

Flavio Galbiati
- Meteorologo -
Centro Epson Meteo

30 maggio 2014

LE SCIE DI CONDENSAZIONE (CONTRAILS)



**ACCADEMIA DELLE SCIENZE
DELL'ISTITUTO DI BOLOGNA**



Aircraft Contrails Factsheet

Summary

This fact sheet describes the formation, occurrence, and effects of "condensation trails" or "contrails." It was developed by scientific and regulatory experts at the Environmental Protection Agency (EPA), the Federal Aviation Administration (FAA), the National Aeronautics and Space Administration (NASA), and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) in response to public inquiries regarding aircraft contrails. Contrails are line-shaped clouds sometimes produced by aircraft engine exhaust, typically at aircraft cruise altitudes several miles above the Earth's surface. The combination of water vapor in aircraft engine exhaust and the low ambient temperatures that often exists at these high altitudes allows the formation of contrails. Contrails are composed primarily of water (in the form of ice crystals) and do not pose health risks to humans. They do affect the cloudiness of the Earth's atmosphere, however, and therefore might affect atmospheric temperature and climate. The basic processes of contrail formation described in this fact sheet apply to both civil and military aircraft.



What are contrails?

Contrails are line-shaped clouds or "condensation trails," composed of ice particles, that are visible behind jet aircraft engines, typically at cruise altitudes in the upper atmosphere¹. Contrails have been a normal effect of jet aviation since its earliest days. Depending on the temperature and the amount of moisture in the air at the aircraft altitude, contrails evaporate quickly (if the humidity is low) or persist and grow (if the humidity is high). Jet engine exhaust provides only a small portion of the water that forms ice in persistent contrails. Persistent contrails are mainly composed of water naturally present along the aircraft flight path.

How are aircraft emissions linked to contrail formation?

Aircraft engines emit water vapor, carbon dioxide (CO₂), small amounts of nitrogen oxides (NO_x), hydrocarbons, carbon monoxide, sulfur gases, and soot and metal particles formed by the high-temperature combustion of jet fuel during flight. Of these emitants, only water vapor is necessary for contrail formation. Sulfur gases are also of potential interest because they lead to the formation of small particles. Particles suitable for water droplet formation are necessary for contrail formation. Initial contrail particles, however, can either be already present in the atmosphere or formed in the exhaust gas. All other engine emissions are considered nonessential to contrail formation.

¹This fact sheet focuses on contrails produced by aircraft engine exhaust. However, the term "contrail" is also used to refer to the sheet trails sometimes briefly appearing over aircraft wings or engine propellers, especially under mild, humid conditions. These contrails consist entirely of atmospheric water that condenses as a result of local reductions in pressure due to the movement of the wing or propeller.

Che cosa sono ?



Sono delle “nuvole artificiali” dall’aspetto filiforme o di cirri visibili dietro agli aerei e prodotte dalle emissioni dei motori degli aerei ad alta quota.

Che cosa sono ?



Sono costituite in prevalenza da cristalli di ghiaccio e sono in genere sottili e rarefatte.

Come si formano ?



Si formano a quote superiori a 8 km (26000 ft) e a temperature inferiori a - 40 °C

Come si formano ?



Si formano per condensazione e congelamento del vapore acqueo intorno alle particelle (aerosol) emesse con i gas esausti

Come si formano ?



Il fenomeno dipende dalle condizioni di temperatura e dal contenuto di umidità dell'aria alla quota di volo.

Come si formano ?



I gas esausti in raffreddamento immettono nell'atmosfera, più o meno umida, la quantità di vapore acqueo e nuclei di condensazione sufficienti a provocare il fenomeno.

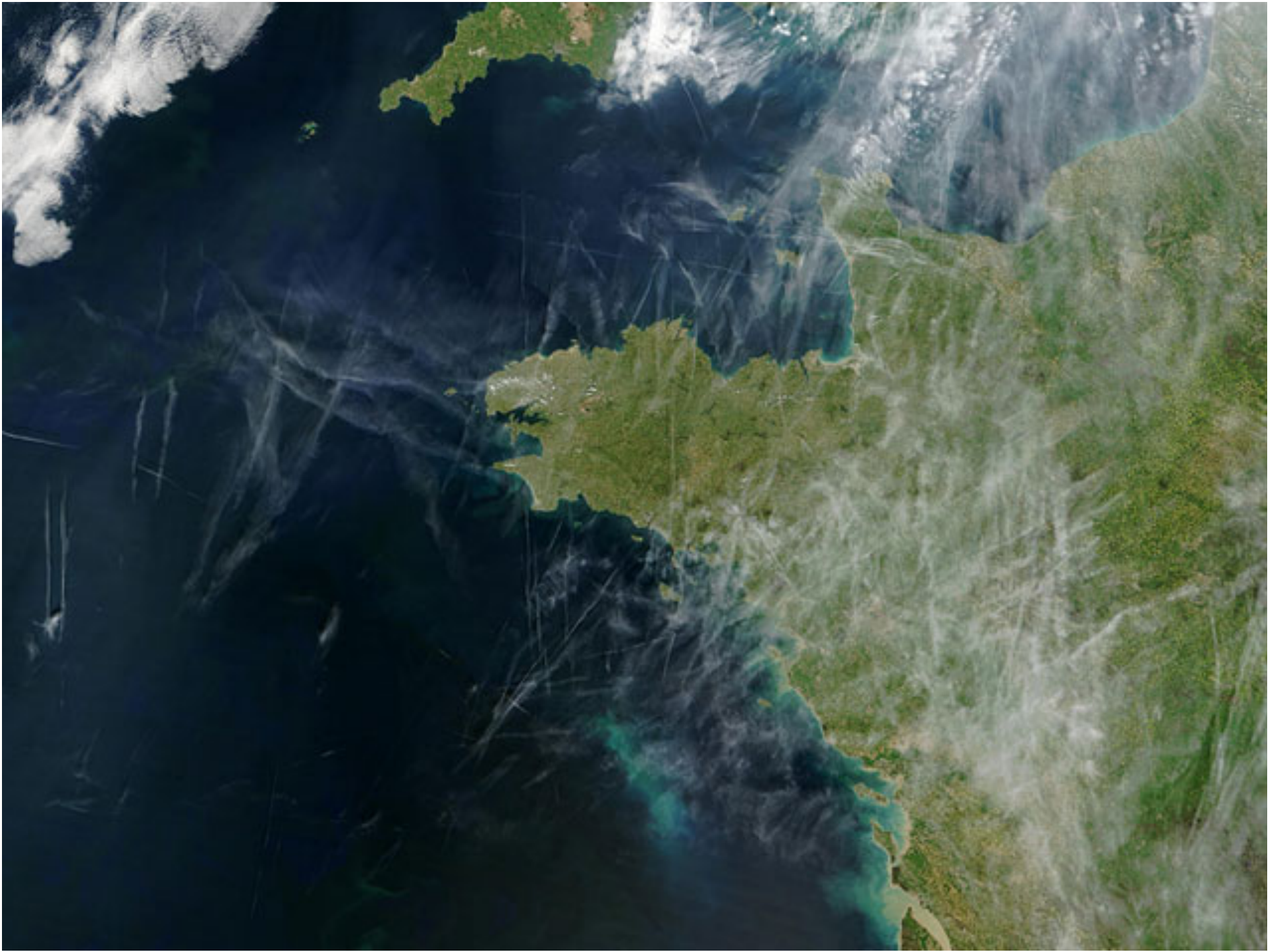
Come si formano ?

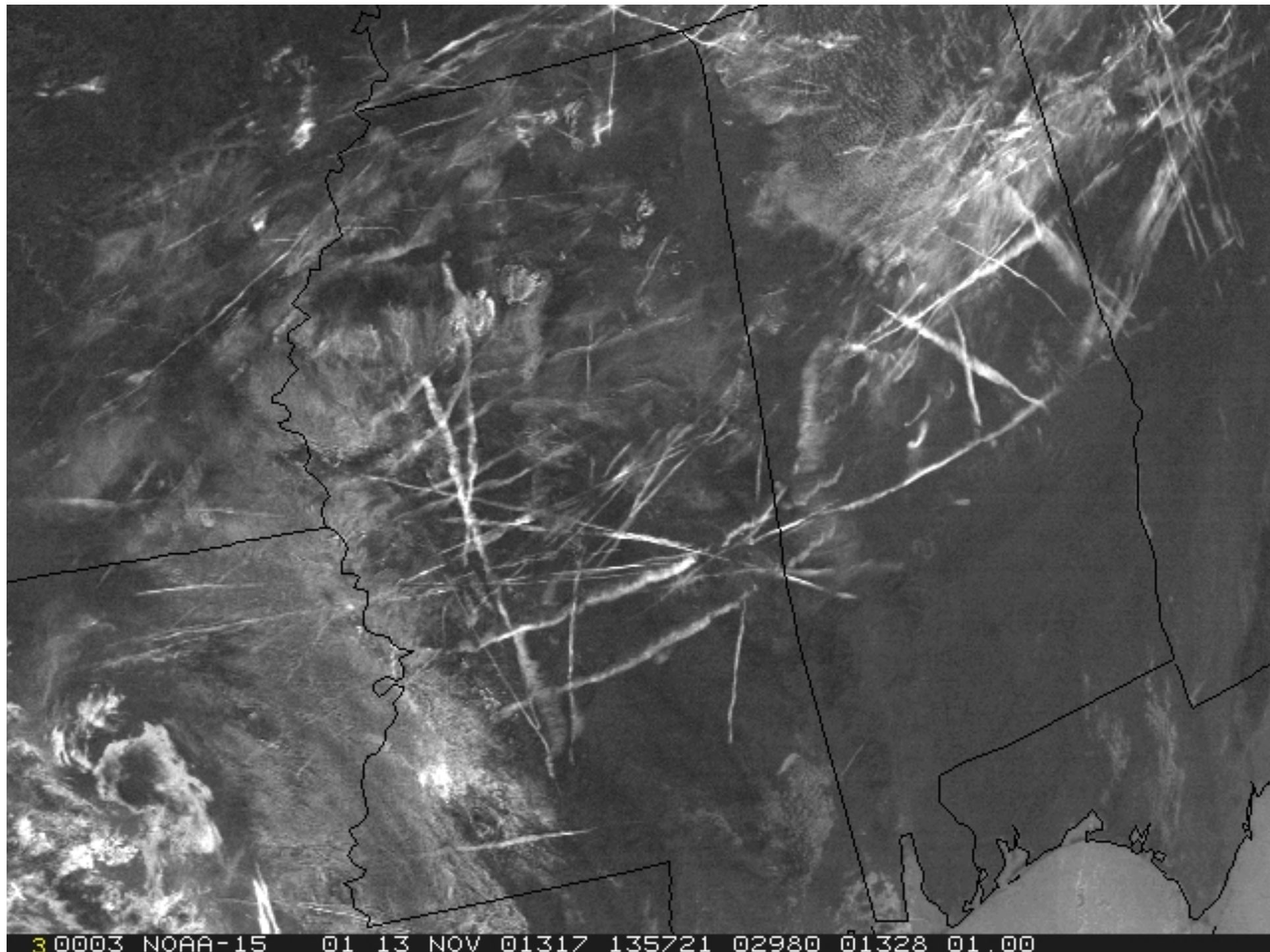


I motori a reazione emettono:

