

# La fabbrica delle nubi: dalla scala microscopica a ciò che vediamo

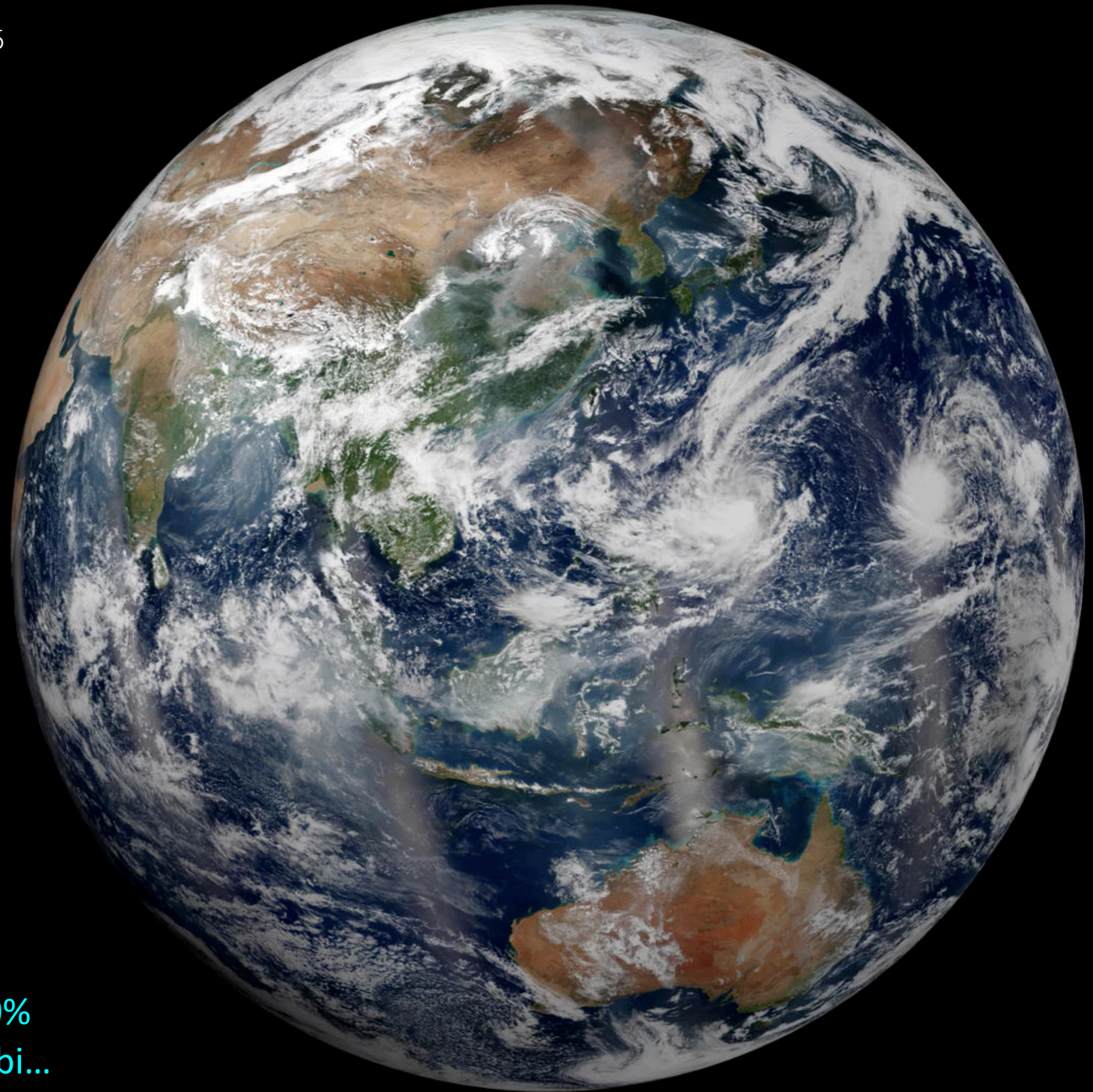
**Vincenzo Levizzani**



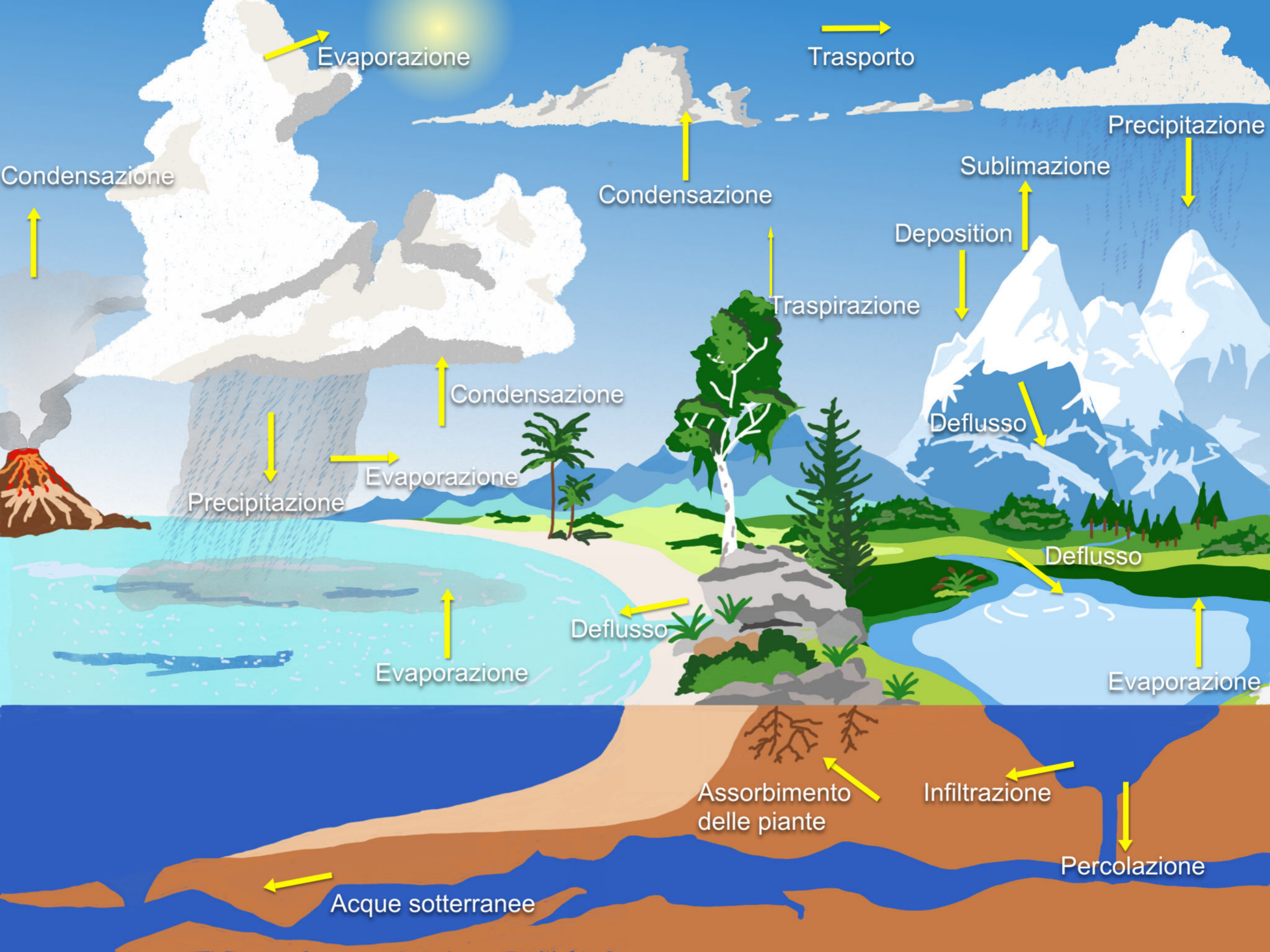
Consiglio Nazionale delle Ricerche

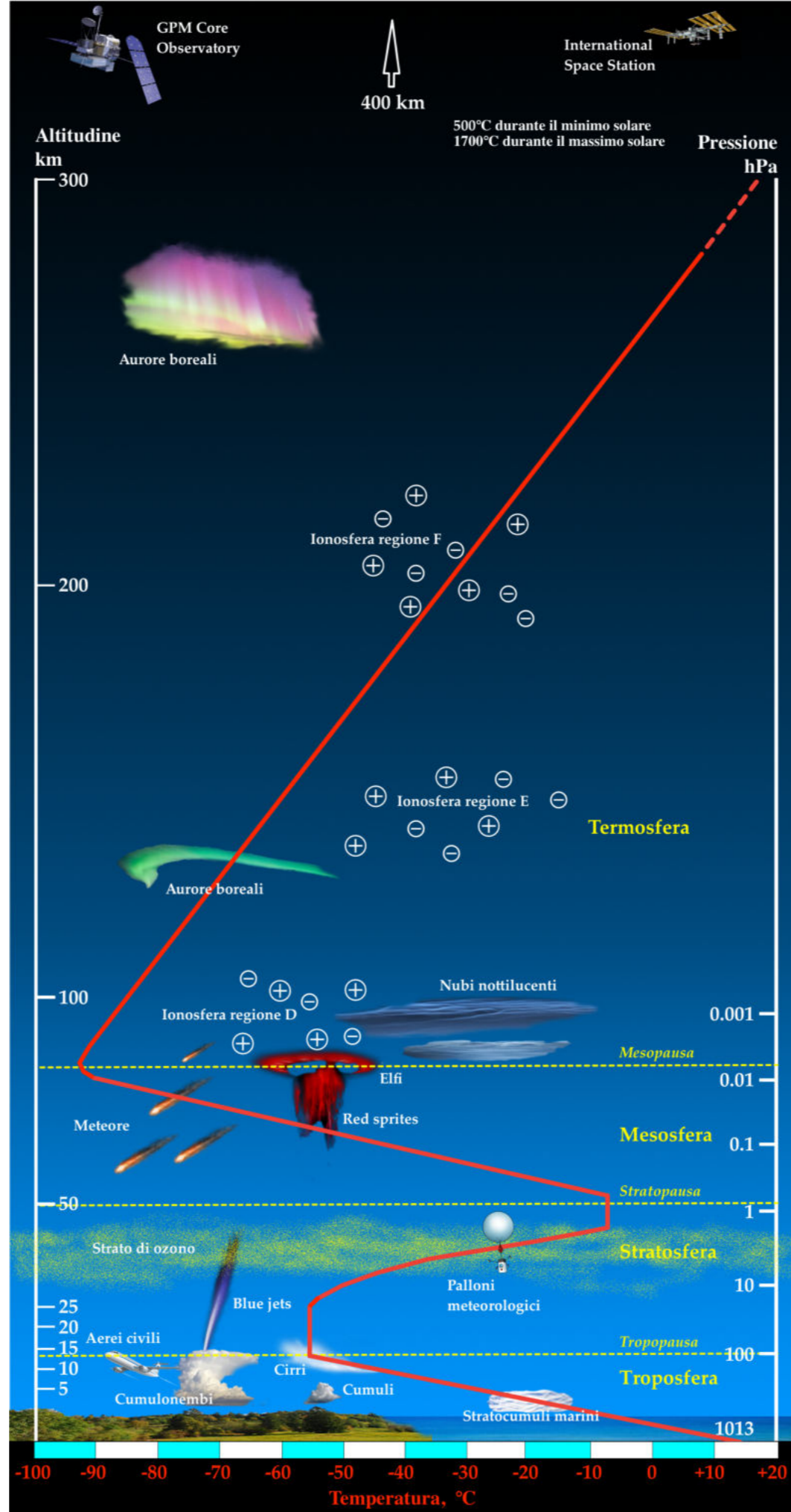
*Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima*

Suomi NPP VIIRS, ottobre 2015



In ogni momento circa il 70%  
della terra è coperto da nubi...



