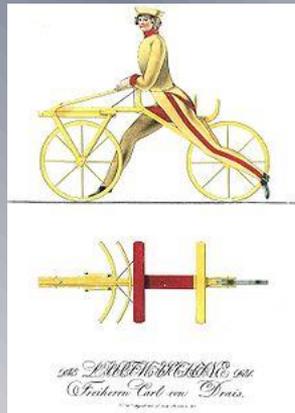
***Epidemie di colera e di tifo***

***Moria dei cavalli: penuria di mezzi di trasporto***

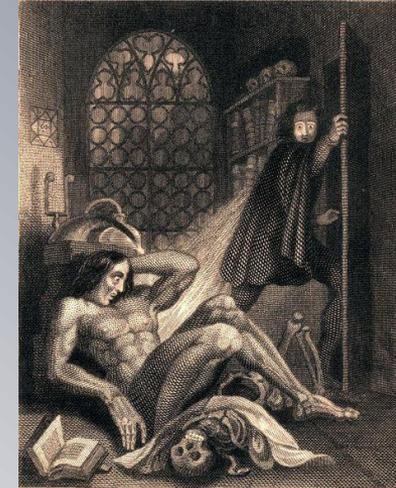
# Il 1816, l'anno senza estate



***“Chichester Canal”, di J. M. W. Turner***

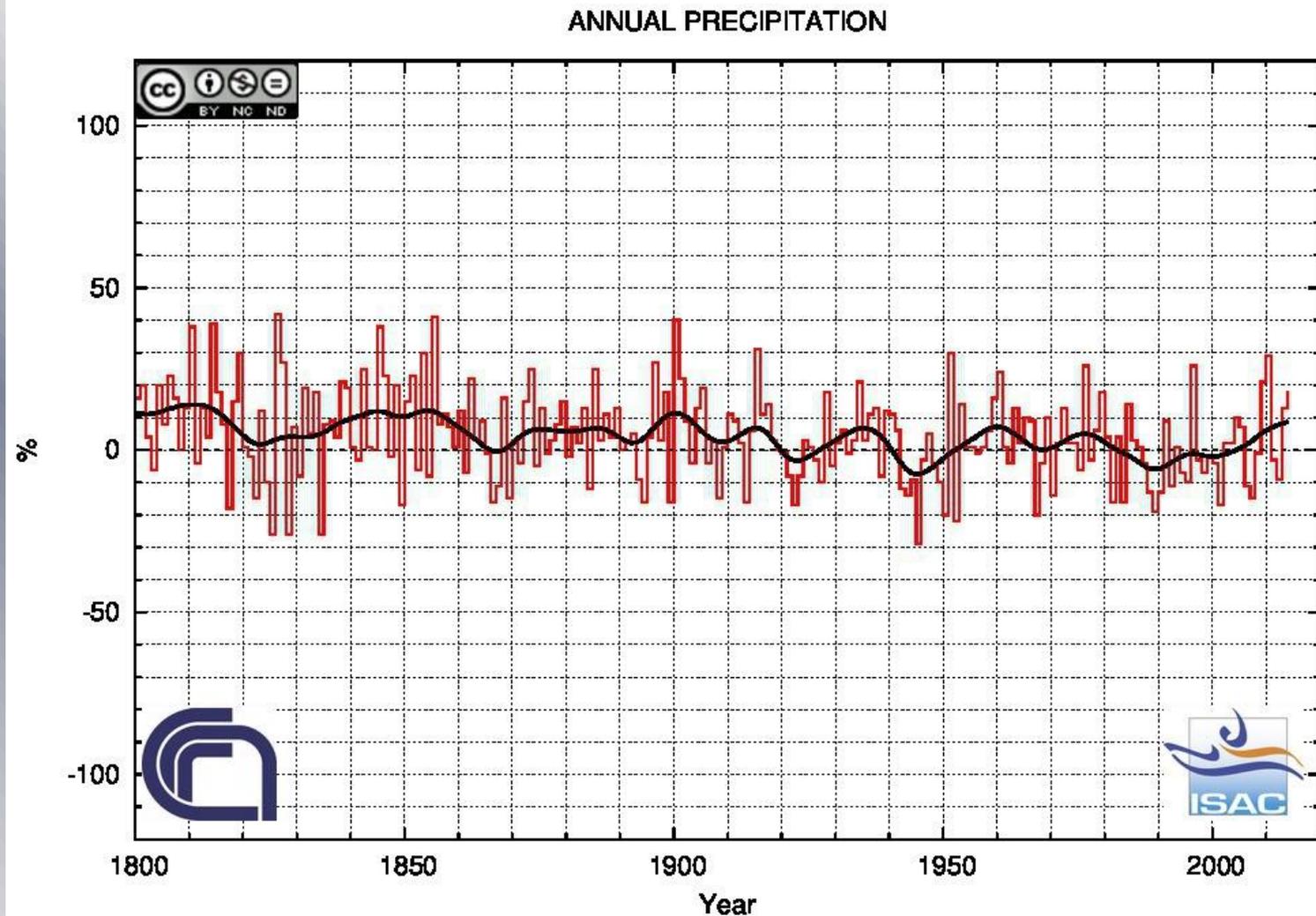


