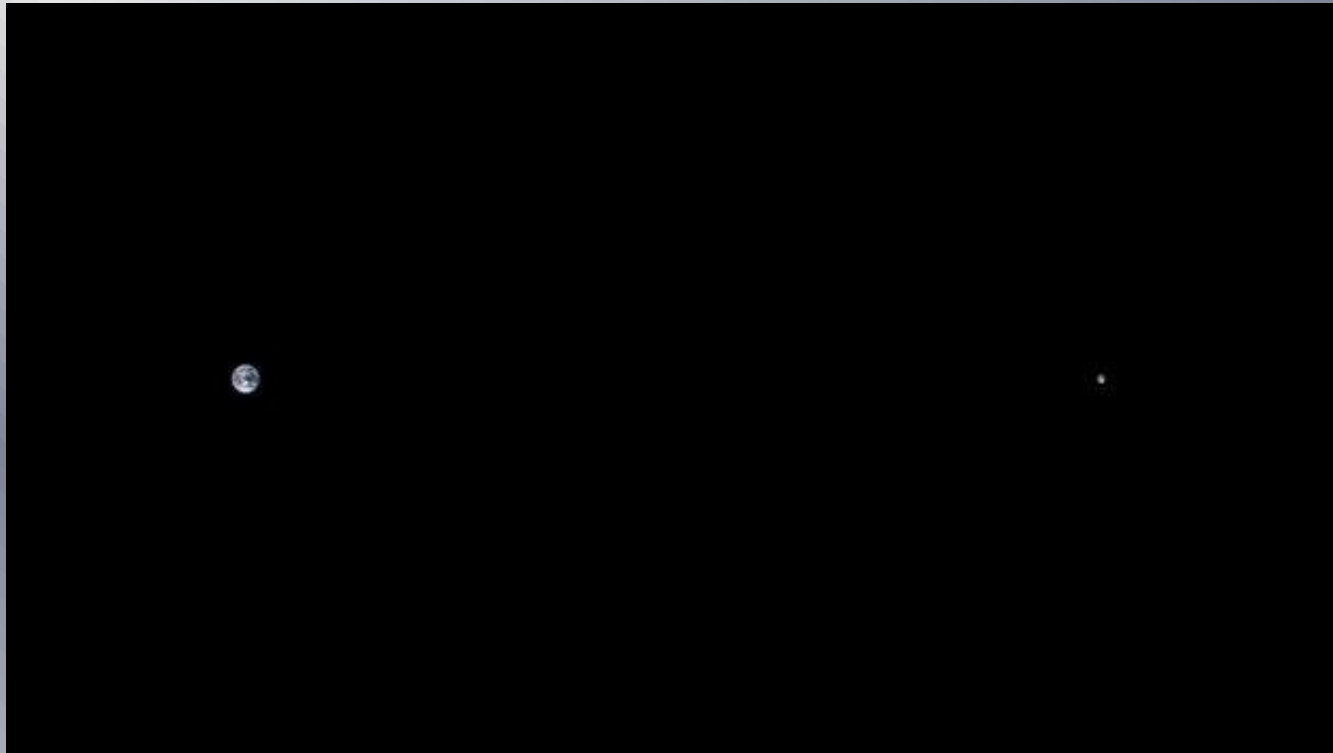


Il pianeta Terra – uno sguardo planetologico al nostro mondo



Gianluca Lentini, *Poliedra – Politecnico di Milano*

La Terra e il suo clima: le unità geofisiche



GEOSFERA



IDROSFERA



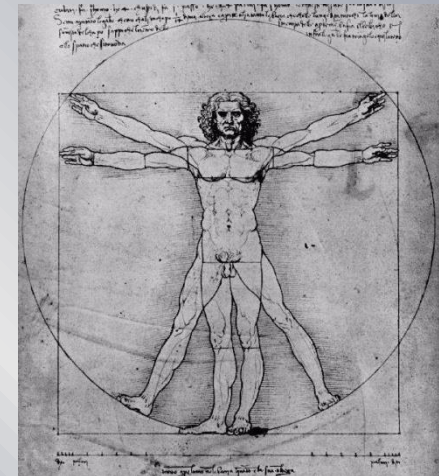
CRIOSFERA



ATMOSFERA



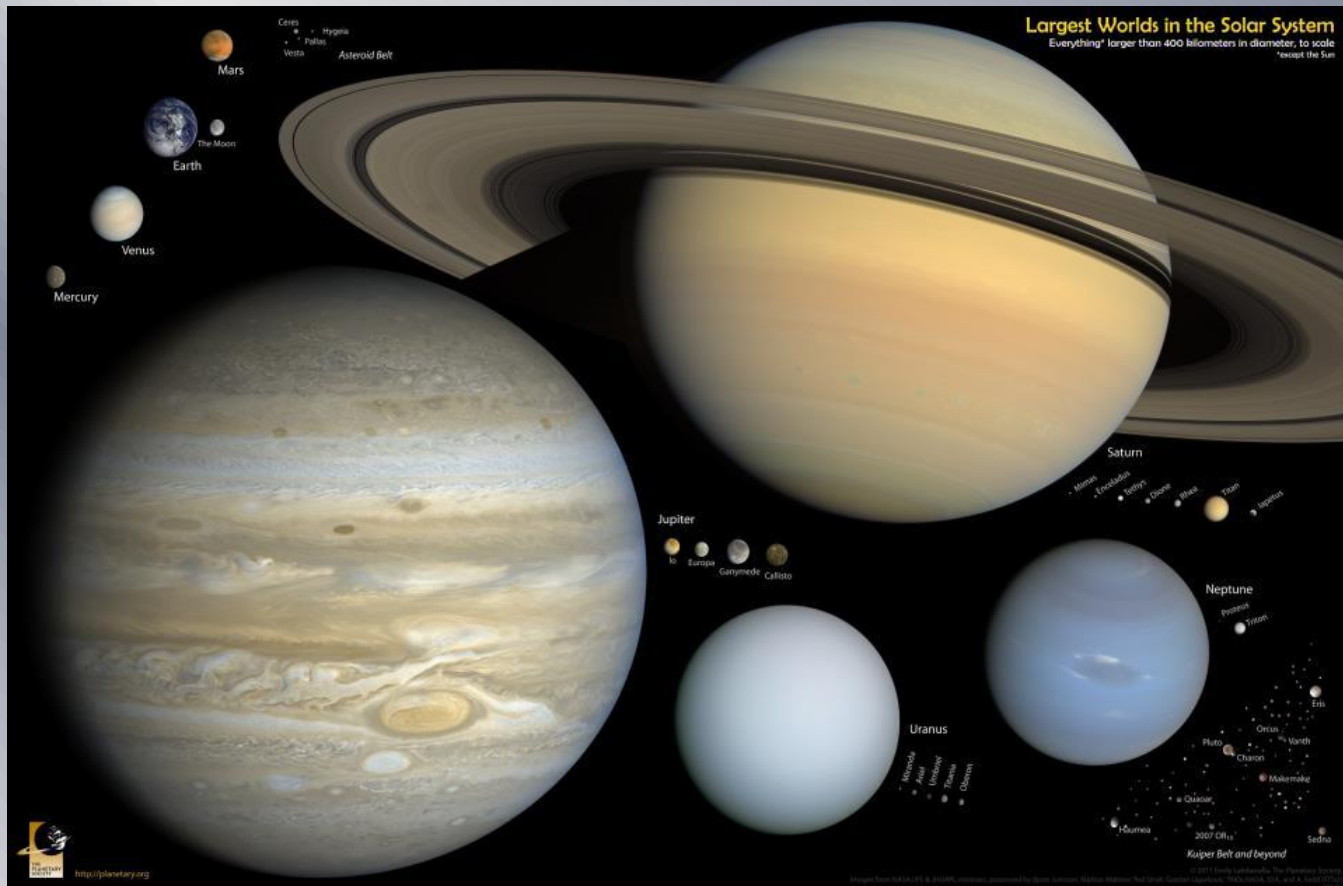
BIOSFERA



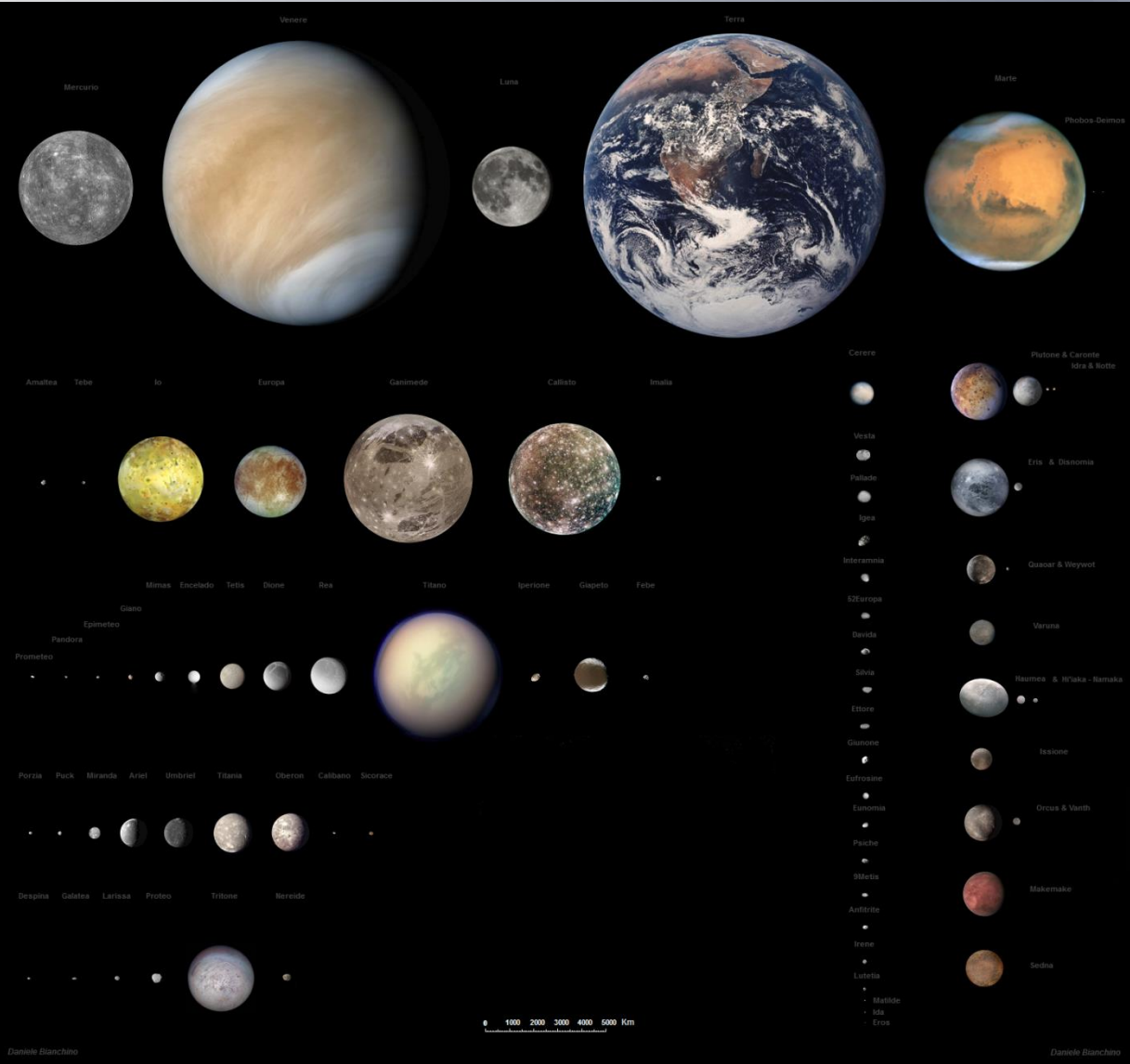
ANTROPOSFERA

Pianeti terrestri, giganti gassosi e...

Dove finisce l'atmosfera e dove comincia la superficie planetaria?

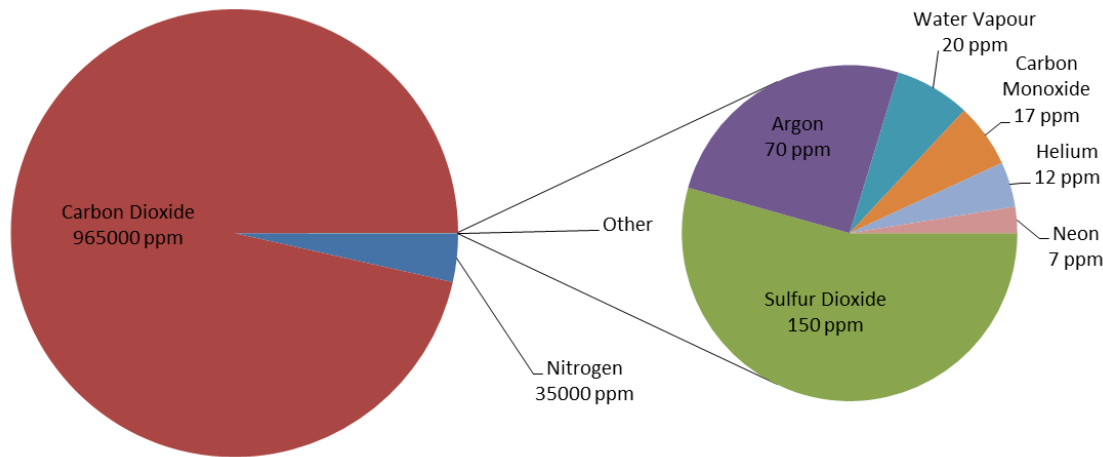


Terrestri, satelliti, asteroidi, pianeti nani...



Un gemello parecchio diverso: Venere

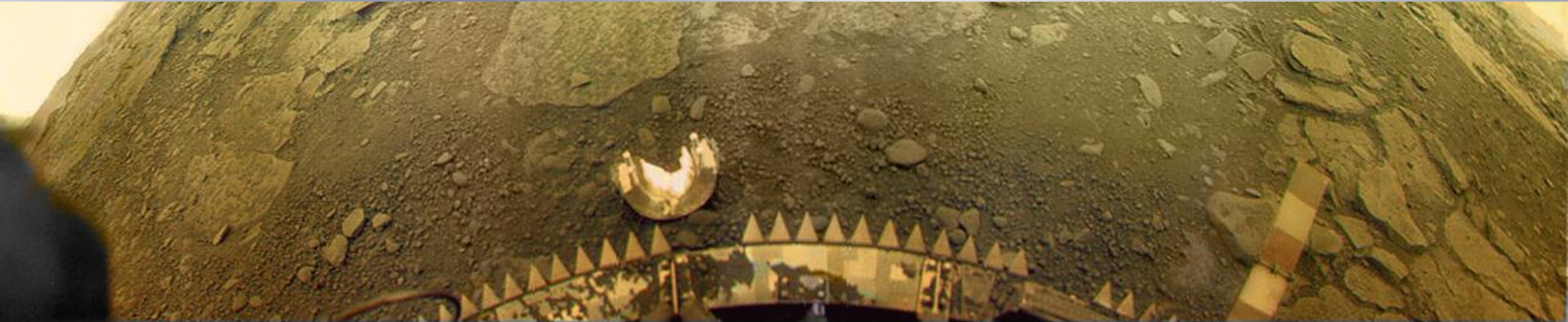
Venus' Atmospheric Composition in
Parts per Million