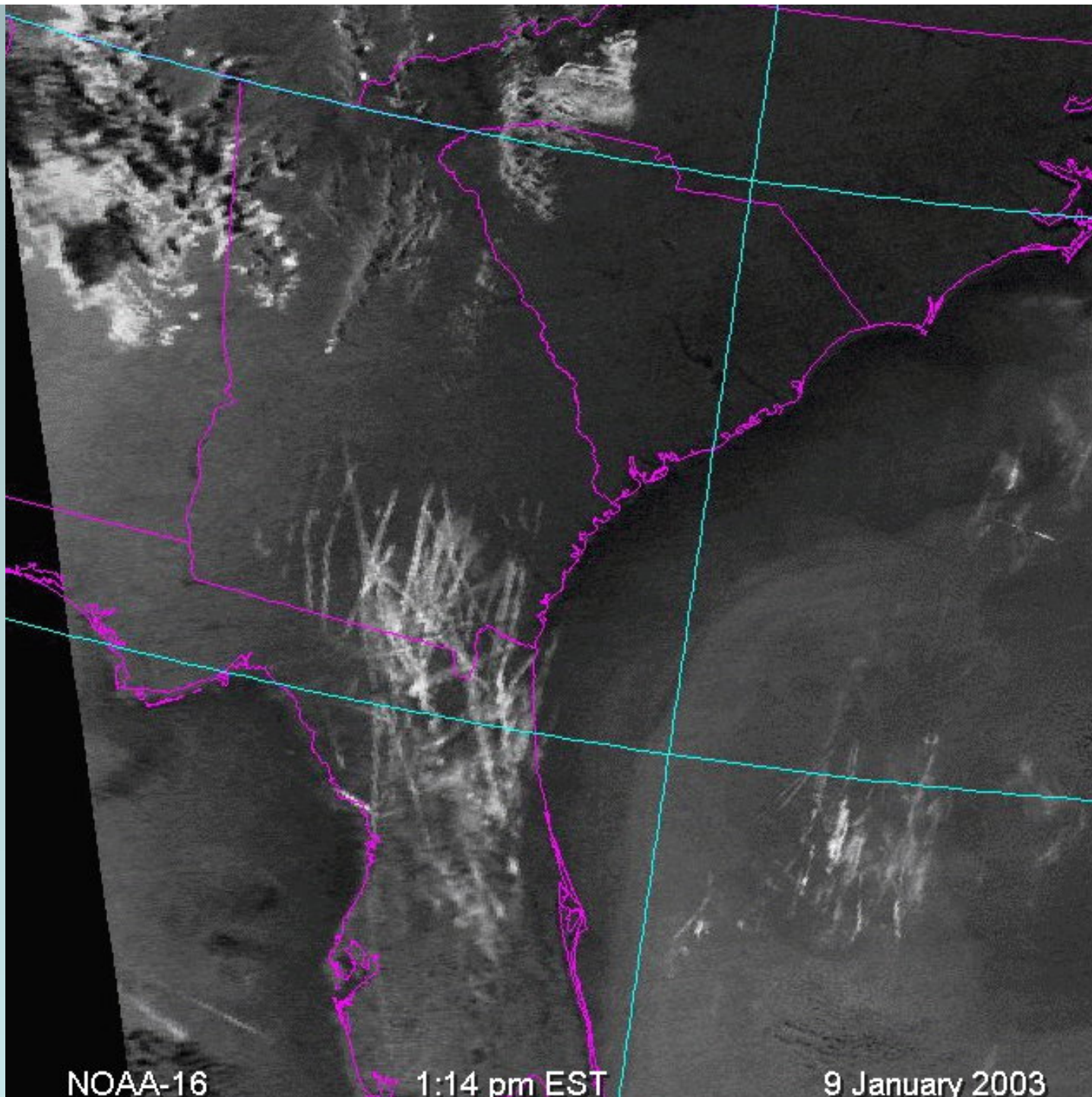
- CO_2
- vapore acqueo
- NO_x
- SO_2
- CO
- idrocarburi
- particolato carbonioso







3 0003 NOAA-15 01 13 NOV 01317 135721 02980 01328 01.00



NOAA-16

1:14 pm EST

9 January 2003

Le scie nella storia



Le scie nella storia

Le scie di condensazione nascono con i primi voli ad alta quota

Compagno nella letteratura scientifica nel 1919

Diventano oggetto di studio durante la seconda guerra mondiale

Le scie nella storia

La battaglia d'Inghilterra



Vapour trails over Westminster



Le scie nella storia

La battaglia d' Inghilterra

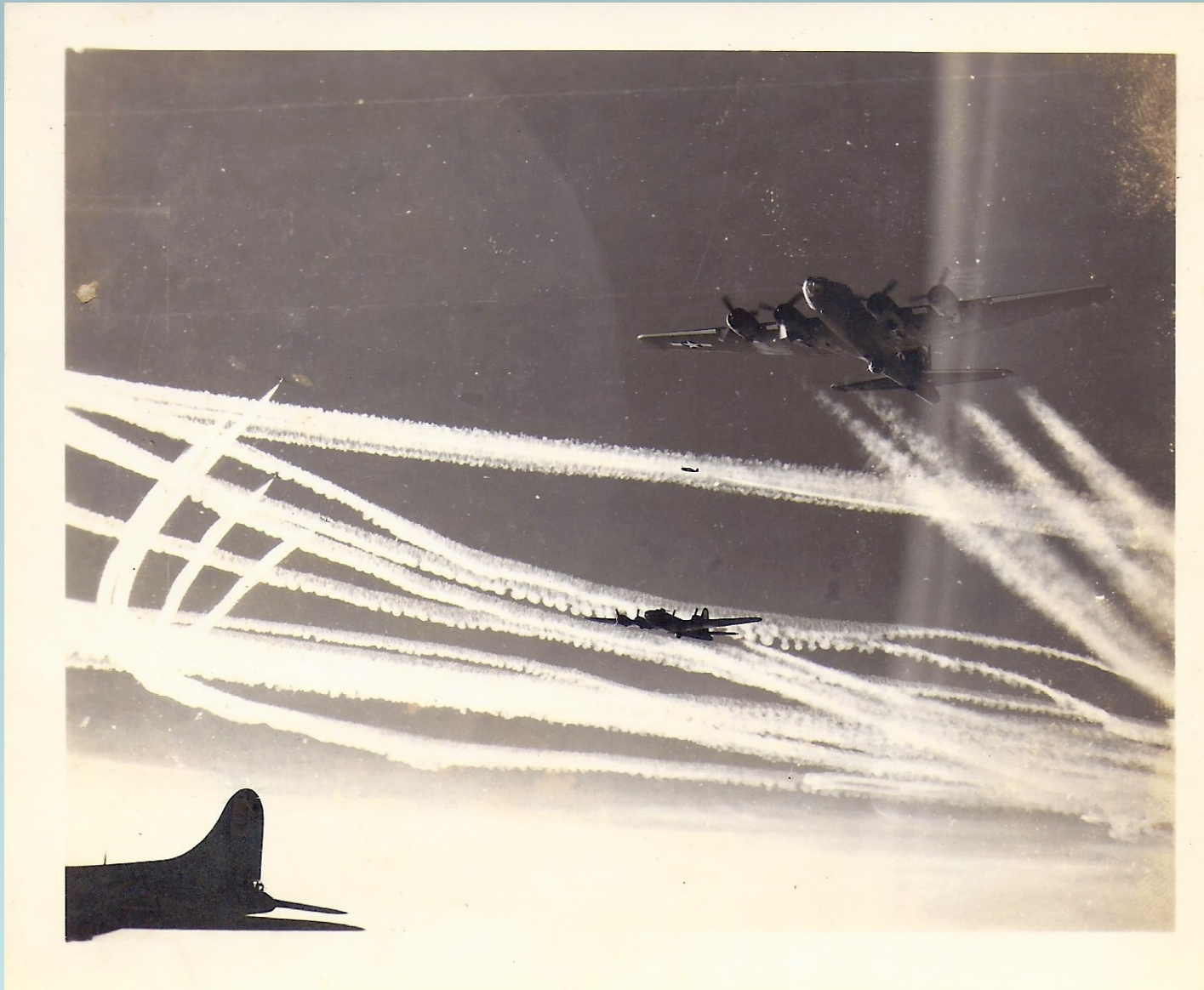


Le scie nella storia

La battaglia delle Ardenne



Le scie nella storia



Le scie nella storia



Le scie nella storia



Le scie nella storia

11 maggio 1944: le scie di oltre 1400 velivoli riducono l'irraggiamento solare al suolo con effetti sulla temperatura