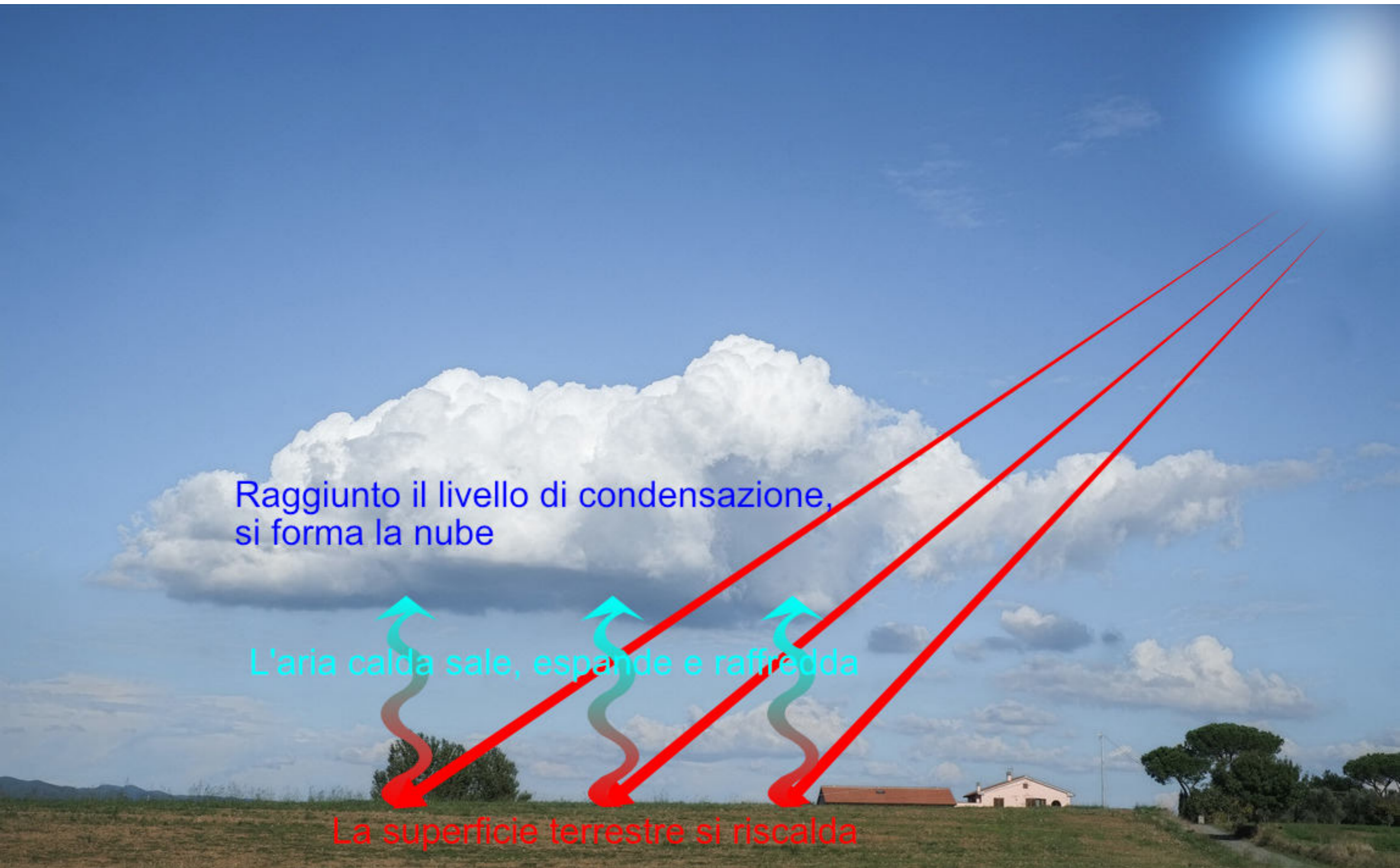




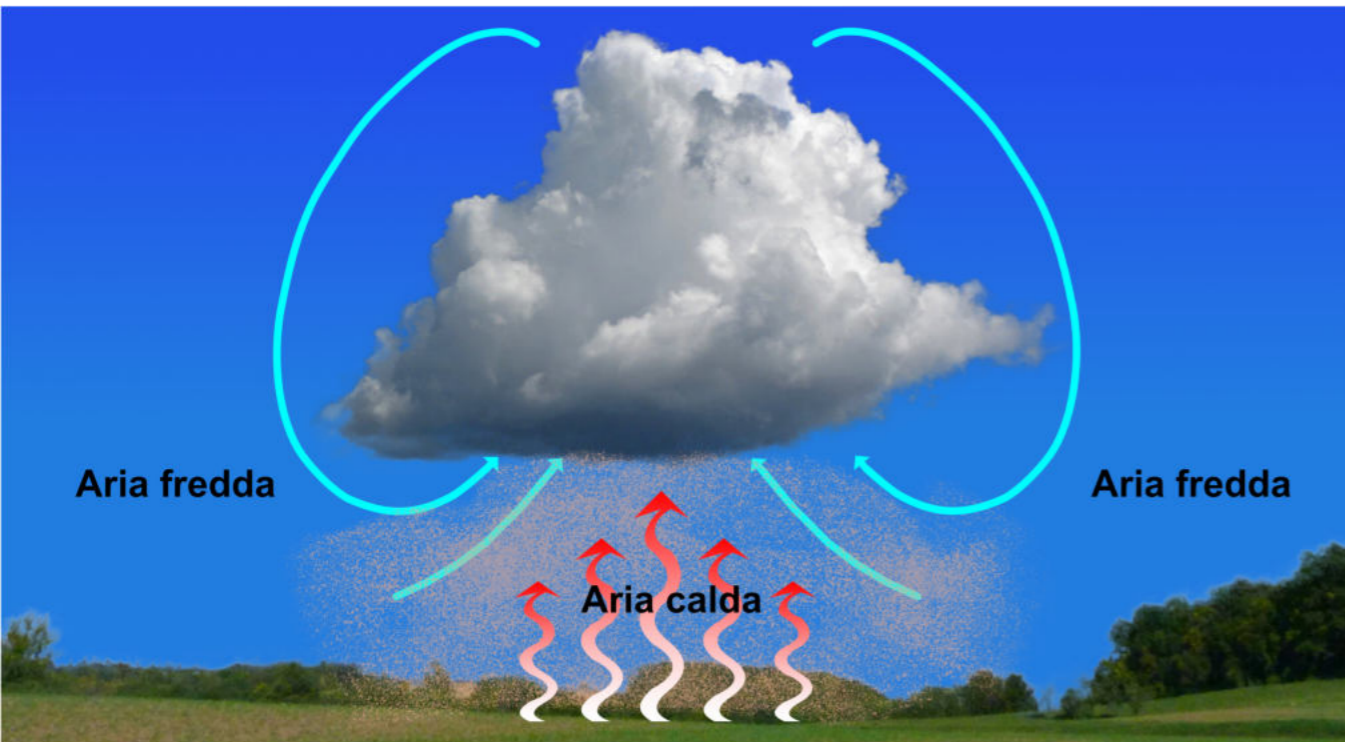
**Come si formano le nubi?**



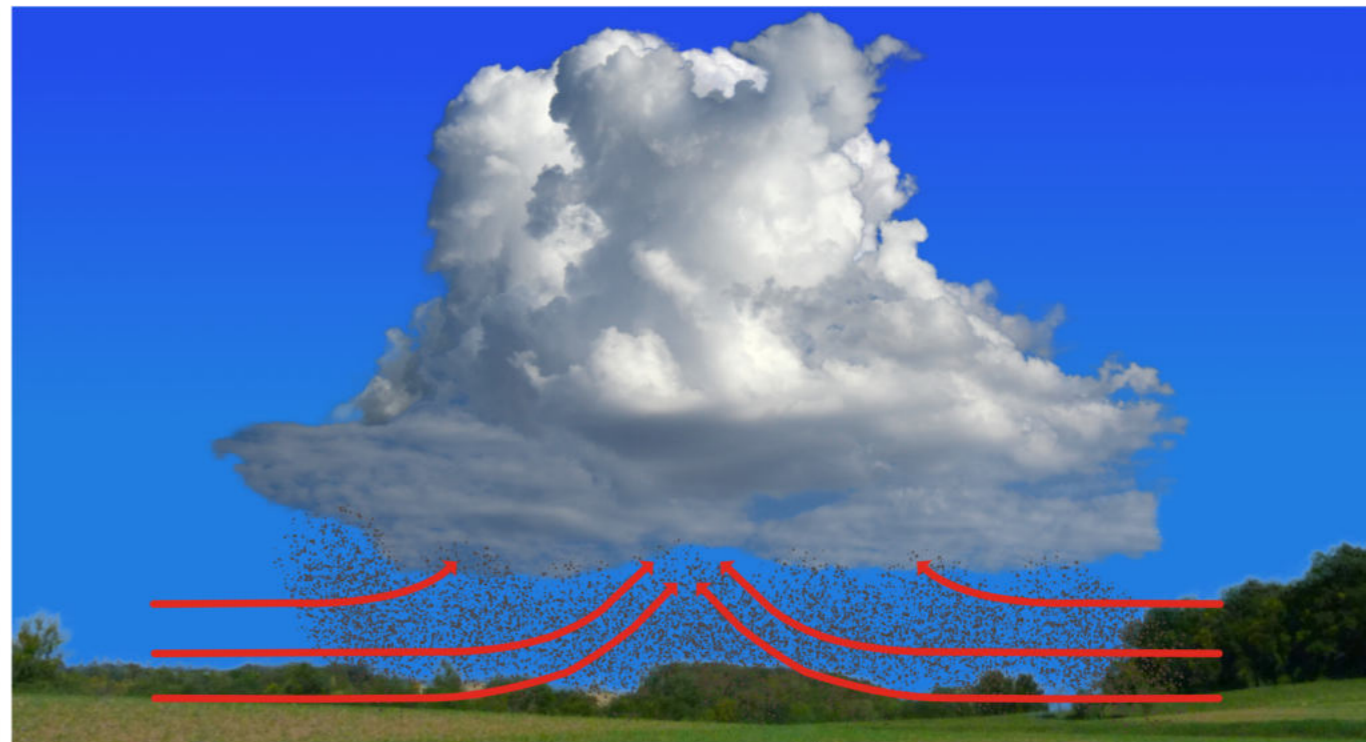
Sembra tutto molto semplice...