*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

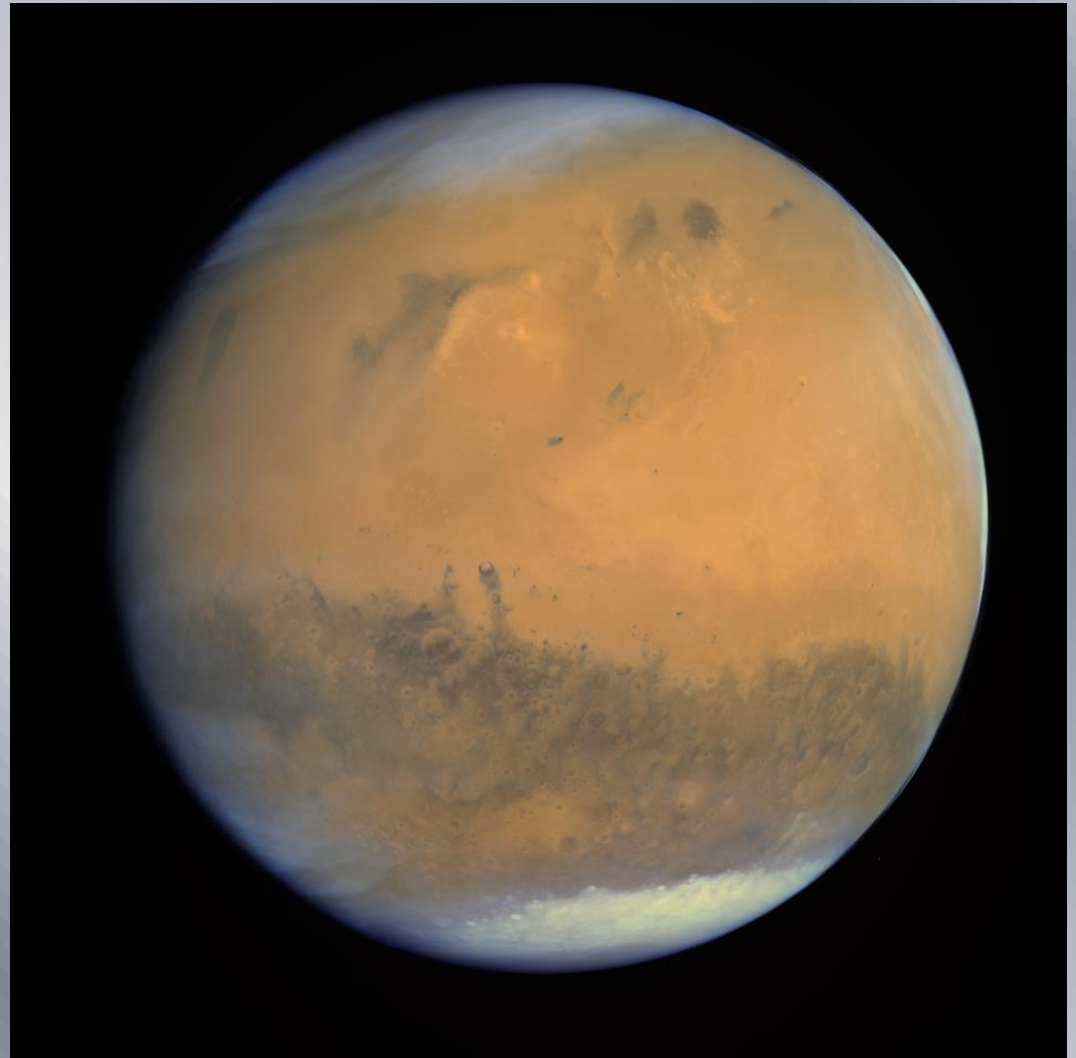
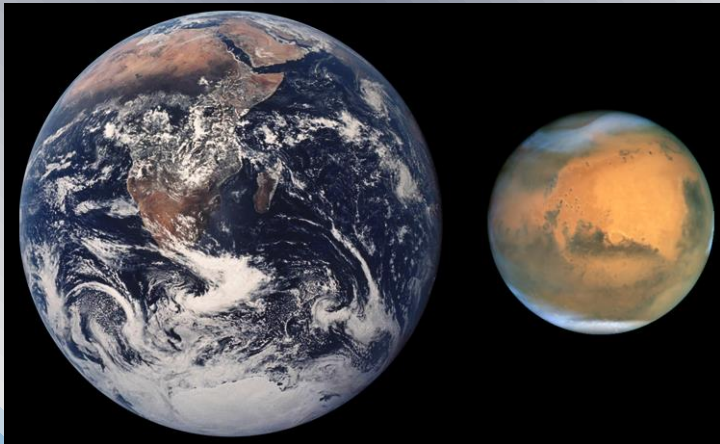
Raggio = $1/2$ Terra

Gravità = $1/3$ Terra

Anno = 687 giorni terrestri

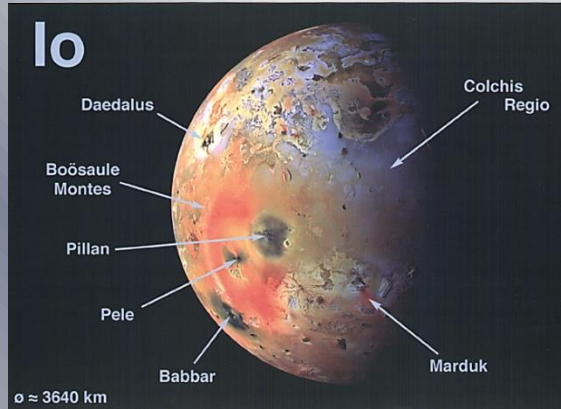
Incl. Asse = 25°

Dist. media Sole = 1.6 UA

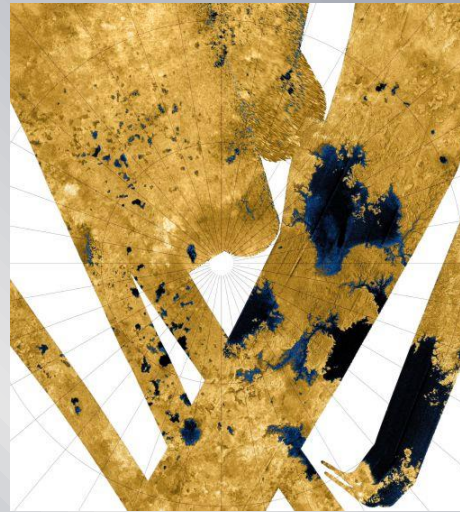


Stagioni “di tipo terrestre”, lunghe il doppio

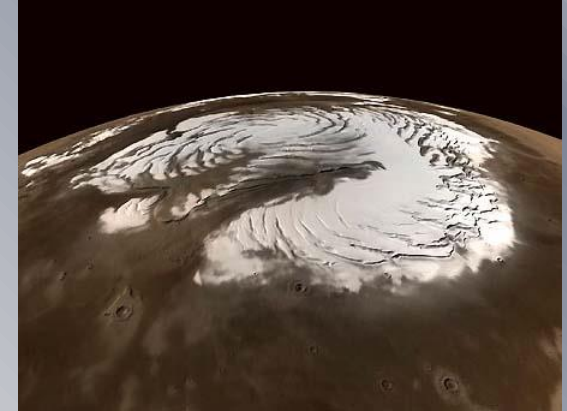
Le unità geofisiche oltre la Terra



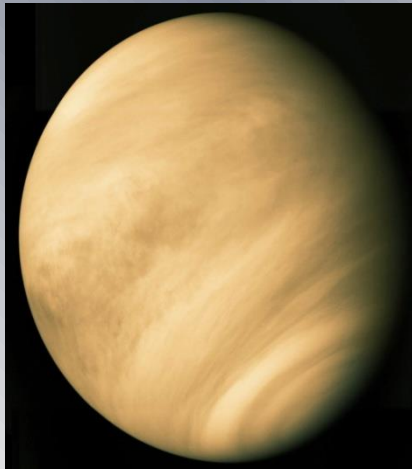
GEOSFERA



IDROSFERA



CRIOSFERA



ATMOSFERA

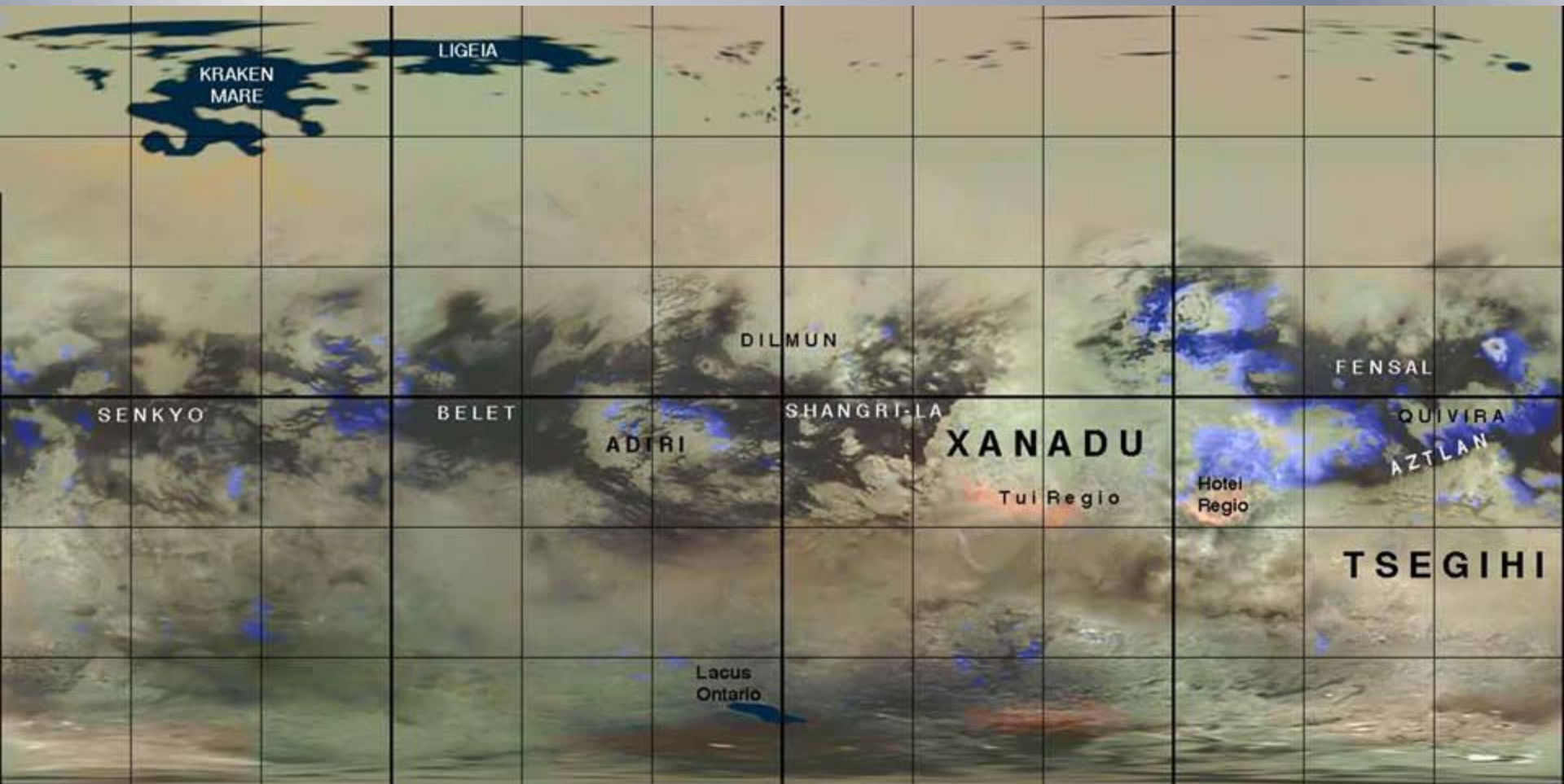


BIOSFERA



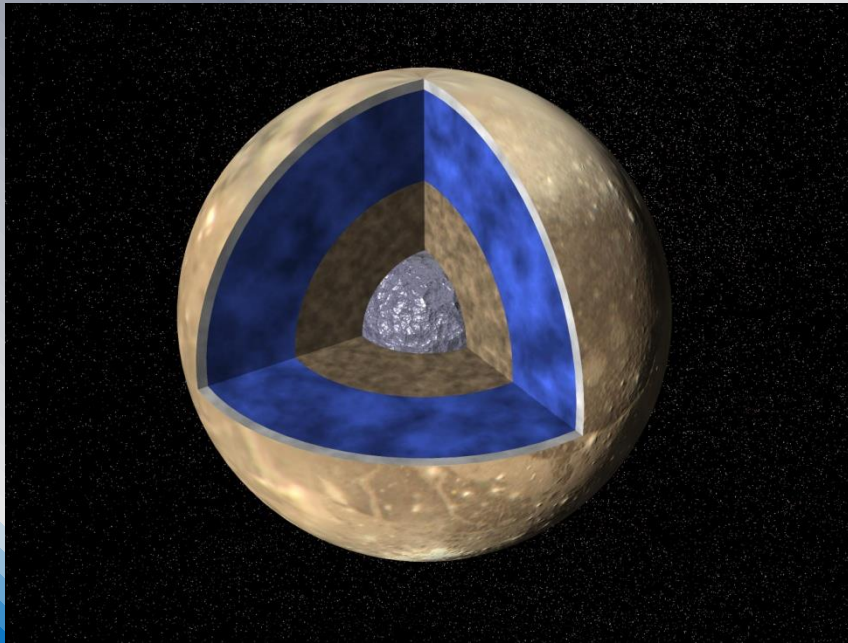
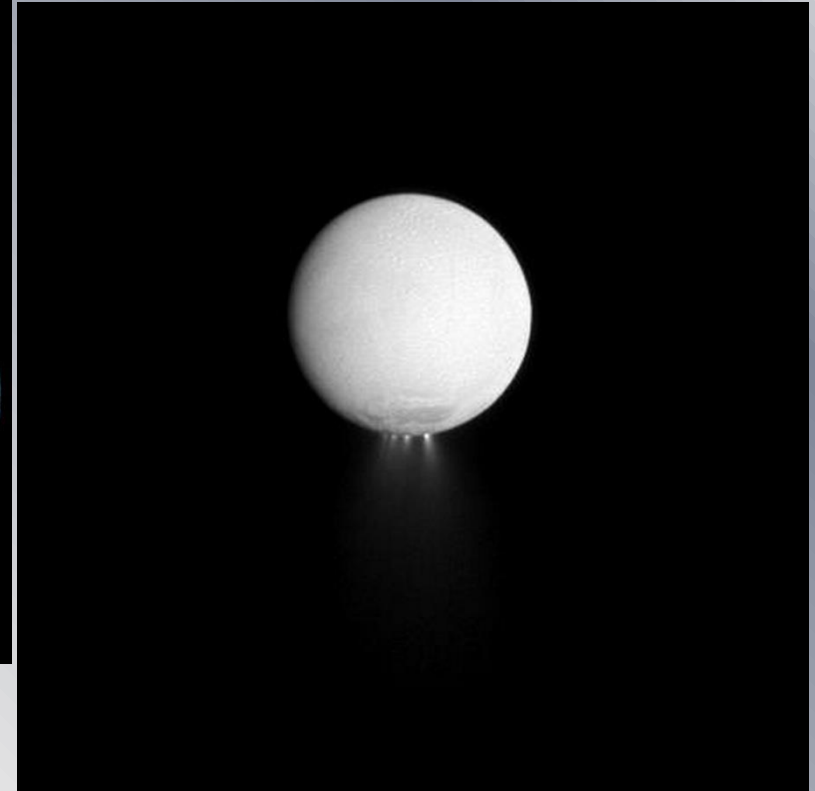
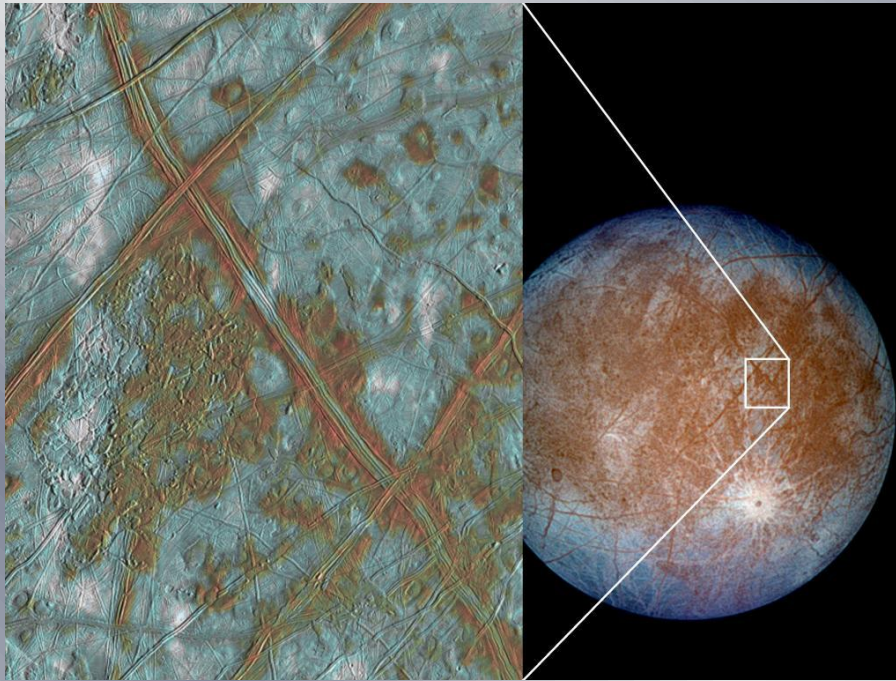
ANTROPOSFERA