***Draisina, da Karl Drais***



***“Frankenstein”, di Mary Shelley***

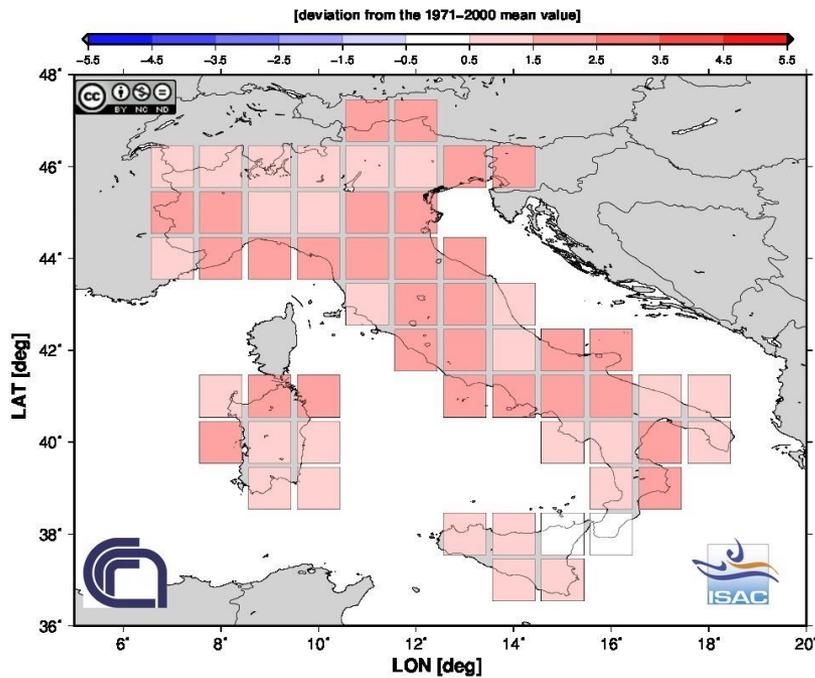
# Il Riscaldamento Globale in Italia



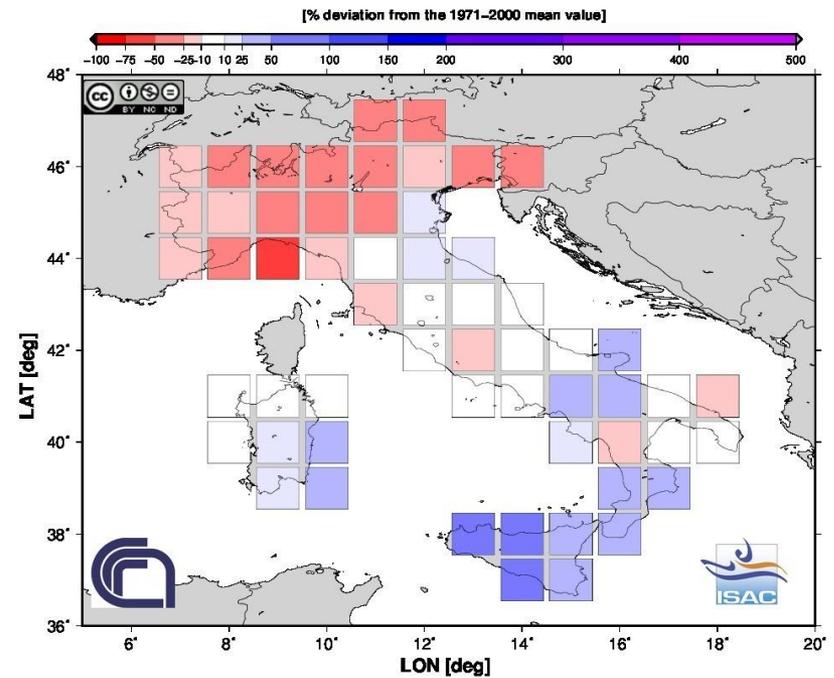
Anomalie di P medie annuali rispetto al 1971-2000 (in %)

[http://www.isac.cnr.it/~climstor/climate\\_news.html](http://www.isac.cnr.it/~climstor/climate_news.html)

