

# Luigi Mariani

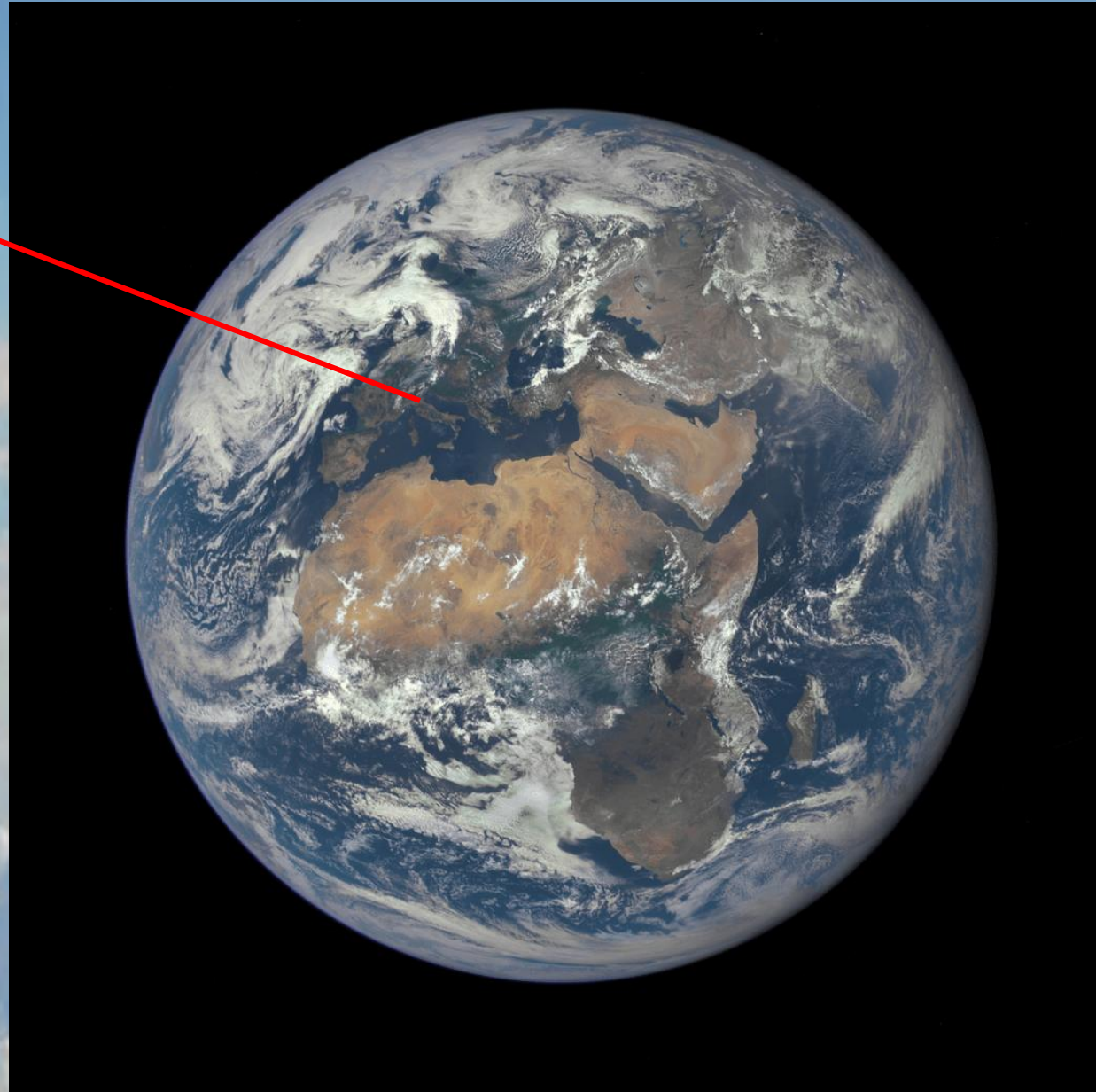
Università degli Studi di Brescia – Dicotam

Museo di Storia dell'Agricoltura – sez. di paleoclimatologia

**Cambiamenti climatici - dal clima globale al microclima del vigneto**



# Come dialoga una foglia di vite con l'intero pianeta?



Come dialoga il micro con il macro e viceversa? Il dialogo avviene attraverso l'atmosfera e comporta scambi di energia (radiazione, calore) e materia ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ )...



*Prof. Maurizio Borin  
(1956-2025)*

# Galileo Galilei (1564-1642)

## professore di matematica e fisica a Padova



Galilei insegnò a Padova per ben 18 anni, ricordati dallo stesso scienziato come i più belli. Le sue lezioni erano molto apprezzate per la semplicità e la chiarezza dell'esposizione, a tal punto che nessuno si lamentasse dei ritardi ed assenze.

<https://www.blogdipadova.it/galileo-galilei-padova>



*La Cattedra di Galileo nella Sala dei Quaranta del Palazzo del Bo*

# Galileo Galilei (1564-1642) appassionato di viticoltura



**La passione per la vigna** (che peraltro accomuna Galileo a Leonardo e a Petrarca) è attestata da **Vincenzo Villani**, che di Galileo fu assistente ad Arcetri dal 1639 al 1642, nella sua biografia del maestro (*Racconto storico della vita del Signor Galileo Galilei*) scrive che “*tale era il diletto ch'egli aveva nella delicatezza de' vini e dell'uve, e nel modo di custodire le viti, ch'egli stesso di propria mano le potava e legava nelli orti delle sue ville, con osservazione, diligenza et industria più che ordinaria; et in ogni tempo si diletto grandemente dell'agricoltura.*”

*Vitis vinifera* secondo Pier Andrea Mattioli (1544).

# Galileo Galilei (1564-1642)

padre della meteorologia e della scienza sperimentale



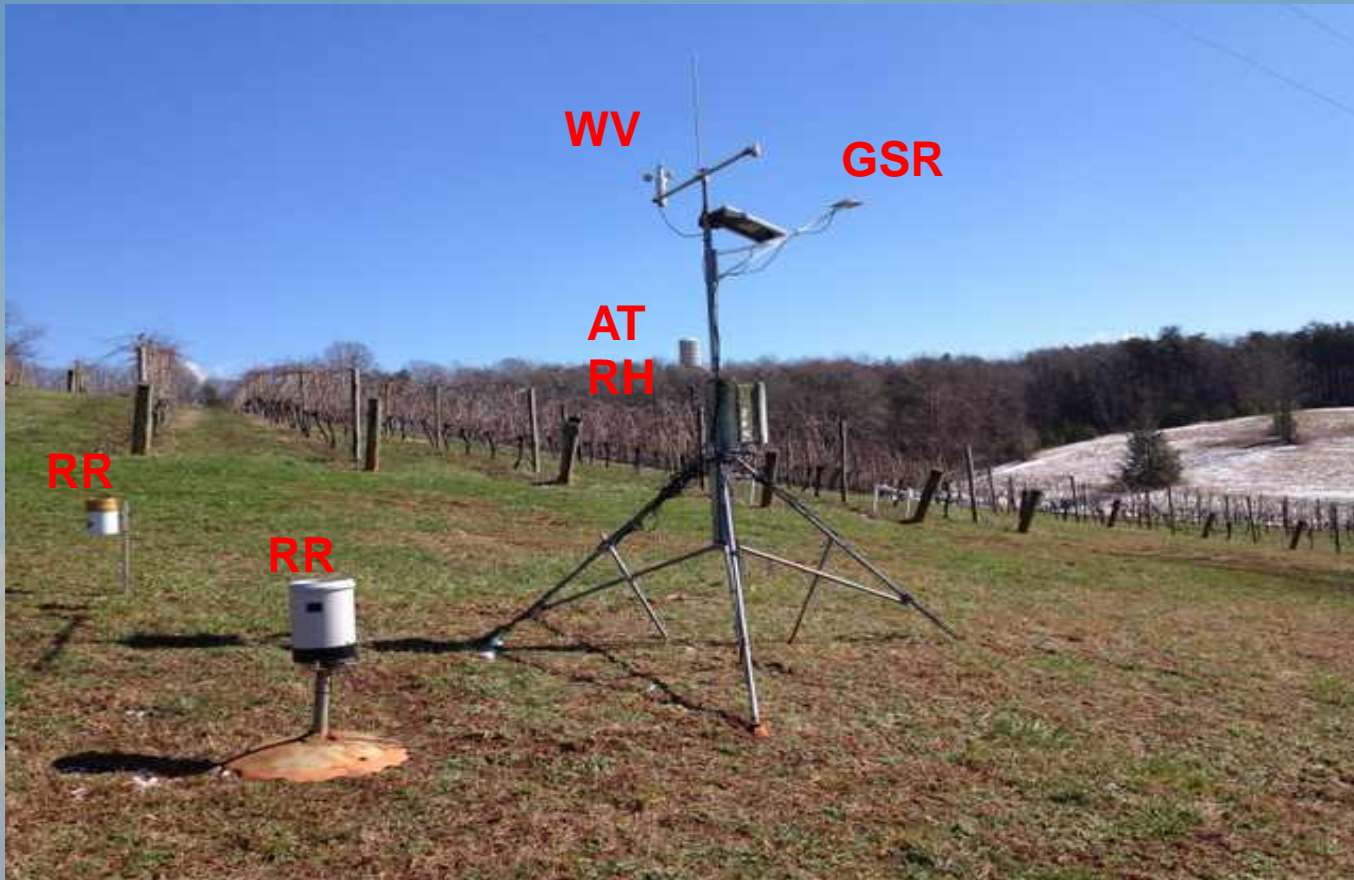
Prima metà del XVII secolo: Galileo e i suoi allievi inventano i sensori (termometro, pluviometro, evaporimetro, barometro).  
**1657: l'Accademia del cimento** (società scientifica toscana fondata dai Medici, prima a applicare il metodo sperimentale galileiano) intraprende monitoraggi con misure giornaliere (rete toscana: 1657 - 1667).



Lettera al gesuita Pietro Dini del 21 maggio 1611: *“i primi inventori trovarono et acquistarono le cognizioni più eccellenti delle cose naturali e divine con gli studii e contemplazioni fatte sopra **questo gradissimo libro, che essa natura continuamente tiene aperto innanzi a quelli che hanno occhi nella fronte e nel cervello**”* -> *“occhi sulla fronte”* per osservare e *“occhi nel cervello”* per interpretare (ovvero *“sensate esperienze”* e *“matematiche dimostrazioni”*).

# Occhi sulla fronte - Misurare rispettando gli standard

## Stazione meteo agricola collocata seguendo gli standard



Source: Lumpkin County vineyard - [www.gainesvilletimes.com/archives/79836/](http://www.gainesvilletimes.com/archives/79836/)

Chi fissa gli standard?

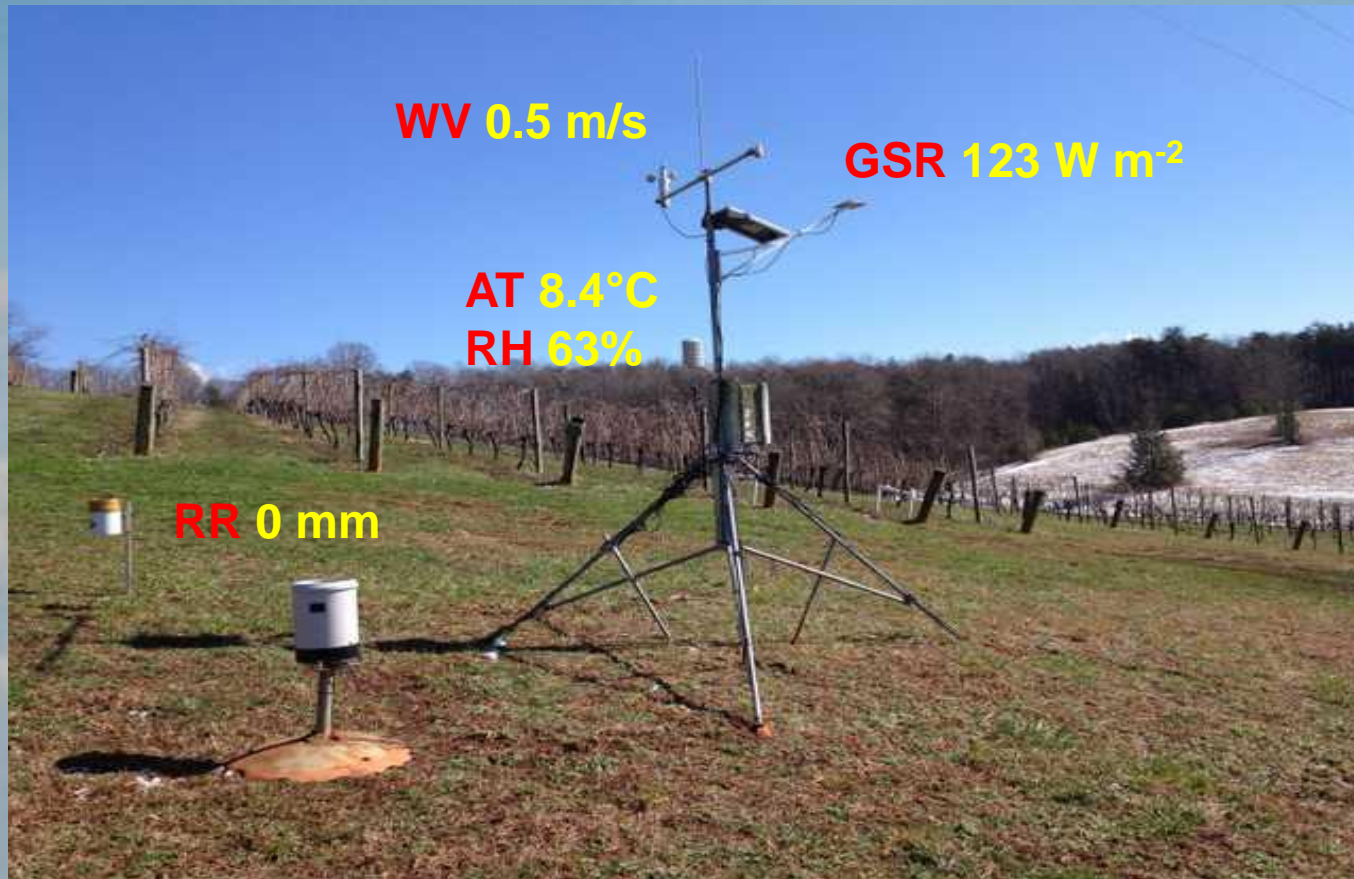
L'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO)

# Guida WMO n. 8





# Il tempo atmosferico (weather)



Source: Lumpkin County vineyard - [www.gainesvilletimes.com/archives/79836/](http://www.gainesvilletimes.com/archives/79836/)

# Dal tempo atmosferico al clima al cambiamento climatico

**Tempo atmosferico:** valori istantanei (giorno per giorno) delle diverse variabili atmosferiche – temperatura, umidità, precipitazioni, vento, radiazione, ecc.)