Una gita al lago? Titano



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

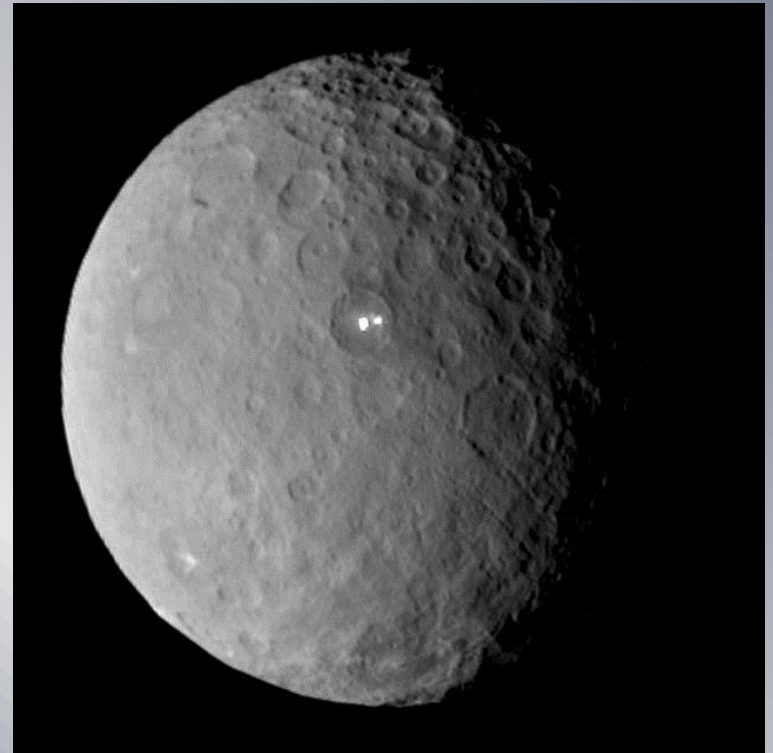
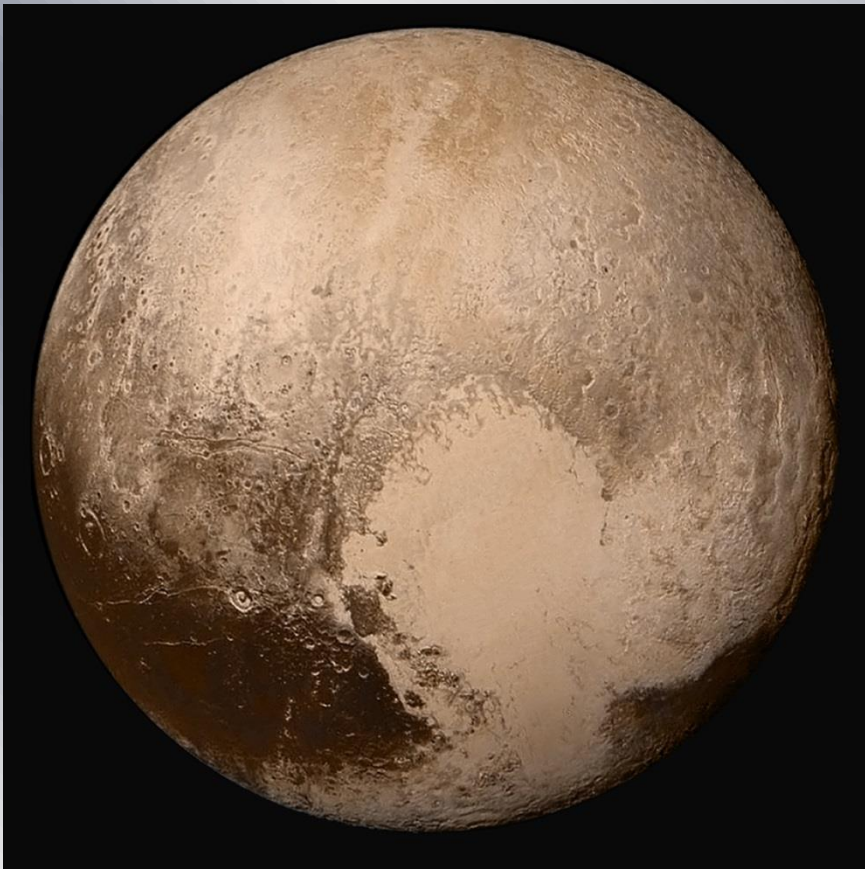
Oltre Marte e Venere: Europa, Encelado, Ganimede, ...



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

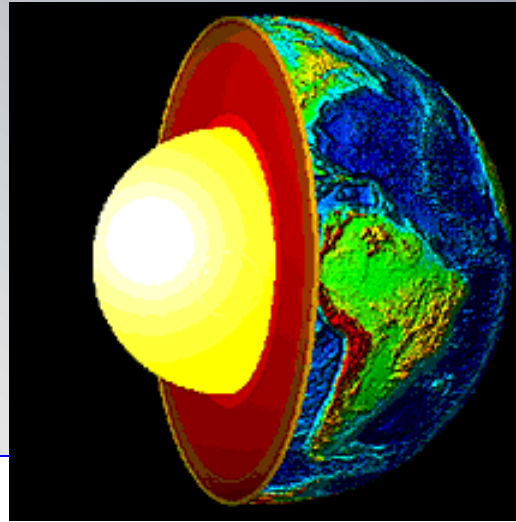
La famiglia del Sole: l'incredibile 2015 dei pianeti nani

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*

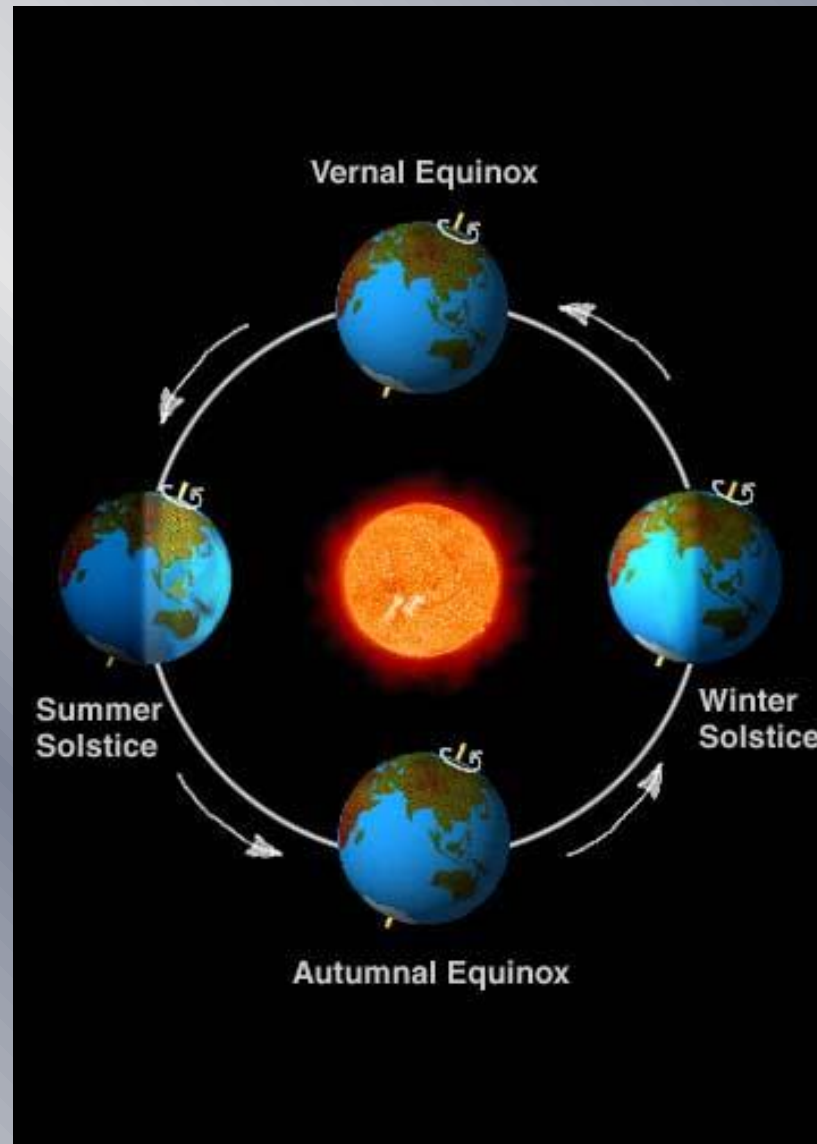
Temperatura = 15 ° C (da -89.2 a +56.7 ° C)

Inclinazione Asse = 23.4 °

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

Massa = 5.97 x 10²⁴ kg

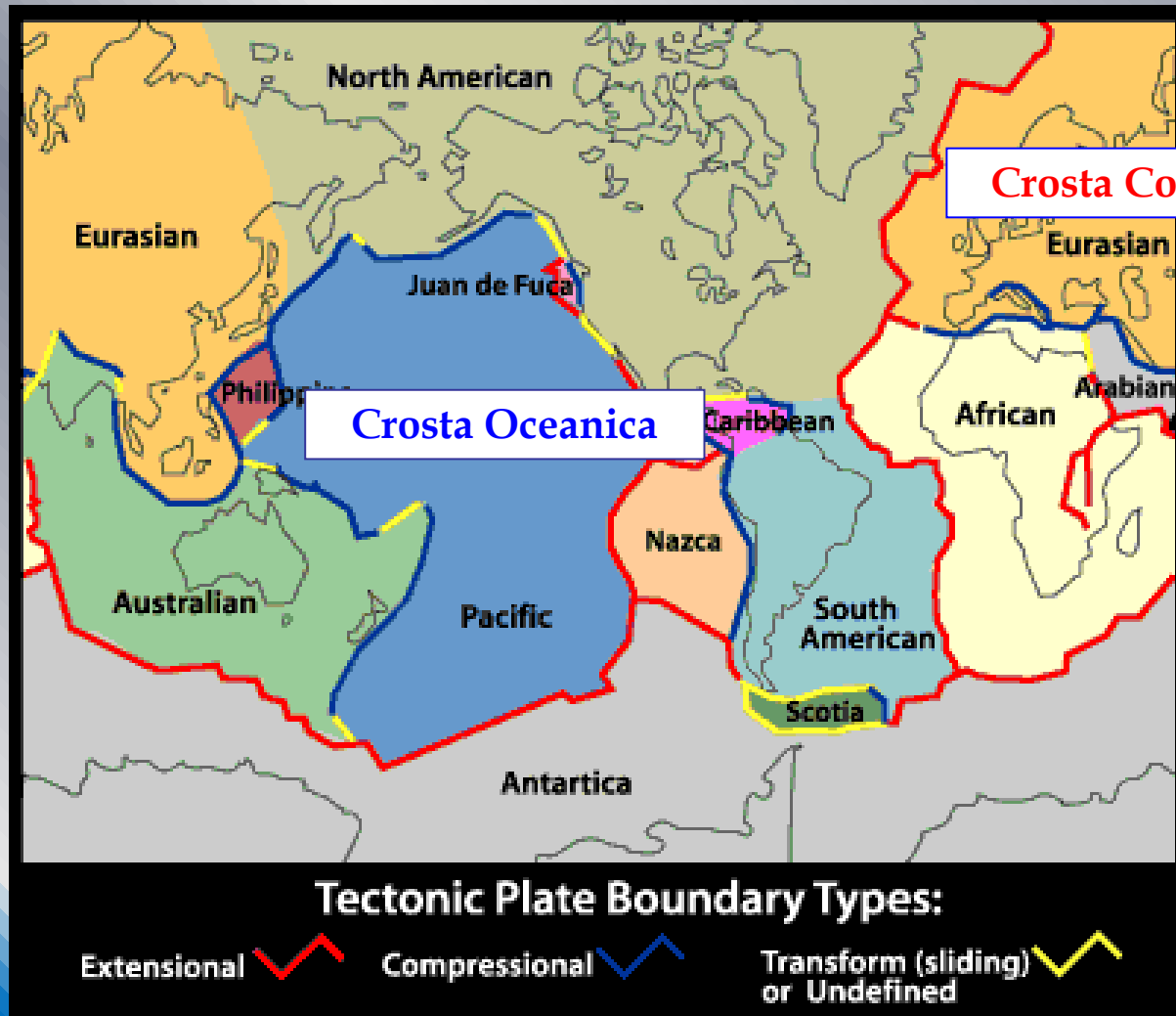
I processi fondamentali – milioni di anni



Orbita terrestre e suoi cicli = grandi glaciazioni

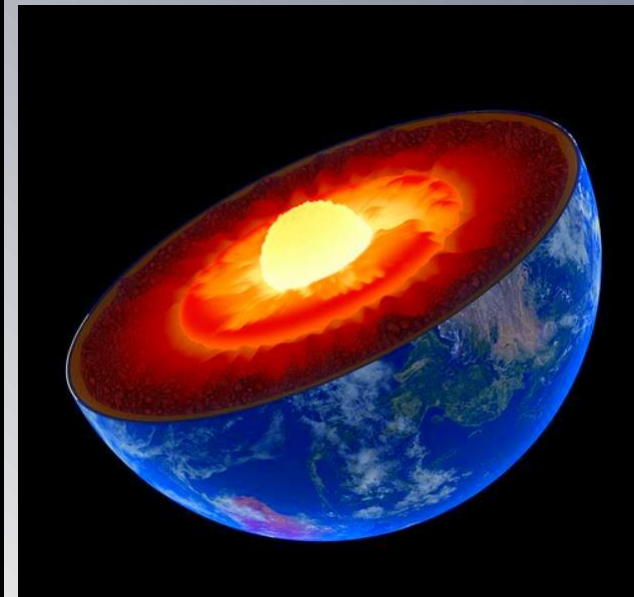
I processi fondamentali – milioni di anni

LA TETTONICA A PLACCHE



Crosta Continentale

Crosta Oceanica



I processi fondamentali – migliaia di anni

L'ISOSTASIA E IL RIMBALZO POSTGLACIALE

Interglacial

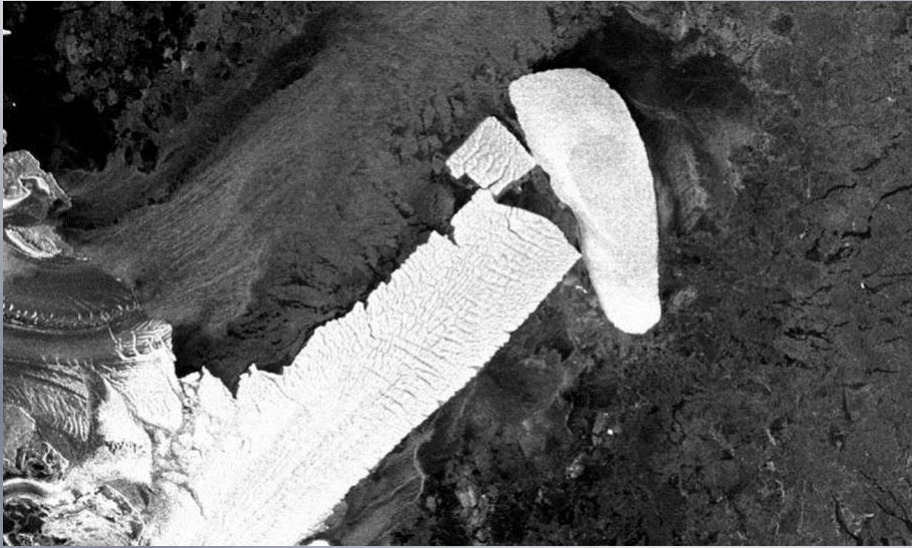


Stoccolma - Venezia



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**



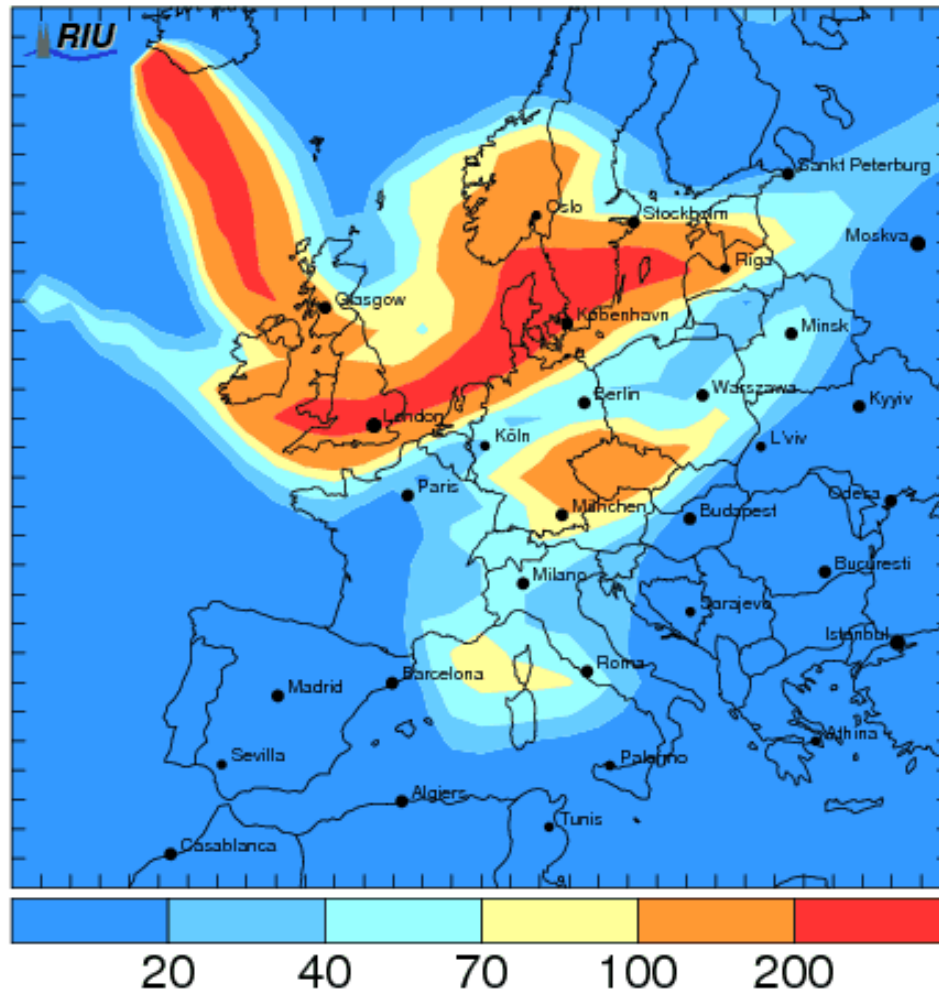
[Envisat MERIS] © ESA



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)



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...”