# Riscaldamento globale, anno 2015

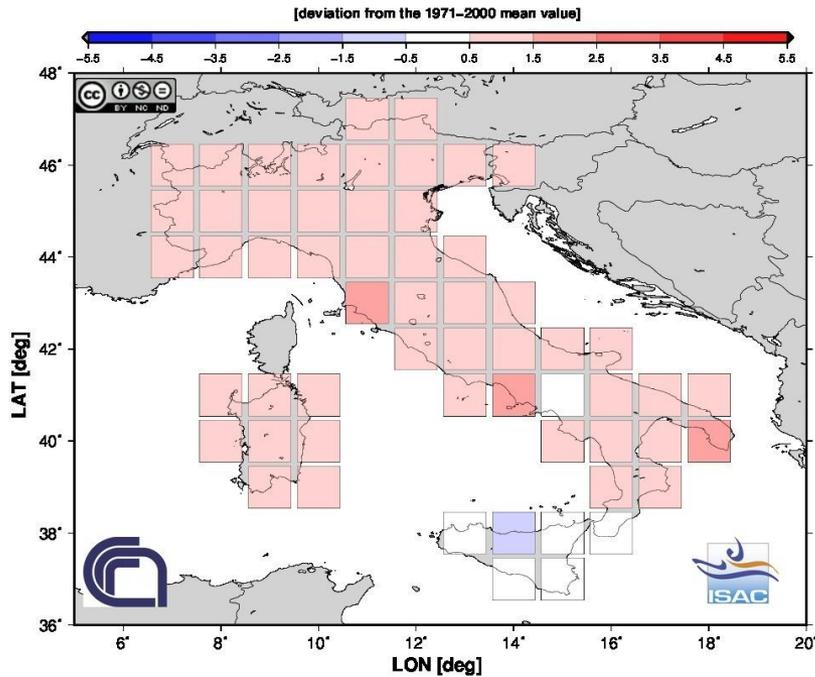


Anomalie TEMP, Anno 2015

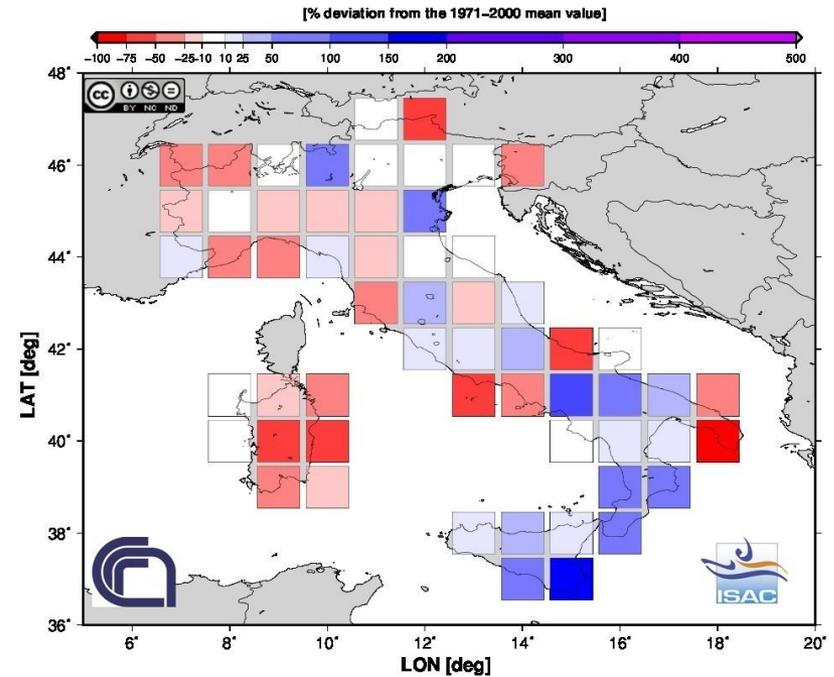


Anomalie PREC, Anno 2015

# Riscaldamento globale, estate 2016

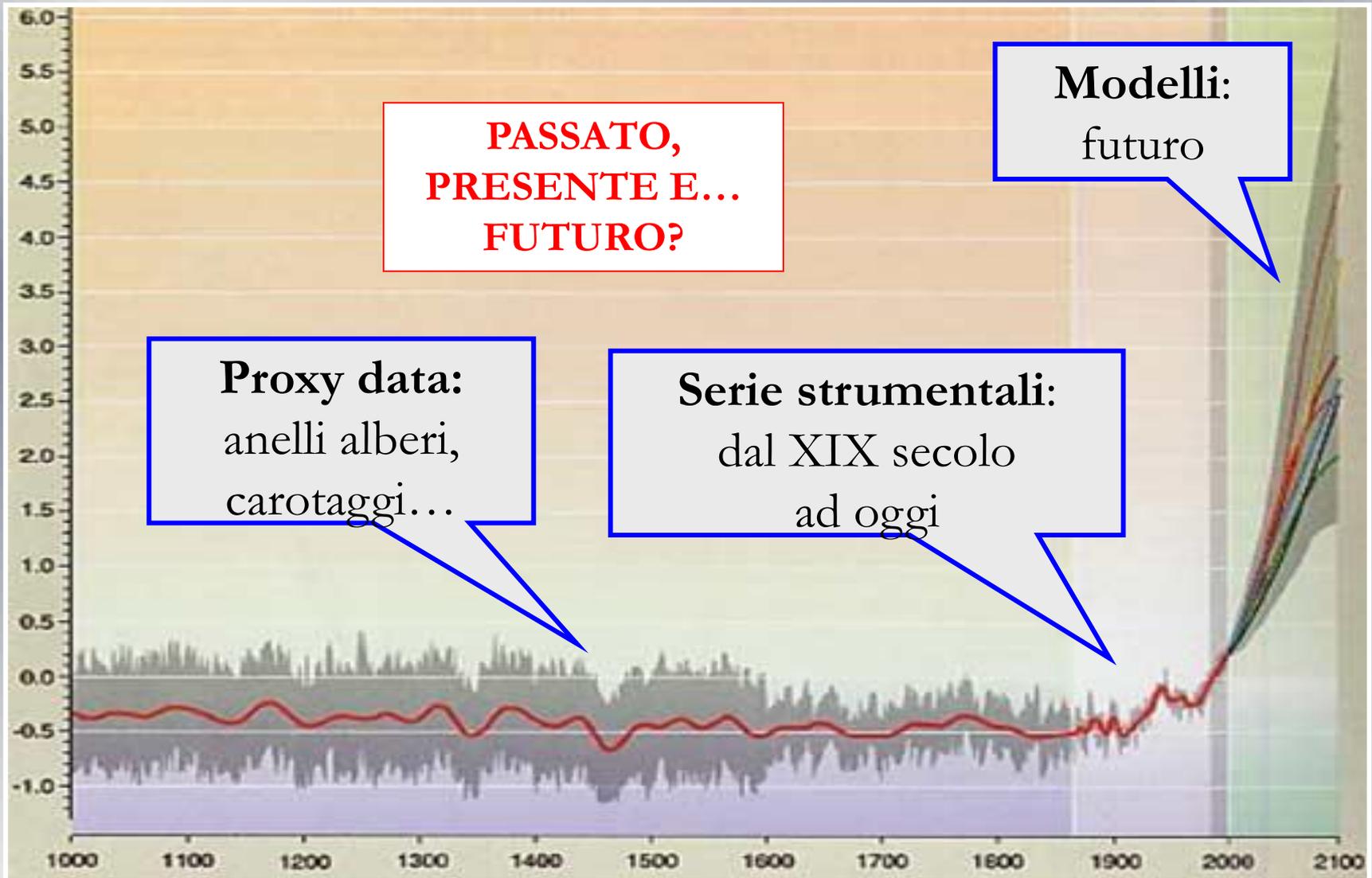


Anomalie TEMP, estate 2016



Anomalie PREC, estate 2016

# 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

**GCM: General Circulation Models**

*Dinamica atmosferica*

**AOGCM: Atmospheric and Oceanic Global Coupled Models**

Accoppiamento  
dinamico atmosfera-  
idrosfera