**Clima (astrazione statistica):** variabili atmosferiche viste su periodo lunghi (20-50 anni) e sottoposte a analisi statistica per ottenere valori medi ed estremi

**Cambiamento climatico (astrazione statistica):** variazioni significative in una o più variabili atmosferiche. Il **cambiamento climatico** deriva da fattori naturali (attività vulcanica, attività solare e sua variabilità, ecc.) e fattori antropici (emissioni di gas serra, urbanizzazione, dissodamenti...)

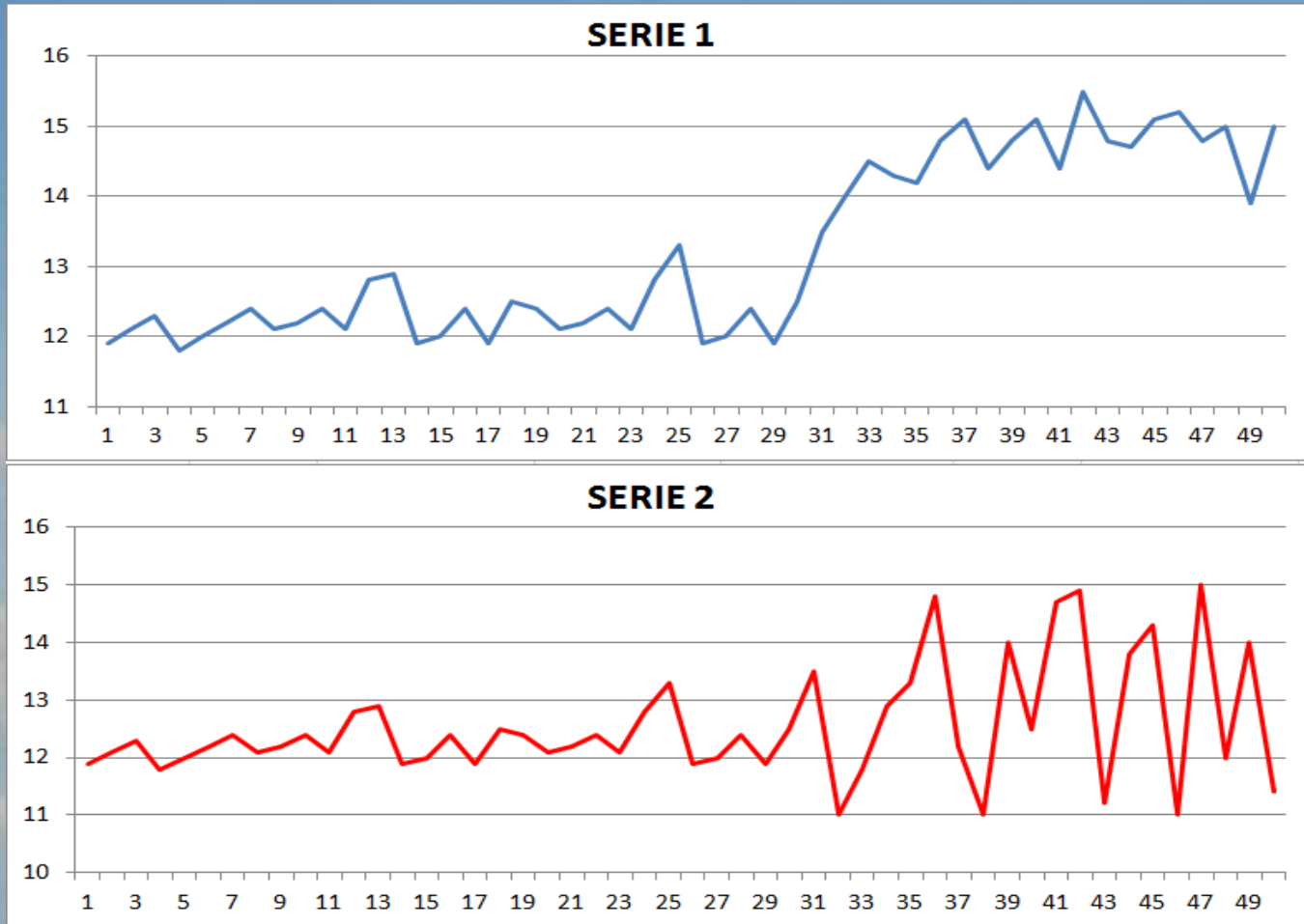
Discipline scientifiche coinvolte:

**meteorologia:** studia il tempo atmosferico

**climatologia:** studia il clima e il cambiamento climatico

**agrometeorologia:** studia i rapporti agricoltura e meeto-cliam e CC

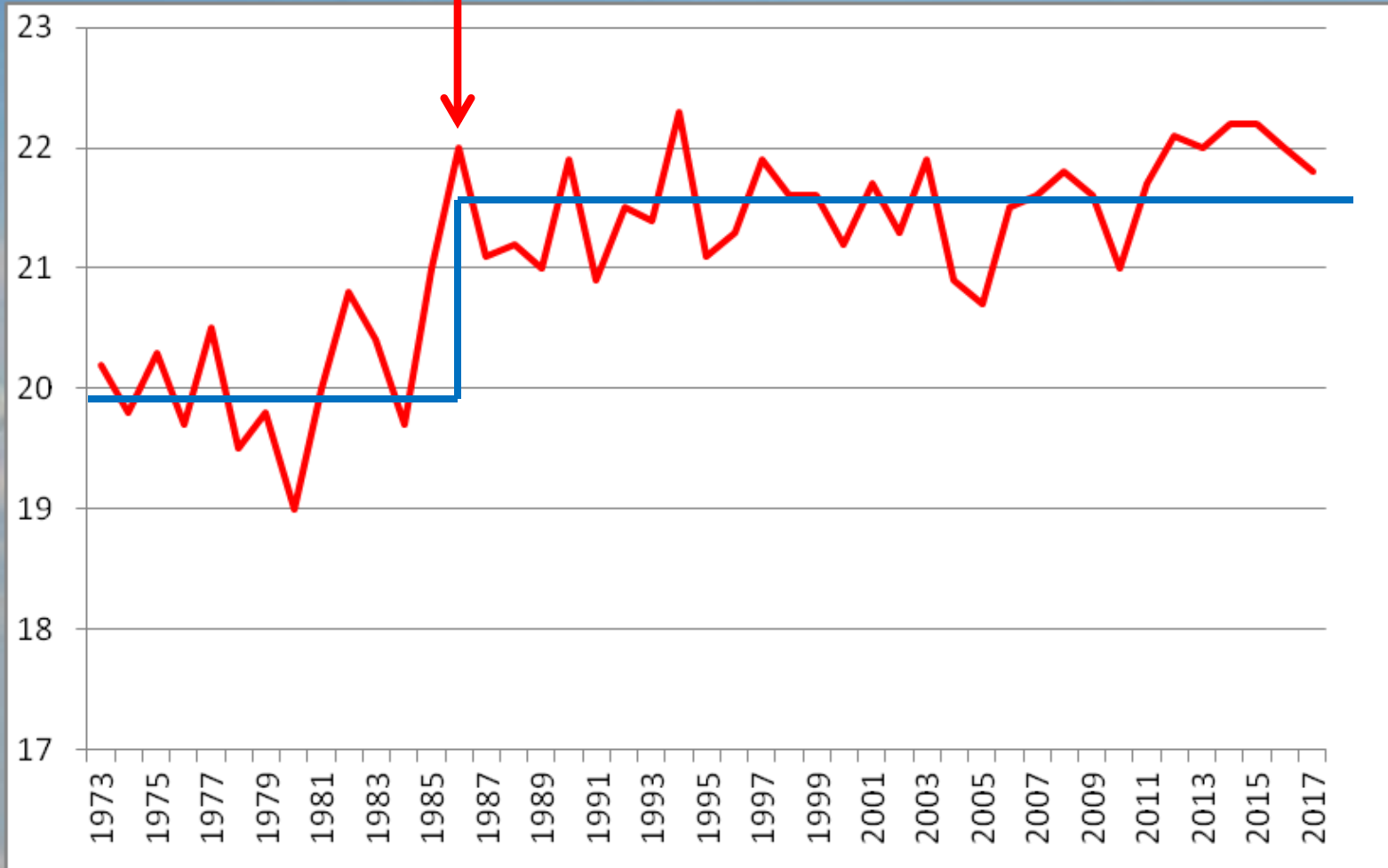
# Cambiamento climatico come variazione di una variabile meteo



Un C.C. come cambiamento nella media o nella variabilità (deviazione standard)

# Napoli 1973-2017 (temperatura massima)

Cambiamento climatico (1987)



# Cambiamento climatico e circolazione atmosferica

- cambiamento di frequenza e persistenza dei diversi tipi di circolazione atmosferica (tipi di tempo)

Esempio: casi di foehn nel semestre invernale a locarno Monti

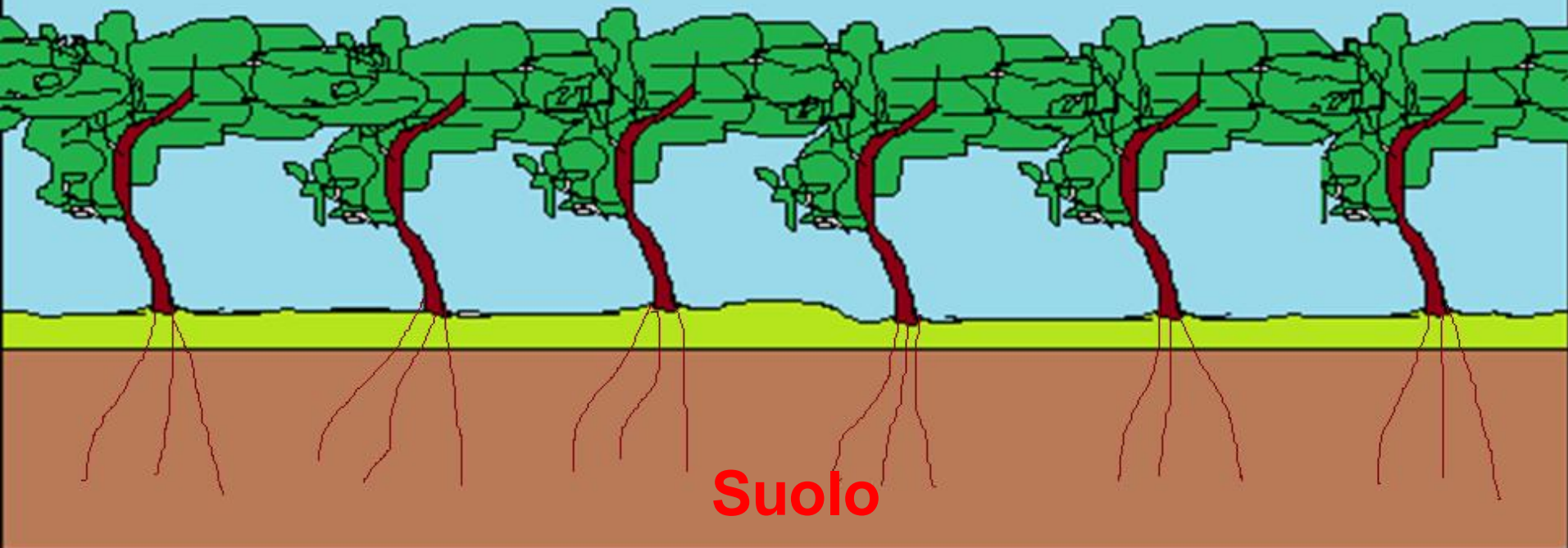
Ambrosetti P, Mariani L, Scioli P (2005). Climatology of north foehn in Canton Ticino and Western Lombardy. RIVISTA ITALIANA DI AGROMETEOROLOGIA, vol. 2, p. 24-30, ISSN: 1824-8705

# L'agro-ecosistema viticolo

In agrometeorologia il discorrere sulle variabili guida atmosferiche e il loro impatto nel vigneto è riferito non solo alla vite e più in generale all'agro-ecosistema viticolo.