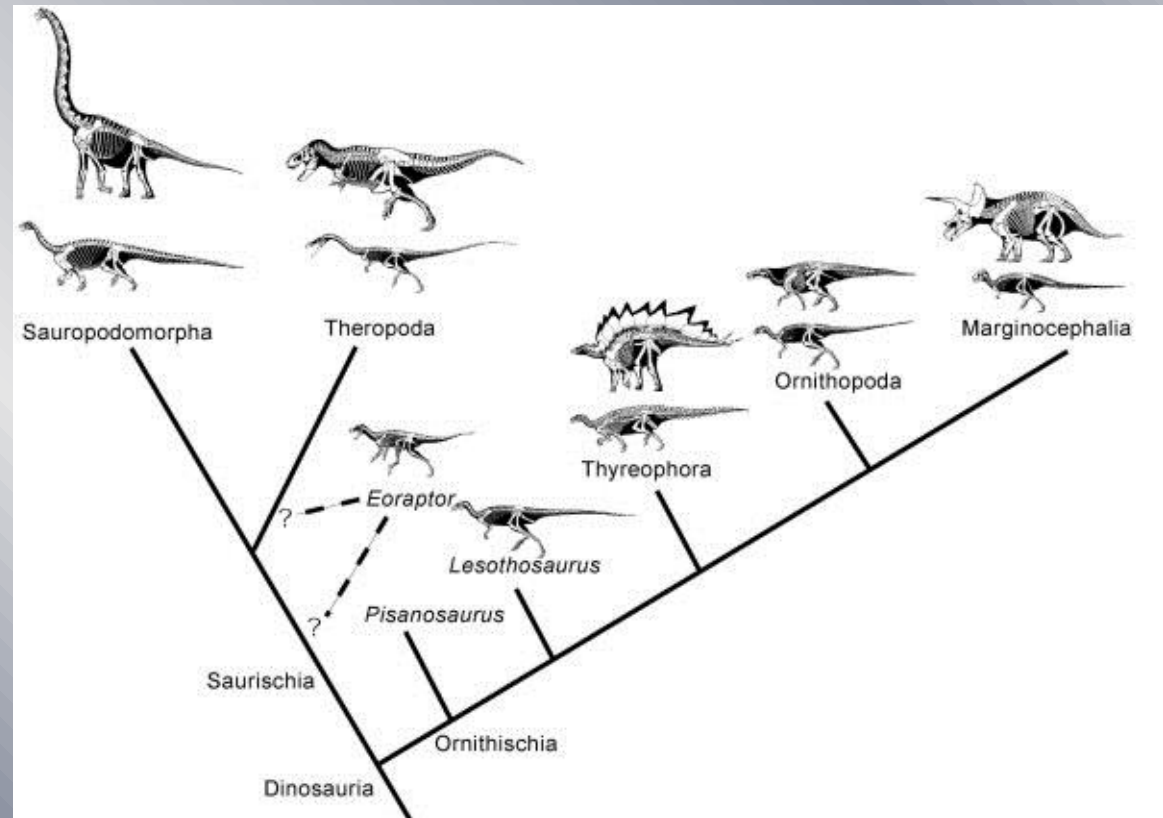
...dalla Teologia Naturale...

...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)

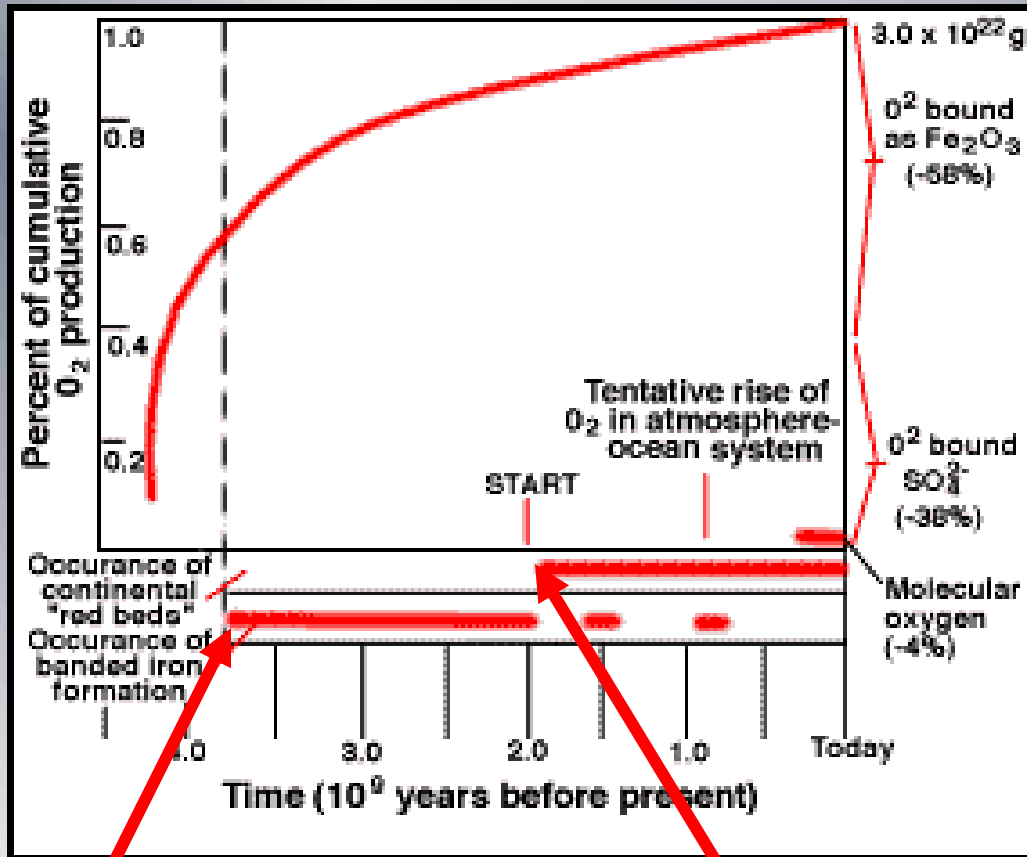
...alla nascita del concetto di ecologia...

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'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

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

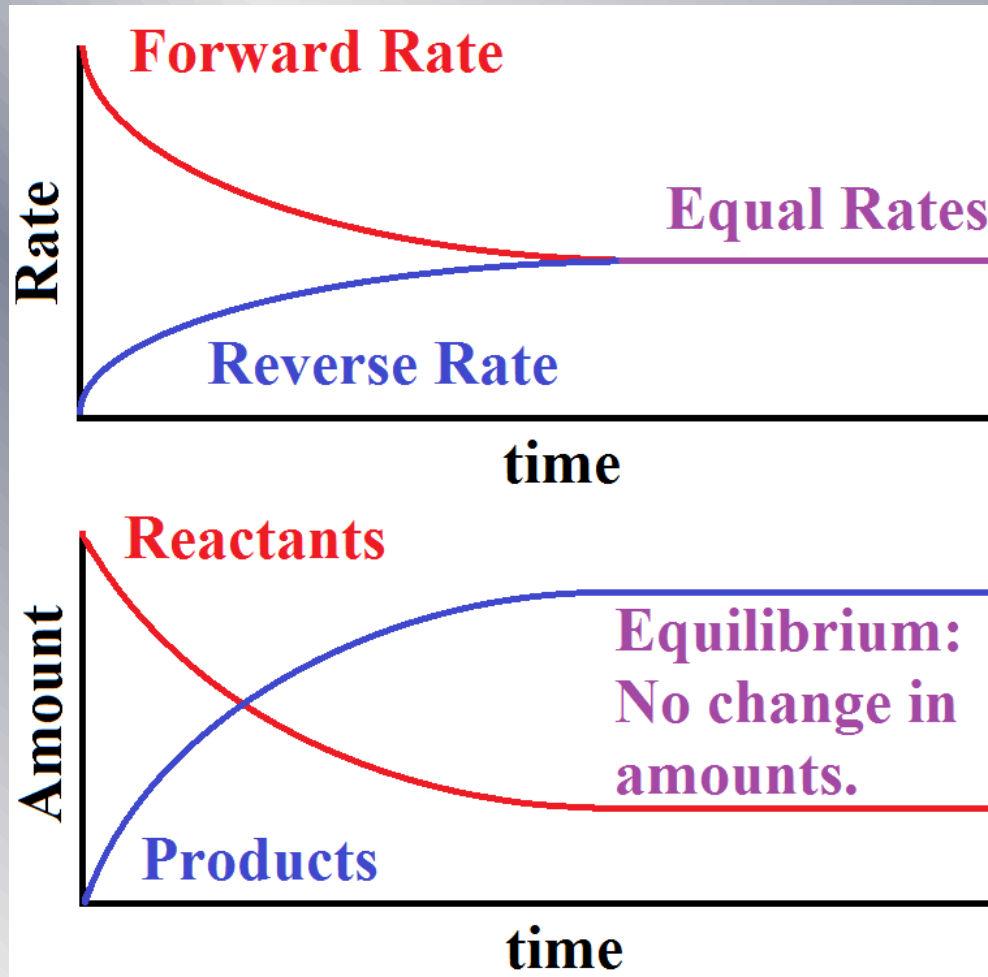
Masse reciproche delle unità geofisiche sulla Terra

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

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

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

Equilibrio e disequilibrio chimico

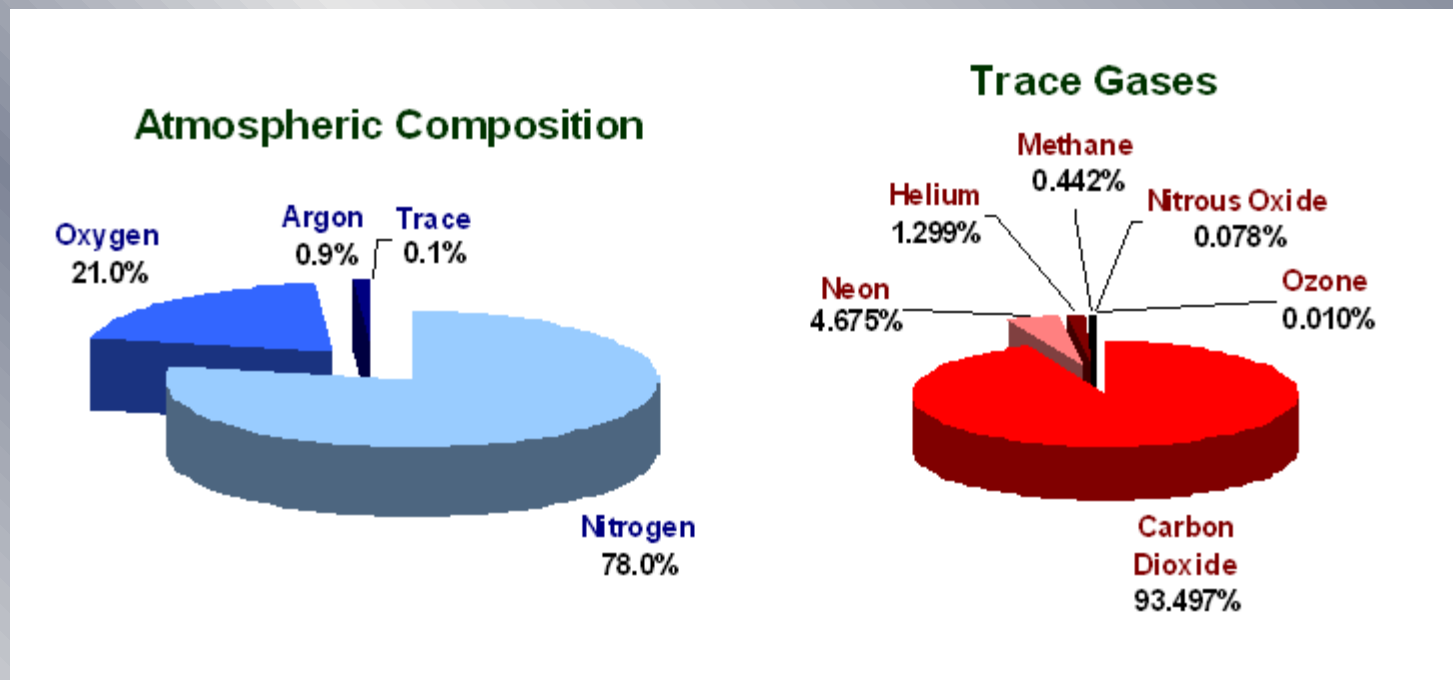


La vita può essere definita, fisicamente, come una temporanea e localizzata diminuzione dell'entropia di un sistema (Schrödinger)

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

L'atmosfera della Terra – la terza atmosfera

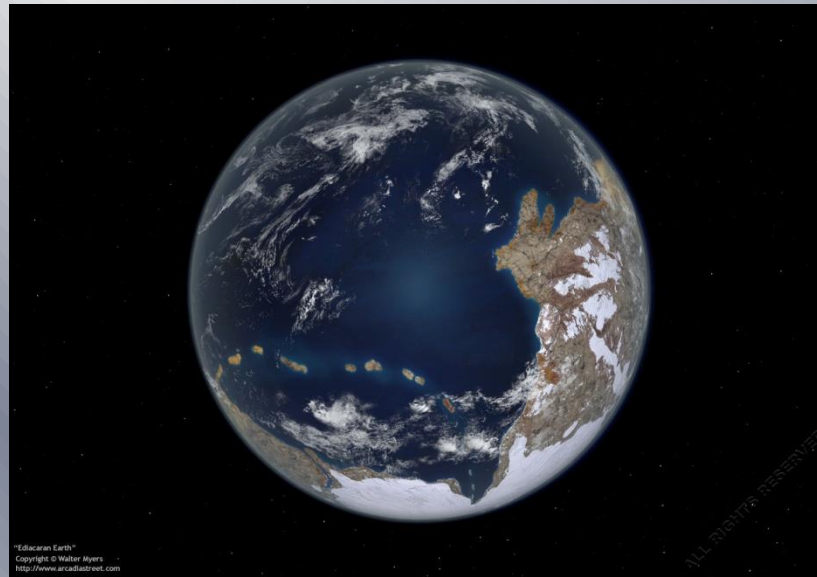
Uno sguardo all'atmosfera: la via privilegiata per comprendere un pianeta e la sua storia



Informazioni essenziali sull'equilibrio o disequilibrio chimico

L'atmosfera della Terra – la seconda atmosfera

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



80% N₂; 18% CO₂; 1% H₂O; 1% H₂

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?