**RISOLUZIONE: 2.5 ° lat x 3.75 ° long**

**OUTPUT: Valori giornalieri o mensili per punto di griglia**

# I MODELLI CLIMATICI

Cosa sono in grado di fare i modelli climatici?  
Quale fiducia accordare?

- ✓ *Grandi strutture circolatorie dell'atmosfera e degli oceani*
- ✓ *Variabili caratterizzate da grande coerenza spaziale ( $T, p$ )*
  - ~ *Trend – variazioni a grande lunghezza d'onda*

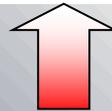


Grandi intervalli di tempo, estesi domini spaziali

# I MODELLI CLIMATICI

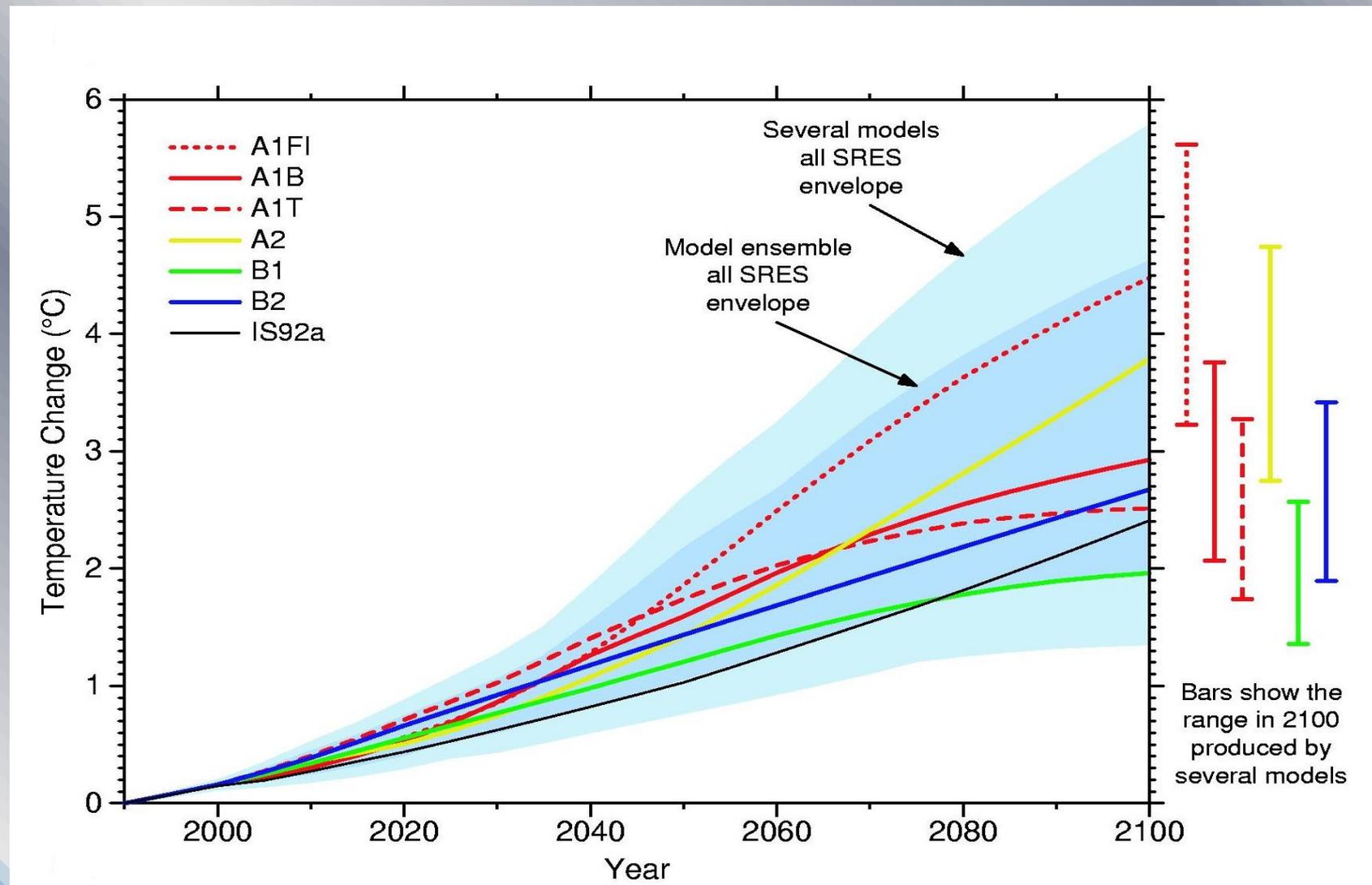
Cosa **NON** sono in grado di fare i modelli climatici?  
Cosa **NON** si può loro chiedere?