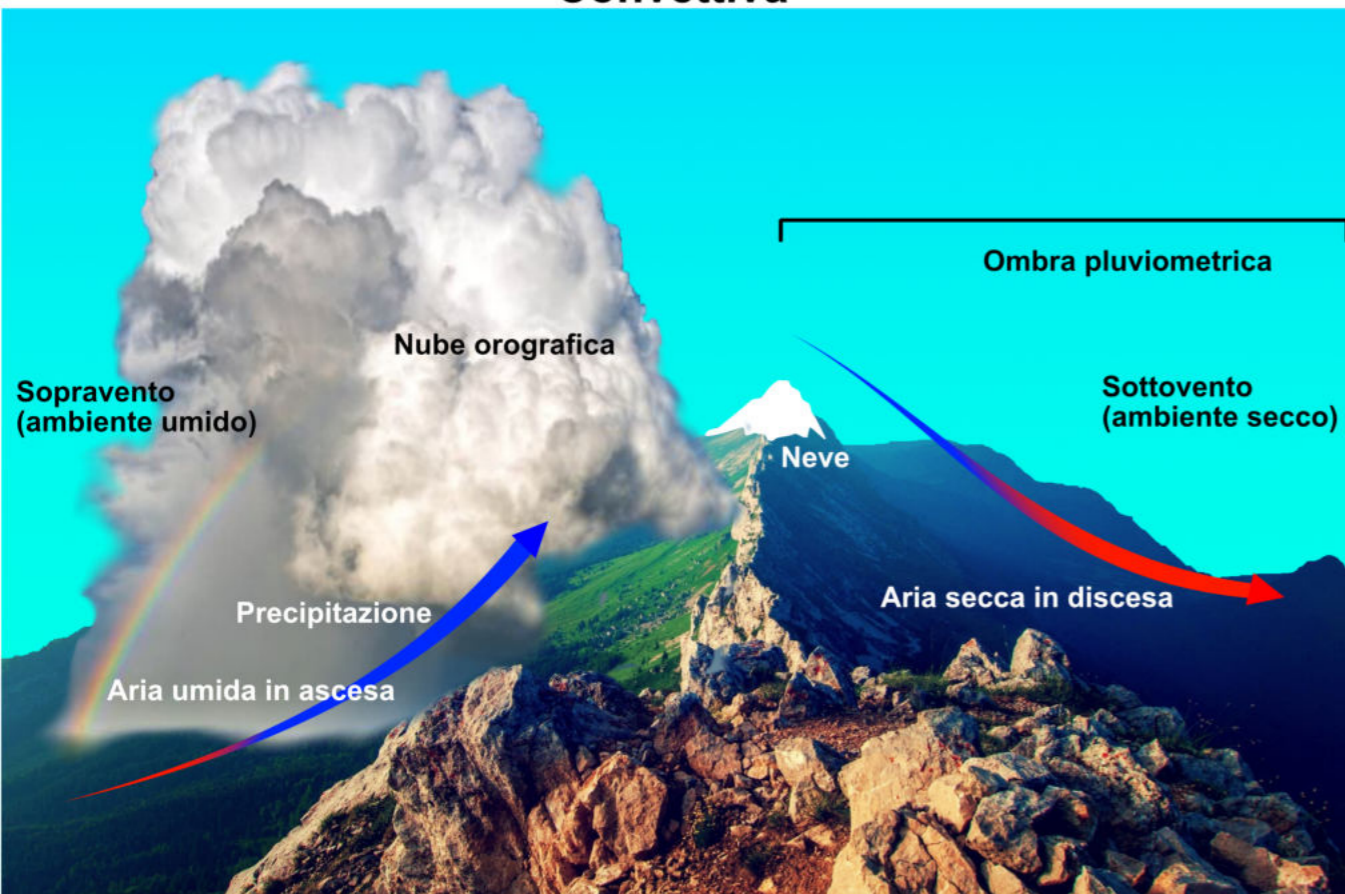
In realtà sono quattro le modalità di salita dell'aria calda e umida



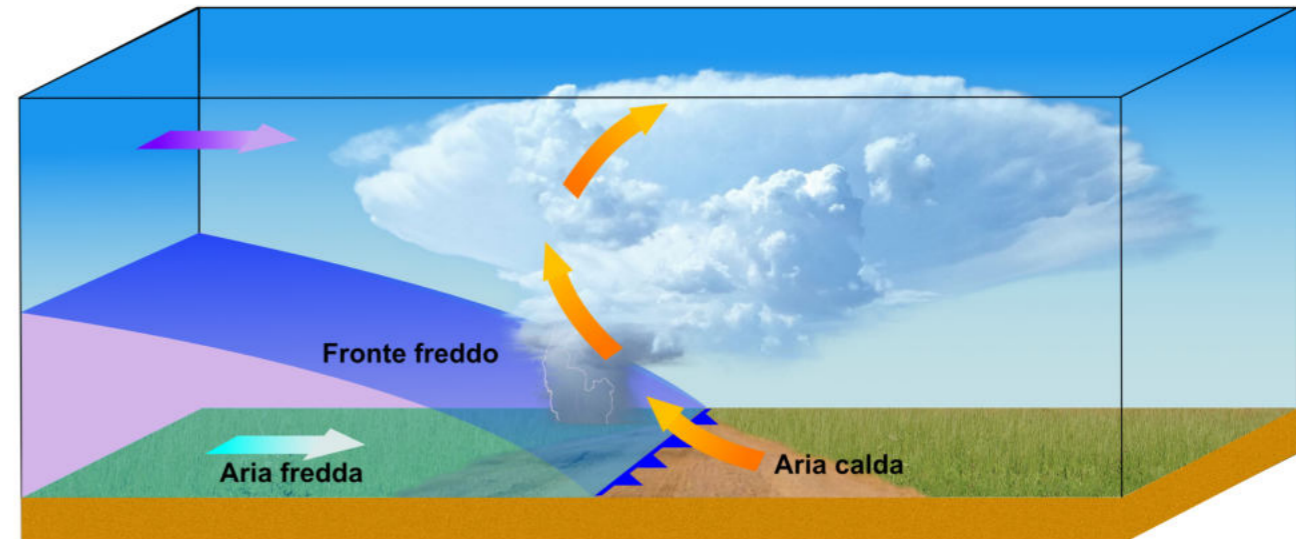
**Convettiva**



**Convergente**



**Orografica**



**Frontale**



**Le cose sono in realtà  
molto più complesse...**



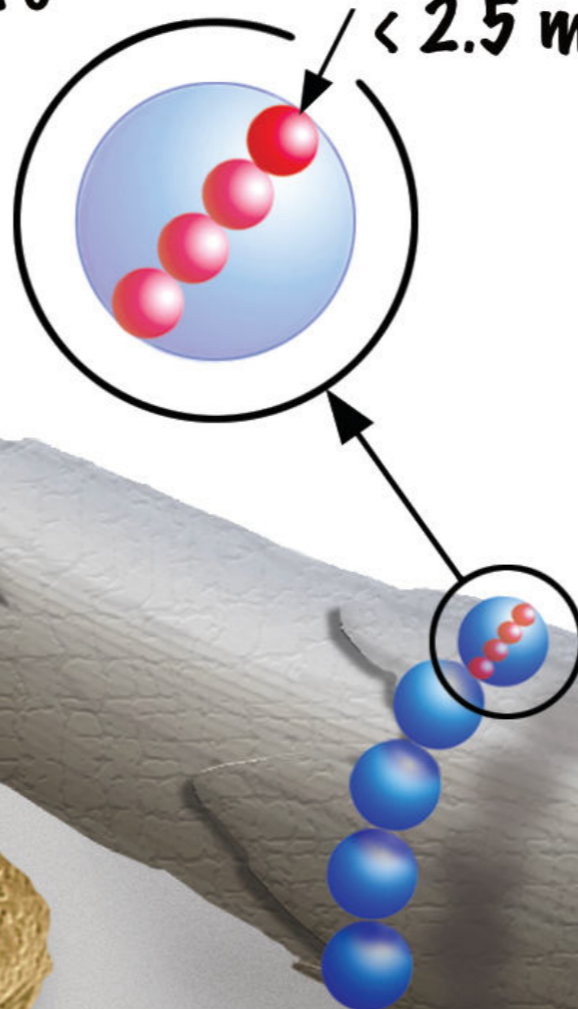
Capello umano  
50-70 micron di diametro

PM2.5  
Particelle da combustione,  
composti organici, metalli, ecc.  
< 2.5 micron di diametro