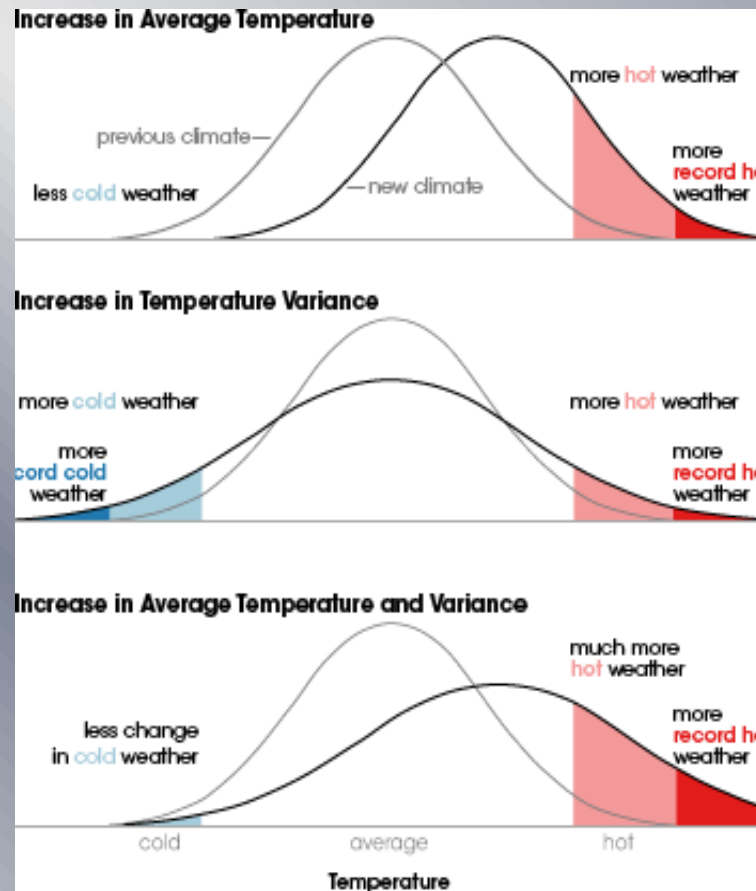


Ghiacciaio di Pasterze (Austria)

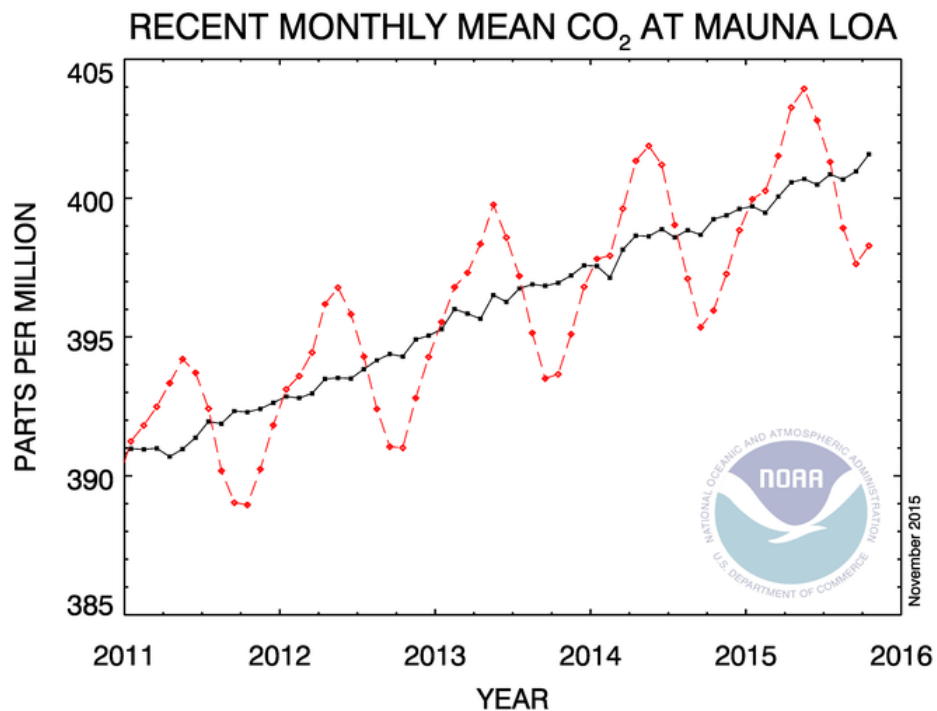
TERMINOLOGIA

CAMBIAMENTO CLIMATICO?

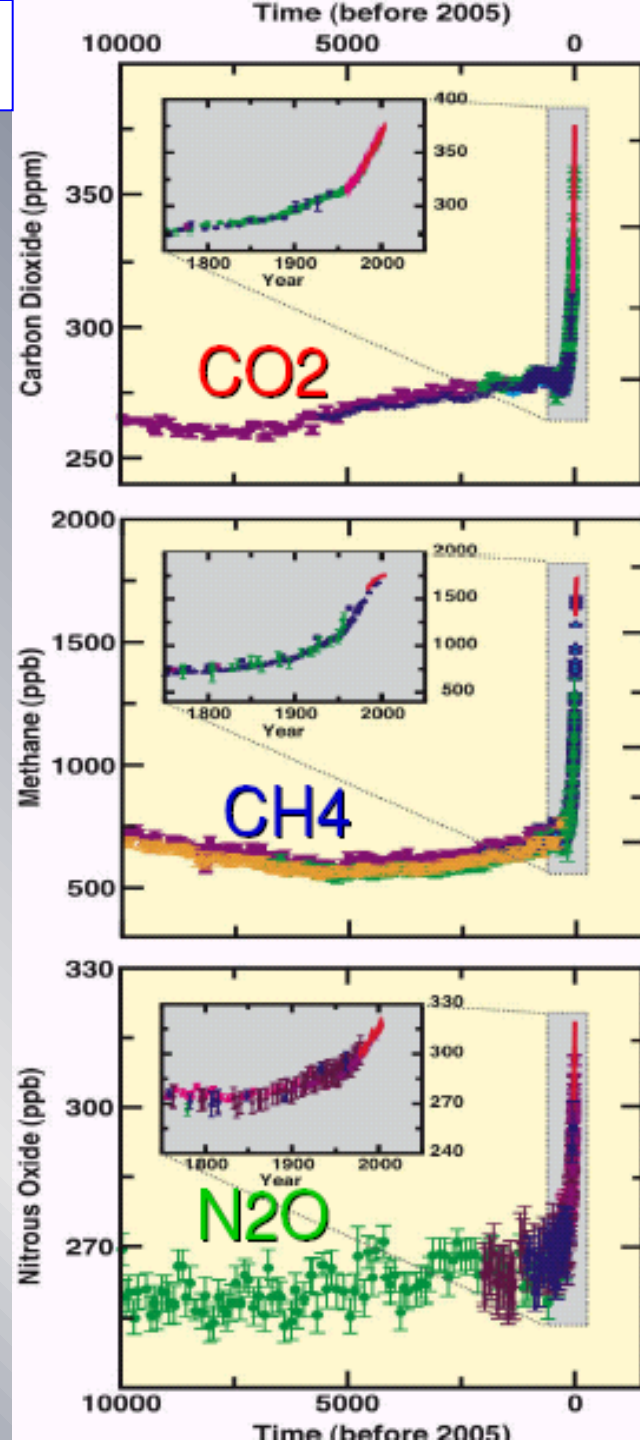
*Variazione sistematica della distribuzione statistica di variabili meteorologiche
in intervalli di tempo di diversi decenni o superiori (30 anni, WMO)*



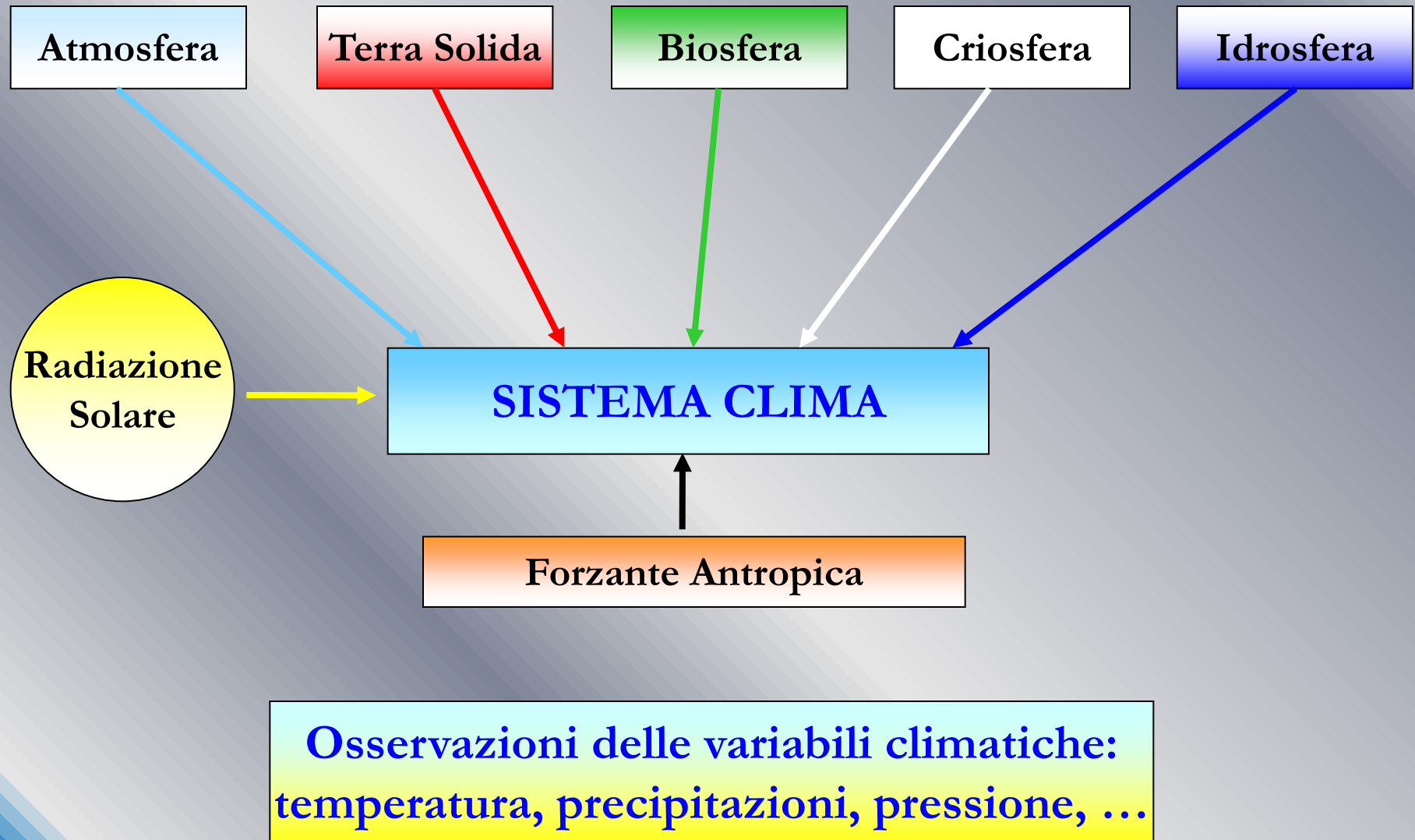
Il ruolo dei gas clima-alteranti



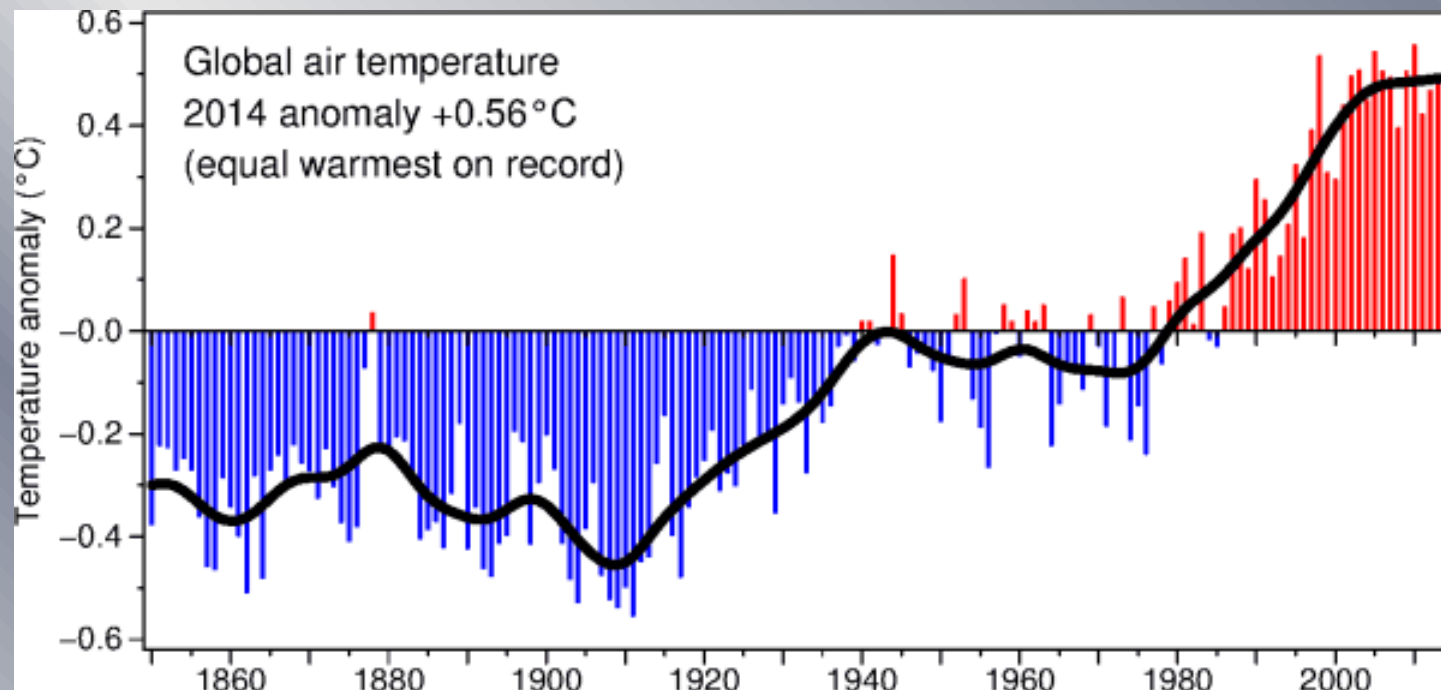
Forte aumento nelle concentrazioni dei gas serra, attribuito, in modo pressoché unanime, alle attività umane



Il clima: la cassa di risonanza dell'equilibrio terrestre



Il Riscaldamento Globale



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

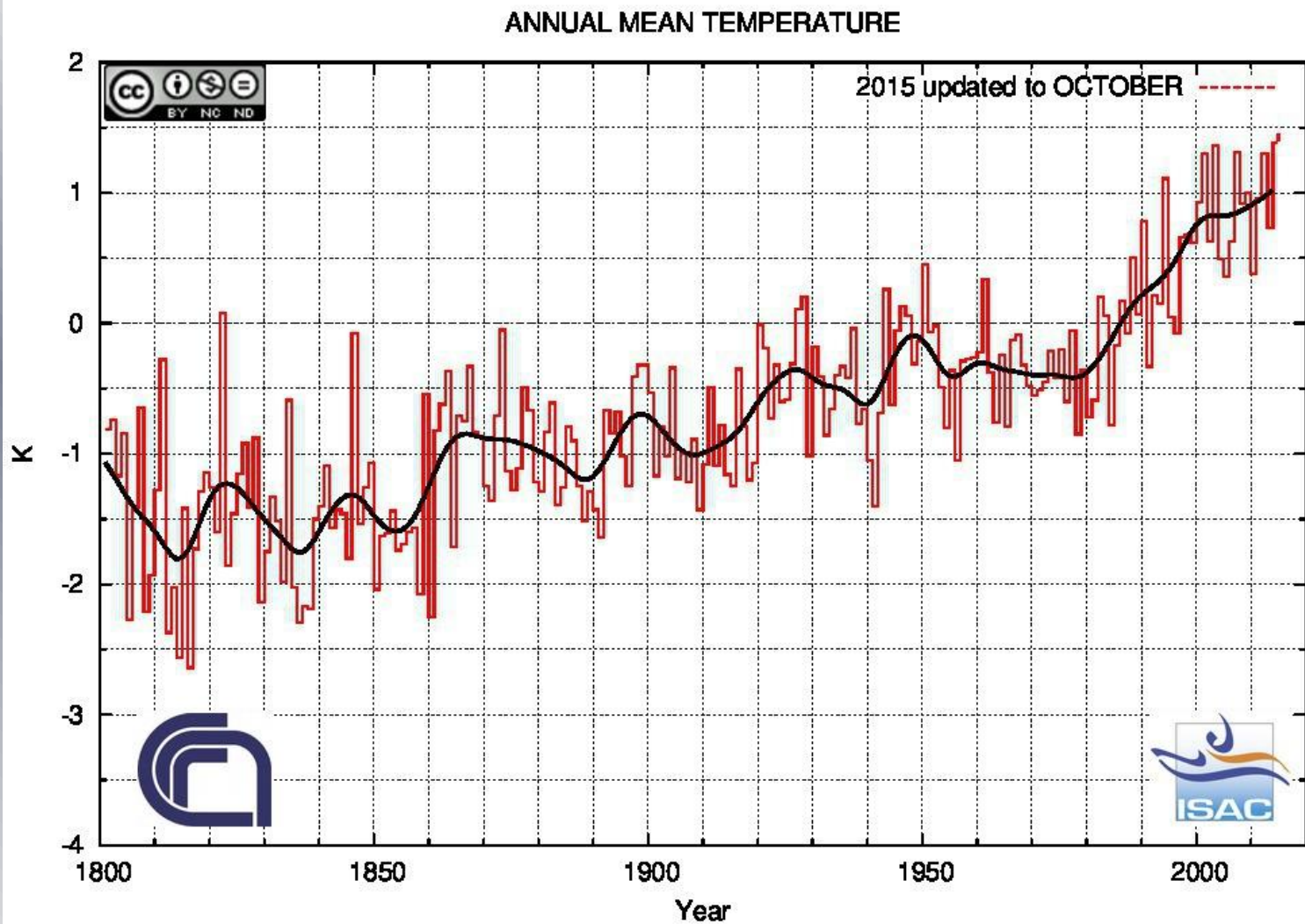
*da Climatic Research Unit, University of East Anglia,
<http://www.cru.uea.ac.uk/>*

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.