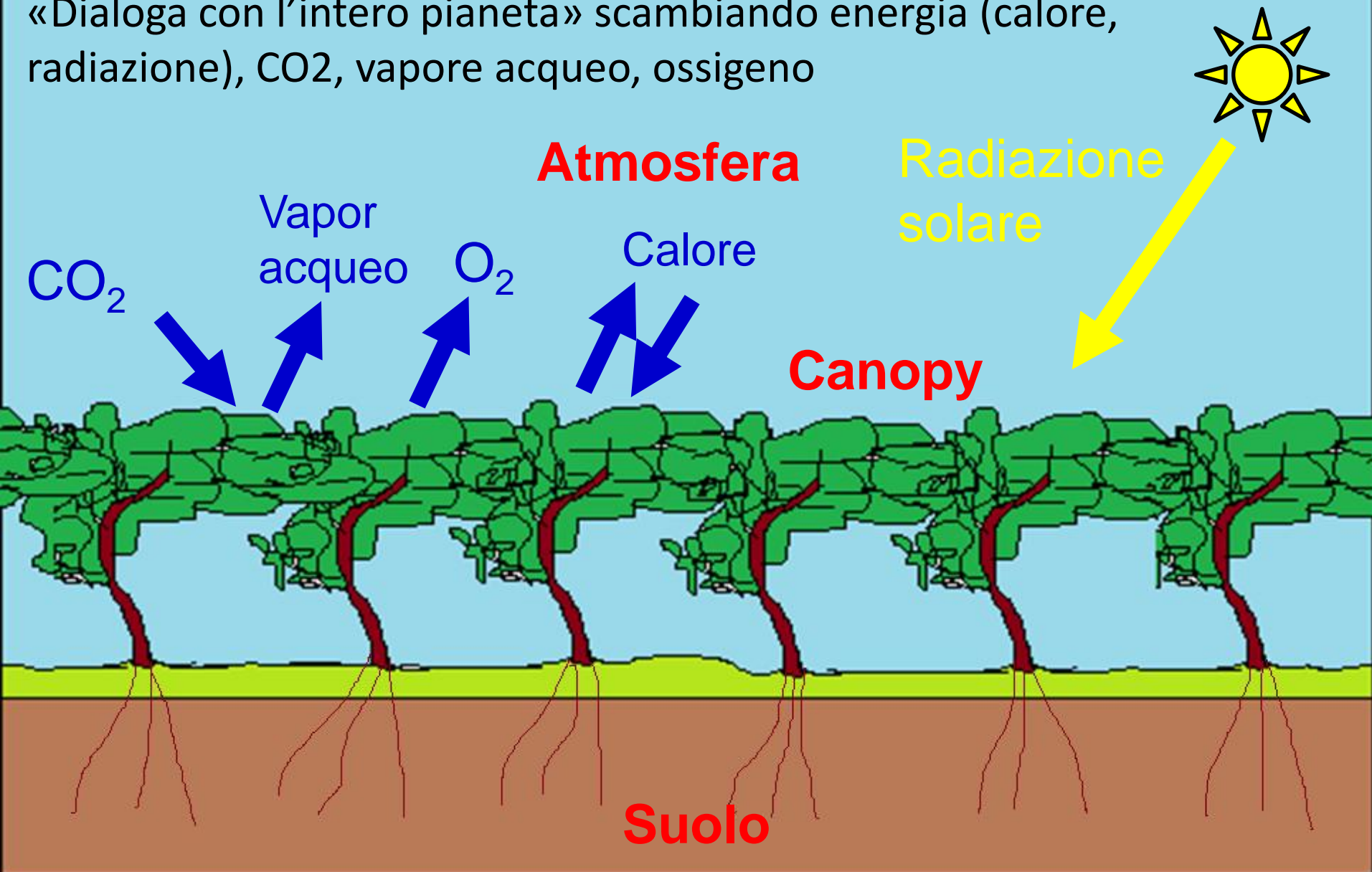
**Atmosfera**

**Chioma (canopy)**



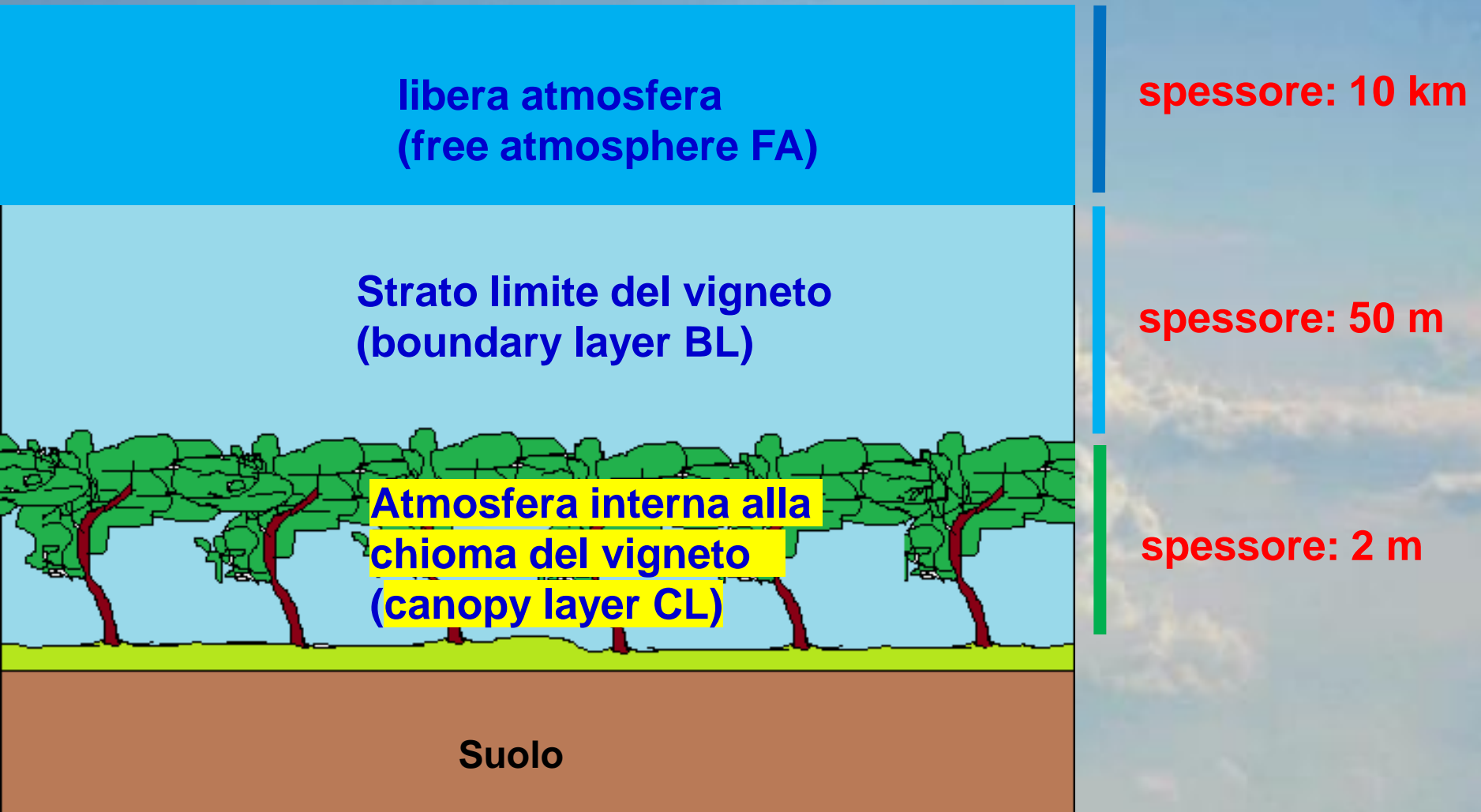
# L'agroecosistema viticolo non vive in una bolla!

«Dialoga con l'intero pianeta» scambiando energia (calore, radiazione), CO<sub>2</sub>, vapore acqueo, ossigeno



# Come fa a «dialogare con l'intero pianeta» ?

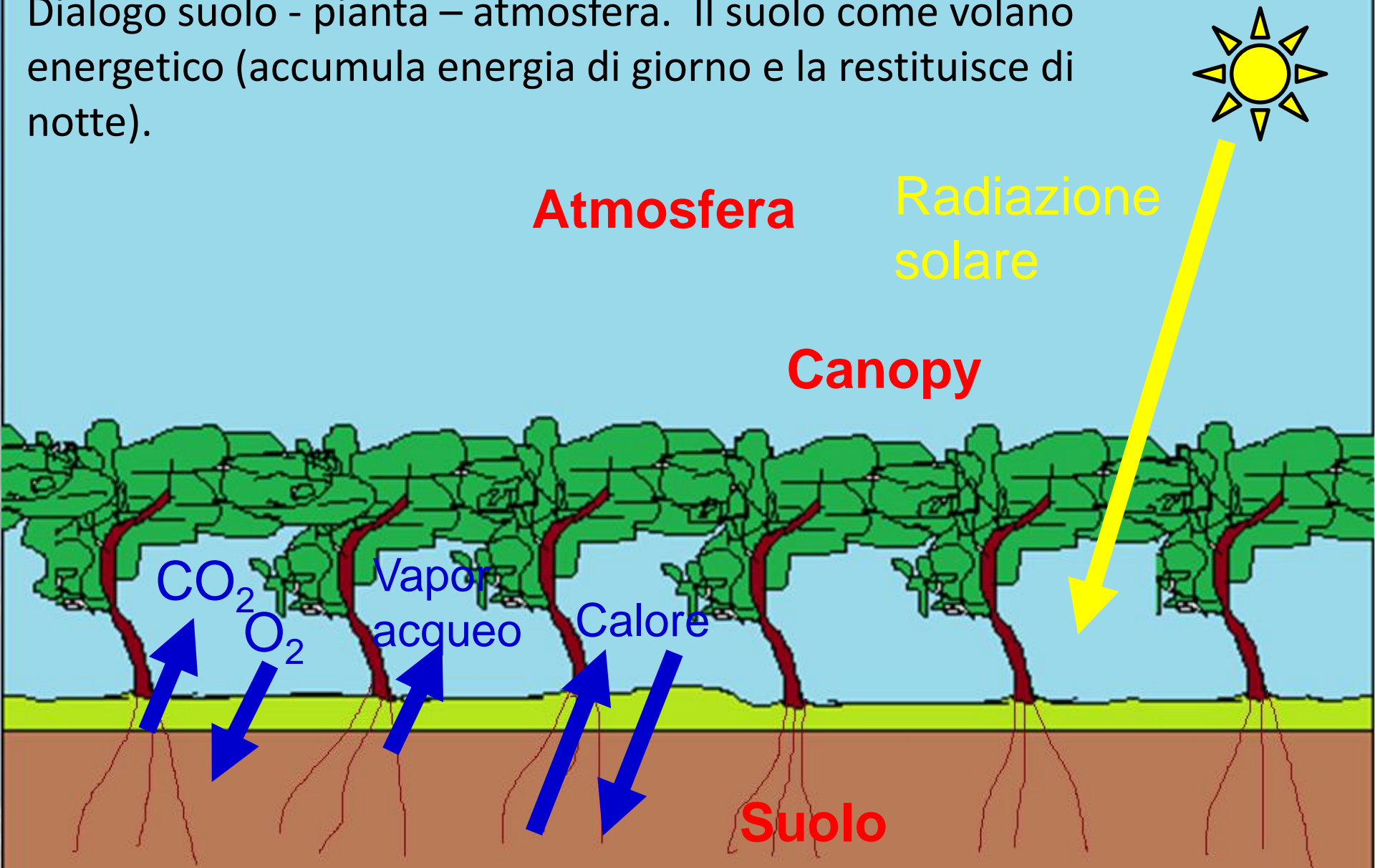
Lo fa attraverso una serie di strati atmosferici che lo sovrastano e lo «pervadono» -> micrometeorologia





In tutto ciò non deve sfuggire l'importanza del suolo !

Dialogo suolo - pianta – atmosfera. Il suolo come volano energetico (accumula energia di giorno e la restituisce di notte).



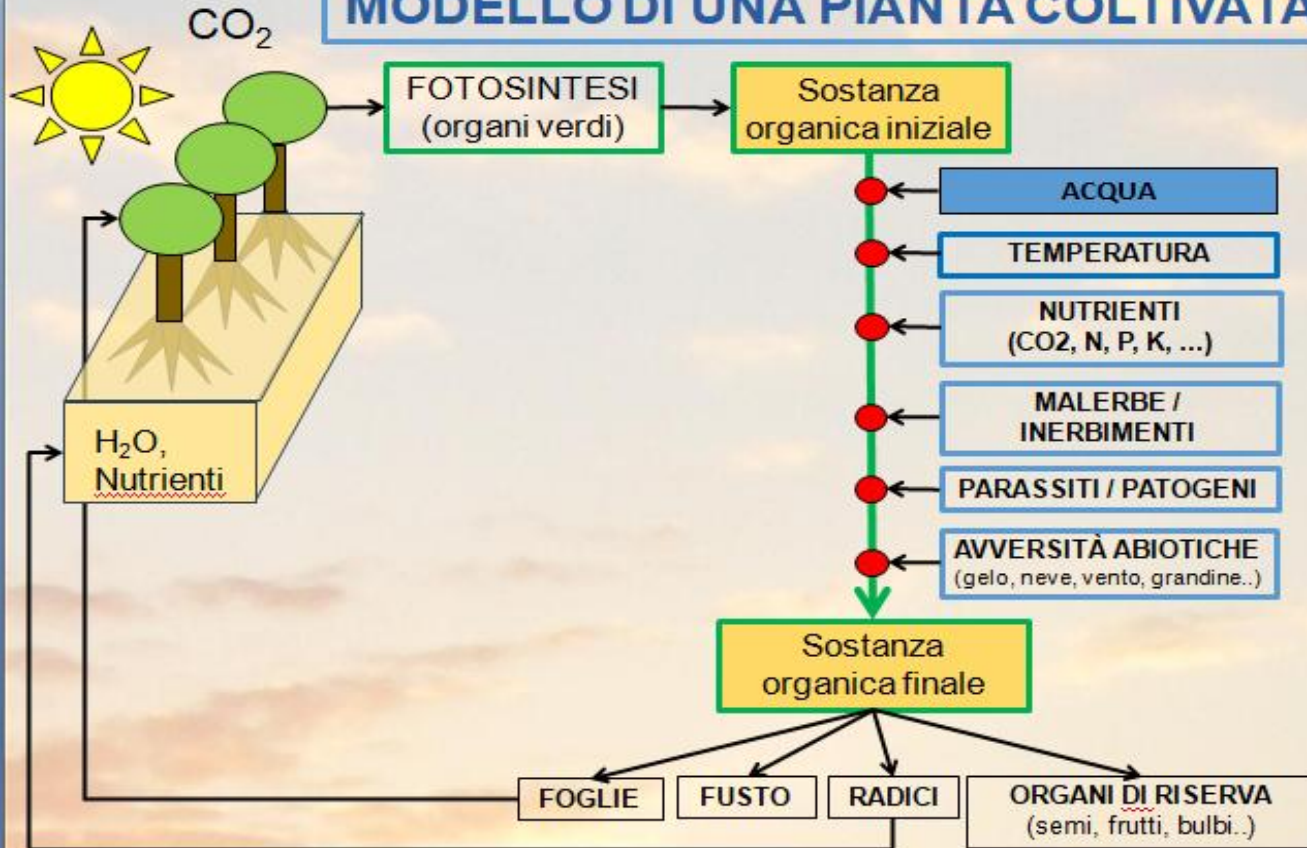
# Siamo nel campo della micrometeorologia

La micrometeorologia si occupa di: Degli scambi di energia fra suolo - pianta – strati atmosferici (FA, BL, CL– spazio esterno -> sole, irraggiamento dei corpi terrestri) -> bilanci radiativi e energetici delle superfici (ne parlo nel mio corso agronomia generale).

Gli scambi di energia sono ad esempio essenziali per comprendere come si genera e evolve nel tempo una gelata tardiva -> comprendere serve anche per capire come ci si può difendere.

# Schema di pianta coltivata

## MODELLO DI UNA PIANTA COLTIVATA



- nel suo flusso verso gli organi di accumulo (foglie, fusti, radici, e organi di riserva) la sostanza organica prodotta dalla fotosintesi è soggetta a una serie di limitazioni (rubinetti) di tipo termico, idrico, nutrizionale, fitosanitario (da parassiti, patogeni e malerbe), da avversità atmosferiche (vento, gelo, grandine, ecc.).



= **sole** come fonte di energia per la fotosintesi.



= **“rubinetti”** che regolano la conversione da sostanza organica lorda a sostanza organica finale che verrà ripartita fra foglie, fusti, radici e organi di riserva. Sono tutti aperti e chiusi da variabili meteorologiche. Esempio: per la vite se la temperatura è inferiore a 8°C o superiore a 36°C il “rubinetto” della temperatura si chiude e la sostanza organica finale è “zero”.

# Cosa dice tale schema di pianta coltivata



**Definisce il compito dell'agricoltore:** far sì che i rubinetti restino il più possibile aperti. Ciò lo ottiene con scelte di genetica (specie, varietà, clone) e di tecnica colturale (concimazione, irrigazione, diserbo, trattamenti contro parassiti e patogeni...)