- *Prendere alla lettera i singoli valori, né per singolo giorno/mese, né per punto di griglia*
- *Riproduzione di variabili dalla forte incoerenza spaziale (precipitazioni)*



Sistema caotico, risoluzione spaziale insufficiente

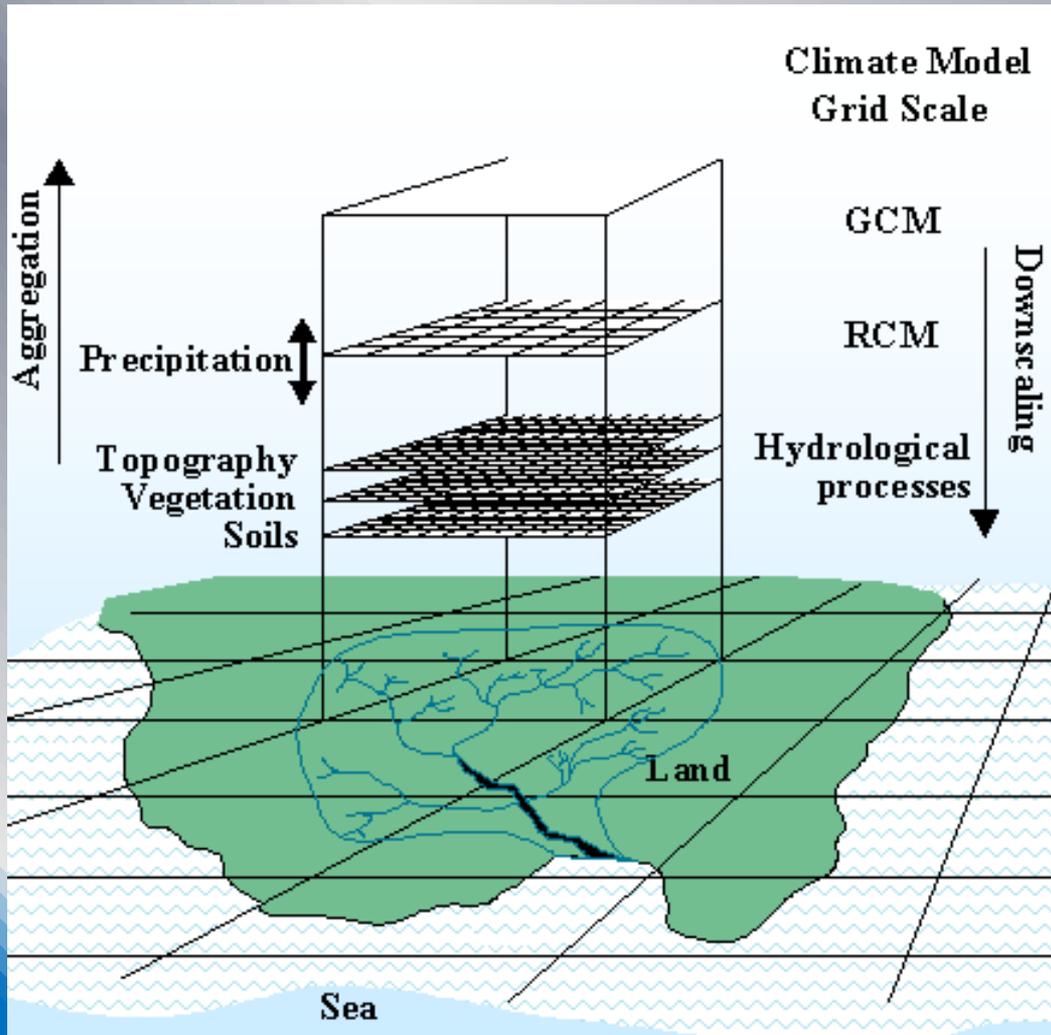
# I MODELLI CLIMATICI: 1e PROIEZIONI



*Le Proiezioni sono, PER DEFINIZIONE, affette da grandi incertezze*