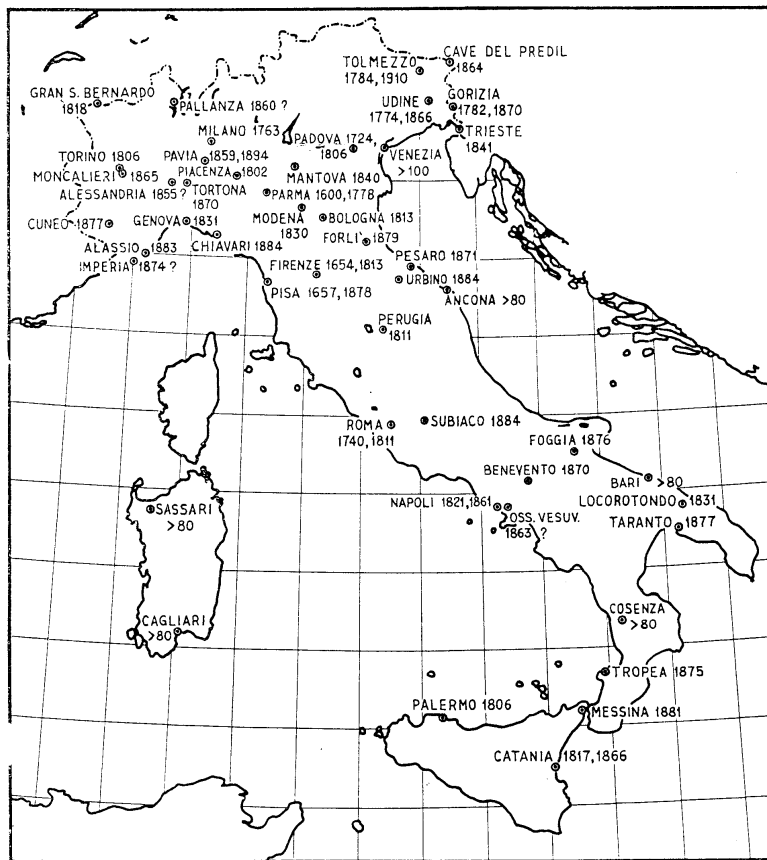
Il Riscaldamento Globale in Italia



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

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

Storie di variabili meteorologiche



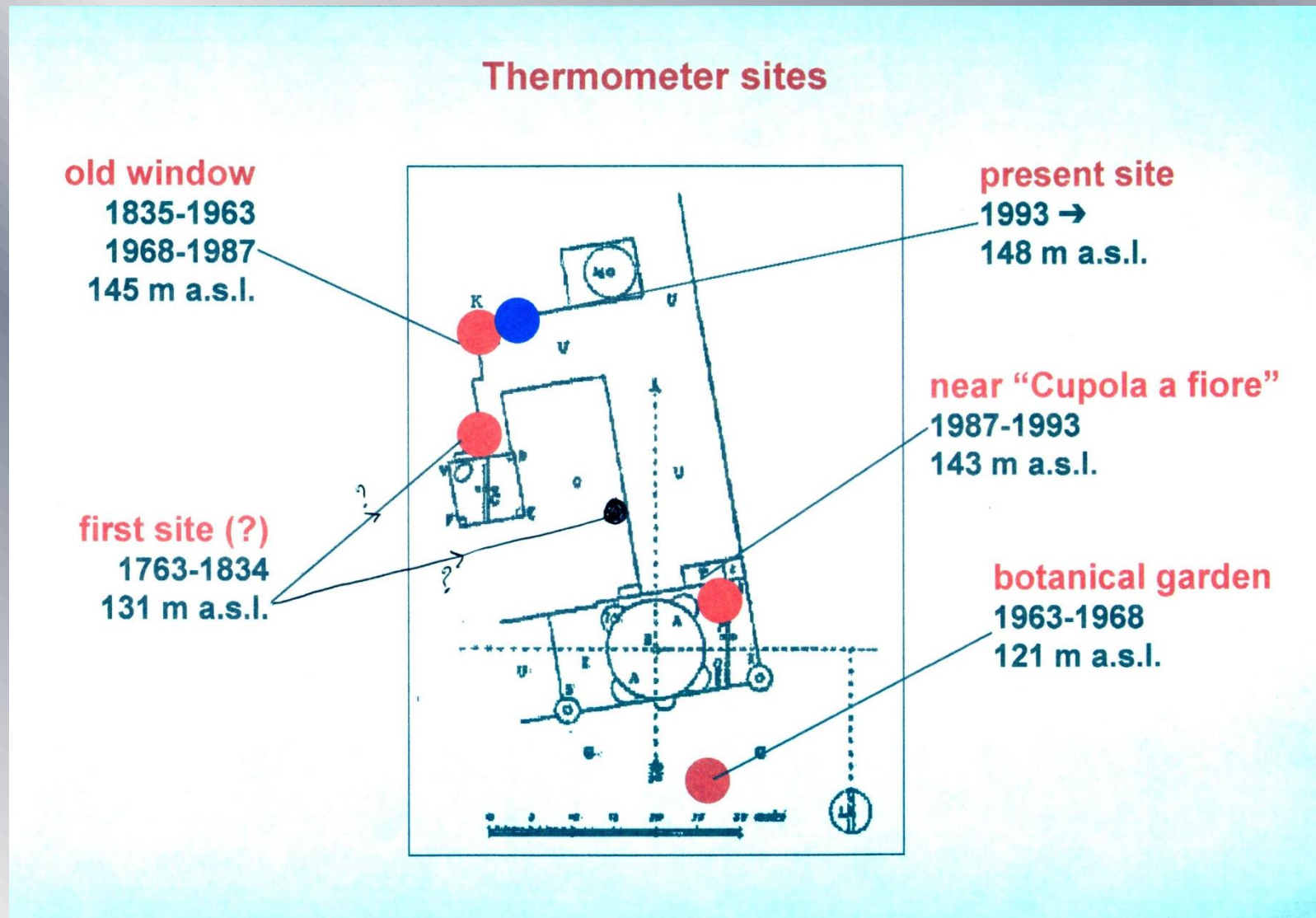
Stazioni secolari italiane

Annali Meteorologici

Year.	January.			February.			March.			April.			May.			June.		
	Max.	Min.	Avr.	Max.	Min.	Avr.	Max.	Min.	Avr.	Max.	Min.	Avr.	Max.	Min.	Avr.	Max.	Min.	Avr.
1868										98	36	67.20	101	55	80.03	107	57	76.55
1869	75	24	45.93	85	28	50.47	96	33	57.46	102	36	63.98	101	45	79.37	98	55	78.06
1870	84	19	41.70	74	19	49.83	89	25	55.84	90	35	65.17	98	59	72.82	93	62	82.41
1871	78	12	44.58	93	27	53.57	95	35	59.08	101	32	69.04	102	43	73.12	102	66	78.00
1872	79	13	40.98	81	22	49.60	87	30	54.74	97	34	64.88	102	42	74.56	102	58	81.50
1873	80	2	45.00	82	18	54.24	86	30	61.47	94	31	68.83	99	44	73.50	100	66	87.02
1874	80	18	46.50	82	28	53.50	84	35	57.39	91	34	64.67	99	51	73.92	104	72	81.18
1875	71	7	47.43	78	24	43.63	92	35	67.76	95	44	69.06	107	55	77.10	105	56	80.20
1876	79	31	51.16	85	19	52.44	86	19	54.24	98	34	69.36	101	45	76.35	104	56	80.17
1877	78	14	45.64	87	24	53.18	84	30	61.84	89	35	63.70	97	42	72.91	104	50	80.50
1878	74	8	43.62	84	10	49.74	88	29	57.71	98	40	67.18	96	43	73.26	102	58	82.72
1879	76	3	46.28	87	11	49.35	92	19	63.76	94	31	66.31	101	50	78.95	102	48	82.34
1880	89	15	57.23	66	15	50.21	86	14	58.52	97	25	71.49	98	46	78.61	101	52	84.31
1881	82	6	36.96	78	16	47.58	86	26	58.32	96	32	66.84	90	48	73.17	106	59	81.88
1882	72	18	46.57	77	31	55.71	88	28	61.90	95	30	68.16	94	52	74.08	103	57	83.61
1883	78	3	41.87	81	5	45.90	84	26	57.41	94	31	62.98	103	48	77.35	105	54	78.15
1884	79	5	38.04	82	17	46.85	89	26	58.97	95	32	61.56	93	44	69.02	100	53	82.05
1885	74	29	35.35	79	15	45.64	90	30	54.61	99	42	67.18	93	45	71.09	107	62	84.63
1886	80	3	39.51	78	17	50.15	87	24	60.94	93	30	68.80	107	50	81.14	112	60	81.14
1887	84	5	43.51	84	14	50.42	95	29	60.86	101	34	67.78	101	43	74.60	107	64	82.07
1888	79	1	40.84	79	28	50.34	91	24	51.78	94	43	66.13	98	51	97.43	104	58	
1889	75	21	46.32	81	17	50.08	85	35	57.20	94	44	69.11	98	43	72.13			

[illegible]

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

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

TREND ($^{\circ}\text{C}/100\text{y}$)

Il 1816, l'anno senza estate

Nebbia e pioggia persistente negli Stati Uniti

Nevicate 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

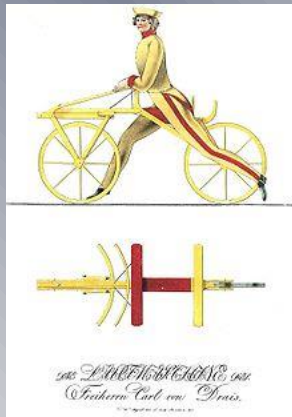
Epidemie di colera e di tifo

Moria dei cavalli: penuria di mezzi di trasporto

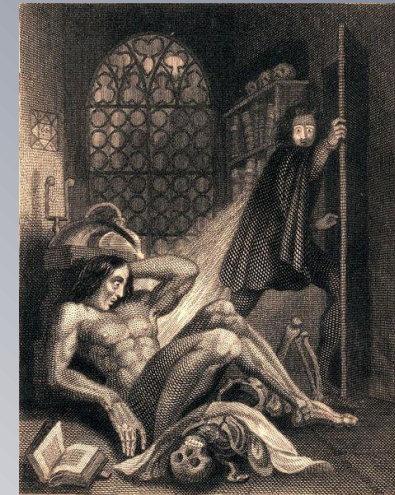
Il 1816, l'anno senza estate



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

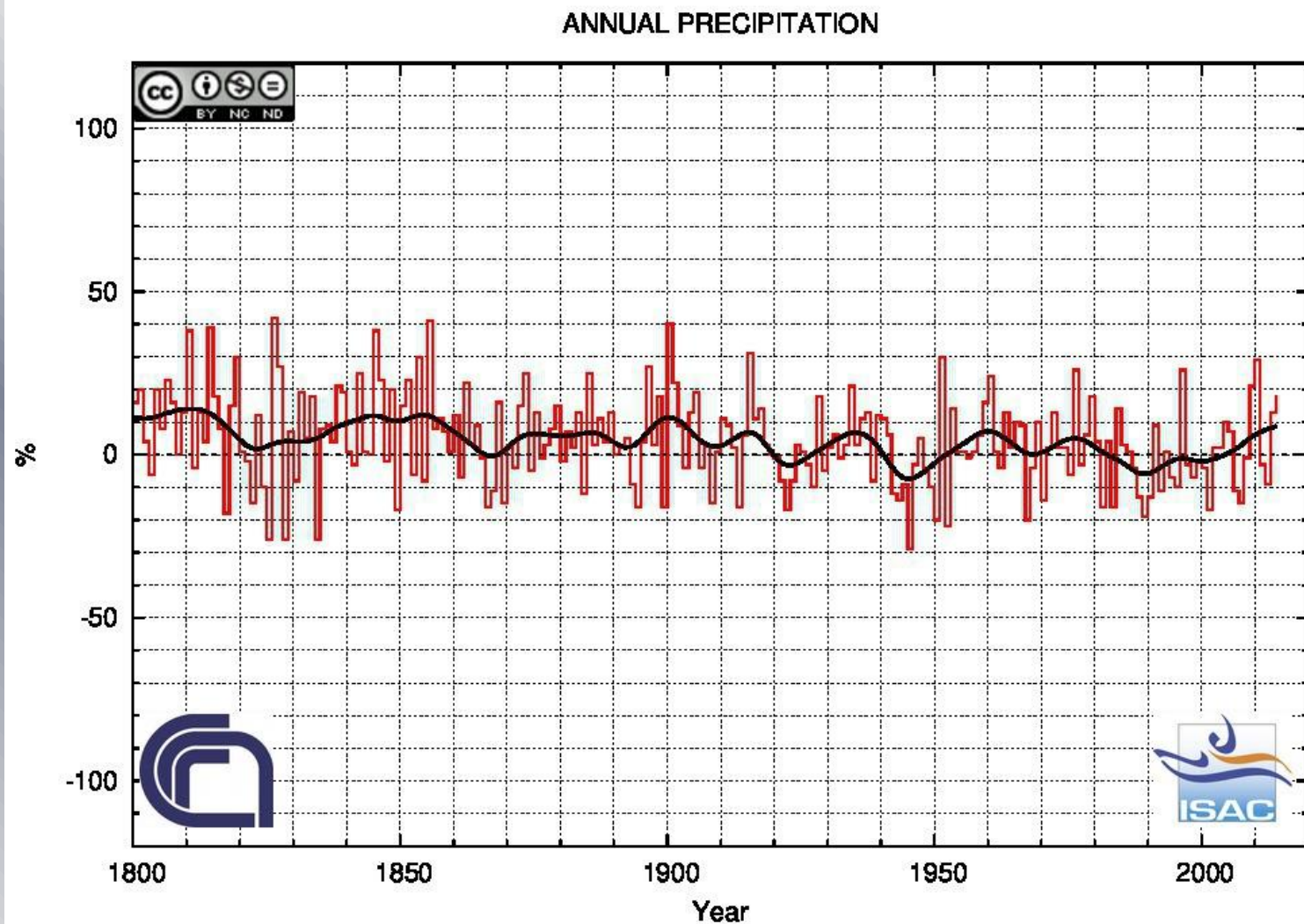


Draisina, da Karl Drais



“Frankenstein”, di Mary Shelley

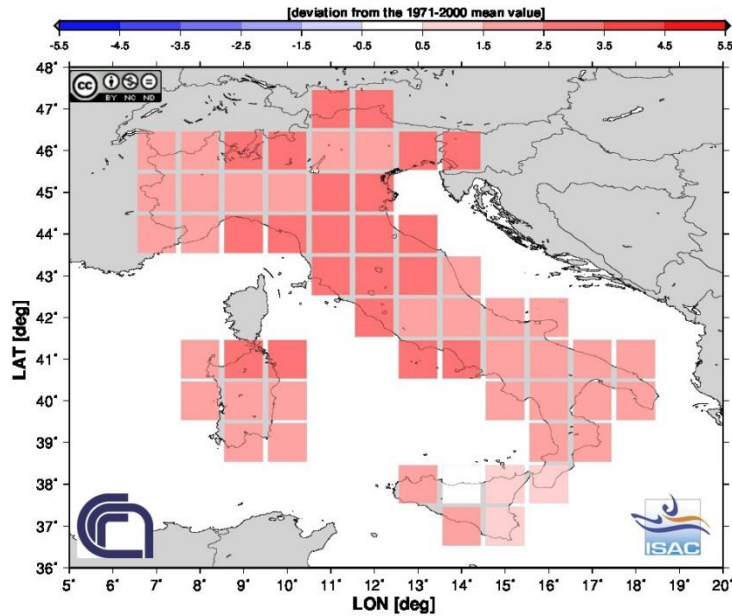
Il Riscaldamento Globale in Italia



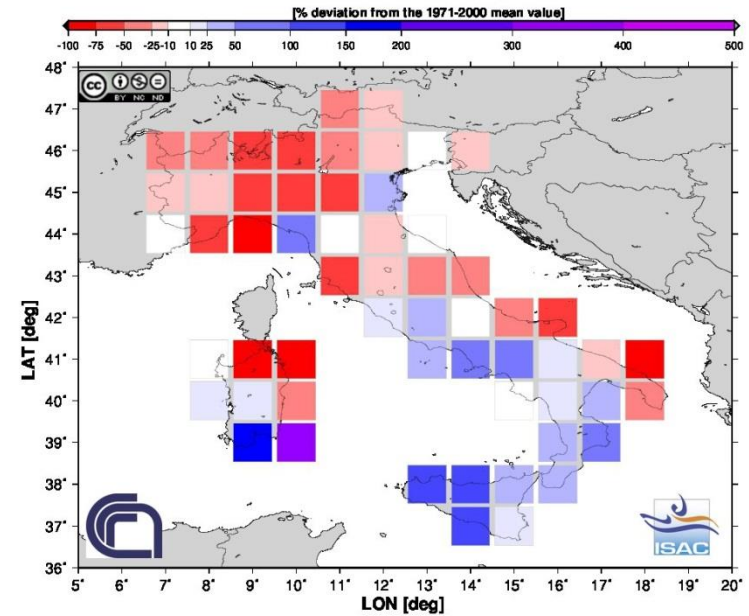
Anomalie di P medie annuali rispetto al 1971-2000 (in %)