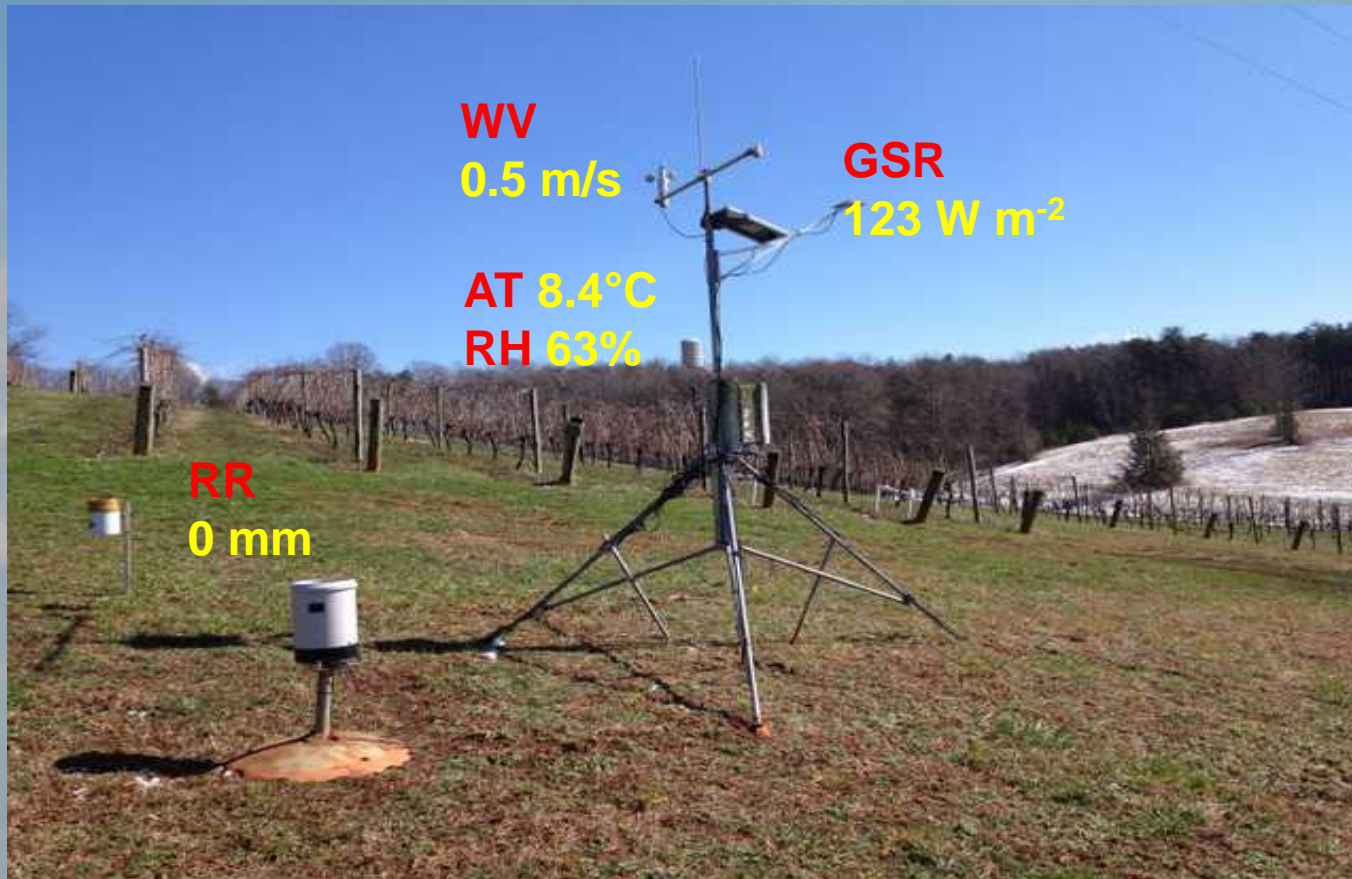


**Definisce il compito del ricercatore:** tradurre lo schema in relazioni matematiche in grado di esprimere in forma quantitativa i fenomeni con il fine pratico di indicare all'agricoltore le decisioni conseguenti (DSS per difesa, gestione idrica, gestione nutrizionale, ecc.).



## Il sistema climatico: struttura, funzioni

# Le variabili atmosferiche sono frutto del sistema climatico

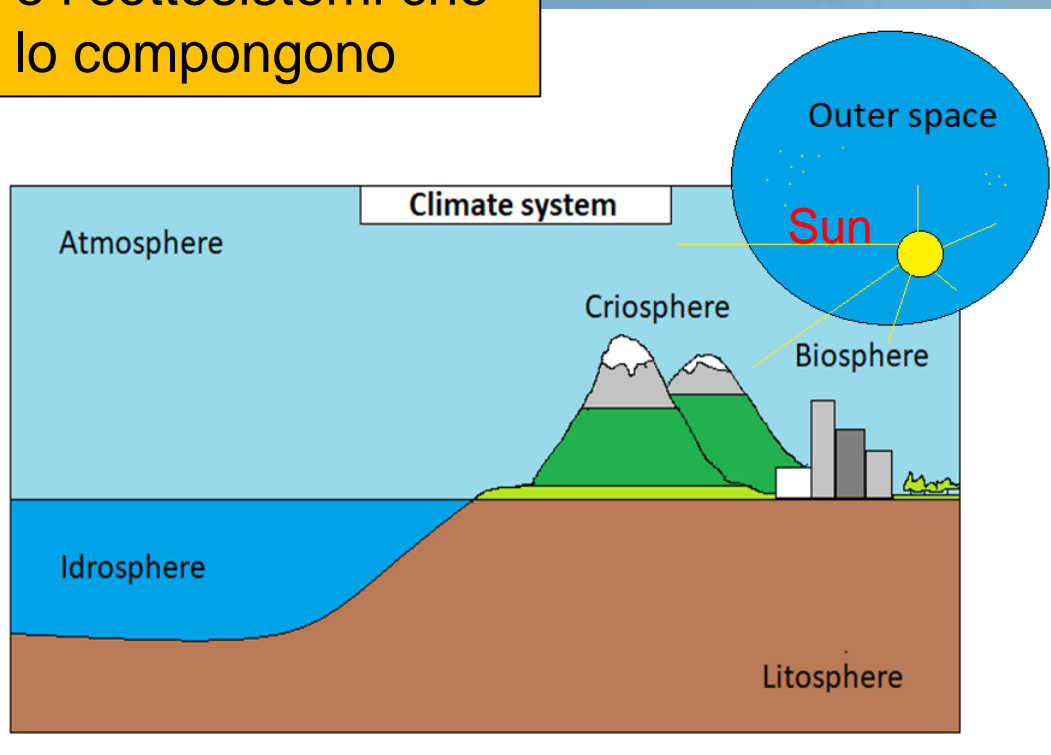


Source: Lumpkin County vineyard - [www.gainesvilletimes.com/archives/79836/](http://www.gainesvilletimes.com/archives/79836/)

# Il Sistema Climatico - struttura

Sistema di enorme complessità con cui l'umanità si confronta fin dalle sue origini

Il sistema climatico e i sottosistemi che lo compongono



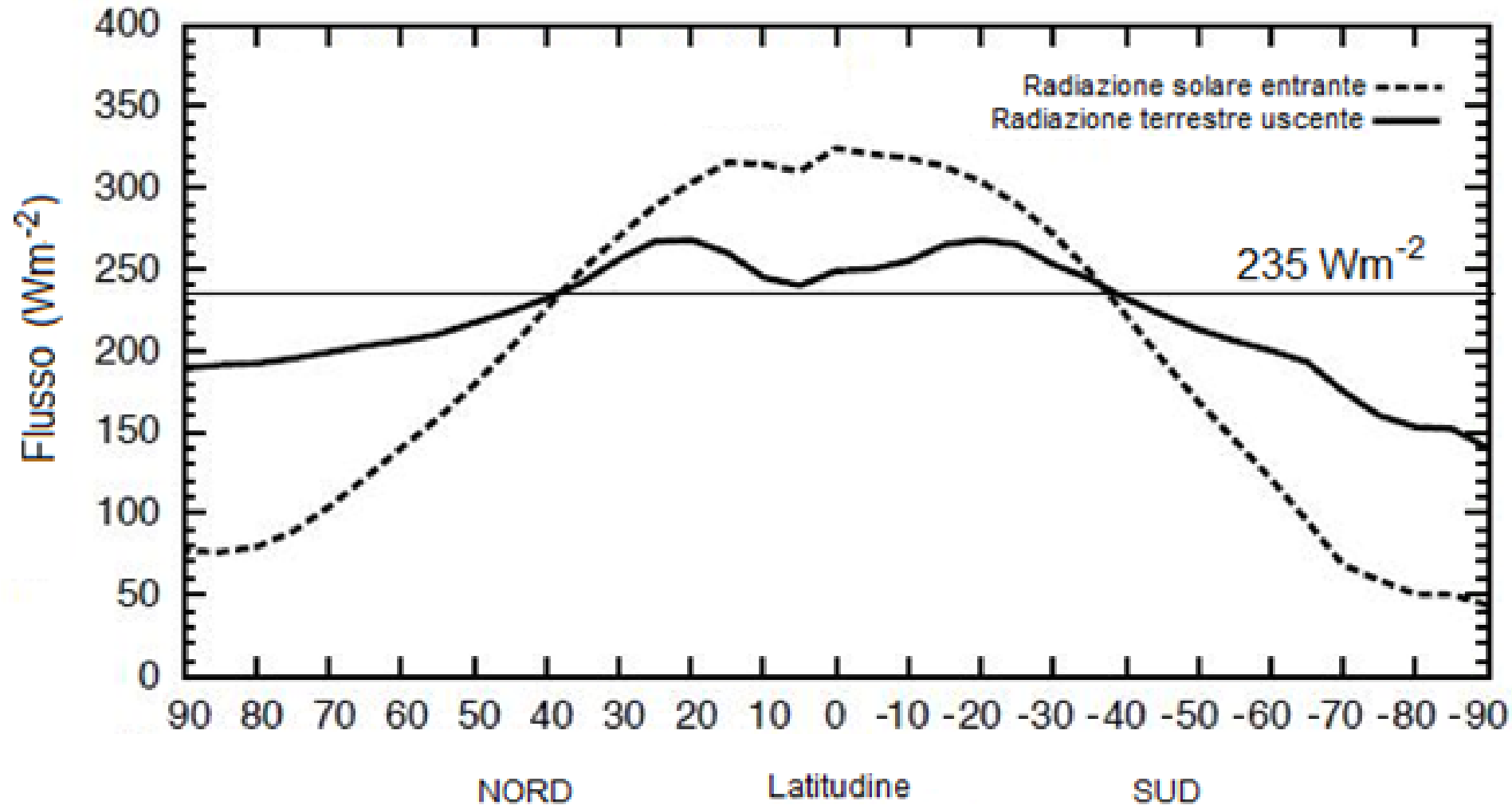
Sistema composto dall'intero pianeta (atmosfera, idrosfera, criosfera, terre emerse, biosfera), dal sole (fonte di energia per catene alimentari e sistemi geofisici) e dallo spazio cosmico (riceve l'emissione radiativa della Terra).

-> **Complesso perché vastissimo: tutto è clima, ad iniziare da ognuno di noi e dalle nostre viti.**

**Scopo del sistema climatico: appianare lo squilibrio energetico continuamente reimposto dall'inegual soleggiamento a tutte le scale (es: fra basse e alte latitudini, fra lato al sole e lato in ombra di una piccola valle). Da esso derivano tempo atmosferico e clima.**

# Alle radici del sistema climatico

## I flussi di energia (radiazione) fra la Terra e lo spazio



da Houghton D.D. (ed), 1985. Handbook of applied meteorology, Wiley



# I tre pilastri del sistema climatico

Dal diagramma dei flussi radiativi deduciamo i seguenti aspetti chiave del sistema climatico terrestre:

**Equilibrio energetico:** mediamente  $235 \text{ W m}^{-2}$  sono assorbiti e altrettanti sono emessi.

**Effetto serra:** secondo la legge di Stefan - Boltzmann  $235 \text{ W m}^{-2}$  emessi corrispondono all'emissione di un corpo con  $T = -19^\circ\text{C}$ . L'effetto serra giustifica il fatto che la Terra in superficie ha una temperatura di  $+14^\circ\text{C}$ .

**Circolazione:** l'assorbimento di energia si concentra nella fascia equatoriale ma l'emissione è assai più regolare → dev'esserci un trasferimento longitudinale di energia dovuto alla circolazione.



## Il sistema climatico: circolazione atmosferica

# Circolazione atmosferica e oceanica

**Cos'è:** un motore termico messo in moto dall'energia del Sole -> se non ci fosse il Sole si fermerebbe quasi subito...

**Finalità:** riequilibrare gli scompensi fra aree troppo calde e aree troppo fredde (poli-equatore, lato in ombra e lato al sole di una valle o di una via, ecc.)

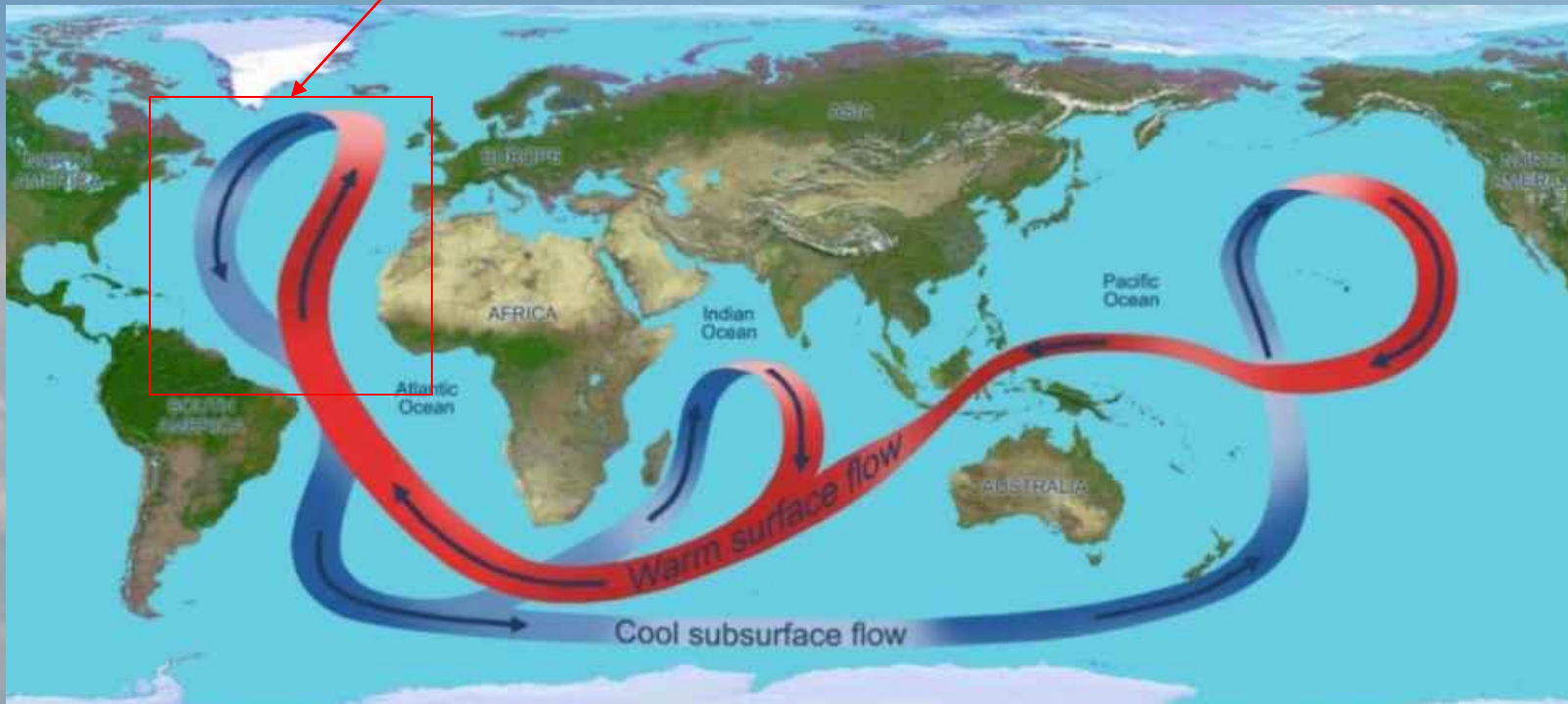
**Riequilibrio:** garantito per l'80% dall'atmosfera e per il 20% dagli oceani -> l'atmosfera ha una capacità termica bassissima -> può trasportare tantissima energia perché **sfrutta i cambiamenti di stato dell'acqua** -> il pianeta si raffredda ad acqua!