# GLI STUDI DI IMPATTO LOCALE

*Calibrazione dei Modelli con caratteristiche locali = abbassamento di scala*

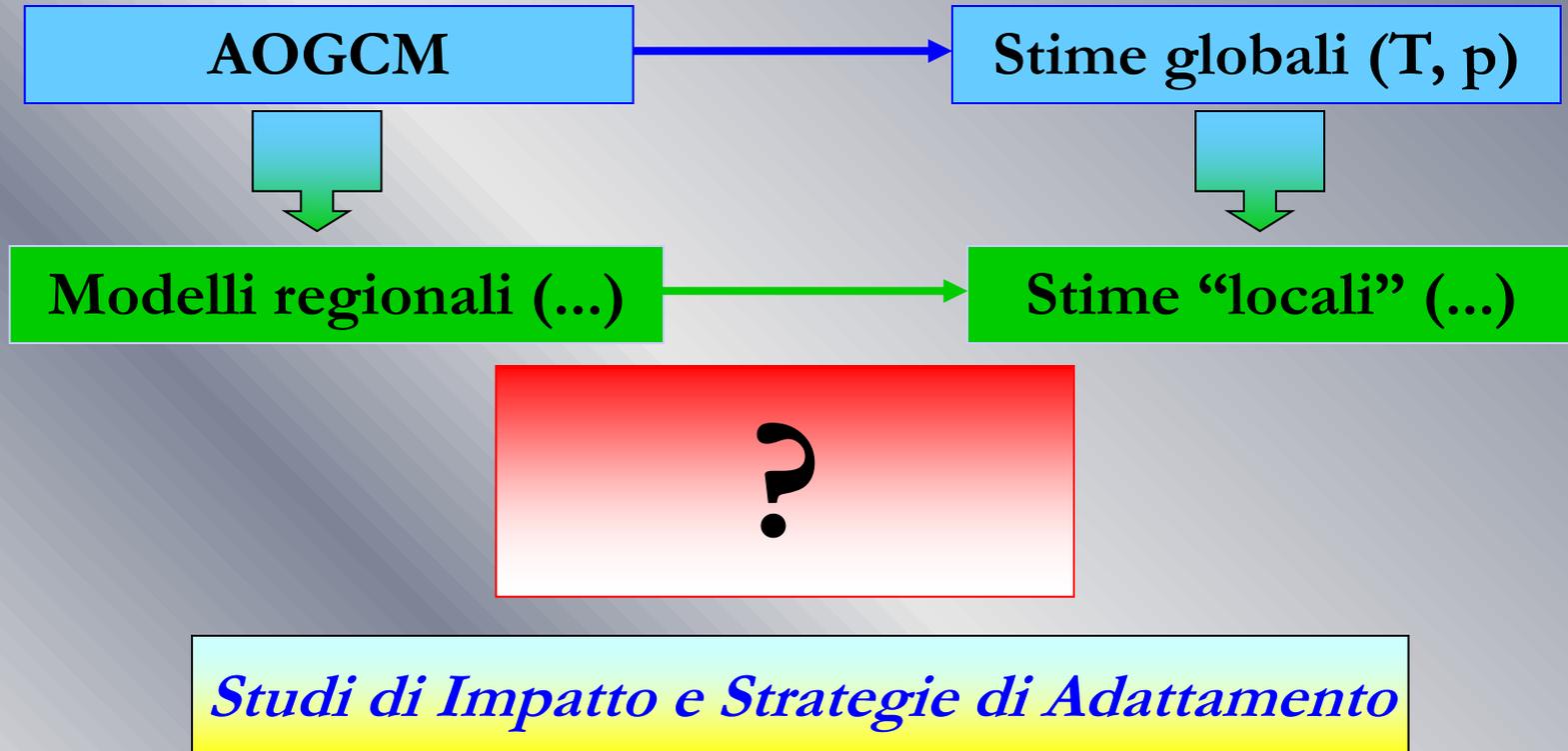


Tendenze (o *trend*) delle variabili a *grande scala*, *proiettate dai Modelli*:  
Temperatura, Pressione...



Andamento delle variabili a *scala locale*, da *serie storiche reali* di  
Temperatura, Pressione...

# Risoluzione e scopi



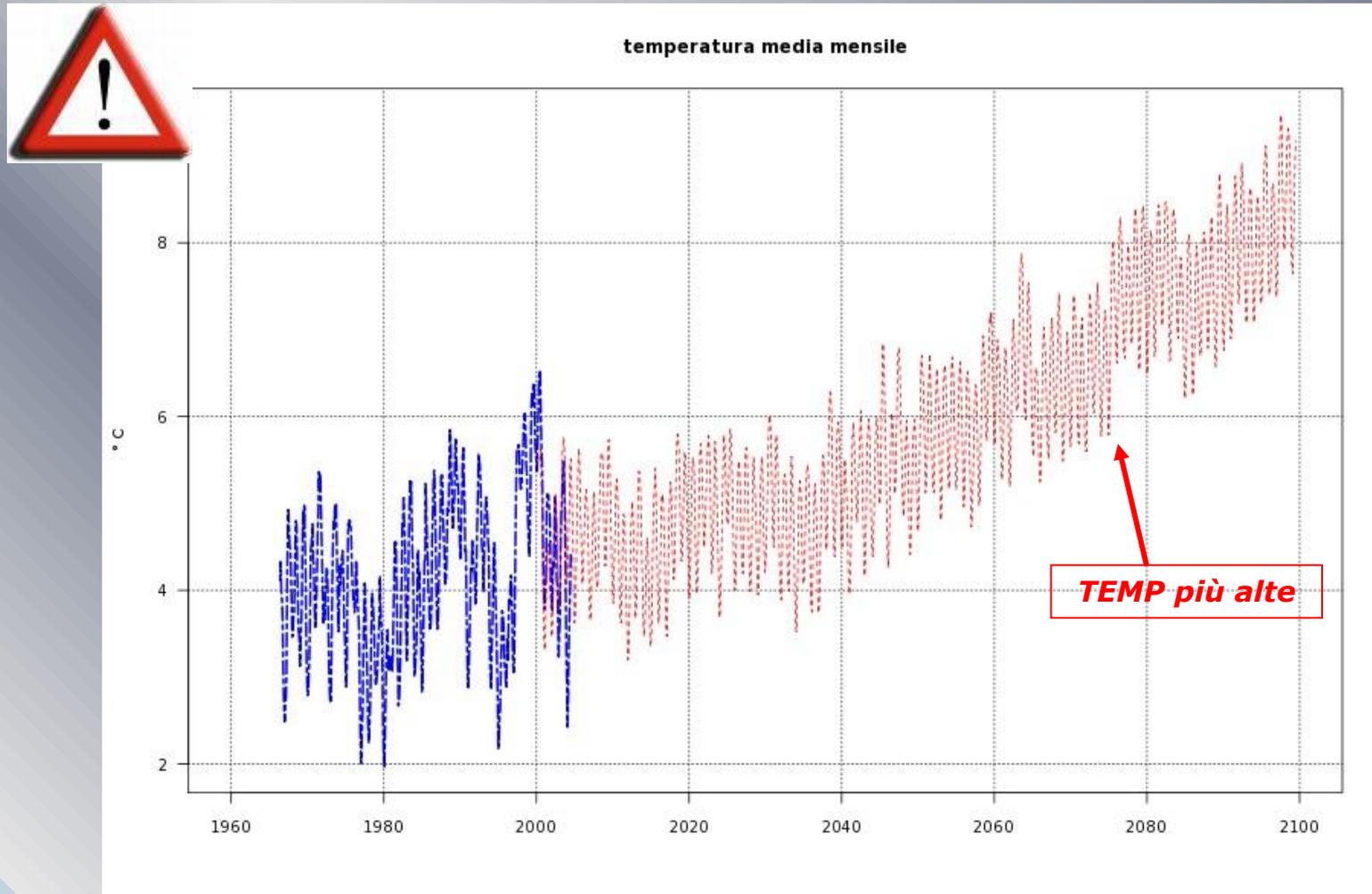
# “Serie storica futura”: temperature estive Nord Italia