PM10  
Polvere, pollini, muffe, ecc.  
< 10 micron di diametro

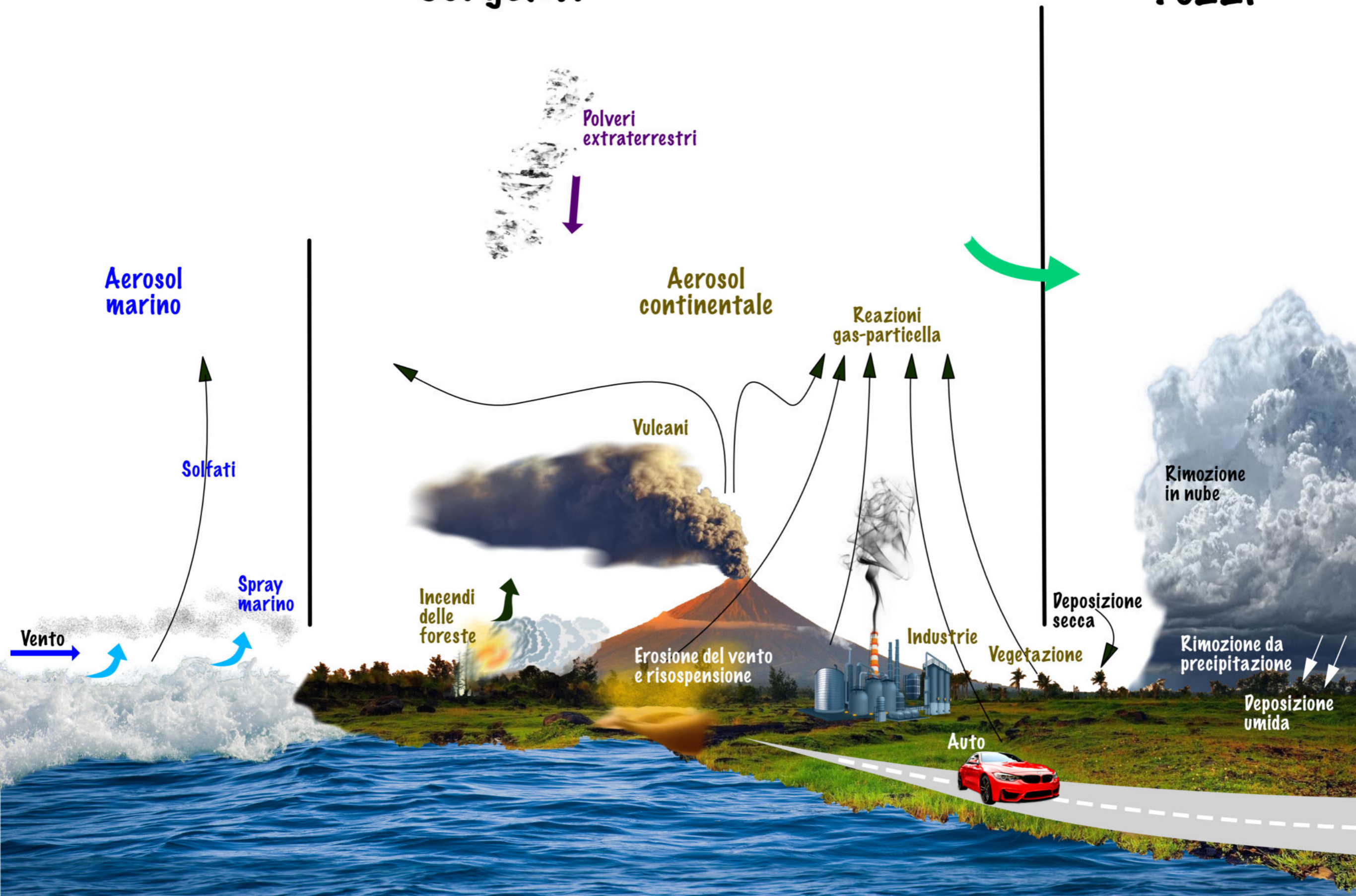


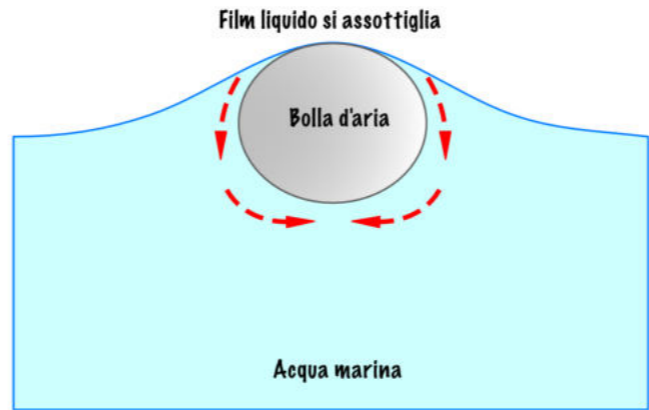
Sabbia marina fine  
90 micron



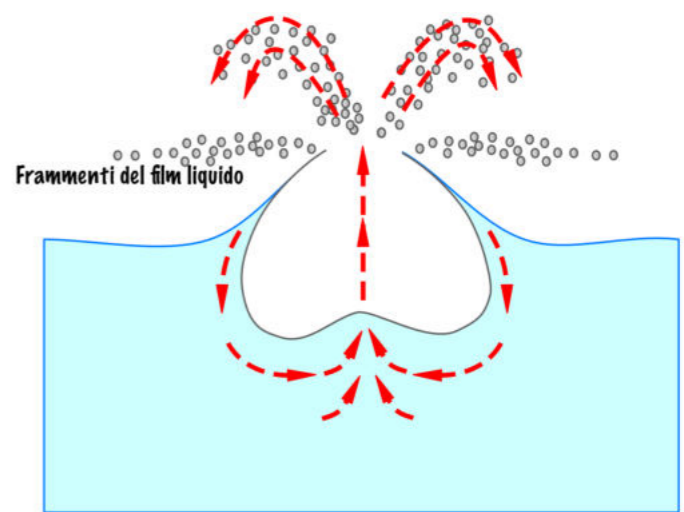
# Sorgenti

# Pozzi

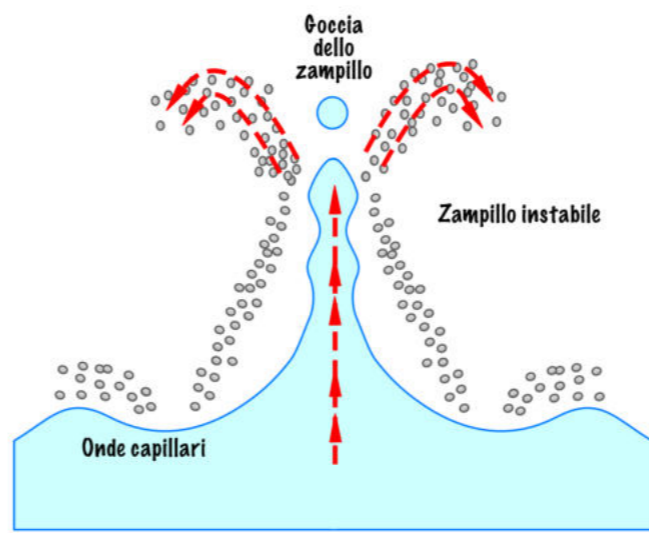




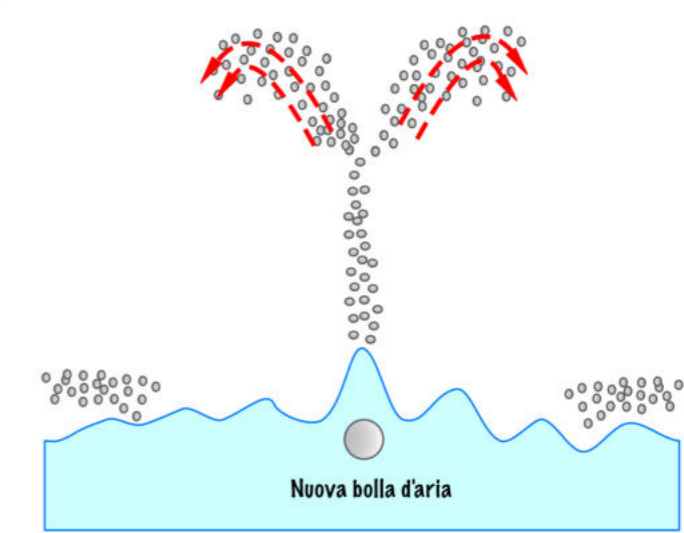
a)



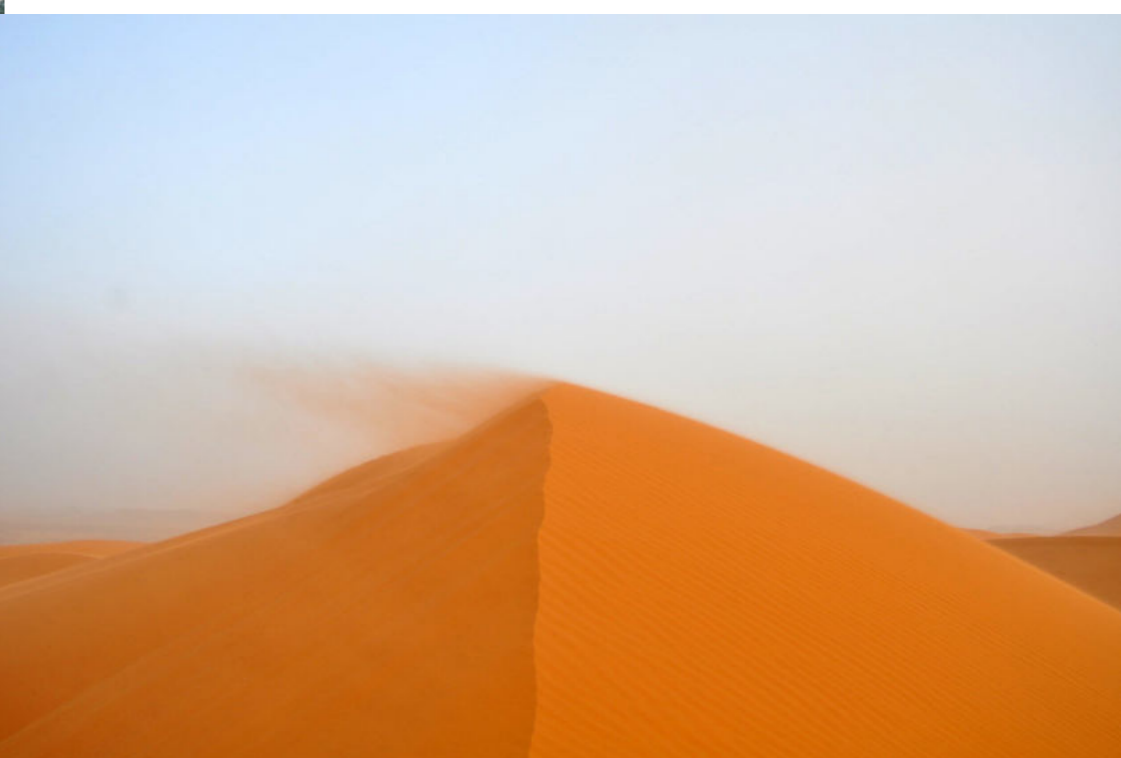
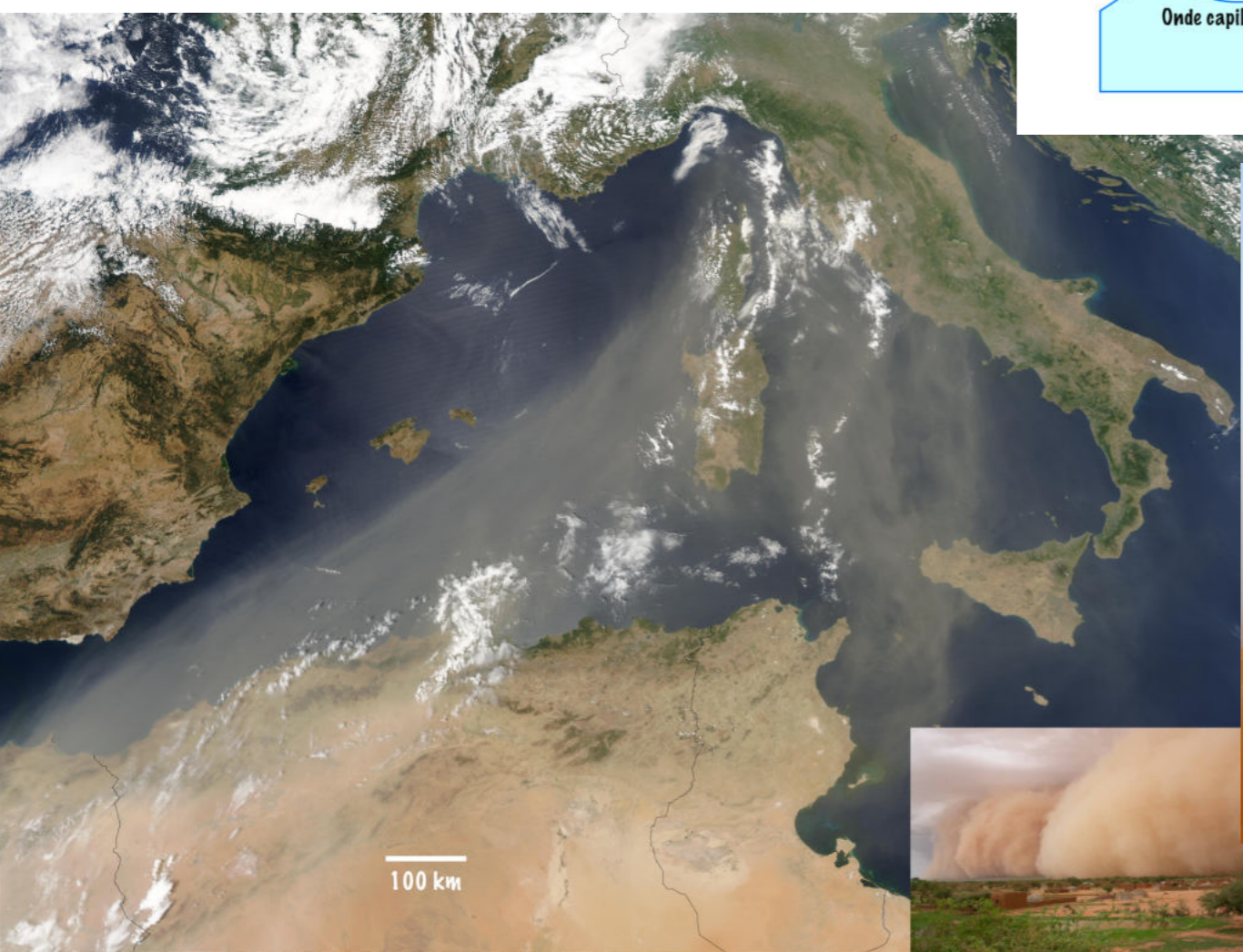
b)