**Morale:** 1) quando traspiriamo partecipiamo alla meravigliosa macchina del clima 2) spiegare il comportamento del sistema climatico del pianeta senza considerare la circolazione atmosferica è come per un medico usare la teoria degli umori per spiegare la fisiologia umana

# Circolazione oceanica

L'impronta dell'oceano sulle temperature europee



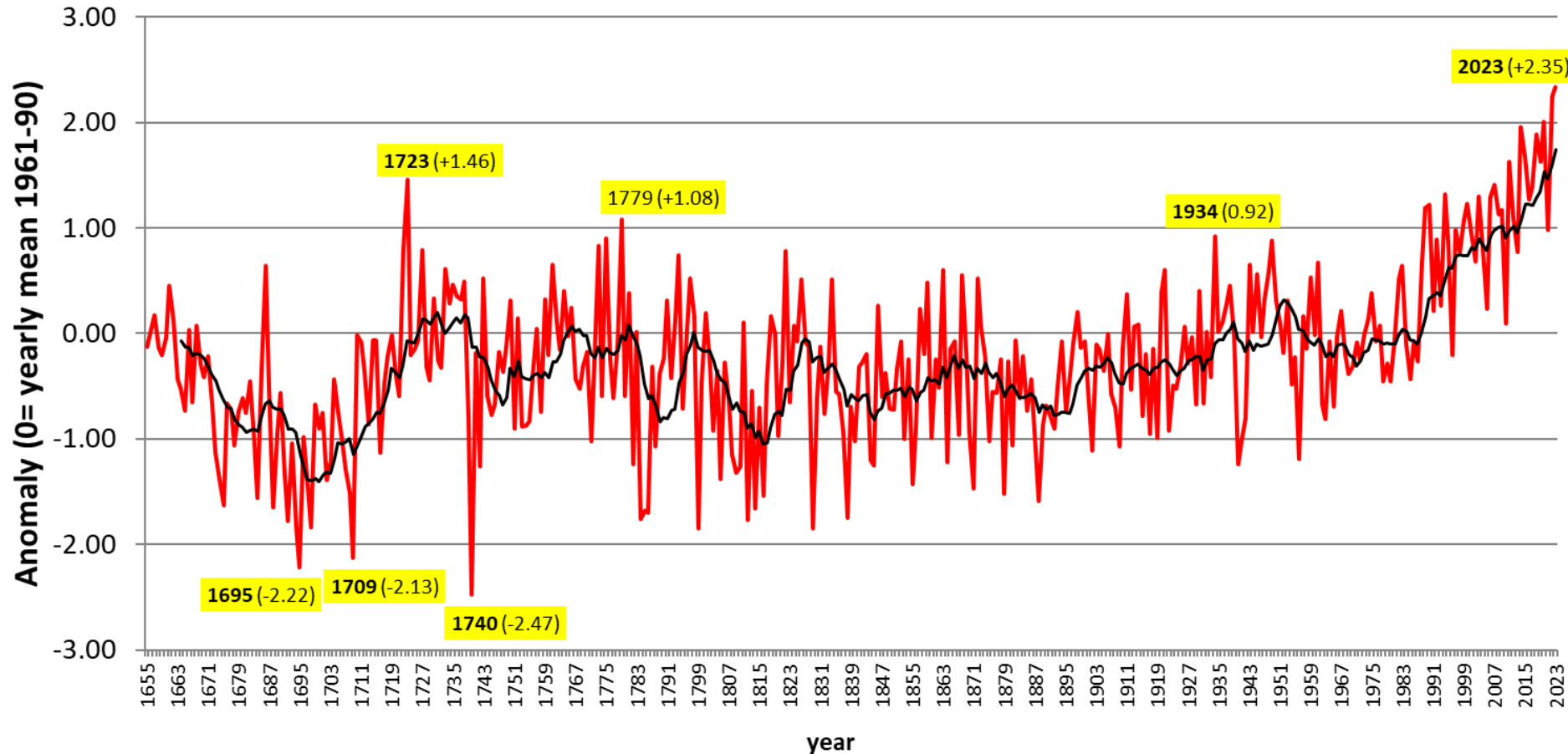
This is a depiction of the global ocean circulation. In the Atlantic Ocean, warm water travels north at the surface, while cooler water travels south at depth. Researchers are studying what controls the strength of this circulation.

Credit: NASA

© 2011

# Temperature annue europee (scostamento dalla media 1961-90)

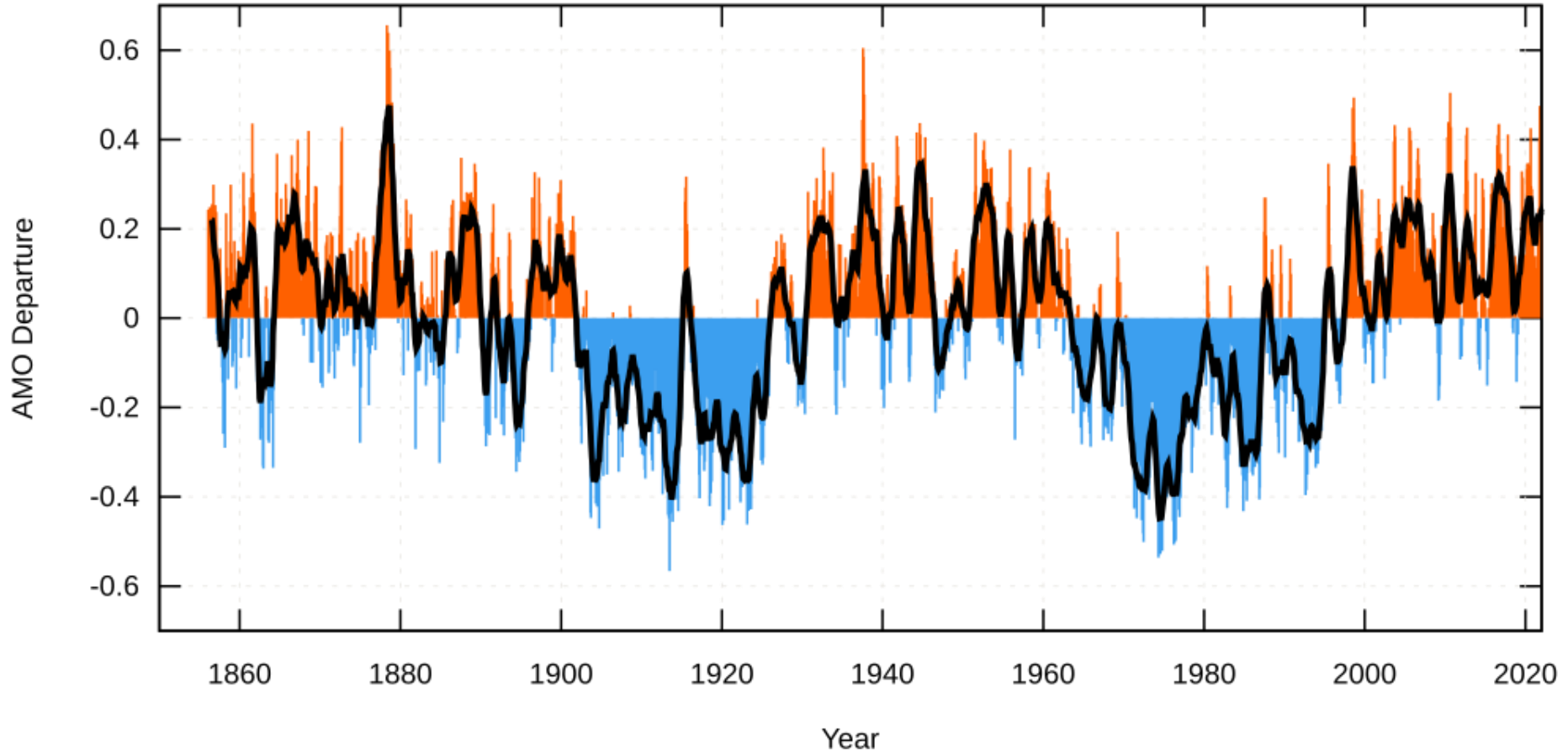
## Europe - yearly mean temperature anomaly (1655-2023)



Mariani L., Zavatti F., 2017. Multi-scale approach to Euro-Atlantic climatic cycles based on phenological time series air temperatures and circulation indexes, *Science of the Total Environment* 593–594 (2017) 253–262

# Le temperature dell'oceano Atlantico settentrionale oscillano (35 anni caldi si alternano a 35 anni freddi)

Monthly values for the AMO index, 1856 - 2022



Come fa questo “segnale Atlantico” a raggiungere I vigneti in Italia?

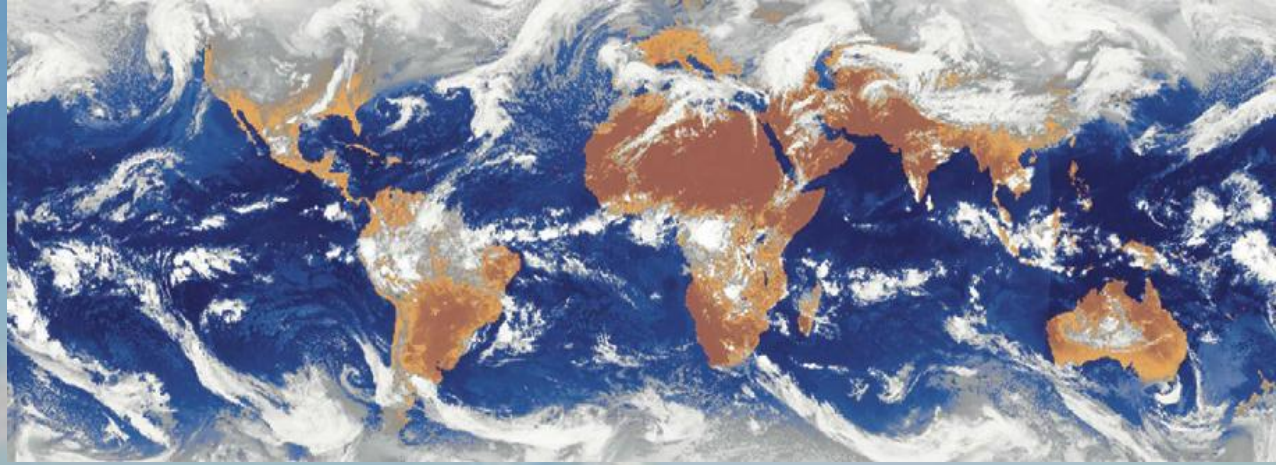
Lo fa attraverso la circolazione atmosferica

-> è necessario capire come funziona.

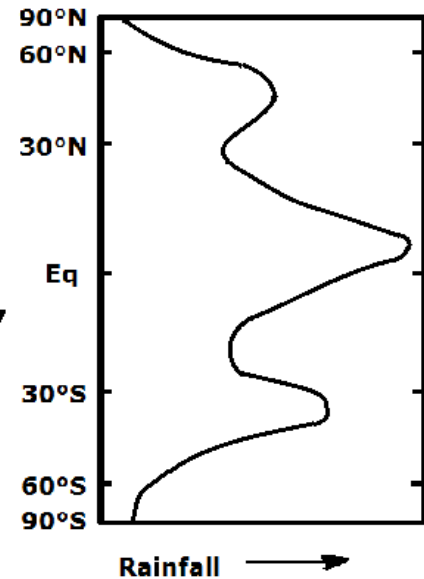
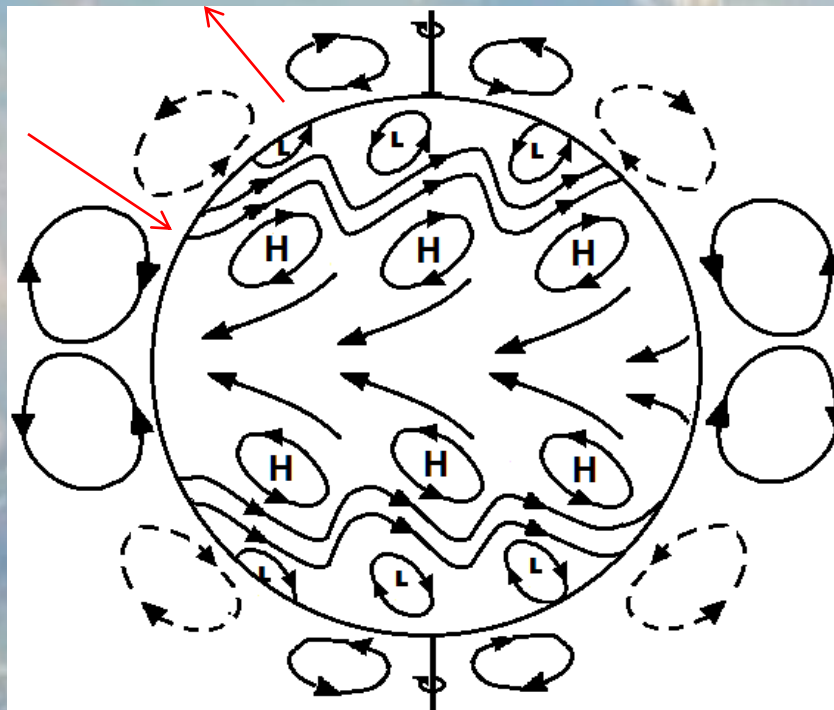


# La circolazione atmosferica del pianeta Terra

Ore 12 UTC del 29 marzo  
2004 - Composite IR  
(MeteoFrance e Japan  
Meteorological Agency)



Dinamica a 3 celle ->  
grandi strutture della  
circolazione generale  
(ITCZ, alisei, anticicloni  
subtropicali, westerlies,  
cicloni delle latitudini  
medio-alte) -> tre grandi  
cinture piovose del  
pianeta





## Alcuni necessari approfondimenti

**Moti verticali e orizzontali dell'aria nelle aree cicloniche e anticicloniche:** negli anticicloni l'aria scende (-> le nubi scompaiono), viceversa nei cicloni l'aria sale (-> si formano le nubi e a volte piove). Attorno alle aree anticicloniche l'aria si muove in senso orario. Attorno alle aree cicloniche l'aria si muove in senso antiorario.

**Rapporti fra aria calda e aria fredda:** si comportano come fluidi non miscibili (acqua e olio) -> non si mescolano fra loro, per cui l'aria fredda tende ad accumularsi nelle zone di compluvio (es: fondivalle -> **inversione termica con formazione di un lago freddo**).

**Il sole non scalda l'aria:** scalda il suolo che a sua volta scalda l'aria.

# Montepulciano – Altocumuli e nebbia da lago freddo



Lago freddo - nebbia come tracciante

Cintura calda

San Biagio – 490 m slm -----

## Il suolo come «polmone termico» per il vigneto

**Di giorno e di notte:** il suolo si raffredda irraggiando fotoni verso lo spazio cosmico con continuità.

**Di giorno:** il raffreddamento del suolo è compensato dal sole che irraggia i suoi fotoni riscaldandolo. Il suolo a sua volta **riscalda l'aria nelle sue vicinanze.**

**Di notte:** il raffreddamento del suolo è compensato dal sole e dunque si raffredda e a sua volta **raffredda l'aria nelle sue vicinanze.**



## Un altri aspetto chiave: le «Vicinanze»

**Per «vicinanze»** si intendono il canopy e il boundary layer e cioè gli strati atmosferici attraverso i quali la superficie dialoga con la libera atmosfera.