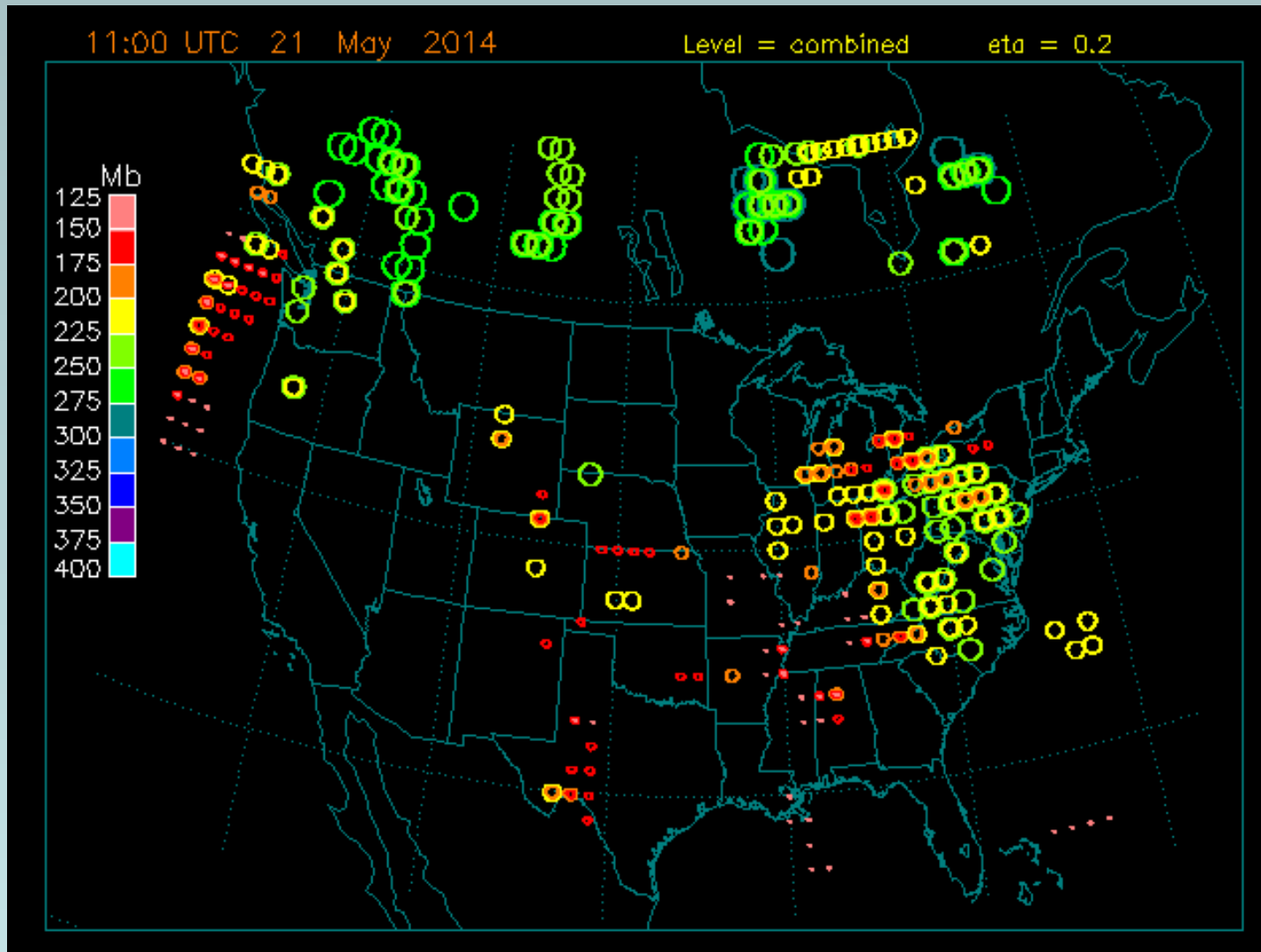


La previsione delle scie (Appleman, 1953)

La formazione delle scie dipende dalla temperatura e dal contenuto di vapore acqueo della miscela tra gas esausti e aria ambiente

Fissate le variabili pressione e umidità, la temperatura deve essere inferiore a un valore critico

La previsione delle scie



Classificazione delle scie

Scie di breve durata



Classificazione delle scie

Scie di breve durata



Classificazione delle scie

Scie di breve durata

Sono corte e sottili

Scompaiono rapidamente dopo il passaggio dell' aereo

Indicano un basso contenuto di umidità in atmosfera

I cristalli di ghiaccio evaporano una volta che il gas si è miscelato all' atmosfera

Classificazione delle scie

Scie persistenti



Classificazione delle scie

Scie persistenti



Classificazione delle scie

Scie persistenti



Classificazione delle scie

Scie persistenti



Classificazione delle scie

Scie persistenti



Photo by Louis Nguyen

1. 26. 2001

Classificazione delle scie

Scie persistenti



Classificazione delle scie

Scie persistenti

Rimangono in cielo anche dopo che l' aereo è scomparso alla vista

Indicano una maggiore presenza di umidità in atmosfera

I cristalli continuano a crescere grazie all' acqua contenuta nell' atmosfera circostante

Possono restare sottili o espandersi

Classificazione delle scie

Scie persistenti a elevata espansione



Classificazione delle scie

Scie persistenti espanse

Possono durare ore

Si espandono per chilometri in larghezza e per centinaia di metri in spessore

Si espandono a causa della turbolenza generata dall' aereo e dei venti in quota

Diventano in tutto e per tutto simili ai cirri naturali

Dalle scie di condensazione ai cirri



Dalle scie di condensazione ai cirri



Dalle scie di condensazione ai cirri



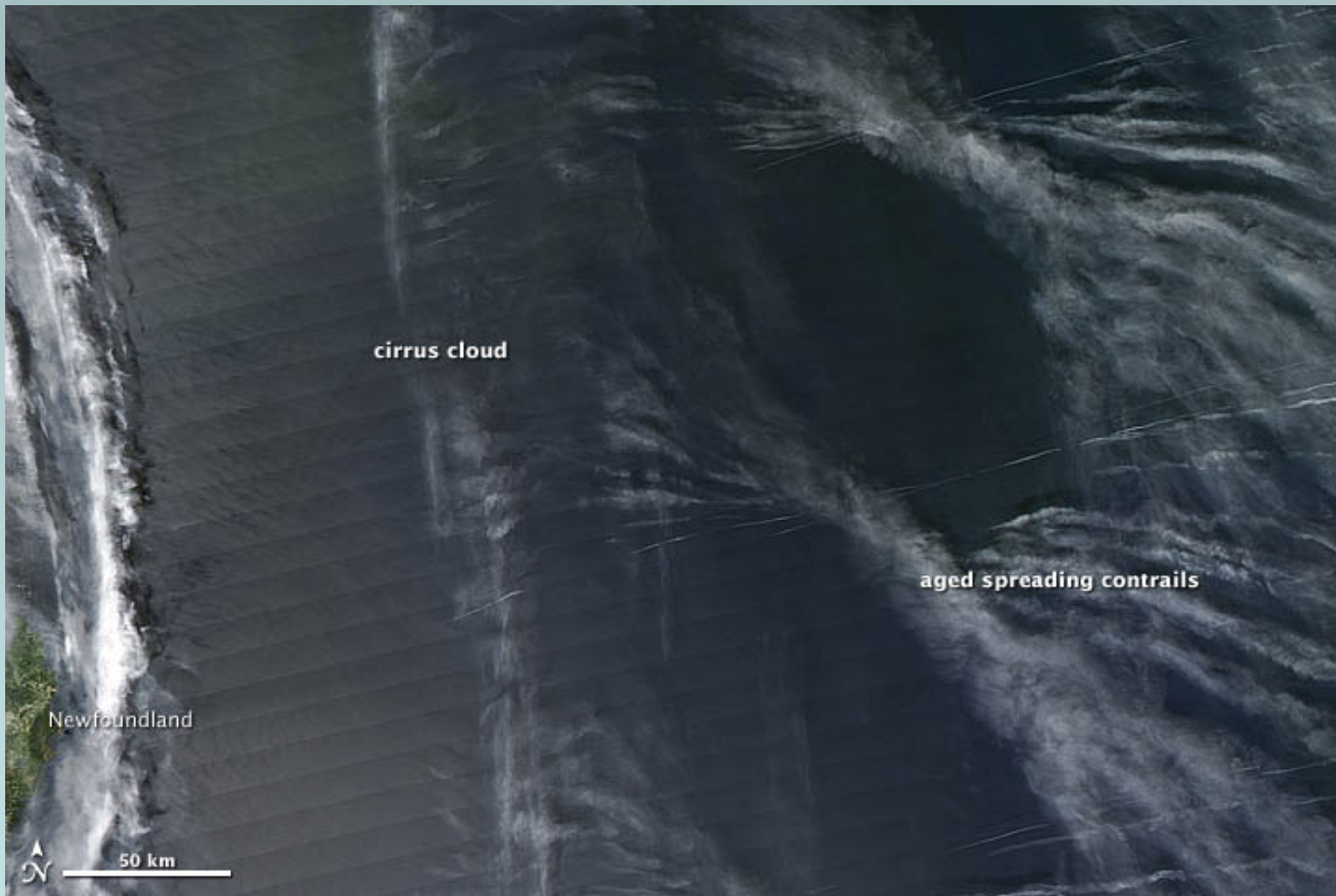
Dalle scie di condensazione ai cirri



Dalle scie di condensazione ai cirri



Dalle scie di condensazione ai cirri



Classificazione delle scie

Scie di condensazione aerodinamiche



Classificazione delle scie

Scie di condensazione aerodinamiche

Sono scie o vortici di vapore dalle estremità delle ali durante il decollo e l'atterraggio

Hanno origine dal calo di pressione (e quindi di temperatura) nel vortice che si forma alle estremità delle ali (*wingtips*) o lungo la fusoliera

Classificazione delle scie

Scie di condensazione aerodinamiche



Photo Copyright © Ismael Jorda

AIRLINERS.NET

Classificazione delle scie

Scie di condensazione aerodinamiche



Scie di condensazione “al contrario”: DISTRAILS (dissipation trails)