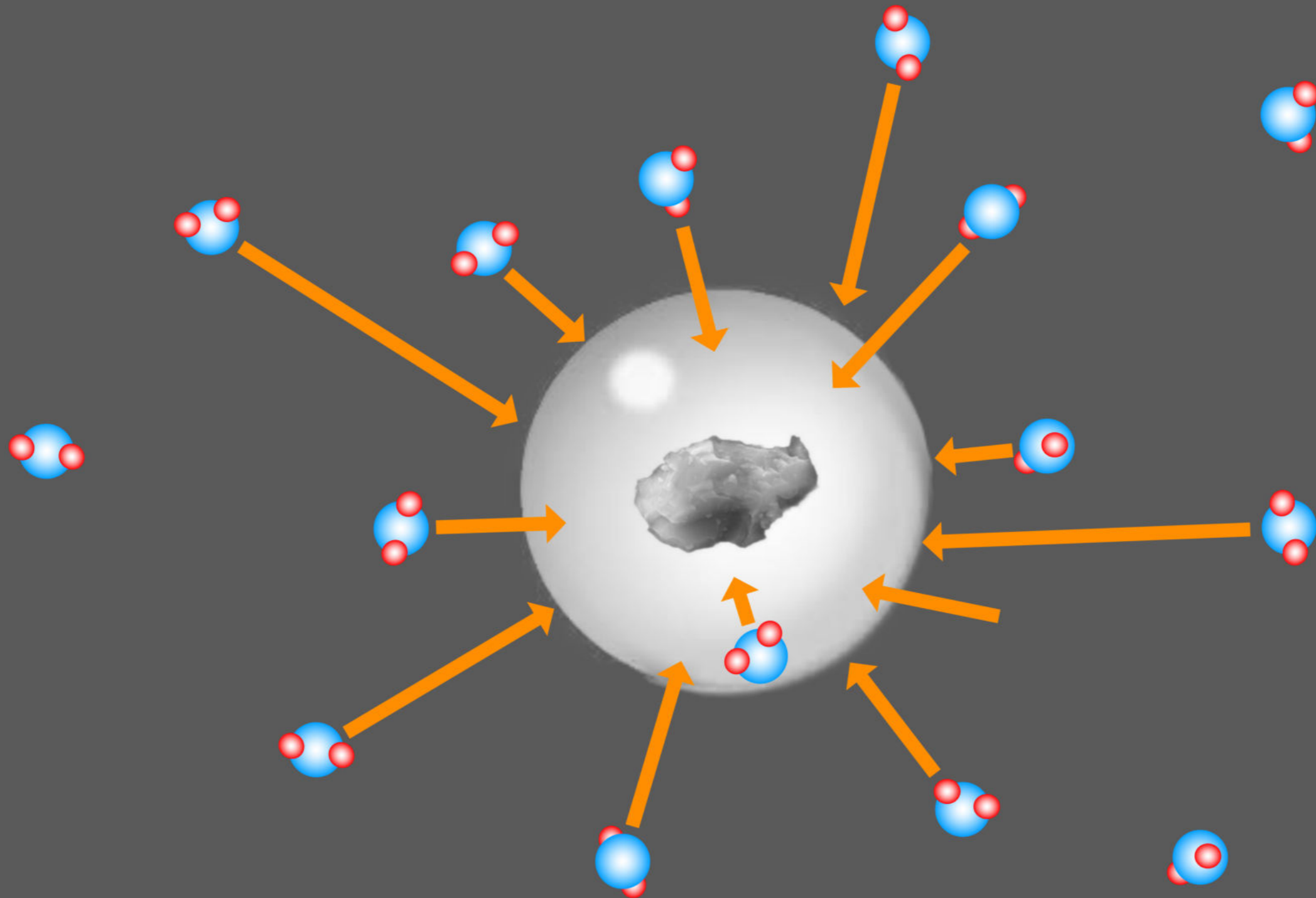
c)



d)



Quando l'umidità relativa dell'aria supera il 100% il vapore acqueo in eccesso condensa in minuscole goccioline attorno a microscopici nuclei di condensazione (cloud condensation nuclei, CCN). Si forma così la nube...



Confine convenzionale tra  
goccioline di nube e gocce  
di pioggia  
 $r=100, v=70$

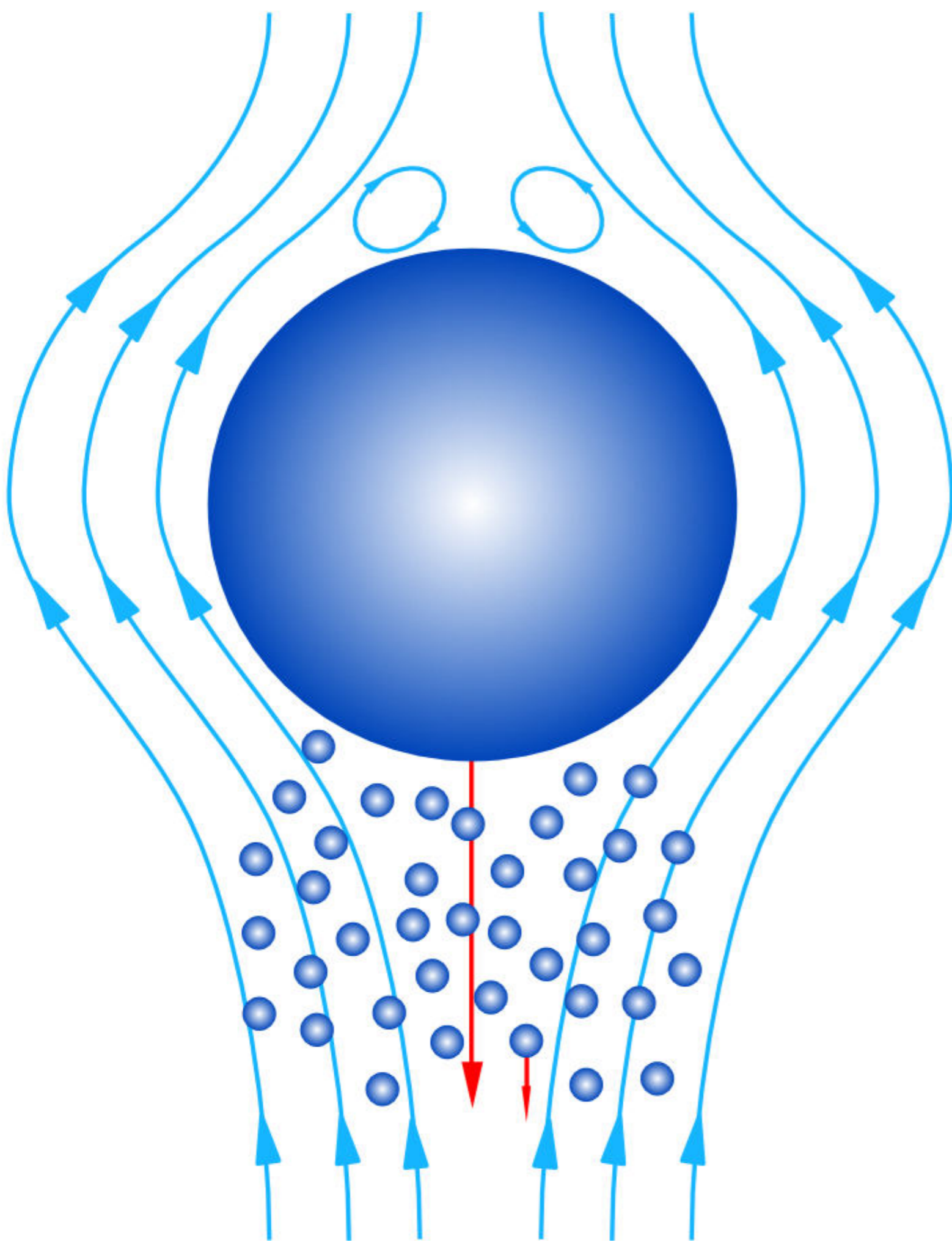
Grande gocciolina di nube  
 $r=50, n=1000, v=27$