**Il dialogo avviene in forma turbolenta.**

**Turbolenza:** è una delle caratteristiche più importanti dell'atmosfera. Gli scambi fra vigneto e atmosfera avvengono tramite i moti dell'aria (vento). Il moto del vento non è laminare ma turbolento (sono presenti unità di turbolenza (eddy) (traccianti: fumo di una candela, atomizzatori, nuvole, fiocchi di neve, pappi dei pioppi).

La turbolenza può essere meccanica (generata dallo scorrere del vento su superfici scabre come un vigneto) o termica (generata dal riscaldamento delle superfici da parte del sole che innesca fenomeni di salita (convezione).

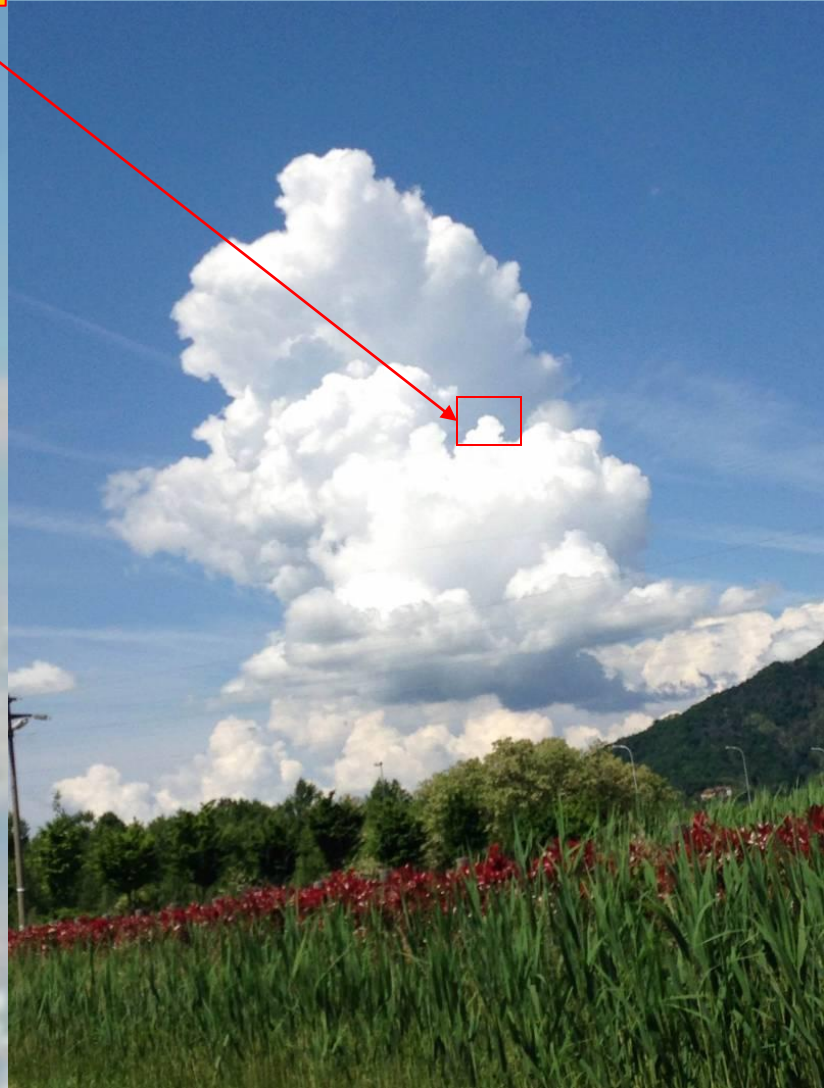
# Turbolenza all'opera

Eddy



# Turbolenza all'opera

Eddy



# Vicinanza di "regioni sorgenti" di masse d'aria

**Aria artica**



**Aria polare  
continentale**

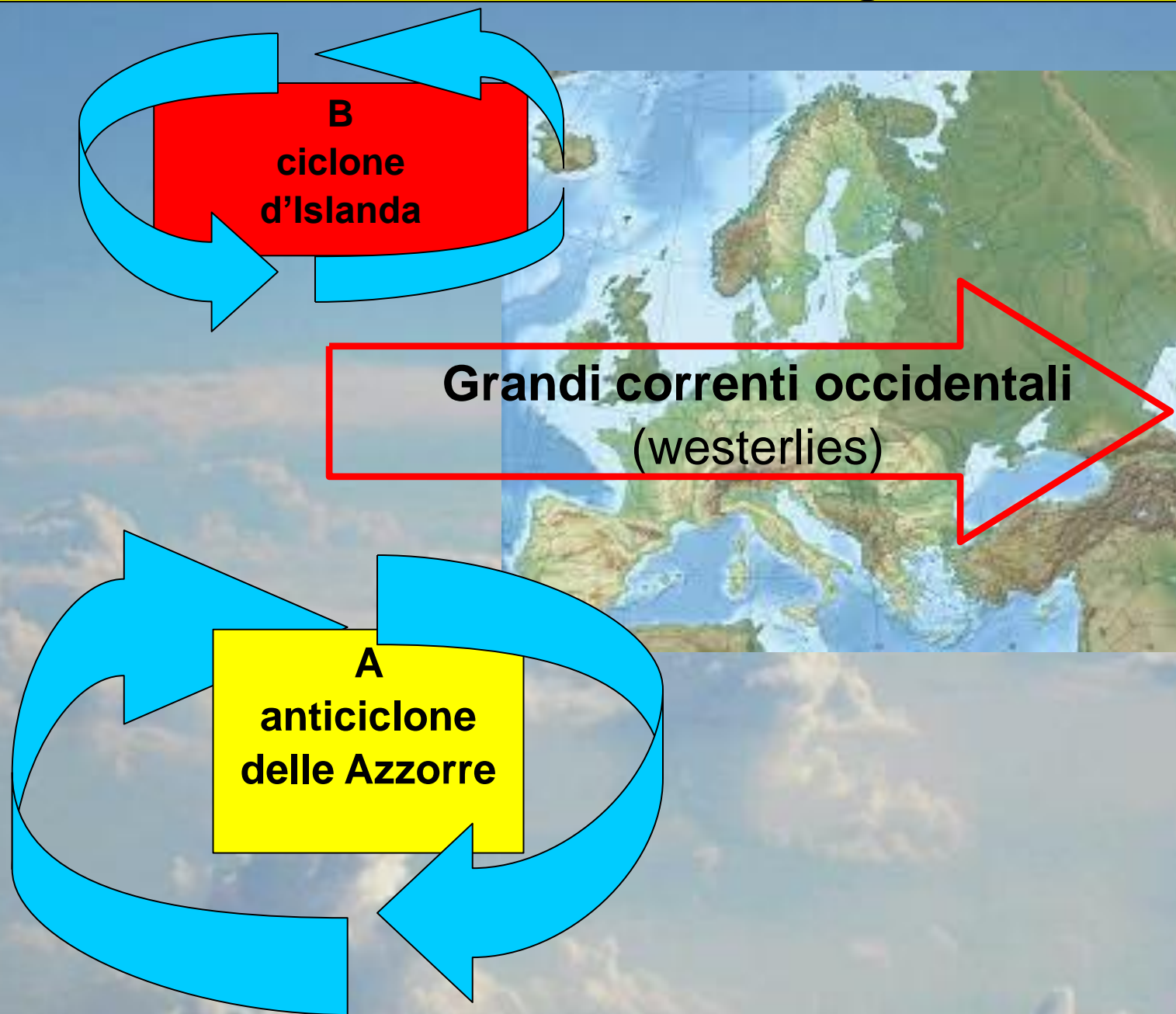


**Aria atlantica**



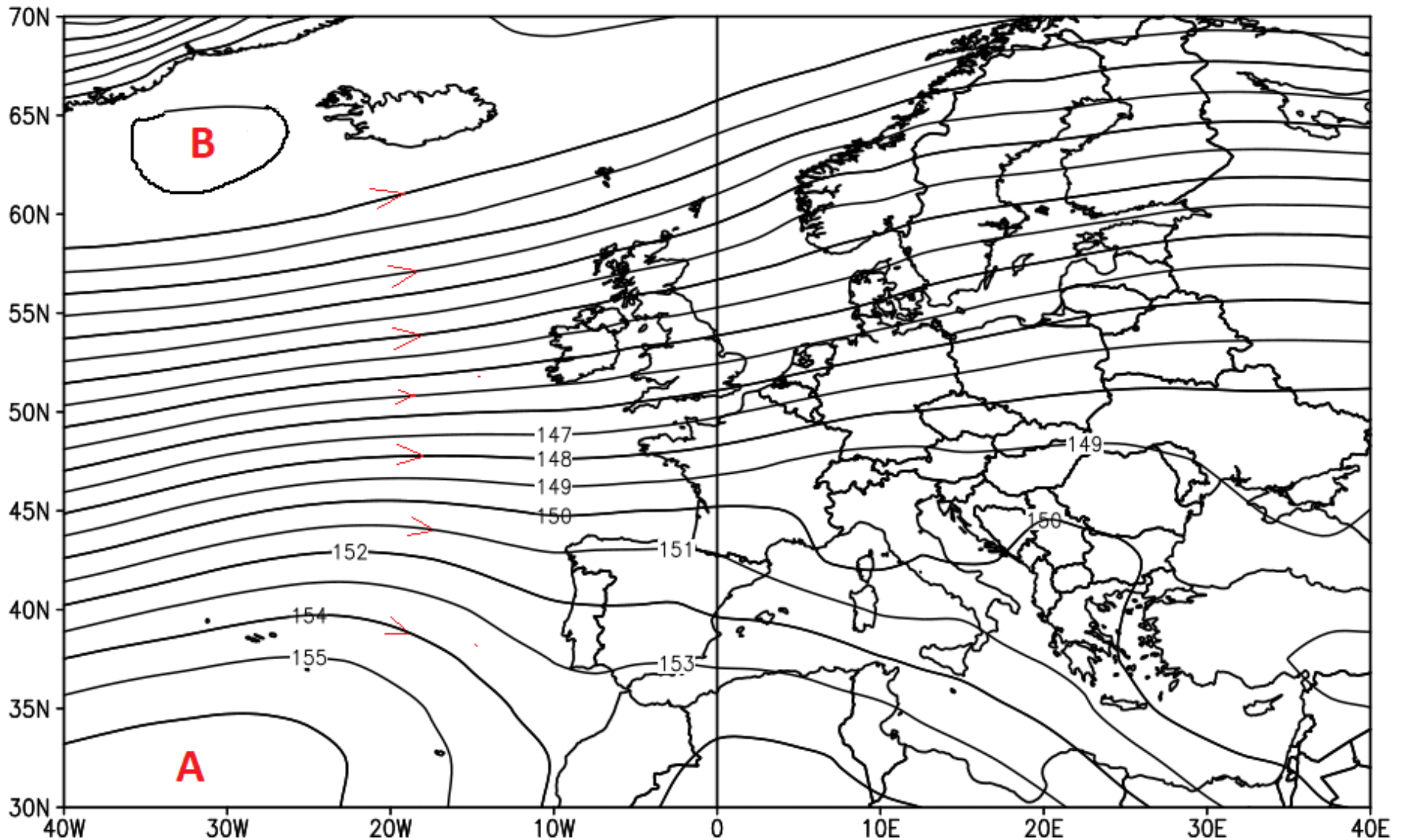
**Aria subtropicale**

# Clima e circolazione euro-mediterranea – regime medio





# La circolazione media del 2024

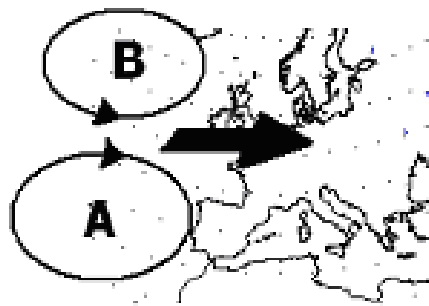


850mb GEOPOTENTIAL HEIGHTS (dam) 366-DAY MEAN FOR:  
Mon JAN 01 2024 – Tue DEC 31 2024

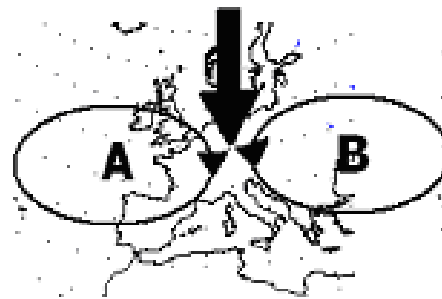
NCEP OPERATIONAL DATASET

# Regime medio e regimi di blocco

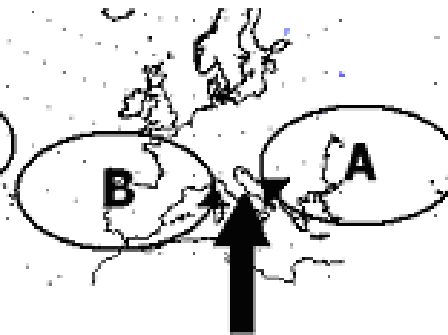
## I mattoncini del lego



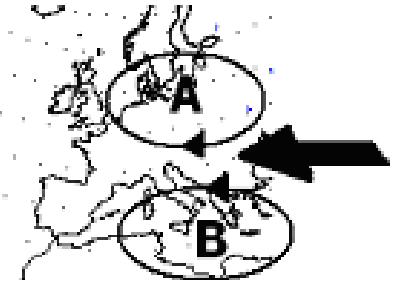
(a)



(b)



(c)