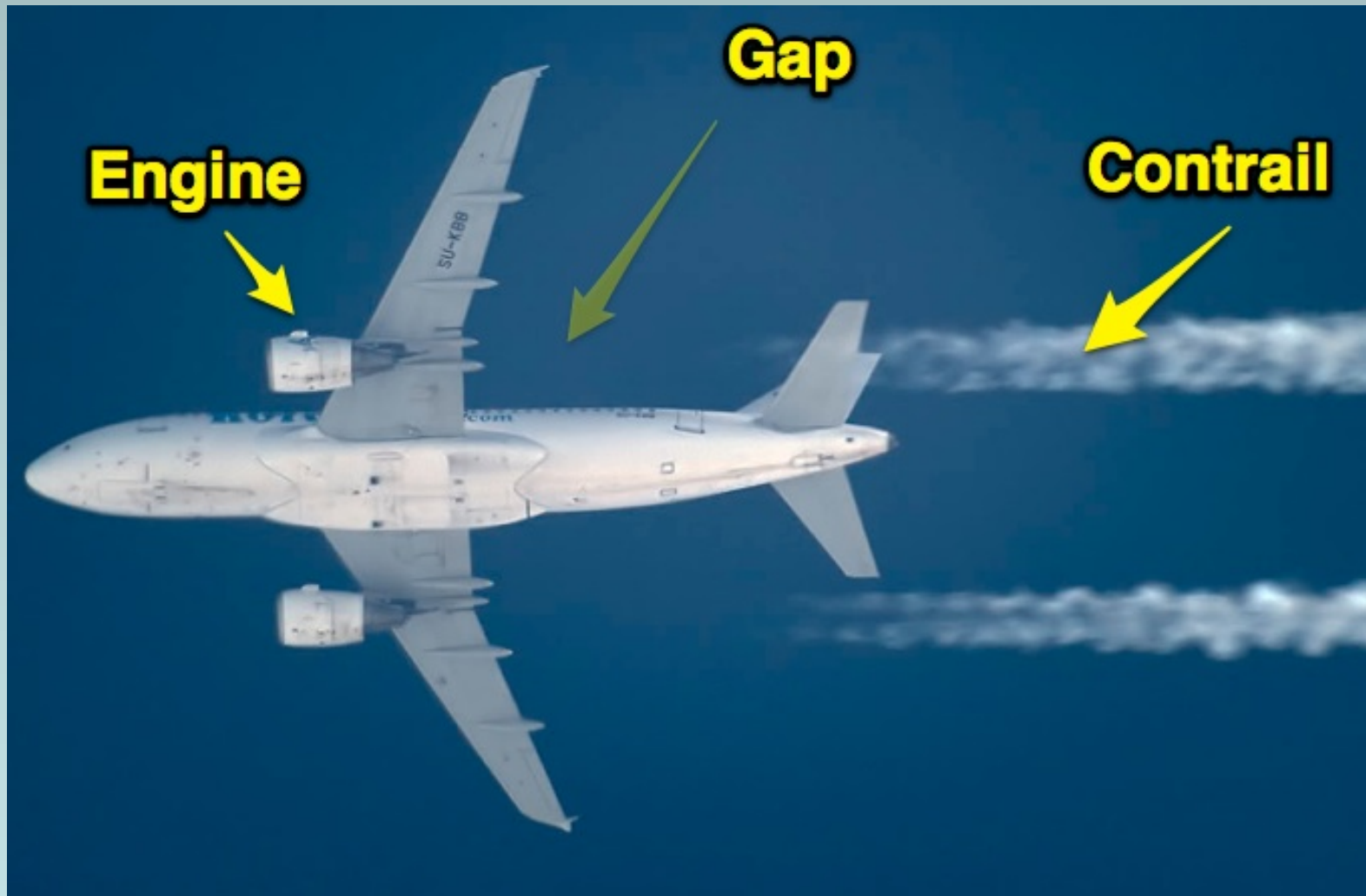
Distrails dal satellite



Scia di condensazione “interrotta”



Scia di condensazione staccata



Come si formano le nuvole



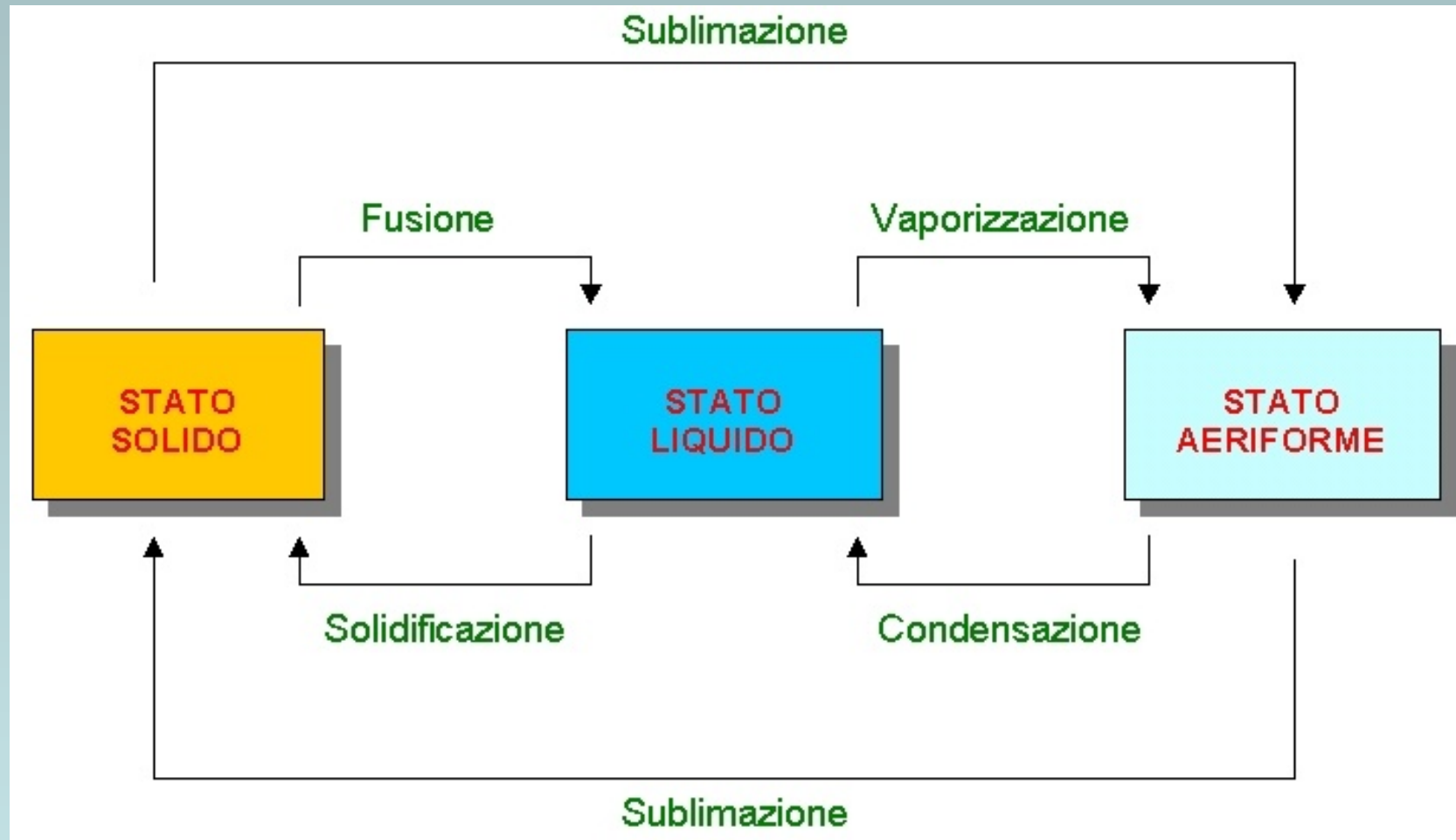
Come si formano le nuvole

Le nubi sono agglomerati visibili di particelle d'acqua allo stato liquido (goccioline) o solido (cristalli di ghiaccio) in sospensione nell'atmosfera.