Tipico nucleo di condensazione  
 $r=0.1, n=1,000,000, v=0.001$

Tipica goccia di nube  
 $r=10, n=1,000,000, v=1$

$r$ : raggio in micron  
 $n$ : numero/litro  
 $v$ : velocità di caduta cm/s

Tipica goccia di pioggia  $r=1000, n=1, v=650$



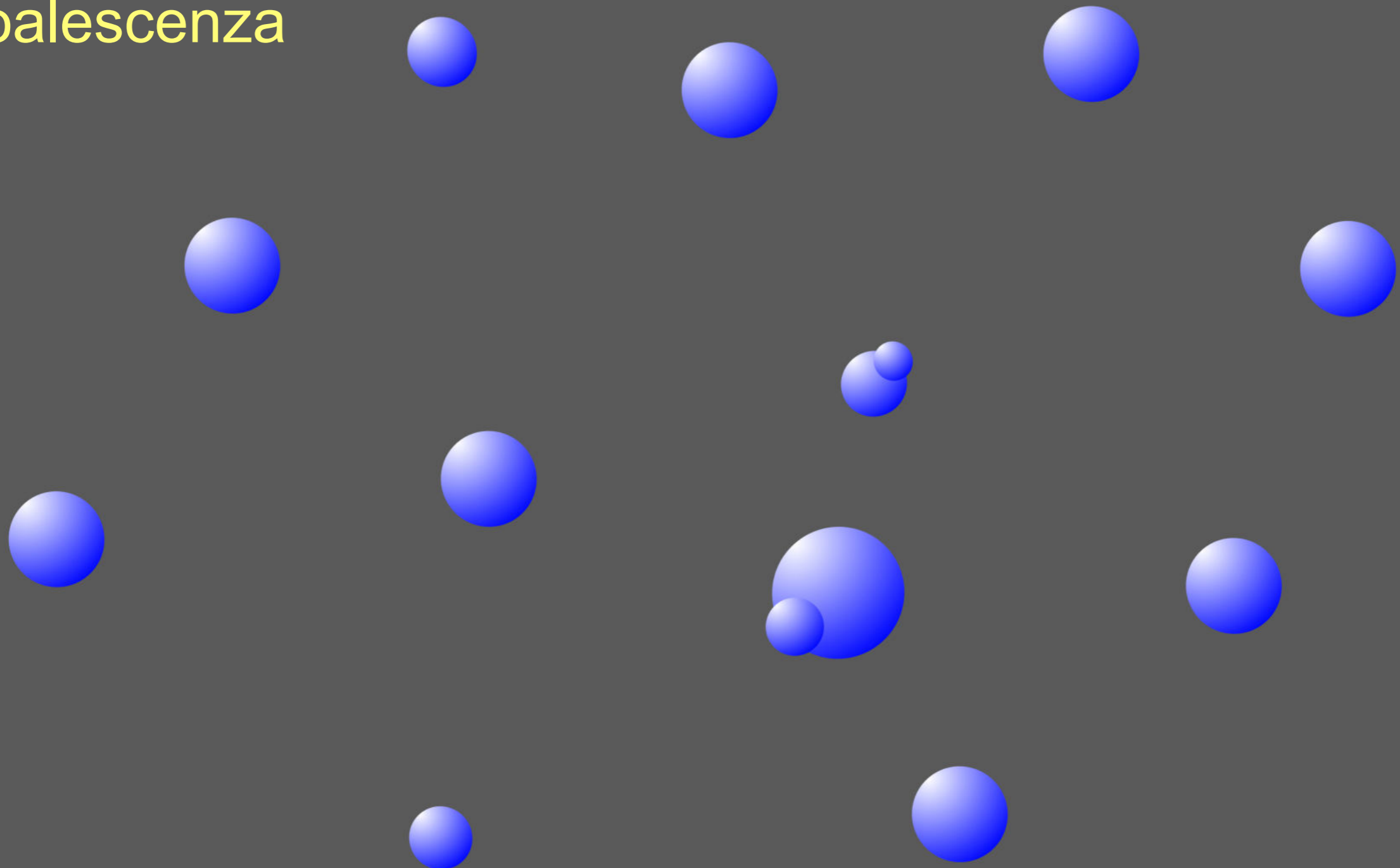
La domanda più importante è: come può una goccia di pioggia formarsi in meno di 20 min , cioè il tempo che normalmente trascorre tra lo sviluppo iniziale di un cumulo e l'inizio della precipitazione?

Durante questo tempo una popolazione di goccioline di  $10^8 \text{ m}^{-3}$  con un diametro medio di circa  $20 \mu\text{m}$  evolve in una popolazione di  $10^3 \text{ m}^{-3}$  con un diametro medio tipico di 1 mm.

Il processo di collisione/coalescenza è quasi interamente responsabile di questa crescita di 50 volte in diametro delle gocce. Tuttavia, il processo non accade in maniera efficace fino a che diverse gocce hanno raggiunto le dimensioni di  $20 \mu\text{m}$ .

Le goccioline liquide di una nube possono, nel loro caotico movimento, collidere e unirsi a formare gocce via via più grandi.