|                  | H<br>A2a    | H<br>A2b | H<br>A2c | H<br>B2 | E<br>A2     | E<br>B2 | P<br>A1 B   | P<br>A2     | P<br>B2     |
|------------------|-------------|----------|----------|---------|-------------|---------|-------------|-------------|-------------|
| <b>2001-2019</b> | 0.55        | 0.71     | 0.41     | 0.81    | <b>1.07</b> | 0.31    | 0.25        | 0.31        | <b>0.13</b> |
| <b>2020-2039</b> | <b>1.60</b> | 0.75     | 1.42     | 1.47    | 1.22        | 1.34    | <b>0.42</b> | 0.68        | 0.97        |
| <b>2040-2059</b> | 2.17        | 1.90     | 2.39     | 1.74    | <b>2.56</b> | 2.26    | 0.97        | <b>0.91</b> | <b>0.91</b> |
| <b>2060-2079</b> | 3.73        | 3.52     | 3.92     | 2.80    | <b>3.98</b> | 3.00    | 1.79        | 1.64        | <b>1.31</b> |
| <b>2080-2099</b> | 5.15        | 4.78     | 5.05     | 3.42    | <b>5.46</b> | 3.57    | 1.82        | 2.22        | <b>1.51</b> |

Anomalie dei valori mediani attesi (° C) rispetto al 1961 – 1990

# Proiezioni per l'Area dell'Adamello

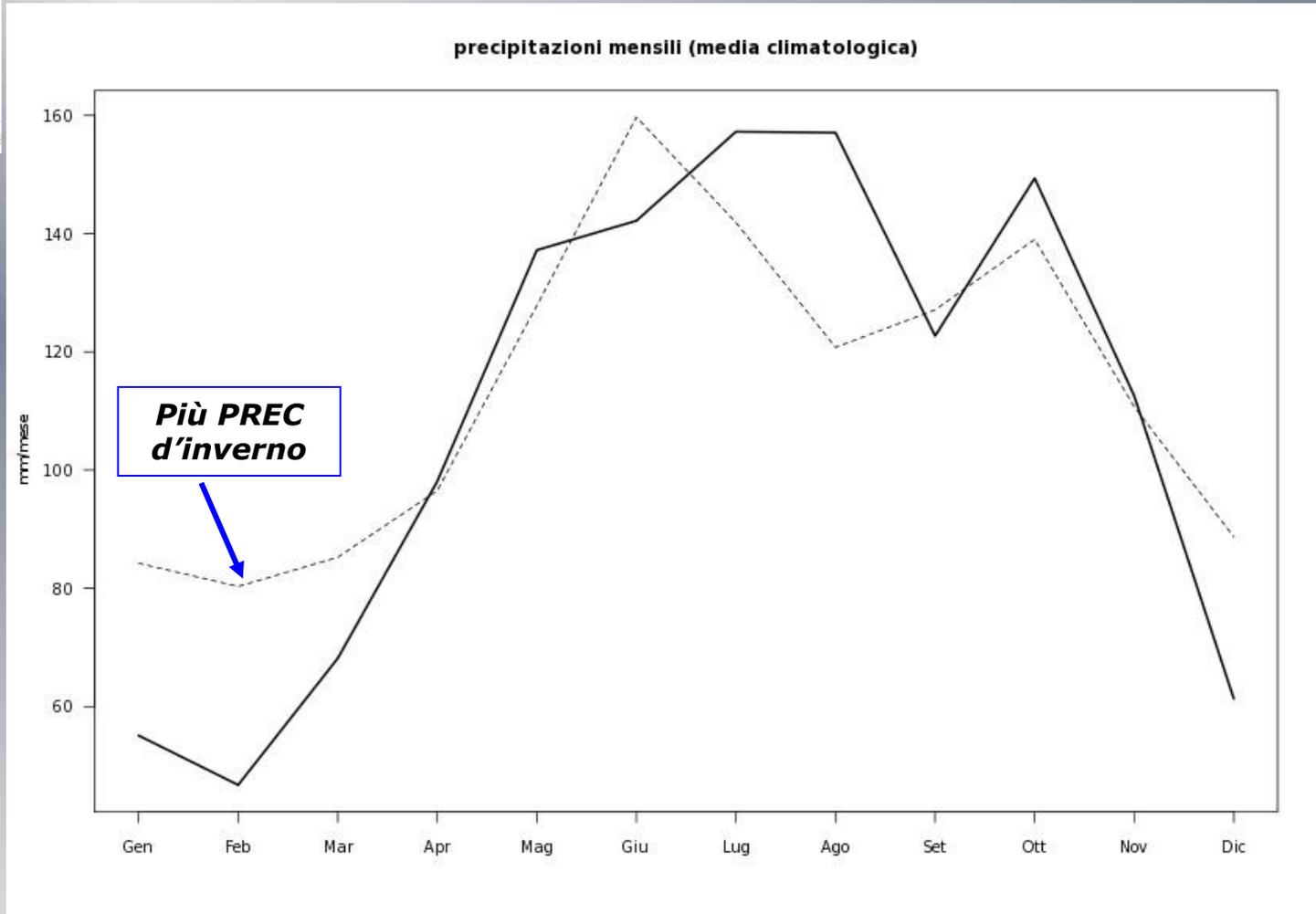
La proiezione per le **TEMPERATURE**: esempio di *Avio*