In atmosfera l'aria contiene una percentuale massima di vapore acqueo del 4%

E' l'unico tra i gas atmosferici a subire cambiamenti di fase in atmosfera

Come si formano le nuvole

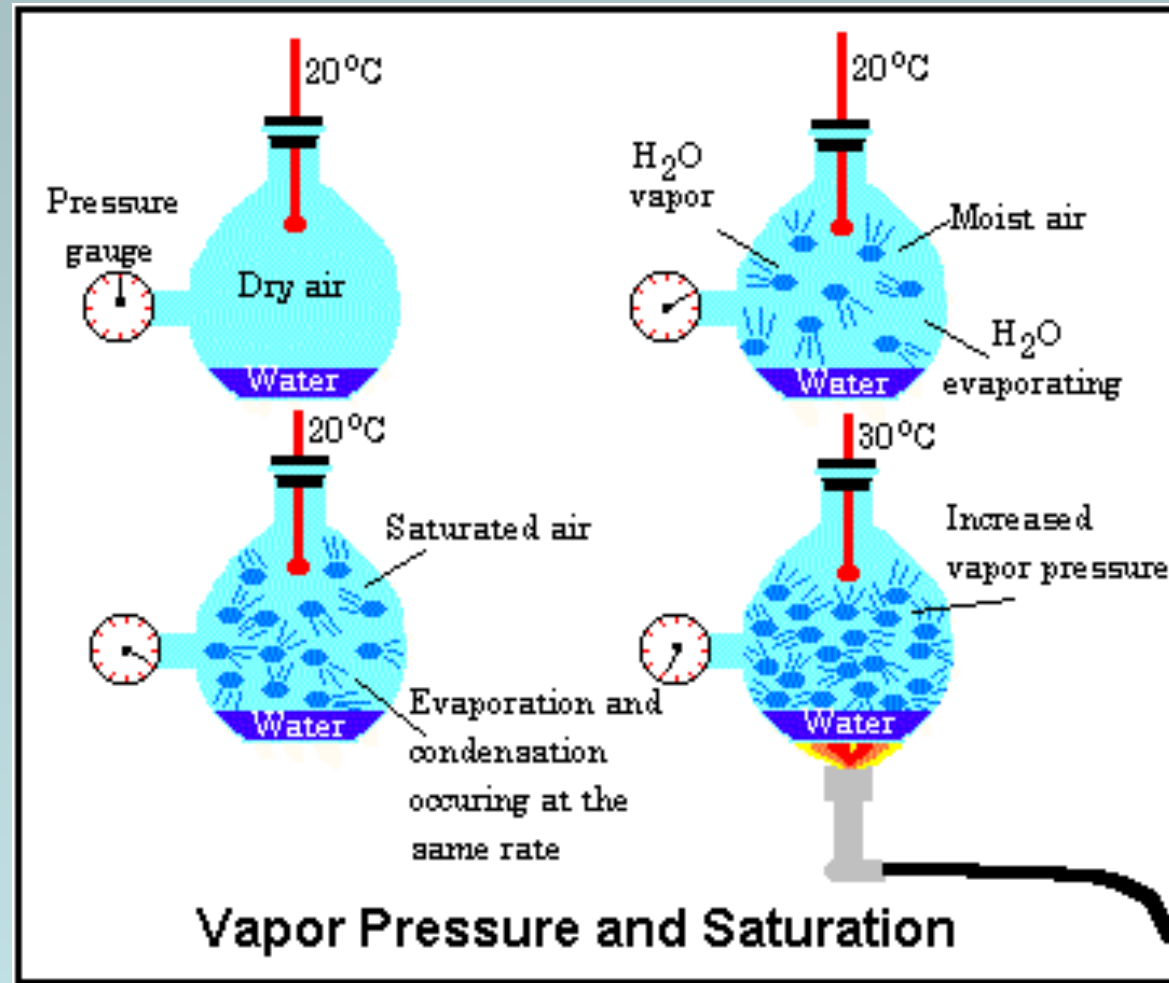


Come si formano le nuvole

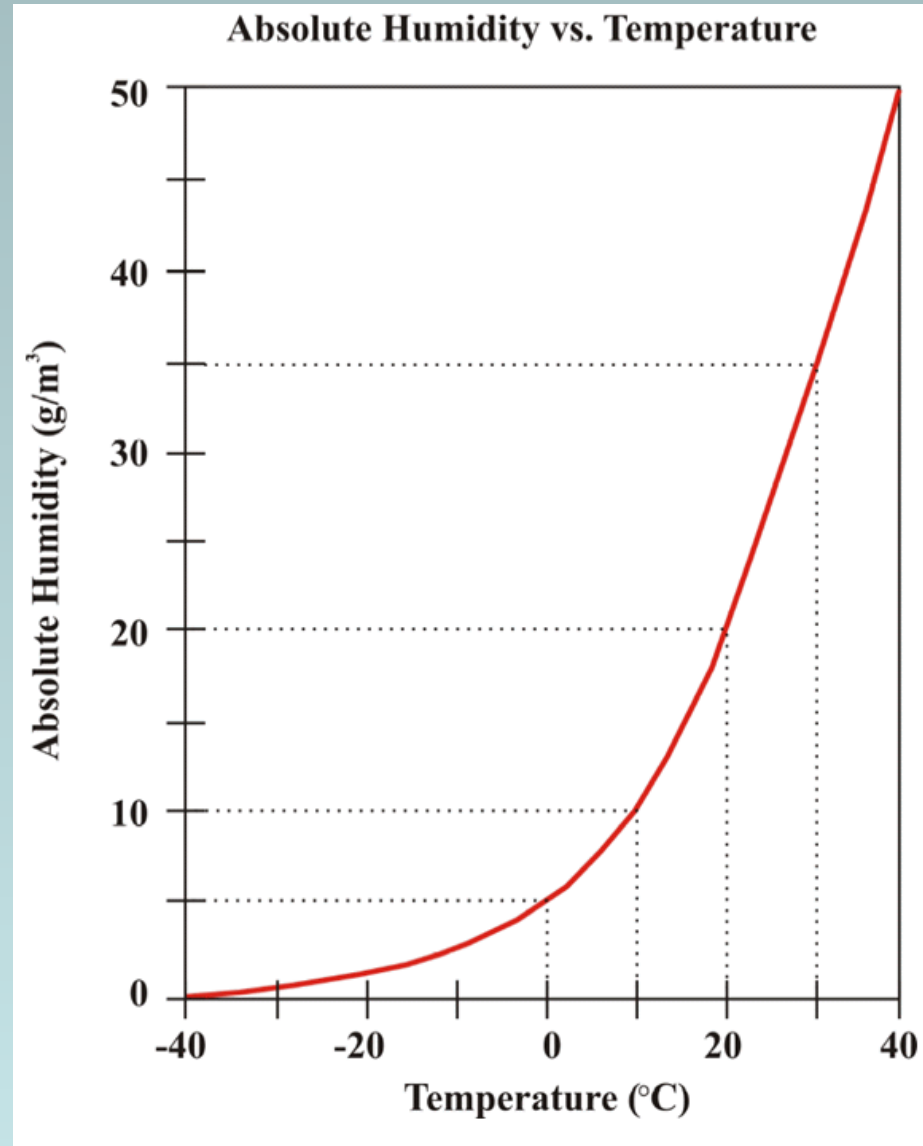
Saturazione: stato di equilibrio dinamico tra due fasi

**Tensione di vapore saturo E :
pressione parziale esercitata dal vapore
acqueo in condizioni di saturazione e in
equilibrio con una massa d'acqua pura
(superficie piana)**

Come si formano le nuvole



Come si formano le nuvole



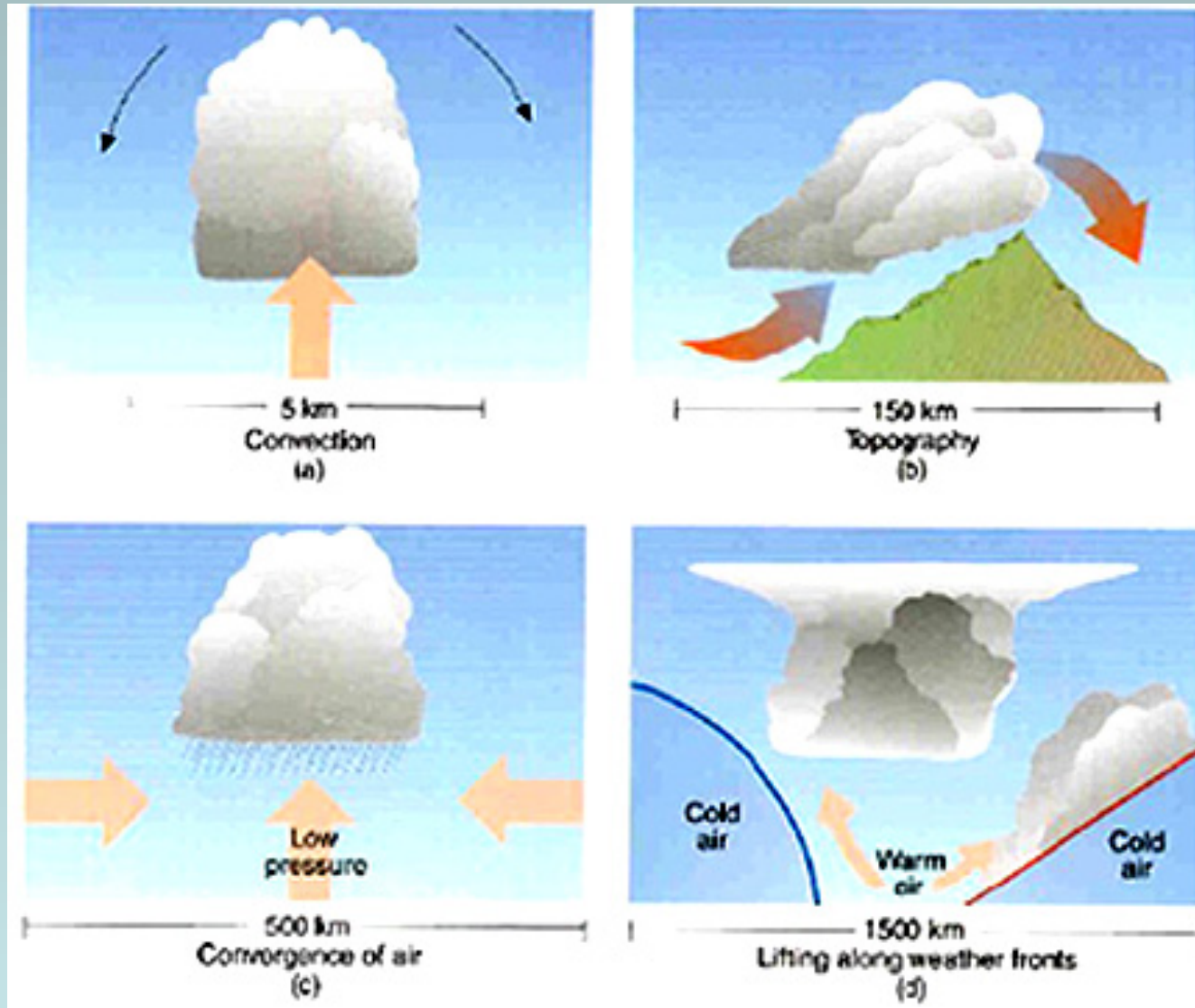
Come si formano le nuvole

La saturazione può essere raggiunta con l'umidificazione di una massa d'aria o con il raffreddamento dell'aria umida.

Raffreddamento isobarico

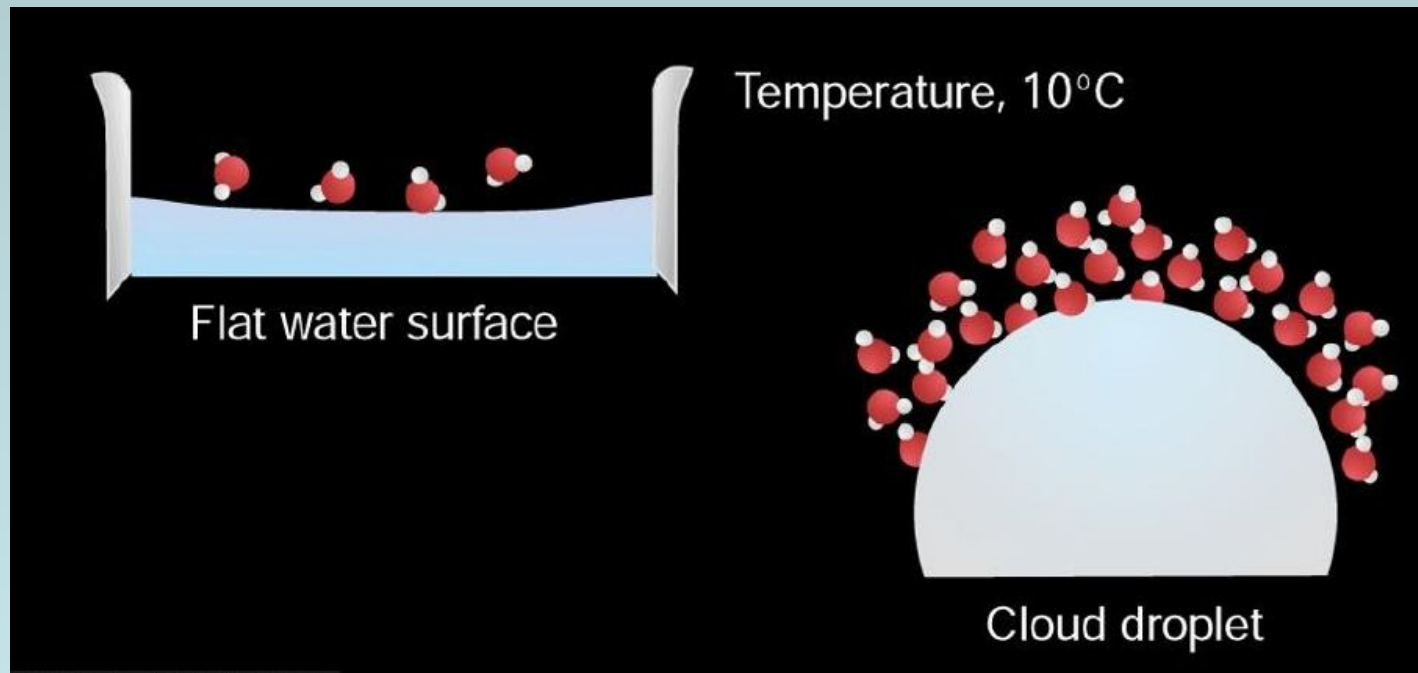
Raffreddamento adiabatico (sollevamento della massa d'aria)

Come si formano le nuvole



Come si formano le nuvole

La tensione di vapore saturo aumenta in presenza di goccioline per effetto del loro raggio di curvatura che diminuisce la forza di coesione: : si ha la *sovrasaturazione*



Come si formano le nuvole

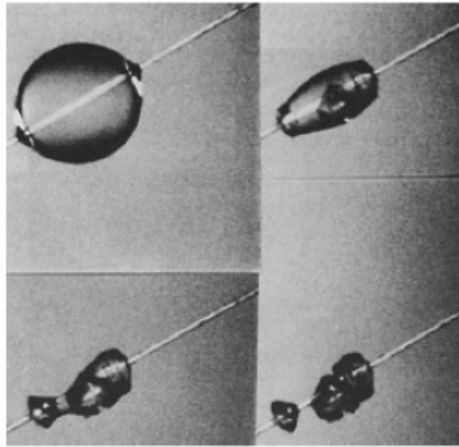
L'acqua pura condensa con sovrasaturazioni elevate o a temperature inferiori a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