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

Riscaldamento globale, estate 2015

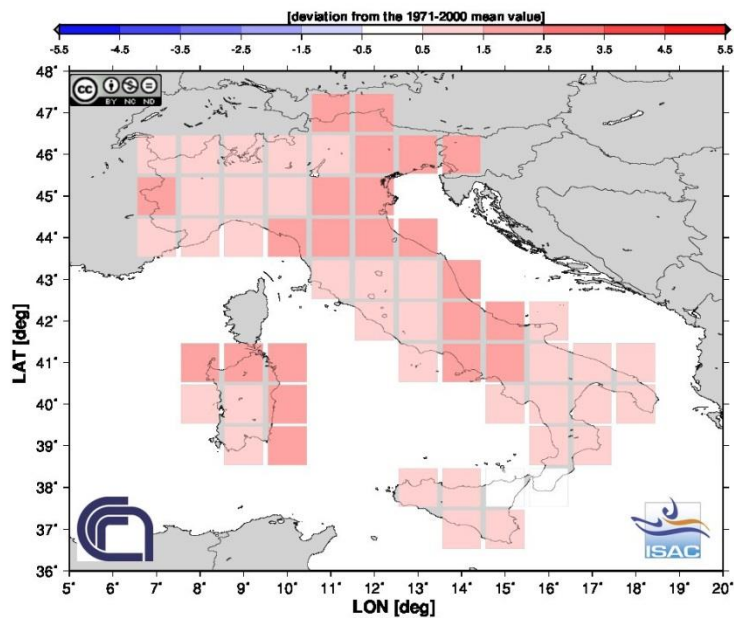


Anomalie TEMP, Estate 2015

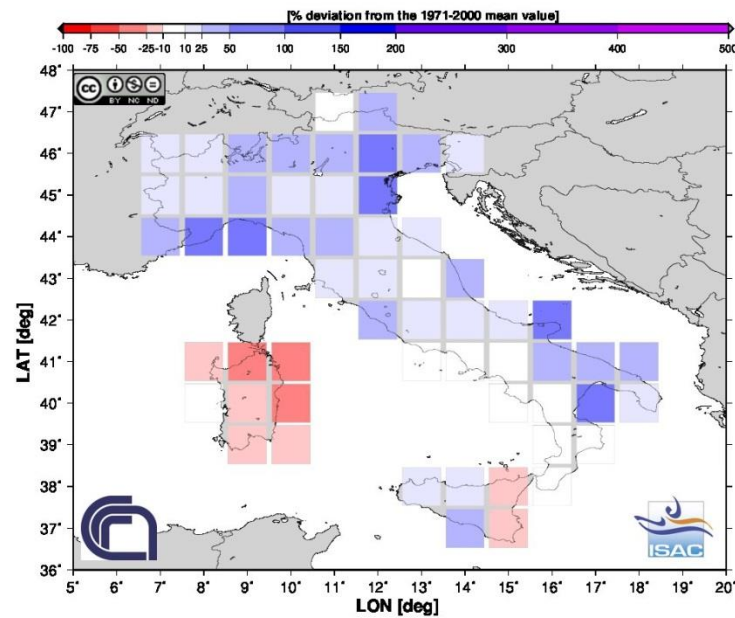


Anomalie PREC, Estate 2015

Riscaldamento globale, anno 2014

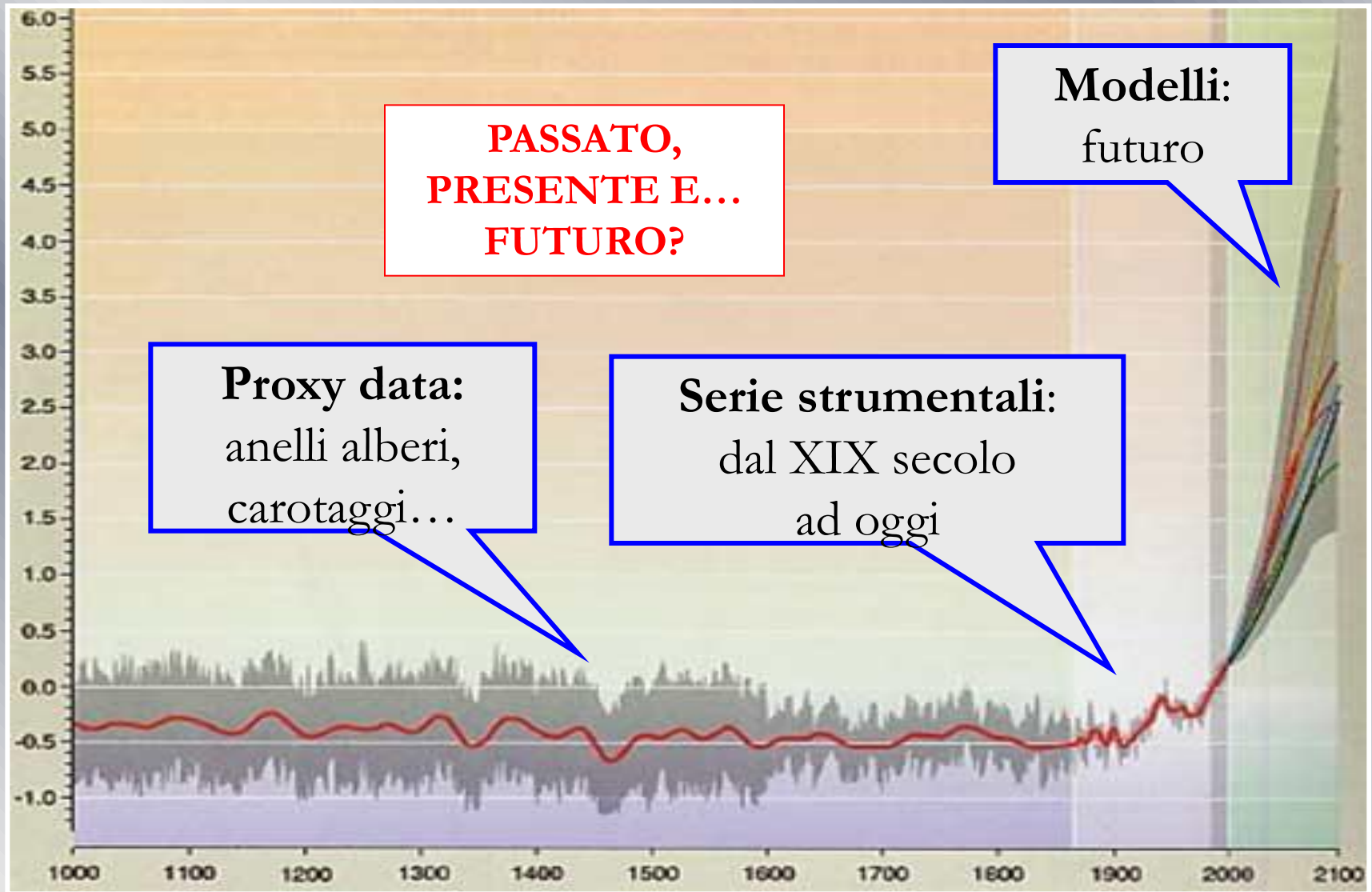


Anomalie TEMP, anno 2014



Anomalie PREC, anno 2014

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?

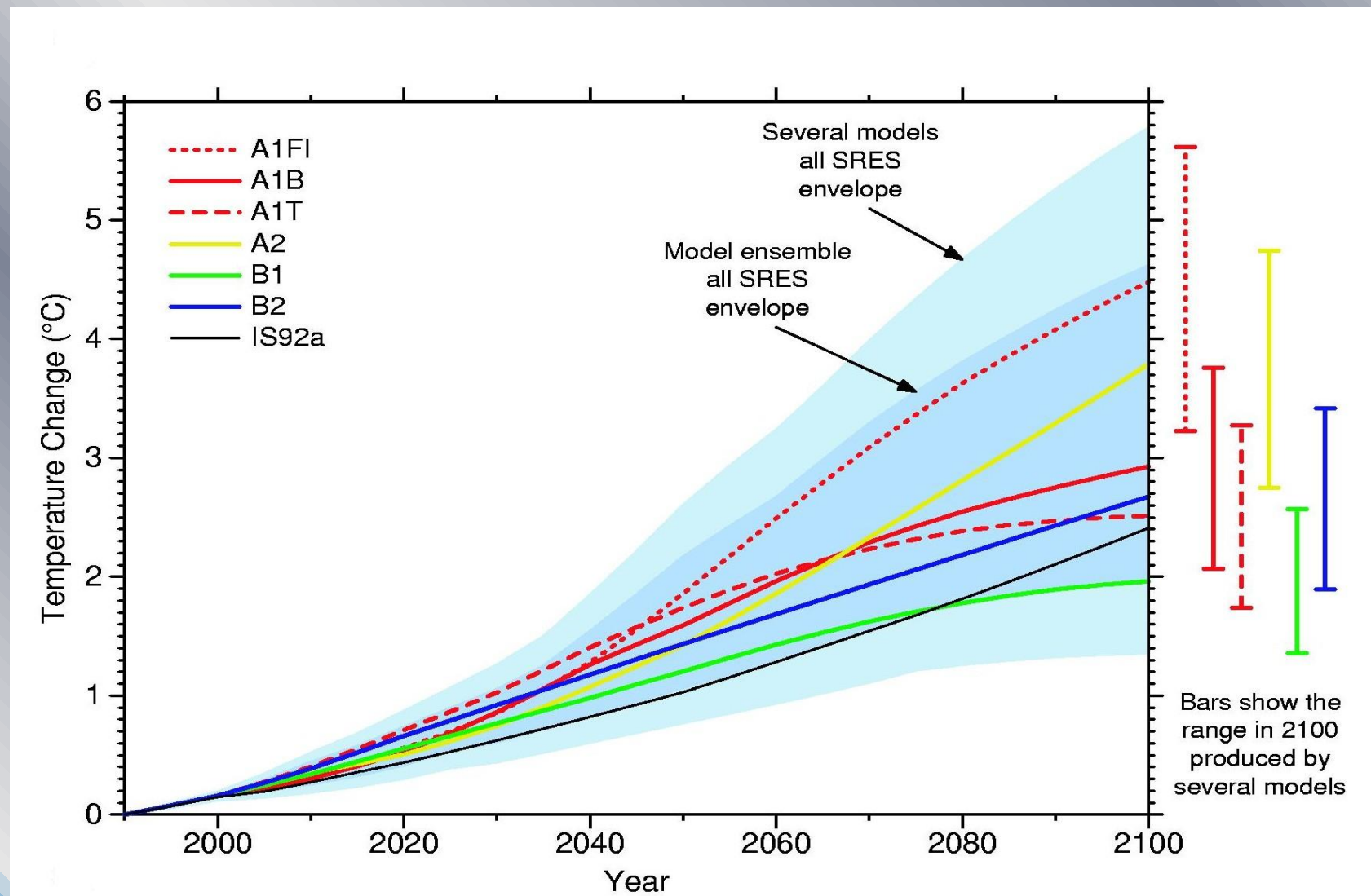
Cosa **NON** si può loro chiedere?

- *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

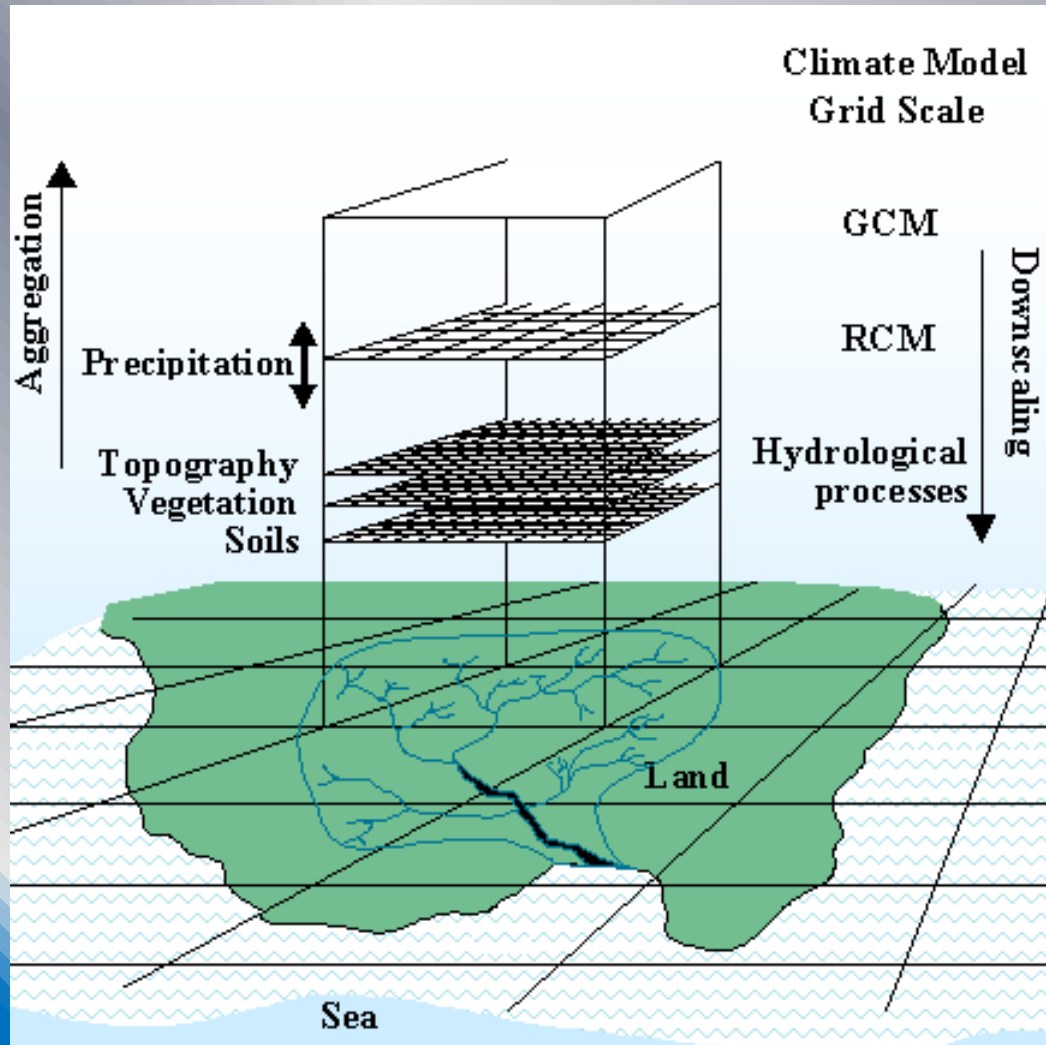
I MODELLI CLIMATICI: 1e PROIEZIONI



Le Proiezioni sono, PER DEFINIZIONE, affette da grandi incertezze

GLI STUDI DI IMPATTO LOCALE

Calibrazione dei Modelli con caratteristiche locali = abbassamento di scala

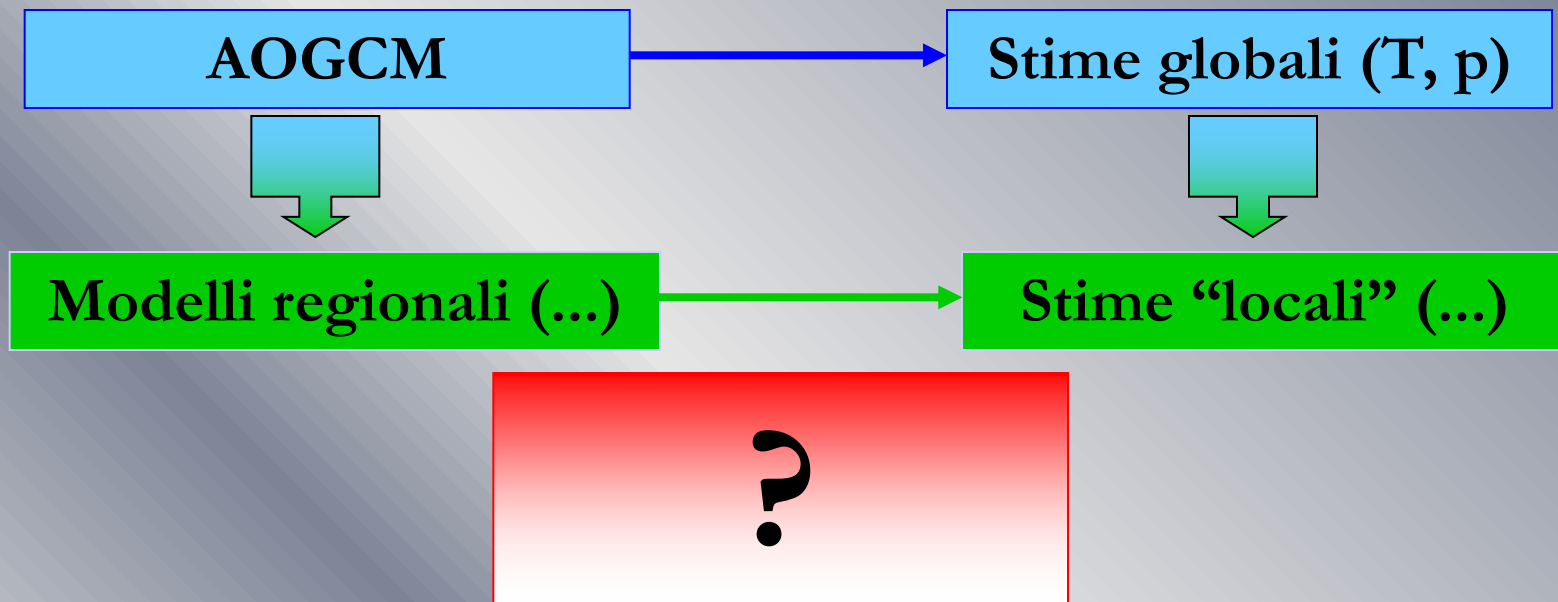


Tendenze (o *trend*) delle variabili a *grande scala*, *proiettate dai Modelli*:
Temperatura, Pressione...