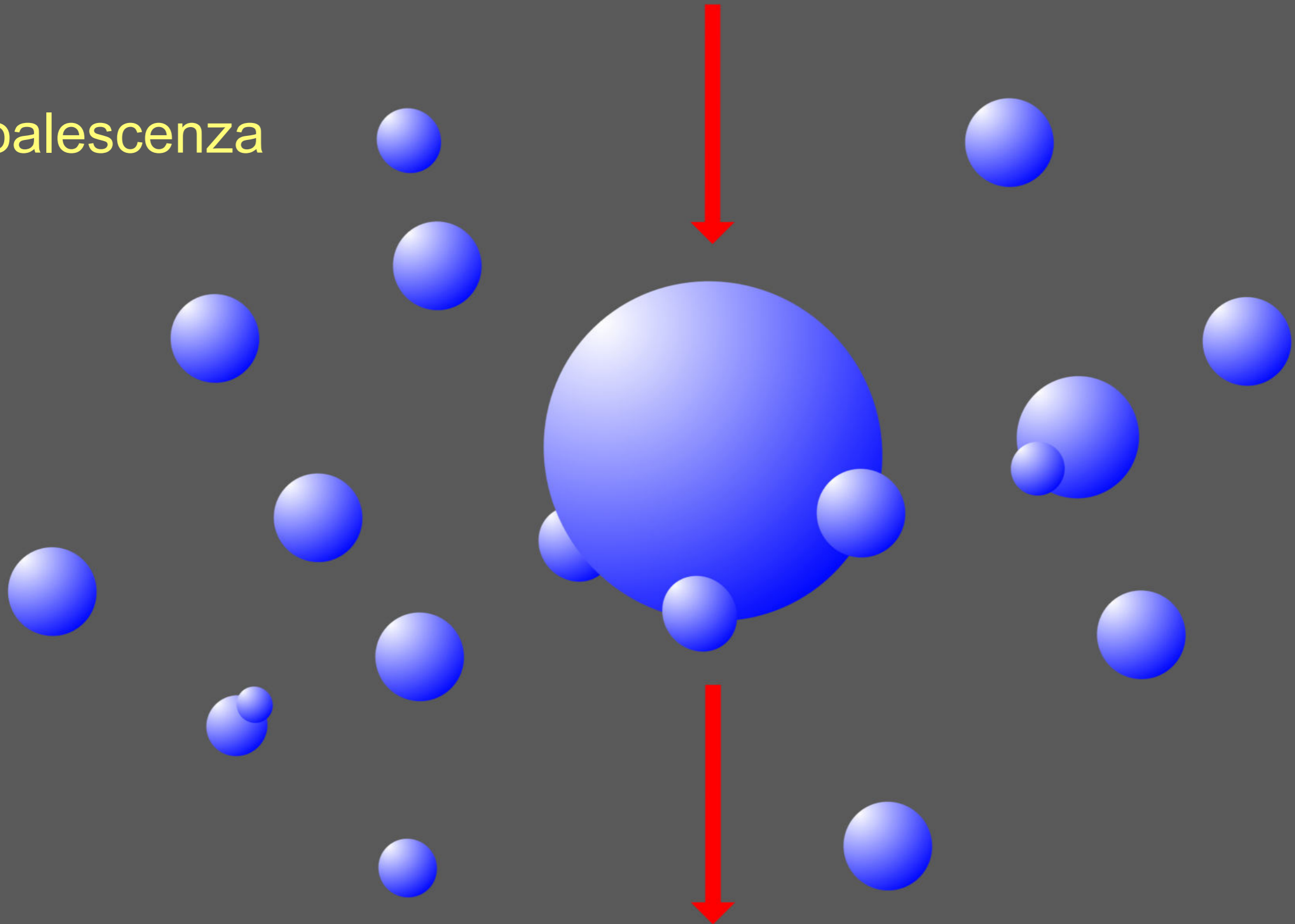
## Coalescenza

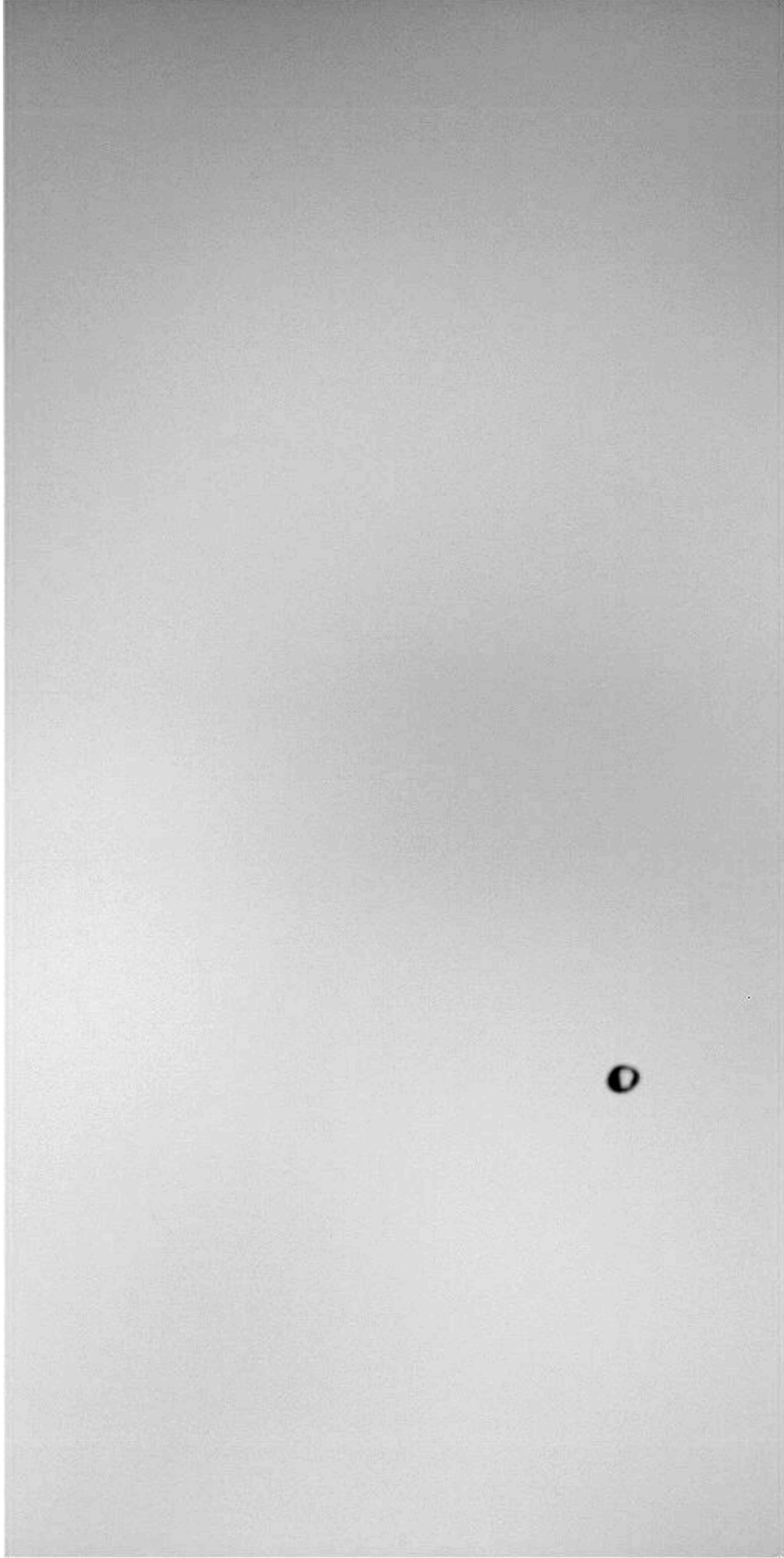
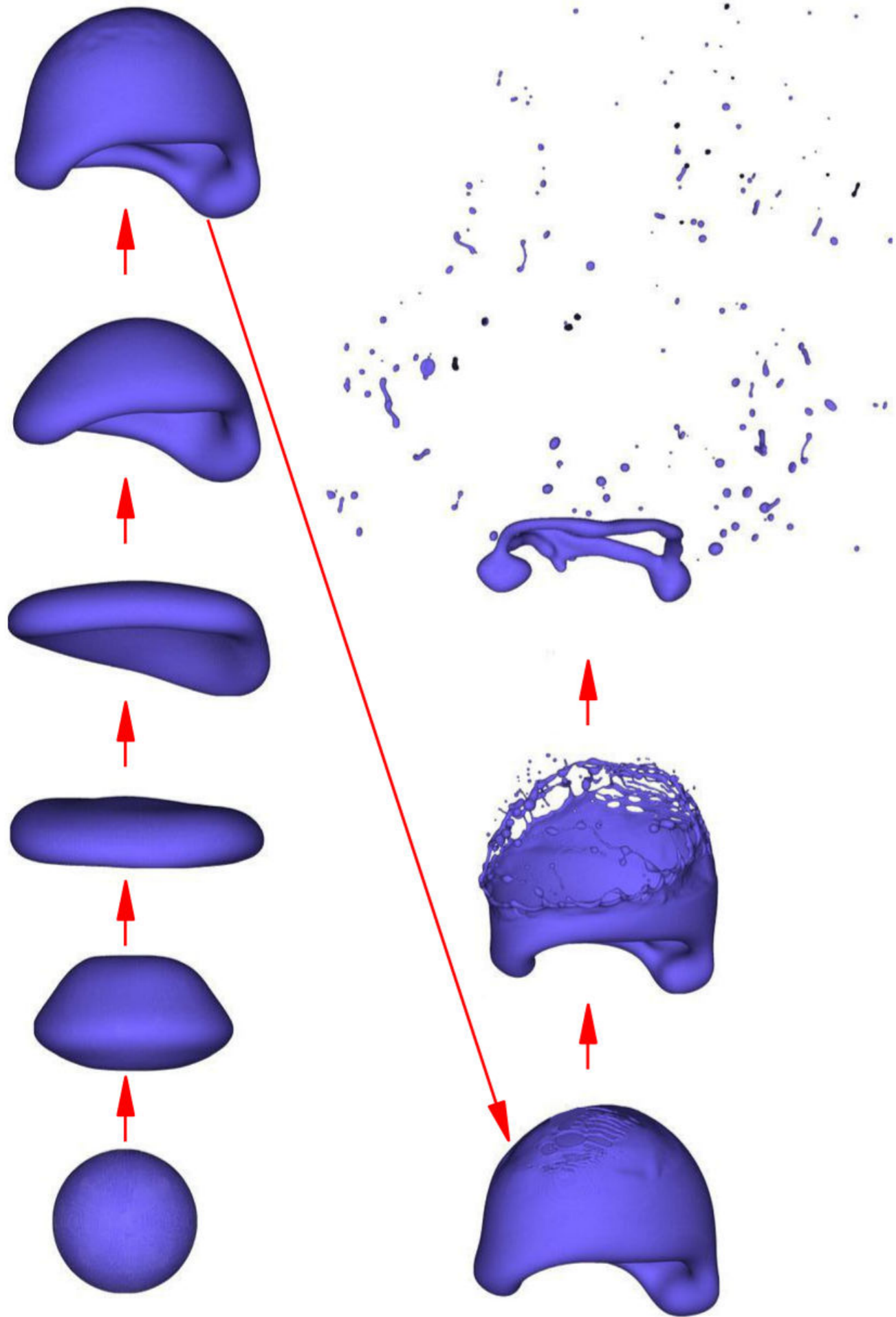




Raggiunte certe dimensioni le gocce più grandi iniziano a cadere e altro volta intercettano e inglobano altre gocce che incontrano lungo il loro percorso prima di uscire dalla nube.