L'aerosol atmosferico funge da nucleo di condensazione

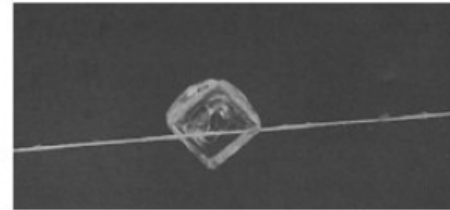
Come si formano le nuvole

Nuclei di condensazione

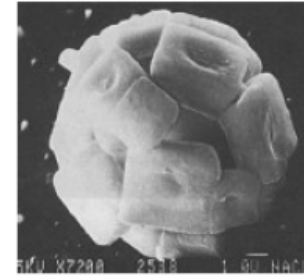
NaCl
300 micron



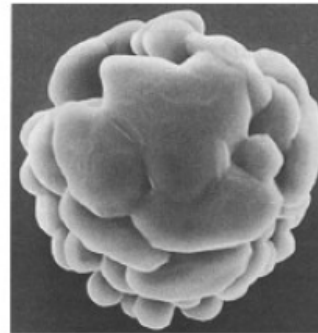
NaCl
150 micron



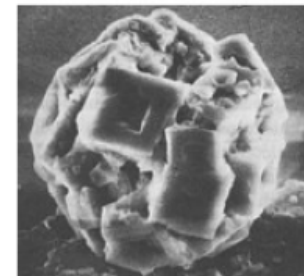
NaCl
6 micron



$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
10 micron



Sale marino
30 micron



Come si formano le nuvole

Nelle nubi fredde (sopra l' isoterma di 0 °C) gran parte delle gocce rimane allo stato liquido (*sopraffusione*)

La scarsa energia delle molecole non è sufficiente a vincere le forze di coesione

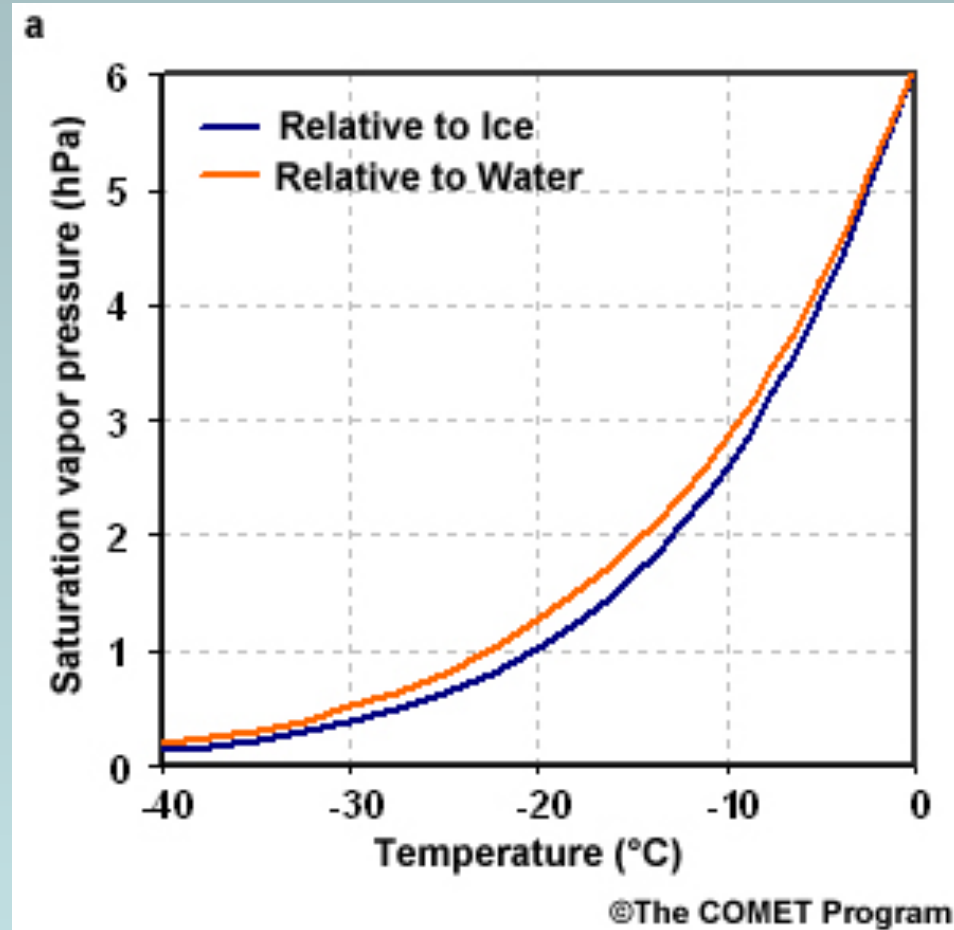
Come si formano le nuvole

La tensione di vapore saturo rispetto all' acqua è superiore a quella rispetto al ghiaccio

$$E > E_i$$

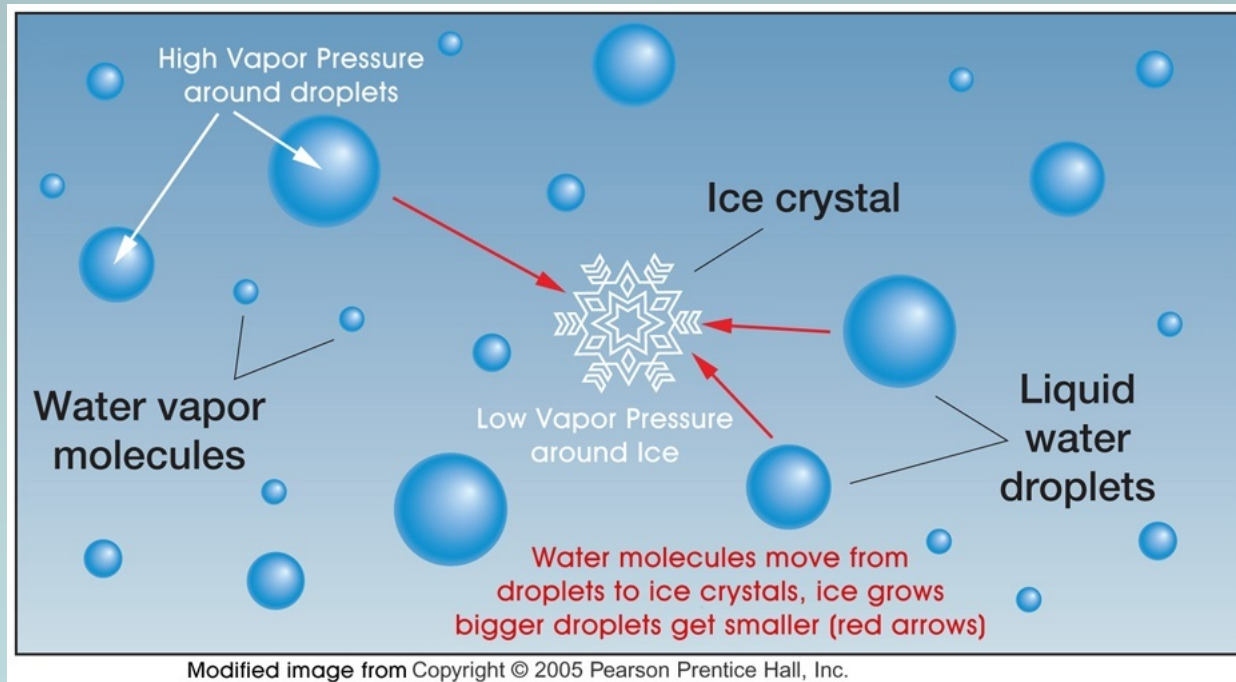
L' accrescimento dei cristalli di ghiaccio avviene a spese delle goccioline (droplet).

Come si formano le nuvole



Come si formano le nuvole

Processo di Bergeron-Findeisen



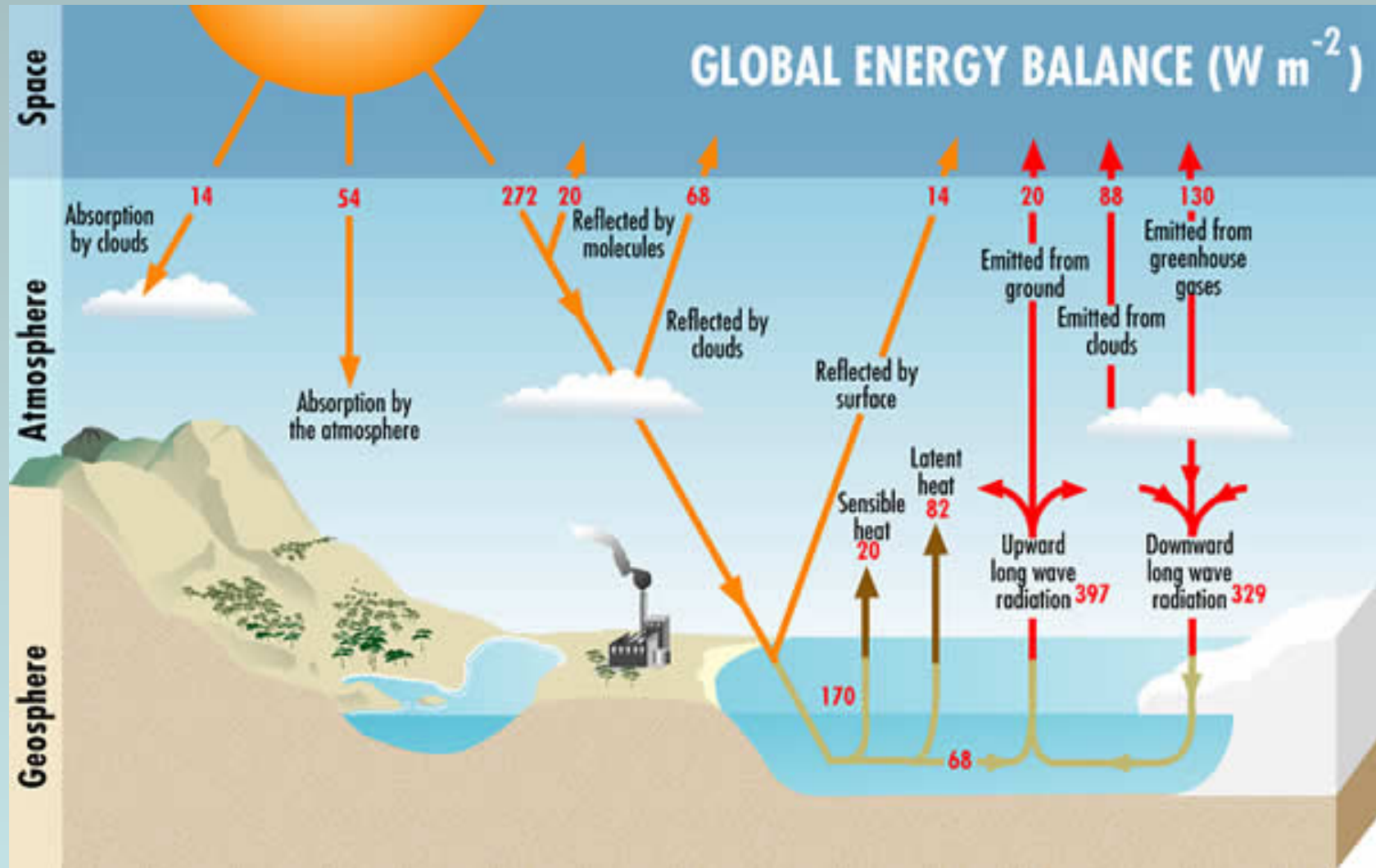
Aspetti climatici delle scie

Le emissioni dei velivoli hanno effetti sul bilancio radiativo della Terra e quindi sul clima