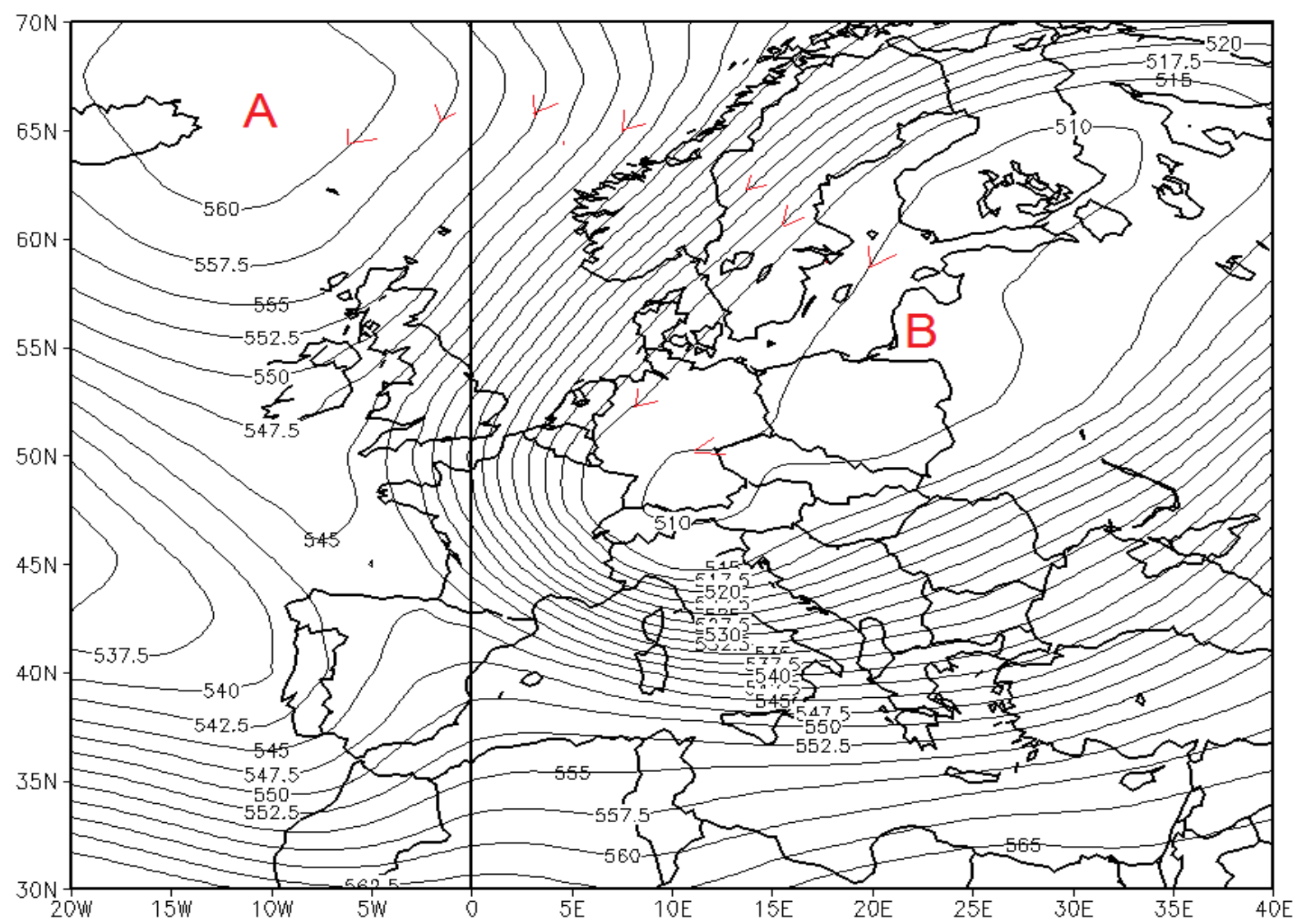


(d)

Regime medio

Regimi di blocco

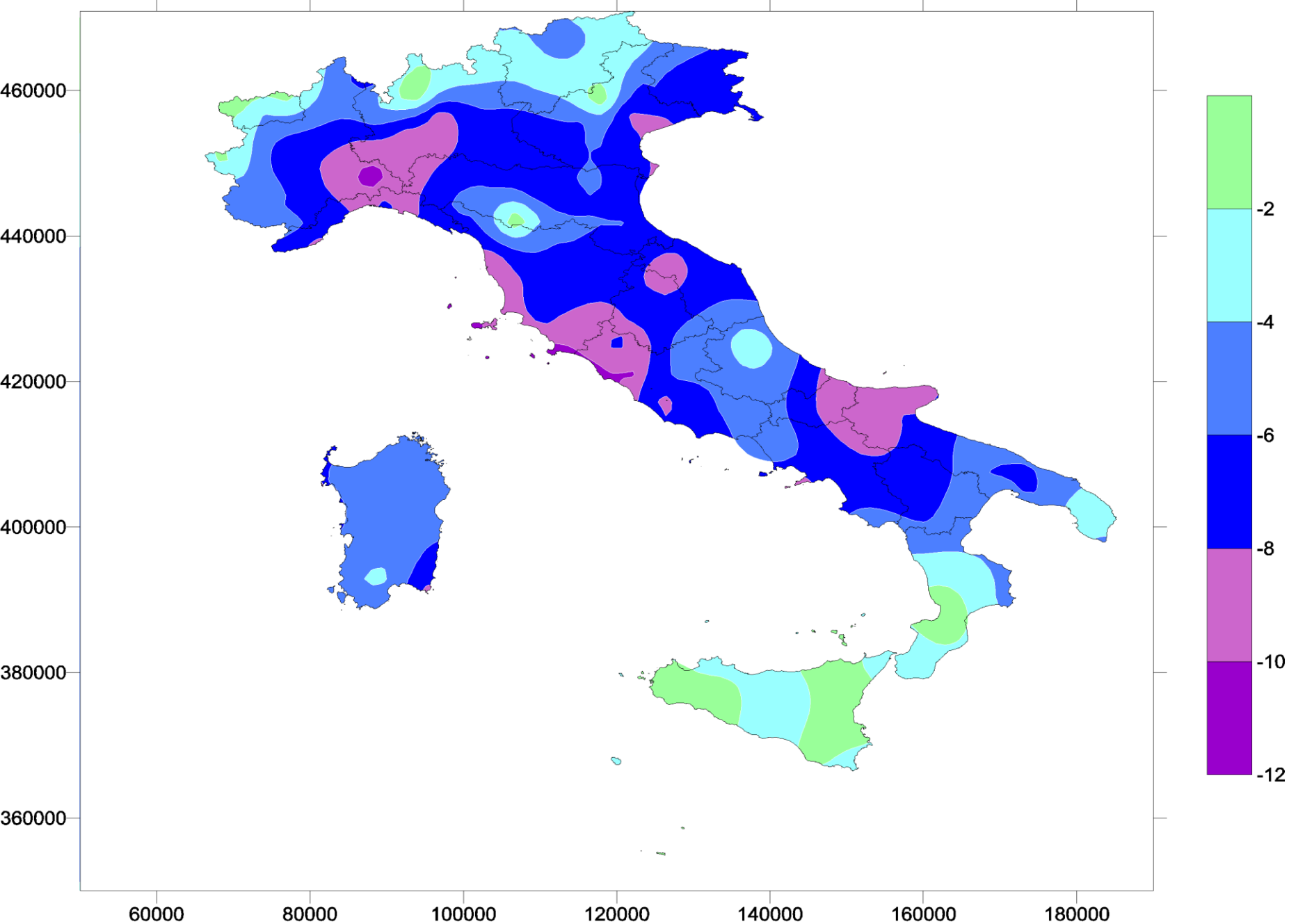
# Esempio di blocco – gelo e grandi nevicate del gennaio 1985



500mb GEOPOTENTIAL HEIGHTS (dam) 01-DAY MEAN FOR:  
Sat JAN 05 1985

NCEP OPERATIONAL DATASET

# 3-12 gennaio 1985 - Anomalia media delle temperature minime ( $^{\circ}\text{C}$ )



# Gelate - meccanismi di innesco

Gelate da irraggiamento (legate al bilancio energetico di superficie)

Gelate avvettive ->

a) da avvezione locale

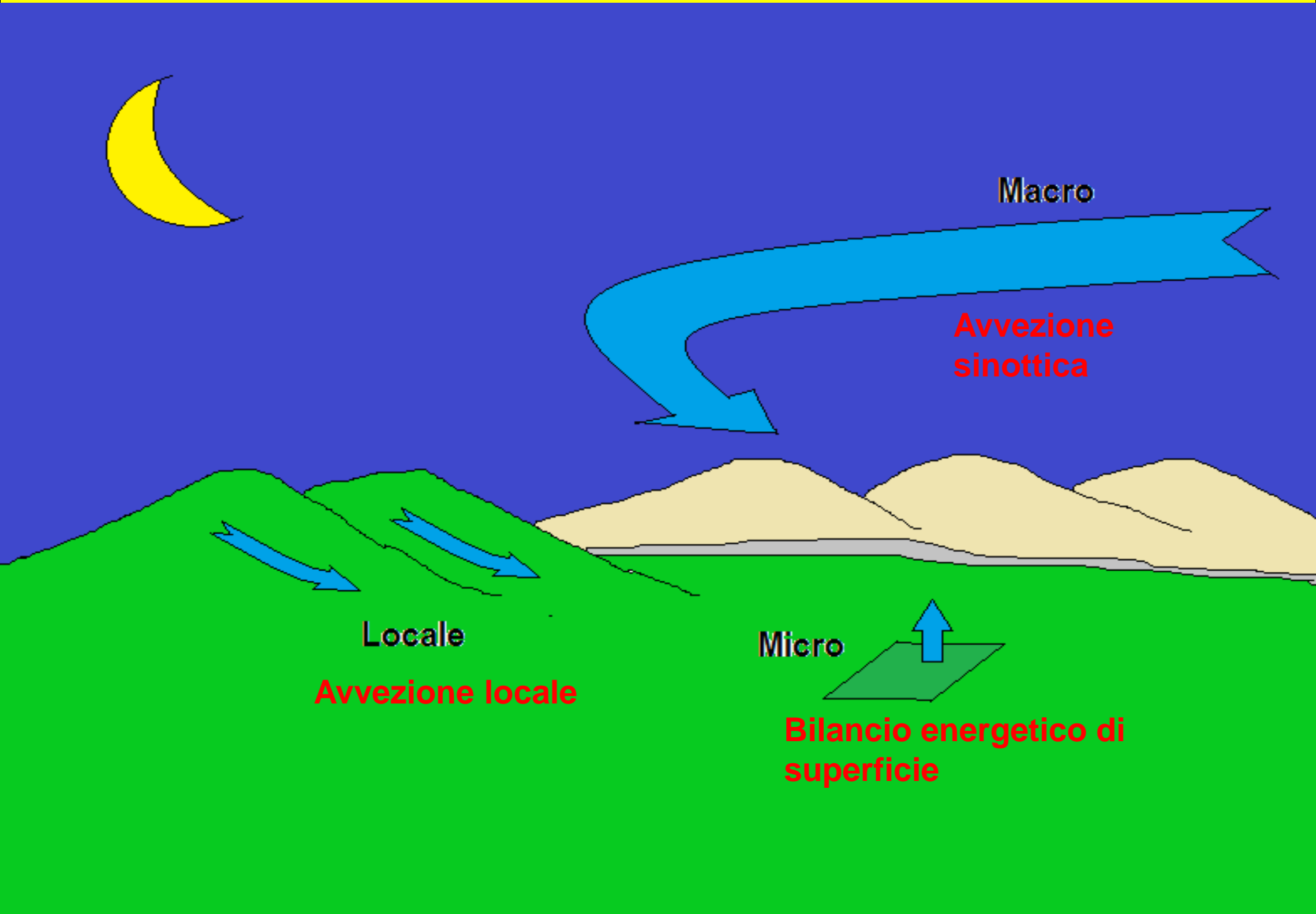
- scivolamento verso i fondivalle di aria fredda dalle pendici
- movimenti locali di masse d'aria (es: in una città arrivo di aria fredda dalle aree rurali circostanti)

b) da avvezione sinottica

- trasporto da regioni sorgenti (Artide, Siberia)

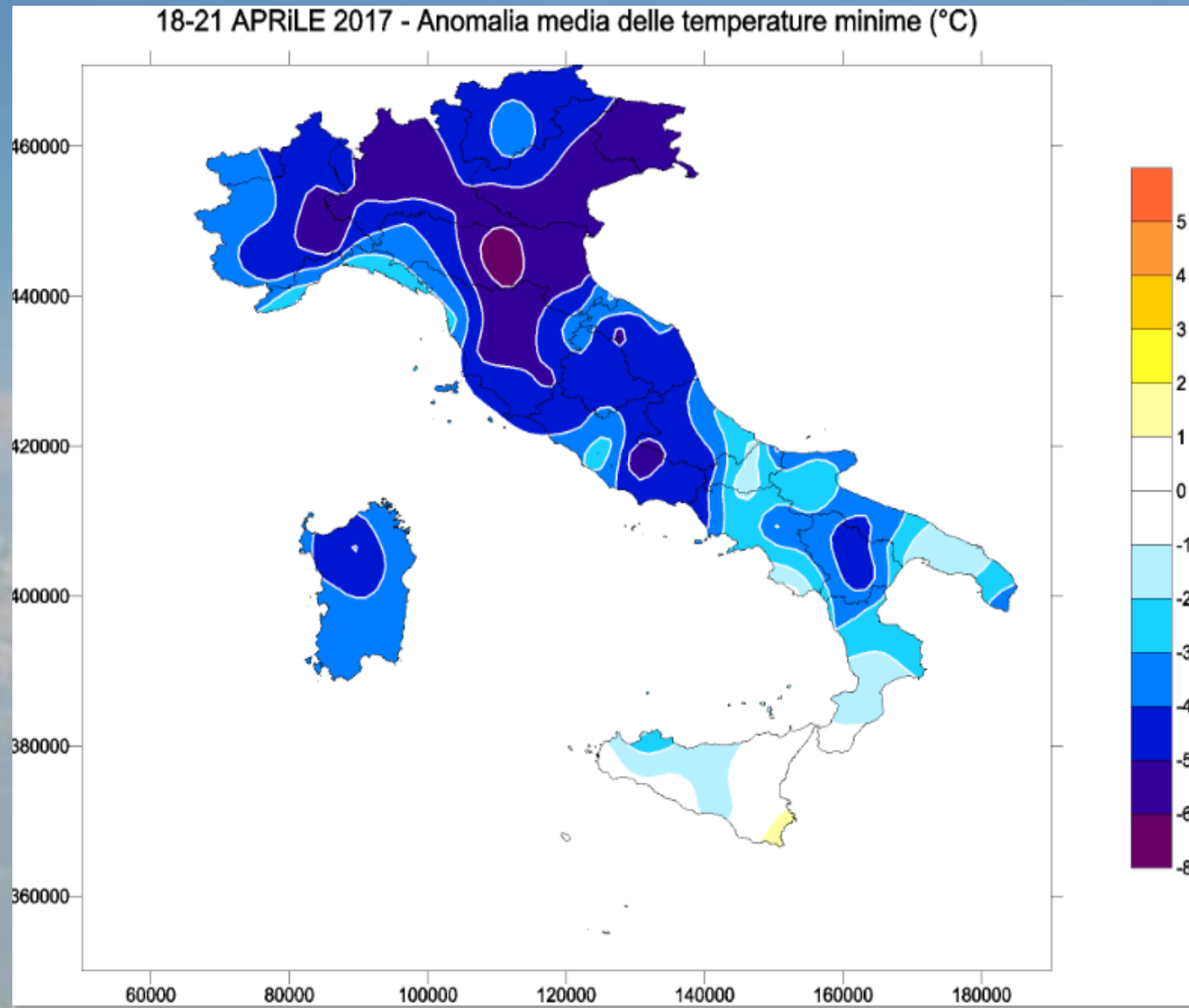
**NB: questi meccanismi convivono fra loro (es. in presenza di un effetto avvettivo il bilancio energetico agisce anch'esso).**