*Calibrazione con Pressione, Geopotenziale 500 hPa*

# Proiezioni preliminari per l'Area dell'Adamello

La proiezione per le **PRECIPITAZIONI**: esempio di *Avio*



*Calibrazione con Precipitazioni, Geopotenziale a 500 hPa*

# 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 d'Adattamento:

## *Coinvolgimento e partecipazione dei diversi soggetti*

- **Informazione e comunicazione**
- **Processo condiviso (partecipazione lungo tutte le fasi)**
- Capacity building (*istituzioni*)
- Formazione (*operatori*)
- Educazione (*cittadini*)

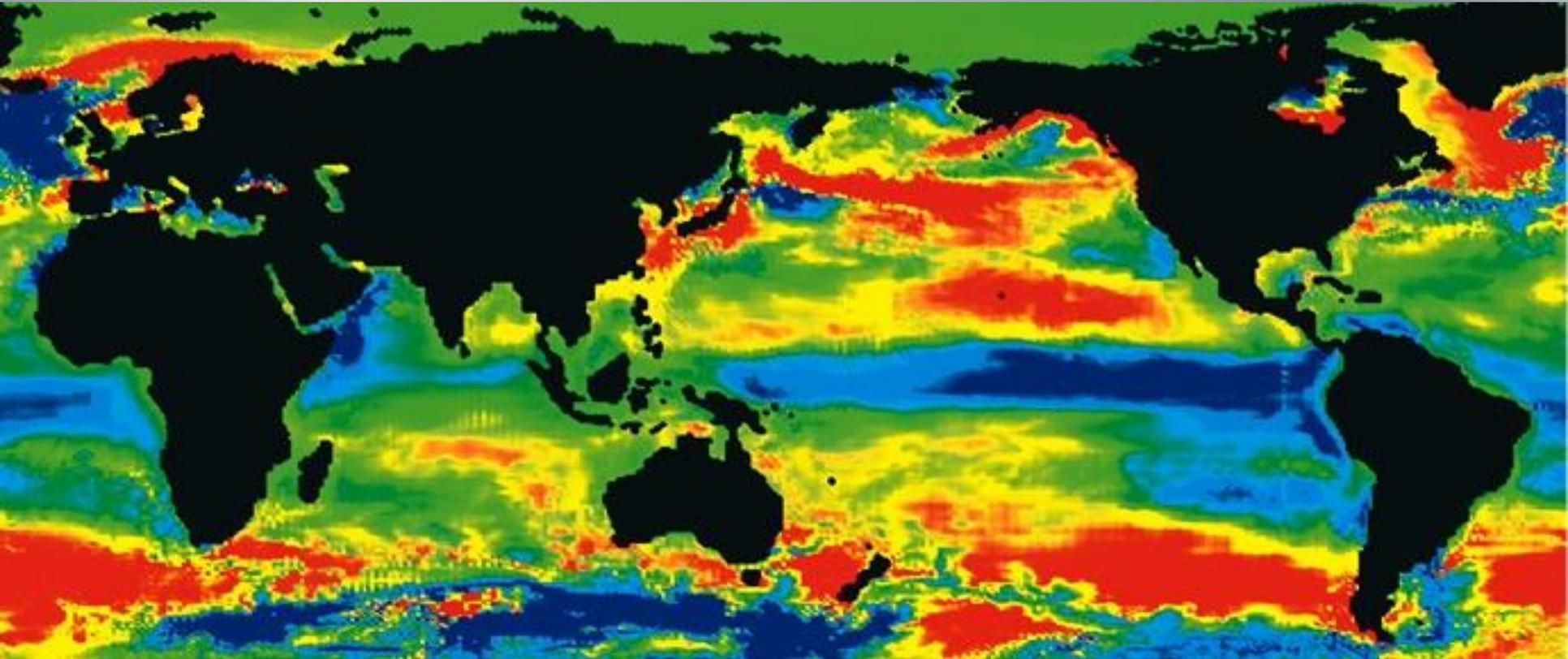
Quanti enti/istituzioni/persone coinvolgiamo?

# Le Strategie d'Adattamento:

## *Possibili strategie di adattamento – a basso costo!*

- *Gestione sostenibile delle foreste (afforestazione, riforestazione, mancata deforestazione)*
- *Procedure di protezione dei ghiacciai*
- *Invasi e serbatoi utilizzati in modo polivalente*
- *Salvaguardia delle sorgenti di montagna*
- *Agricoltura conservativa*
- *Edilizia ecosostenibile*

Grazie per l'attenzione



[gianluca.lentini@polimi.it](mailto:gianluca.lentini@polimi.it)

# Previsioni del tempo su Titano



*Buona gita al lago!*