Aerosol e contrails hanno effetti diretti sulla radiazione solare e infrarossa ed effetti indiretti sulla formazione delle nubi

Ben più importante è però l'incremento dell'effetto serra della CO₂ emessa dalla combustione

Gli scambi di energia



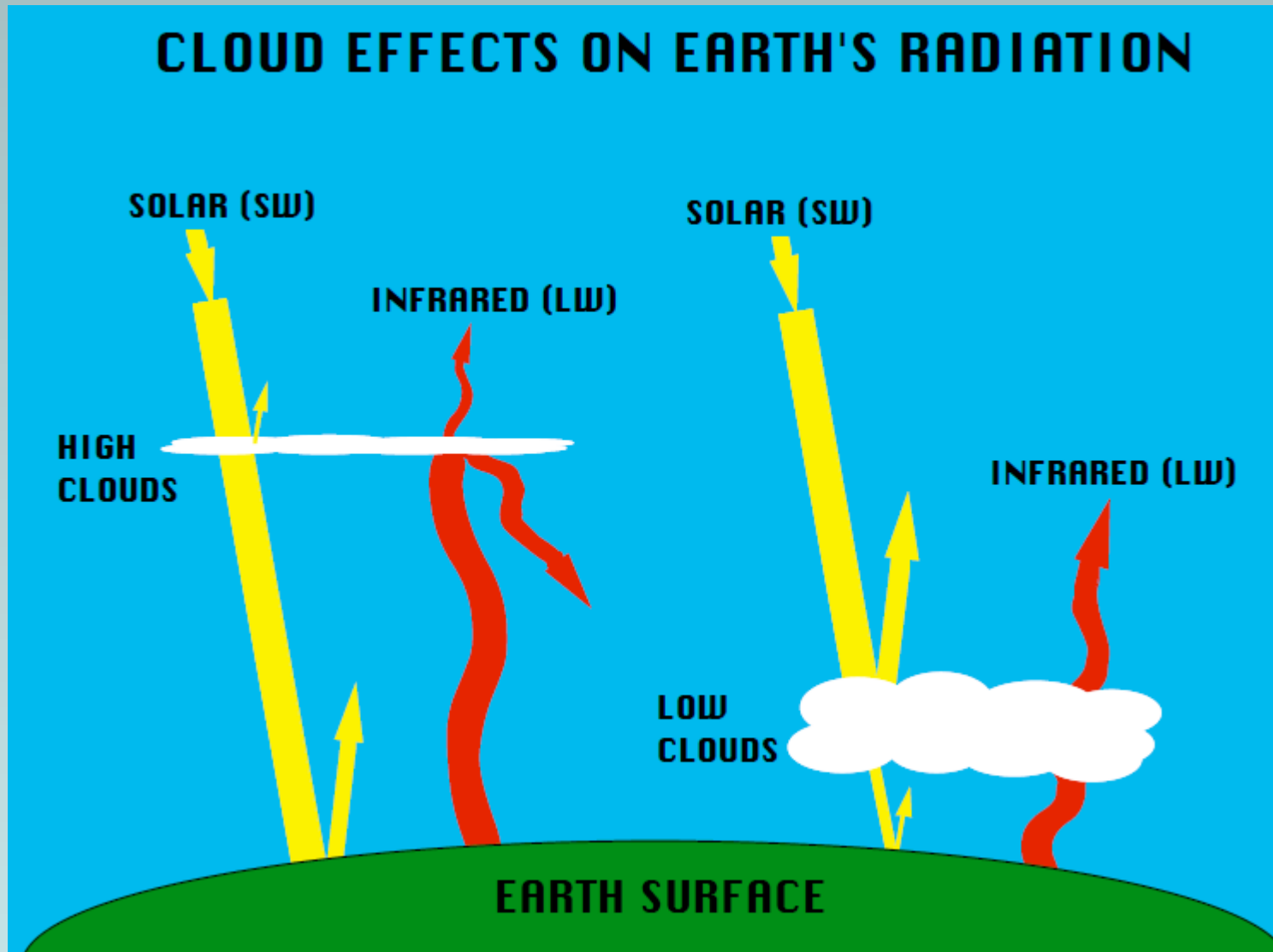
Aspetti climatici delle scie

Le scie hanno sulla radiazione effetti simili a quelli dei cirrostrati sottili:

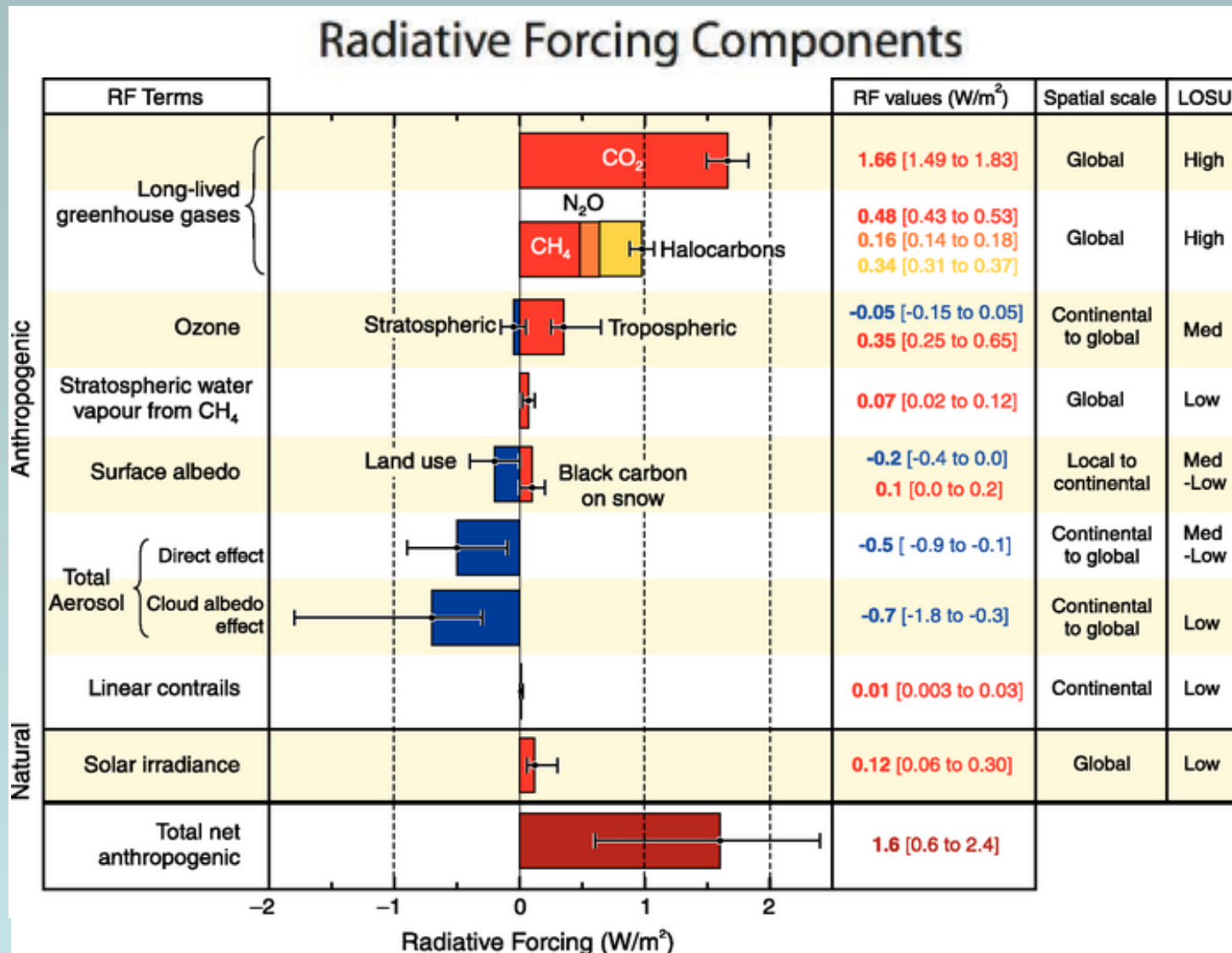
- **lieve riduzione del flusso solare entrante**
- **maggiore impatto sulla radiazione IR uscente**