# Gelate: fattori attivi a scale diverse (micro-meso-macro)



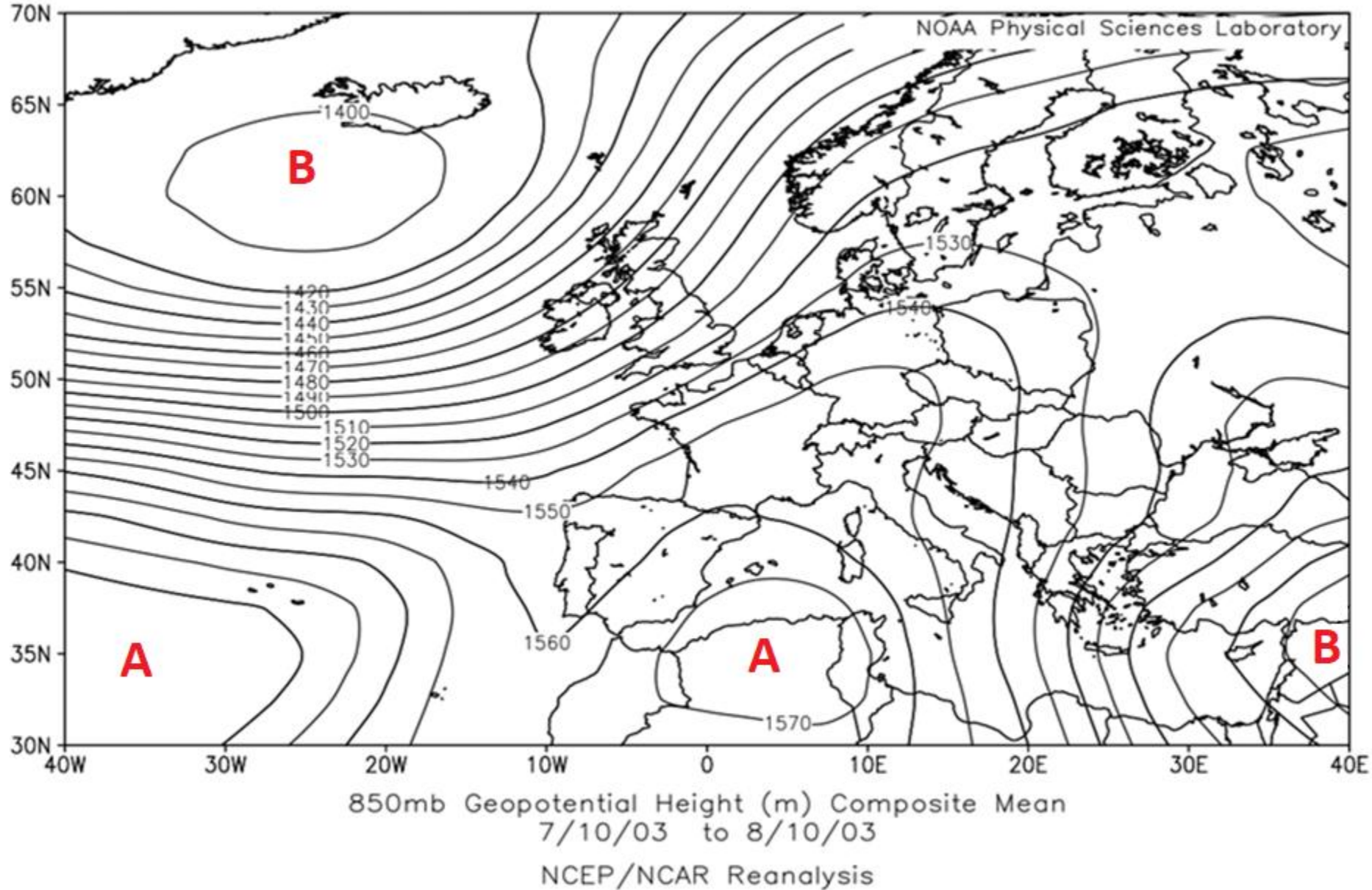


# Italia - anomalia termica 2017 (scostamento dalla media 1987-2016)





# La grande ondata di caldo dell'estate 2003



# Effetti di microscala (2017 Franciacorta)





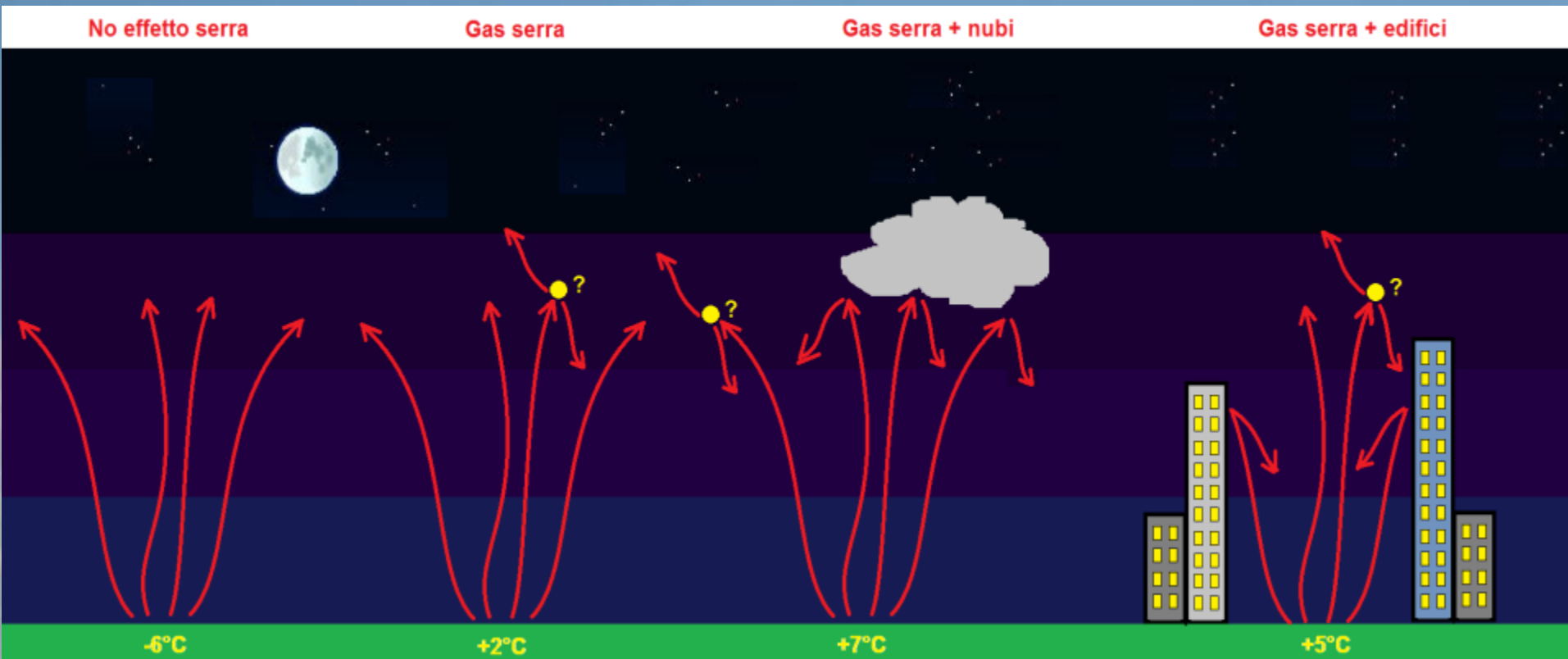
Il sistema climatico: effetto serra

# Effetto serra – come funziona

- Tutti i corpi emettono energia in misura proporzionale alla propria temperatura (leggi di Plank e di Stefan Botzmann su cui si basano ad esempio i termometri a Infrarosso)
- L'emissione di energia dei corpi è in forma di fotoni
- I fotoni emessi dalle superfici possono perdersi nello spazio oppure essere intercettati da sostanze presenti fra la superficie e lo spazio (edifici, alberi, gas serra ,nubi, pulviscolo, ecc.)
- Un corpo che ha intercettato un fotone aumenta la propria energia e poi lo riemette. Se la riemissione avviene verso il suolo si realizza l'effetto serra



# Effetto serra



**Atmosfera e canyon urbani: "trappole per fotoni"**

# Conseguenza dell'effetto serra

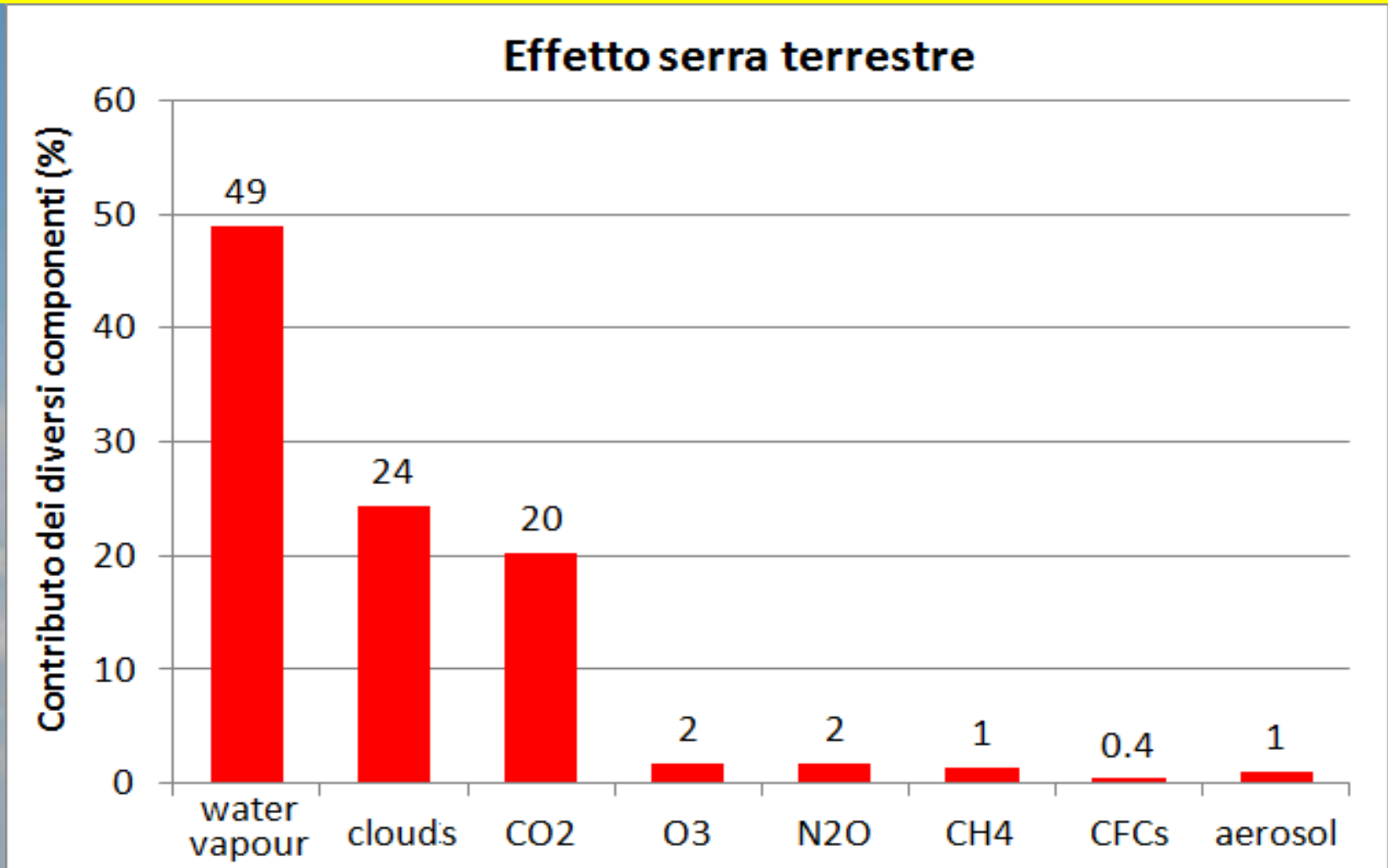
La superficie è riscaldata da due soli: il sole e l'atmosfera



L'atmosfera intrappola i fotoni uscenti dalla superficie del pianeta reirraggiandoli in parte verso terra ed è attiva sia di giorno sia di notte.

Fonte foto - <https://www.pexels.com/photo/a-clear-sky-at-night-2885320/>

# Peso dei componenti dell'effetto serra terrestre



**Acqua "gigante" dell'effetto serra -> da essa dipende il 73% del fenomeno**

Lacis A.A., Schmidt G.A., Rind D. Ruedy R.A., 2010. Atmospheric CO2: Principal Control Knob Governing Earth's Temperature, Science, 15 OCTOBER 2010 VOL 330.

# Rilevanza dell'effetto serra

**Fenomeno essenziale:** grazie ad esso che la temperatura media della superficie è di +14°C; in sua assenza la superficie del pianeta avrebbe una temperatura di -19°C .

**Preoccupa il potenziamento antropico dell'effetto serra:**

Aumentano i livelli atmosferici di CO<sub>2</sub> -> aumentano di poco le temperature (raddoppiando CO<sub>2</sub> da 280 a 560 ppmv aumento atteso = +1°C) -> aumenta l'evaporazione dagli oceani e la traspirazione delle piante, per cui aumenta il vapore acqueo che è il principale gas serra e di conseguenza aumentano ulteriormente le temperature (aumento finale atteso al raddoppio di CO<sub>2</sub>: +1.5 / + 4.5°C -> valori tutti ugualmente probabili secondo IPCC 2013).

Quello che abbiamo descritto è un **feed-back positivo**.

Un altro feedback positivo è la **copertura glaciale artica**, il cui calo fa calare l'albedo (% di radiazione solare riflessa).





# Conclusioni

# **Sintesi - Fase climatica in corso rispetto alla 1973-1987**

**Risorse radiative per la fotosintesi stazionarie**

**Potenziale produttivo** più elevato del 20% (causa aumento CO<sub>2</sub>)

**Risorse termiche** in lieve aumento

**Risorse pluviometriche** stazionarie al centro nord e in crescita al sud

**Intensità pluviometriche** stazionarie

**Consumi idrici** in lieve aumento

**Stress da carenza idrica** in aumento

**Stress da eccesso termico** in aumento

**Gelate in calo** (in controtendenza gelate tardive 2016, 2017 e 2021)

**Anticipo fenologico su molte colture** (12-16 giorni su vite)

**Il tutto condito con una notevolissima variabilità interannuale  
caratteristica del nostro clima**

# Consigli finali

- Monitorare** l'andamento meteorologico in azienda (misure + diario)
- Quantificare** necessità irrigue, risorse termiche, stress termico e idrico...
- Fare osservazioni sulle colture (fenologia, avversità, ecc.)
- Curare le sistemazioni idraulico agrarie
- Considerare l'innovazione tecnologica (genetica e tecniche colturali), come fattore chiave per adattarsi al nuovo clima
- Sfruttare meglio la CO<sub>2</sub> in atmosfera a fini produttivi agricoli.

# Riflessioni finali....

Fare agricoltura è un'attività molto complessa (nei temi trattati credo di averne dato un assaggio)



L'agricoltura è una forma evoluta di gestione del ciclo del carbonio (se la CO<sub>2</sub> in atmosfera è un problema l'agricoltura è un pezzo importante della soluzione mentre oggi viene indicata come parte del problema)

E' importante che agricoltori e tecnici svolgano le proprie attività adottando una chiave di lettura agrometeorologica. Oggi nelle scuole secondarie e università si insegna troppo poca agrometeorologia!