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

Risoluzione e scopi



Studi di Impatto e Strategie di Adattamento

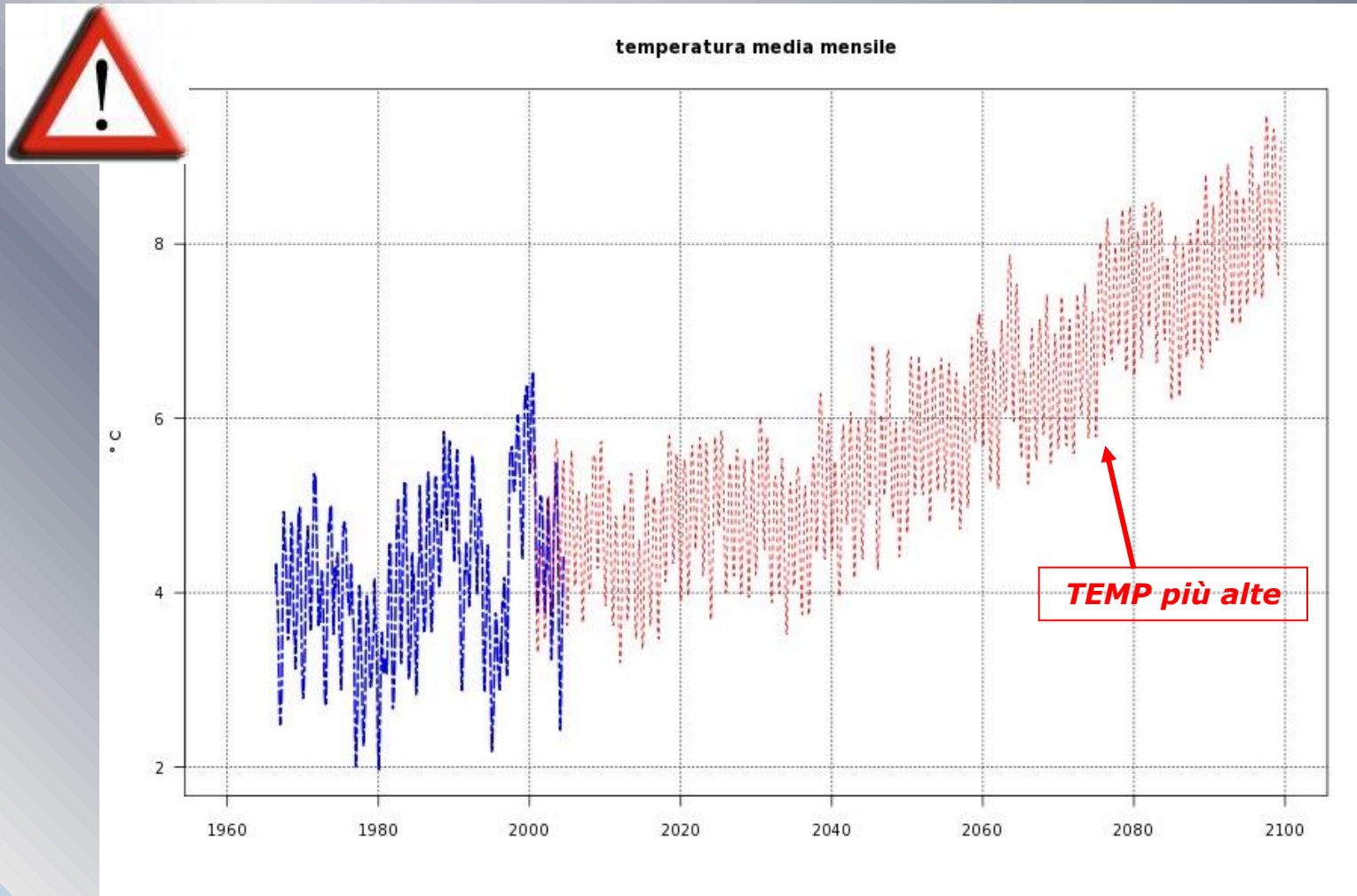
“Serie storica futura”: temperature estive Nord Italia

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

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

Proiezioni per l'Area dell'Adamello

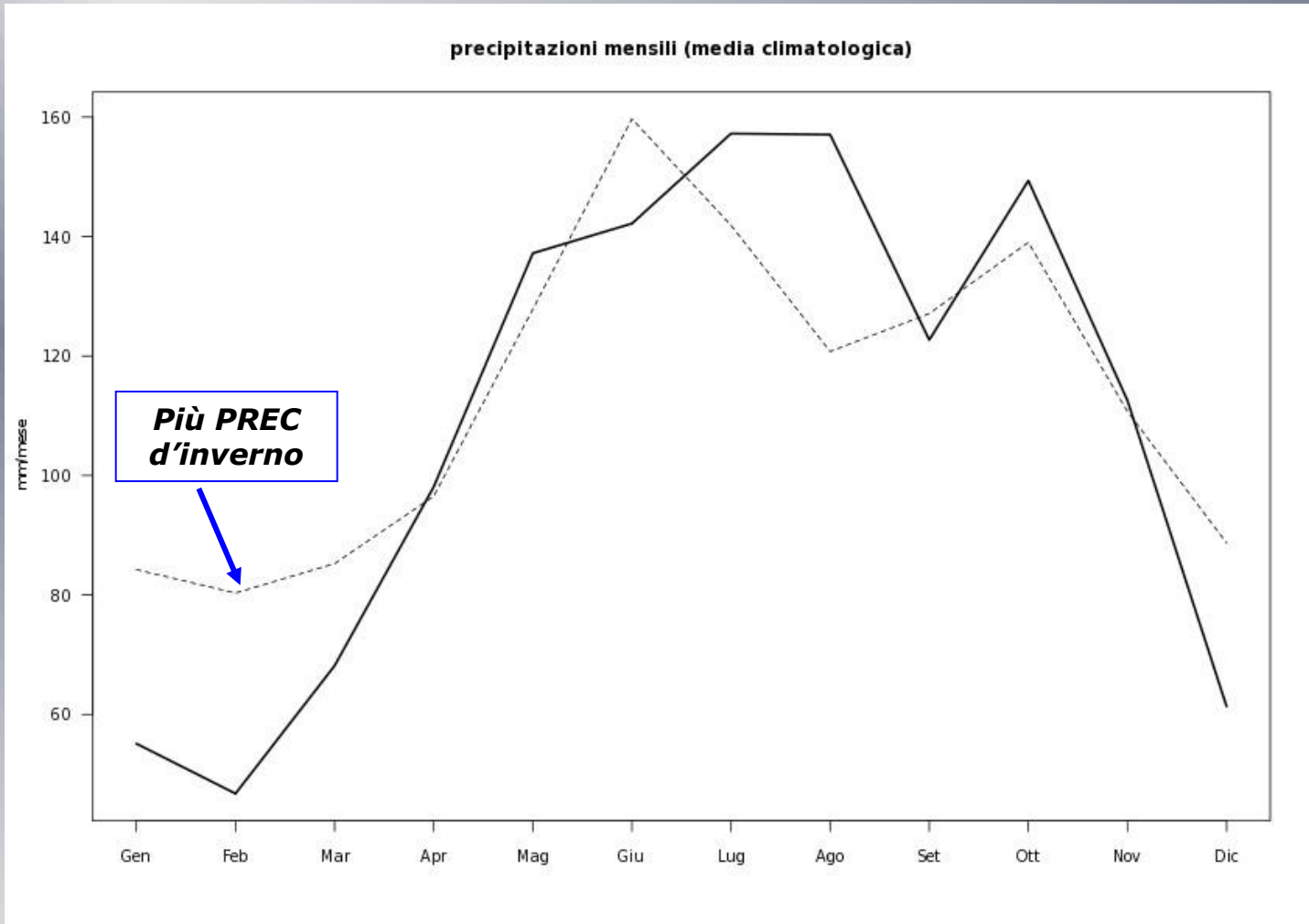
*La proiezione per le **TEMPERATURE**: esempio di **Avio***



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*)

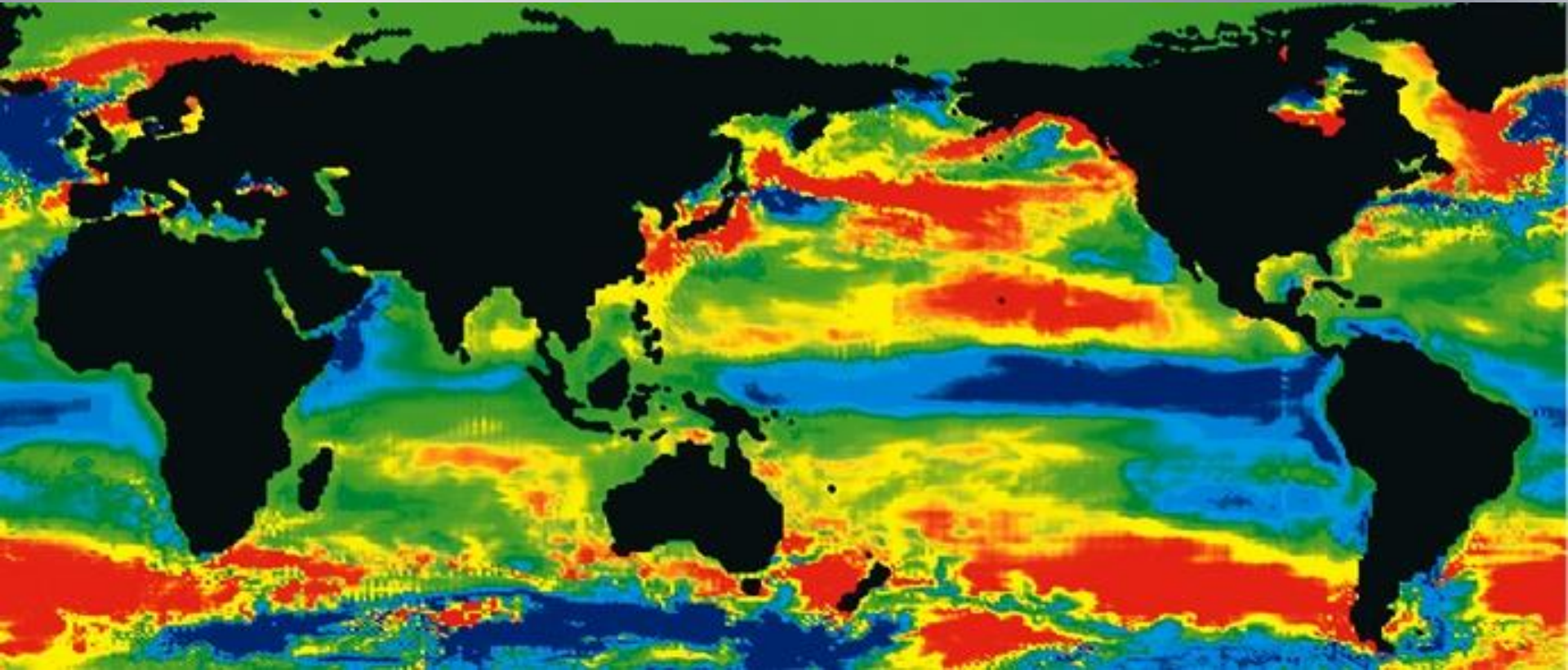
Quanti enti/istituzioni/persone coinvolgiamo?

Le Strategie d'Adattamento:

Possibili strategie di adattamento – a basso costo!

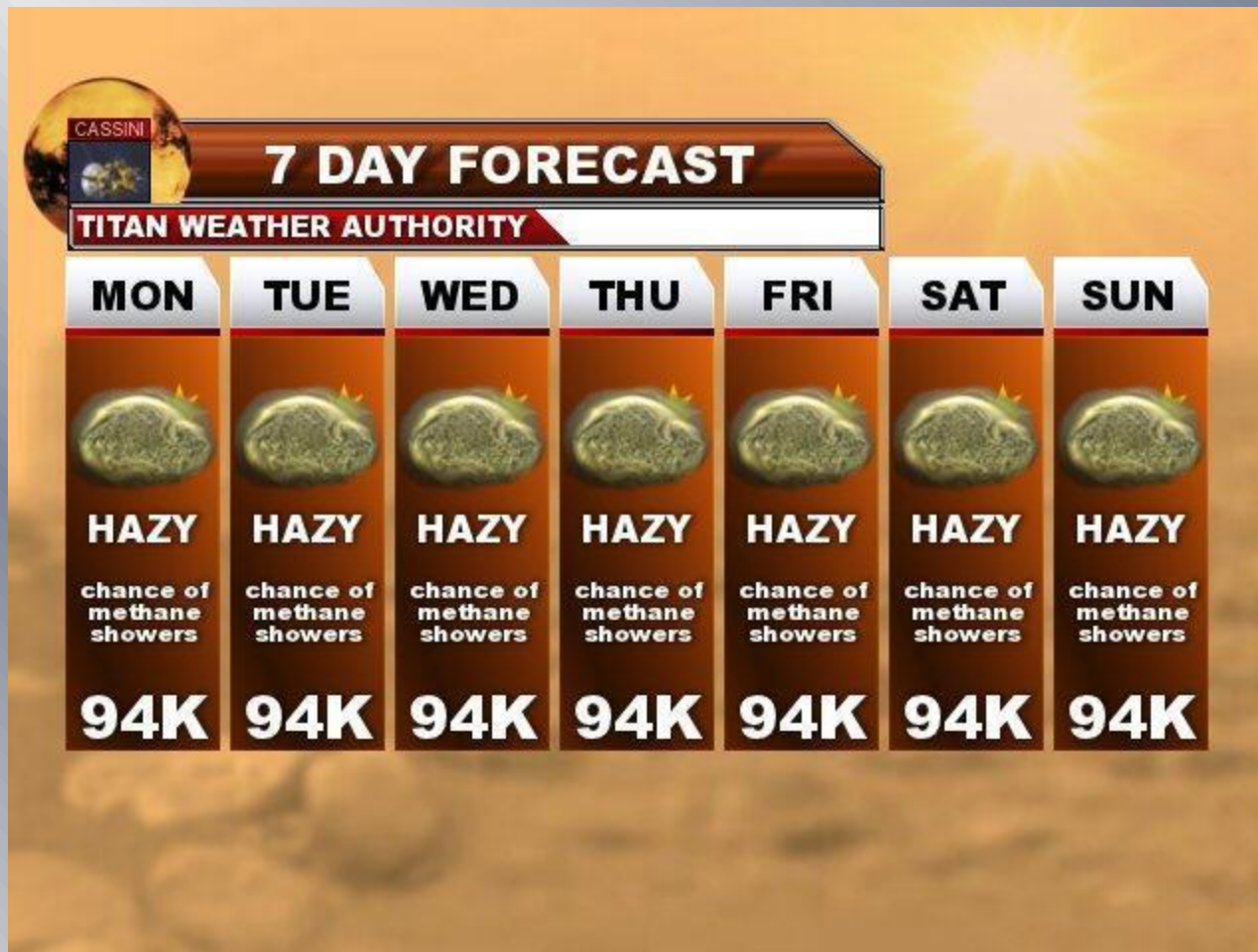
- *Gestione sostenibile delle foreste (afforestazione, riforestazione, mancata deforestazione)*
- *Procedure di protezione dei ghiacciai*
- *Invasi e serbatoi utilizzati in modo polivalente*
- *Salvaguardia delle sorgenti di montagna*
- *Agricoltura conservativa*
- *Edilizia ecosostenibile*

Grazie per l'attenzione



gianluca.lentini@polimi.it

Previsioni del tempo su Titano



Buona gita al lago!