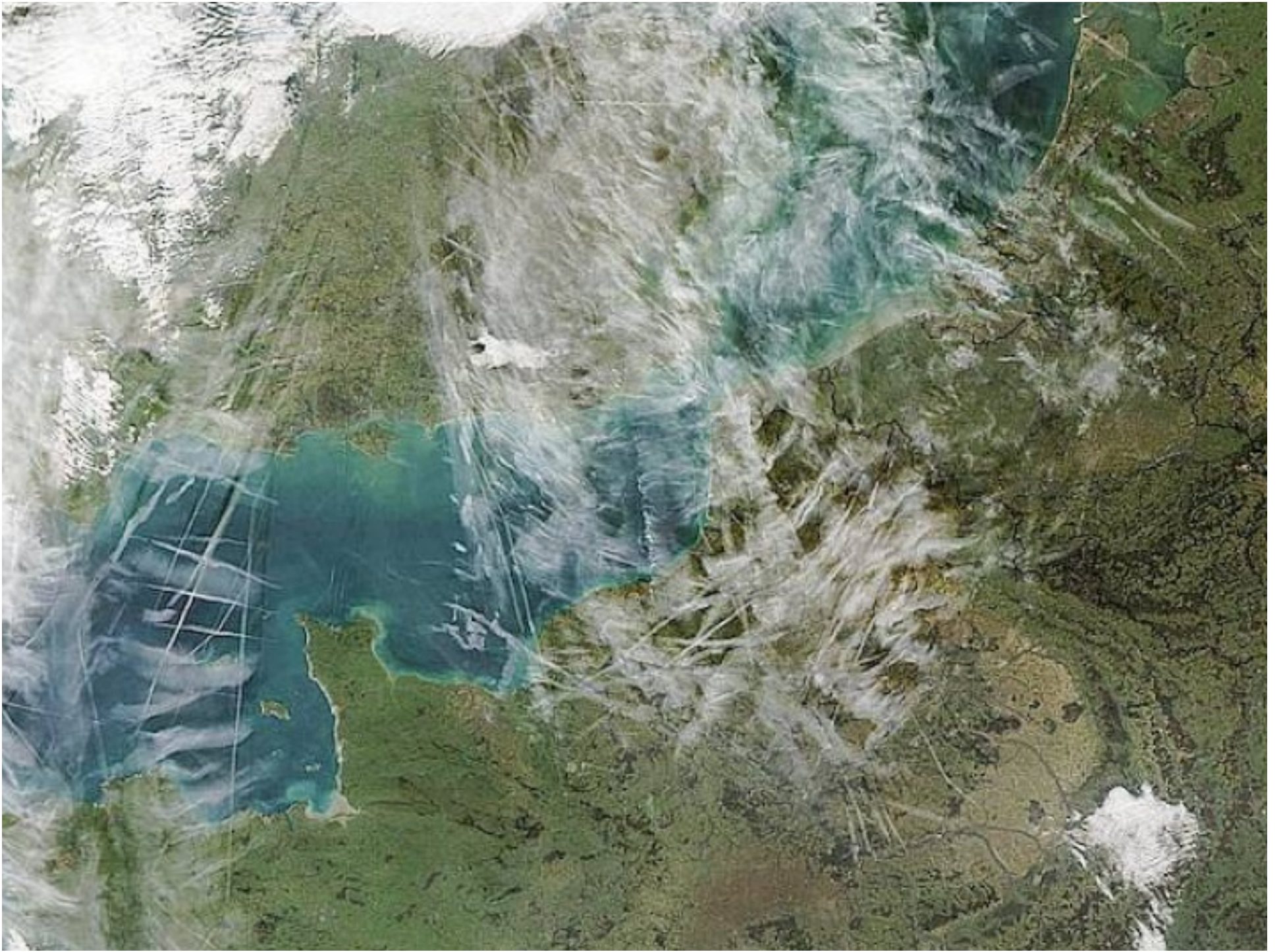
Forcing radiativo positivo (contribuiscono al riscaldamento)

Gli scambi di energia



Aspetti climatici delle scie





Cirri iridescenti



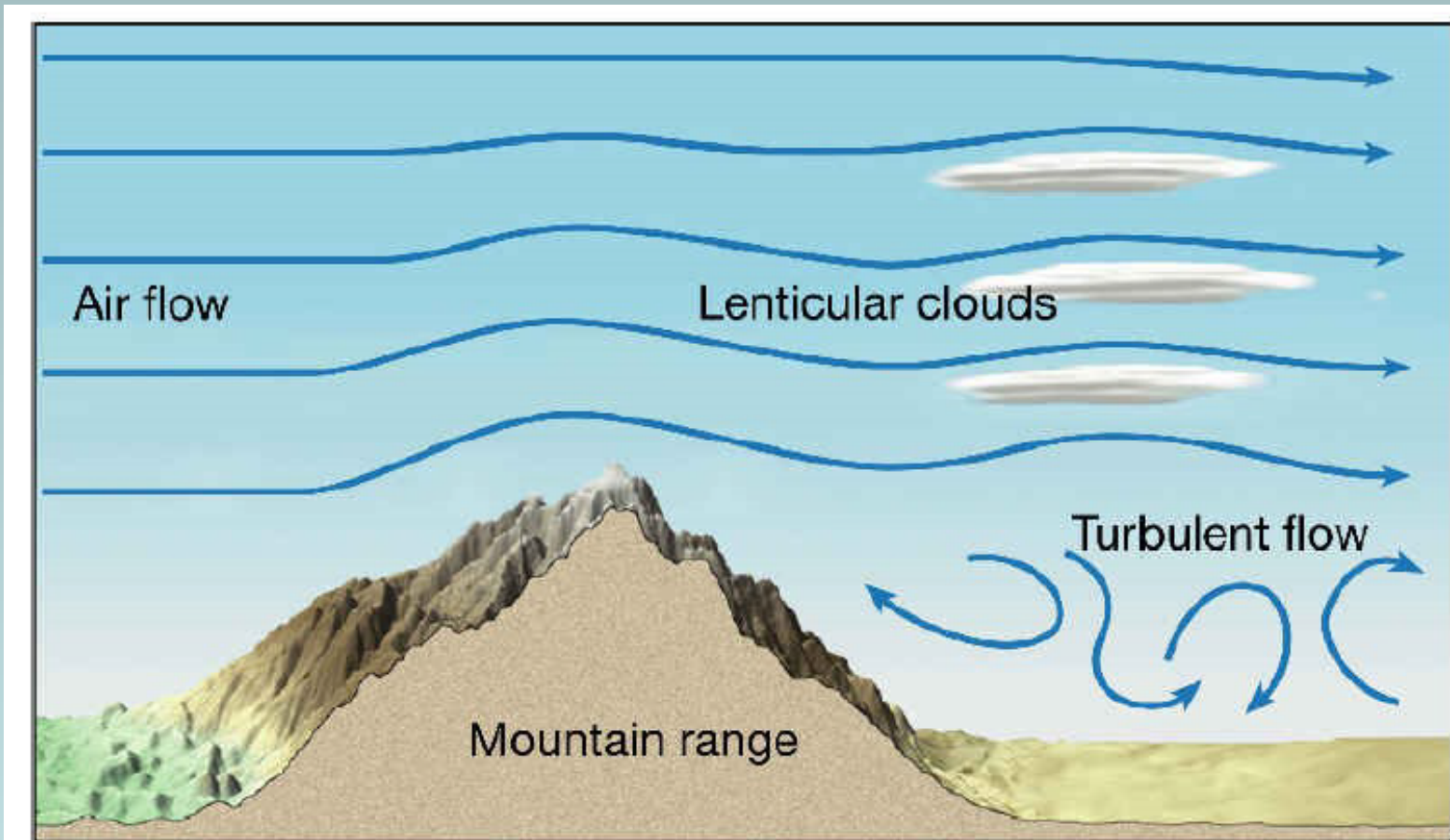
Nubi lenticolari



Nubi lenticolari



Nubi lenticolari



Schema semplificato della formazione degli altocumuli lenticolari. Fonte: Meted COMET

Nubi di Kelvin-Helmholtz



© Brooks Martner

Mammatus



Wave clouds



Shelf cloud



Roll cloud



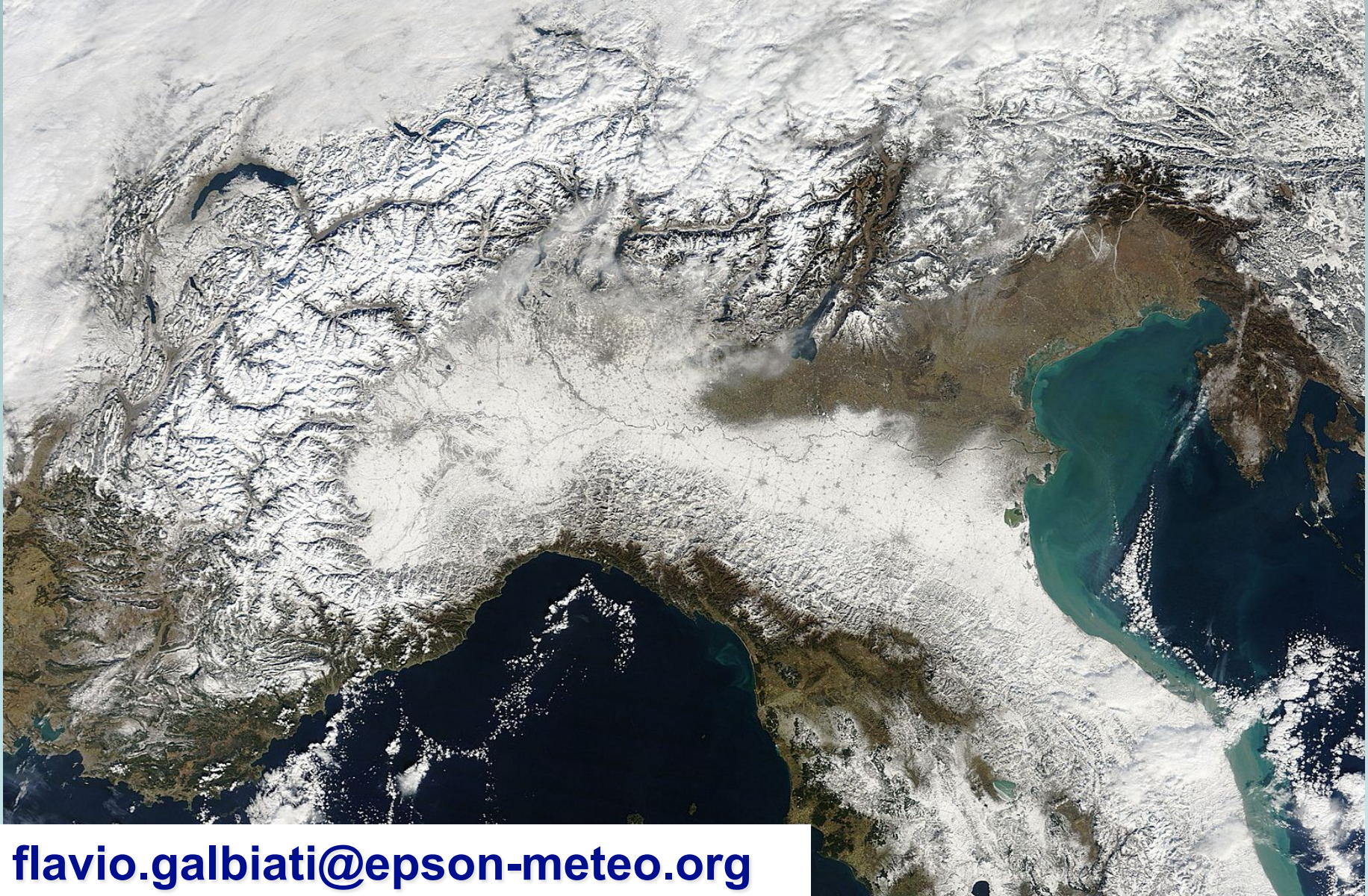
Fallstreak holes



Fallstreak holes



Grazie per l'attenzione !



flavio.galbiati@epson-meteo.org