## Coalescenza



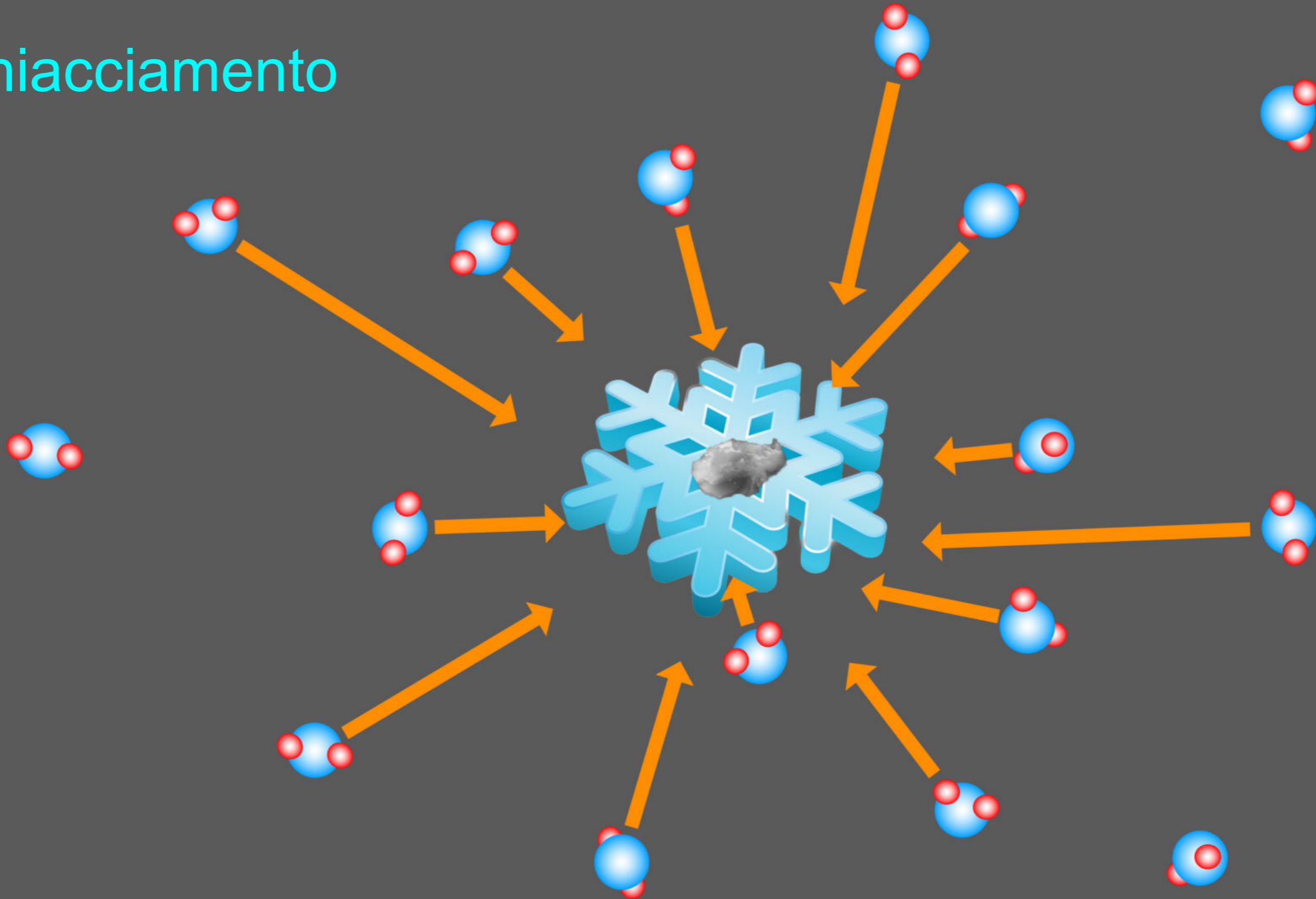


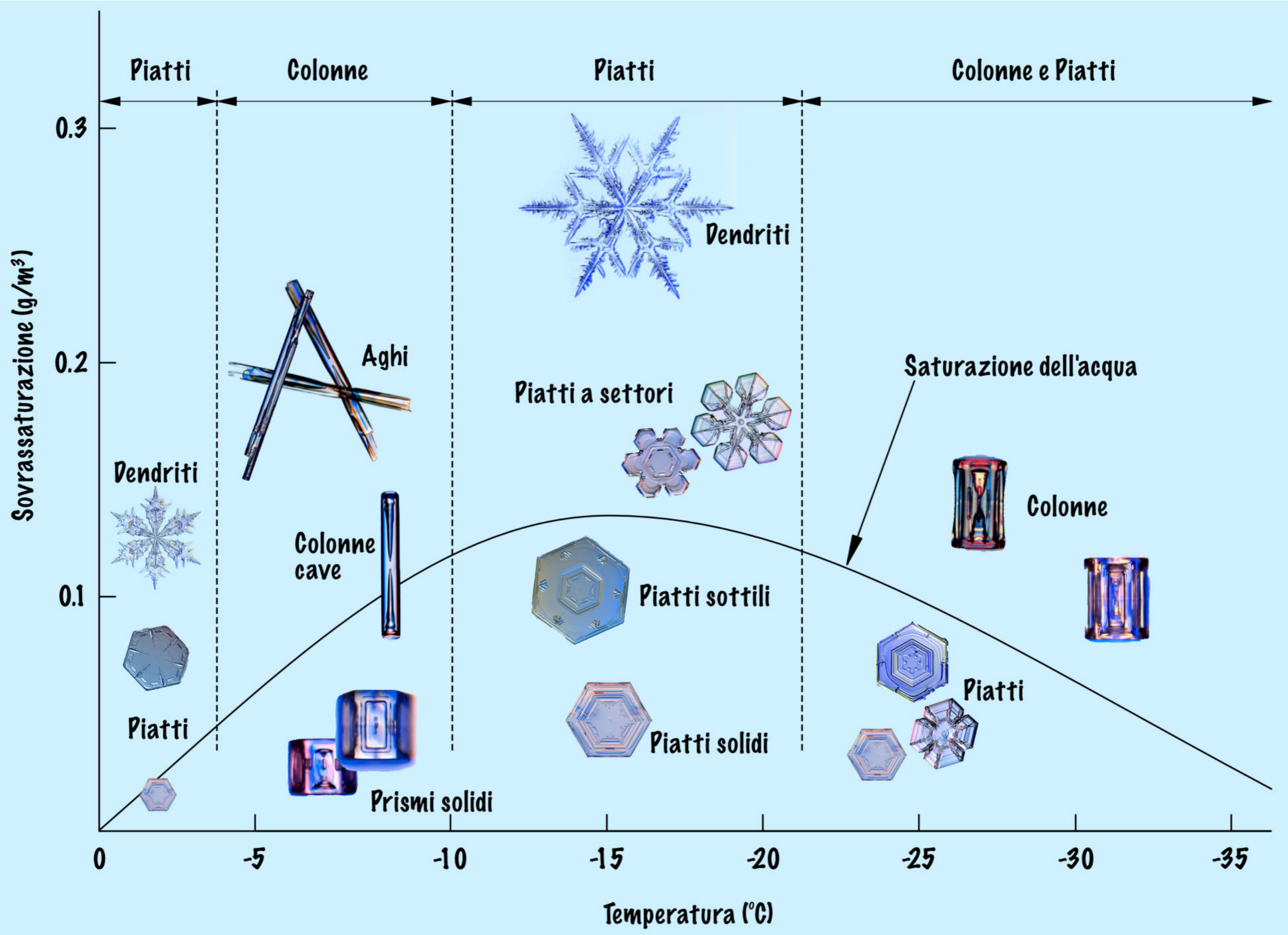
**...e il ghiaccio dov'è?**

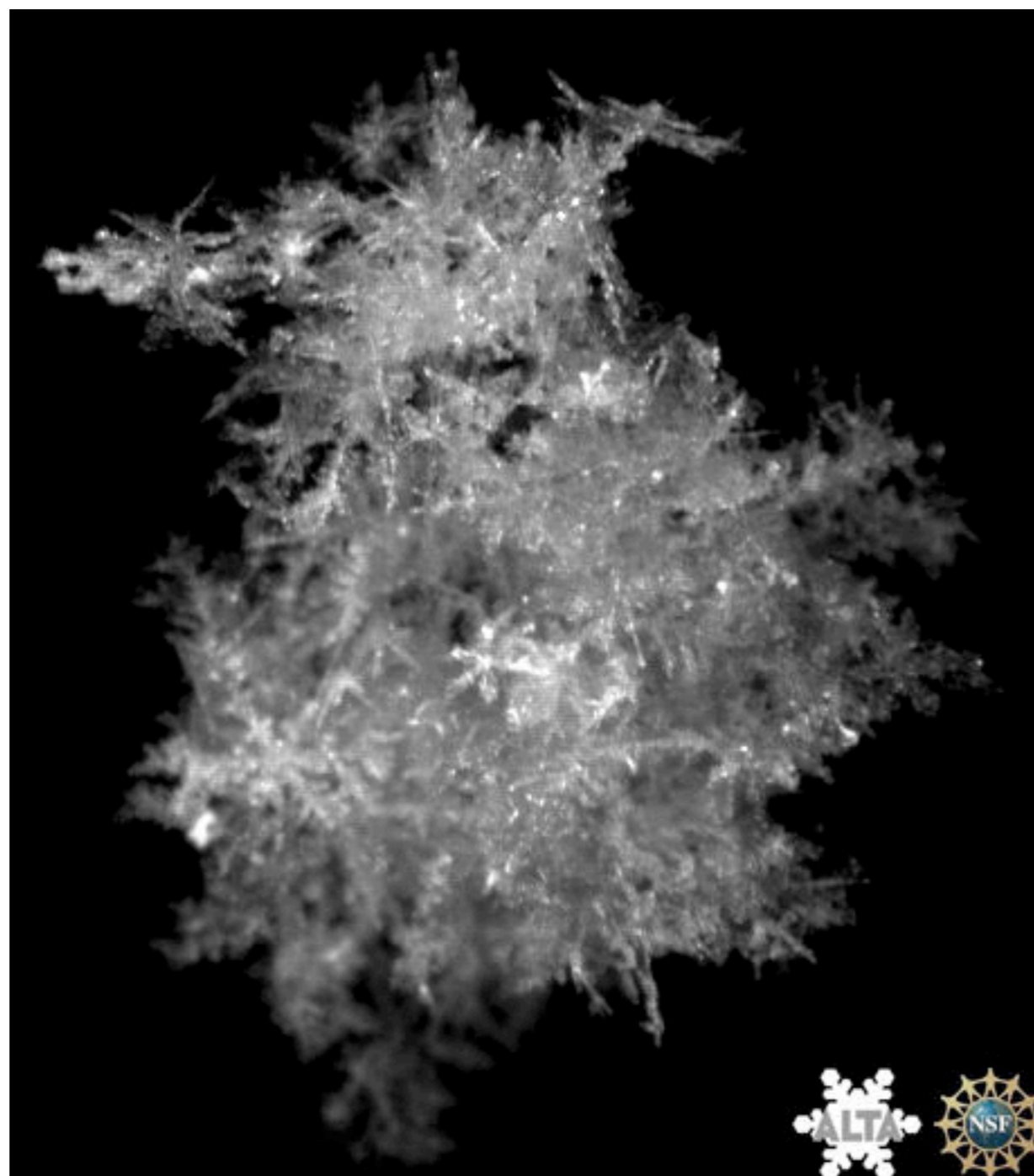


Quando l'aria è satura rispetto all'acqua, è in generale sovrassatura rispetto al ghiaccio. Il vapore acqueo si deposita su microscopici nuclei di ghiacciamento (ice nuclei, IN). Si formano così i primi cristalli di ghiaccio...

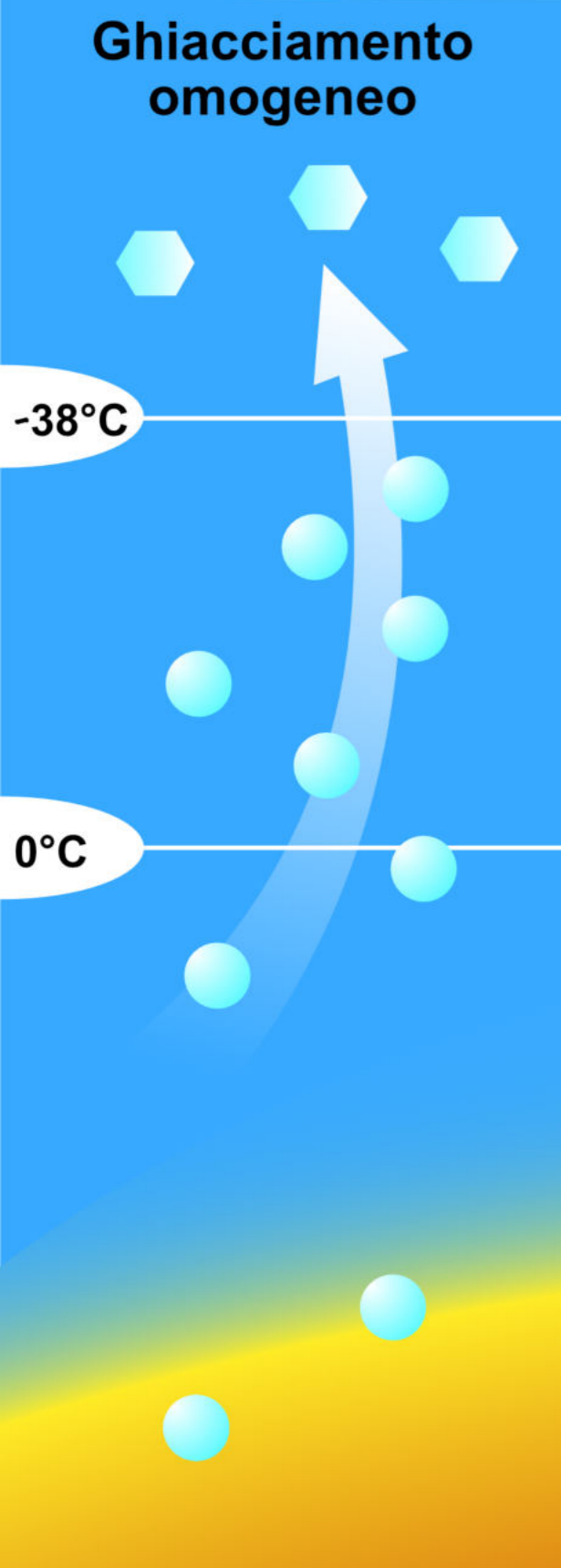
## Ghiacciamento



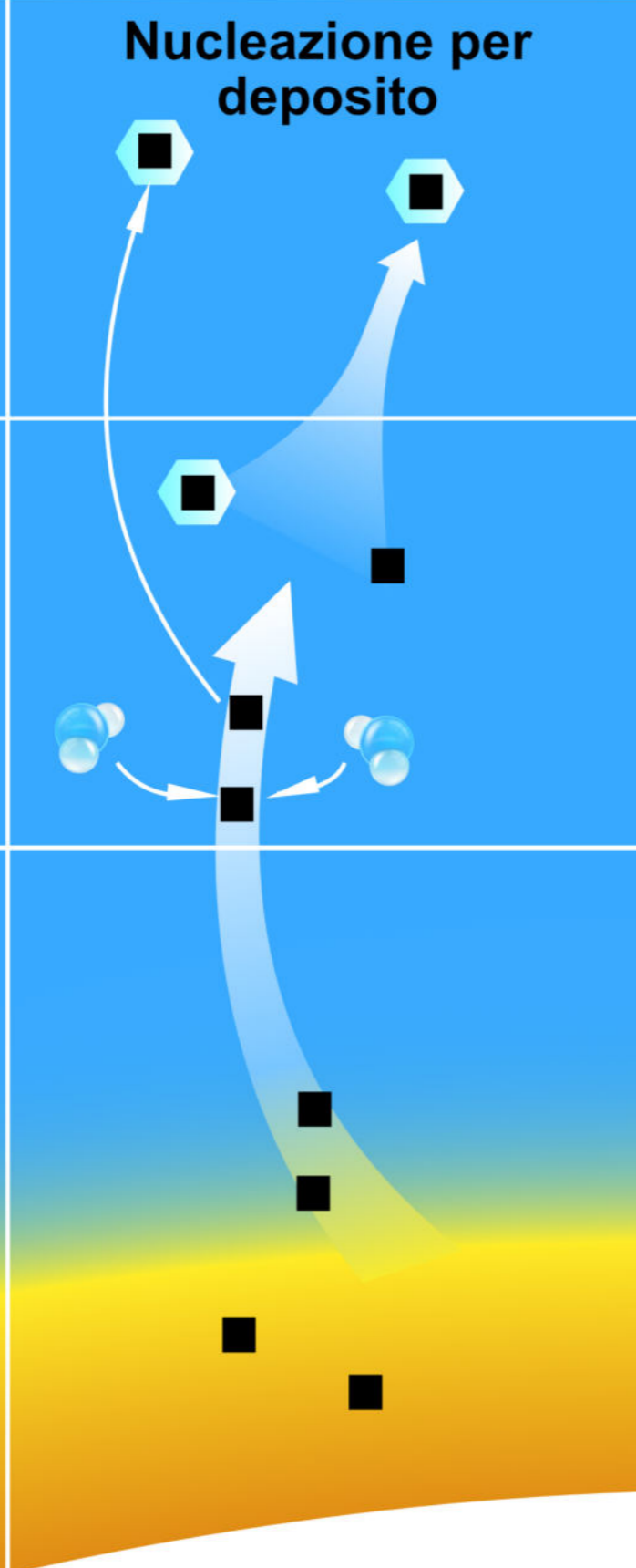




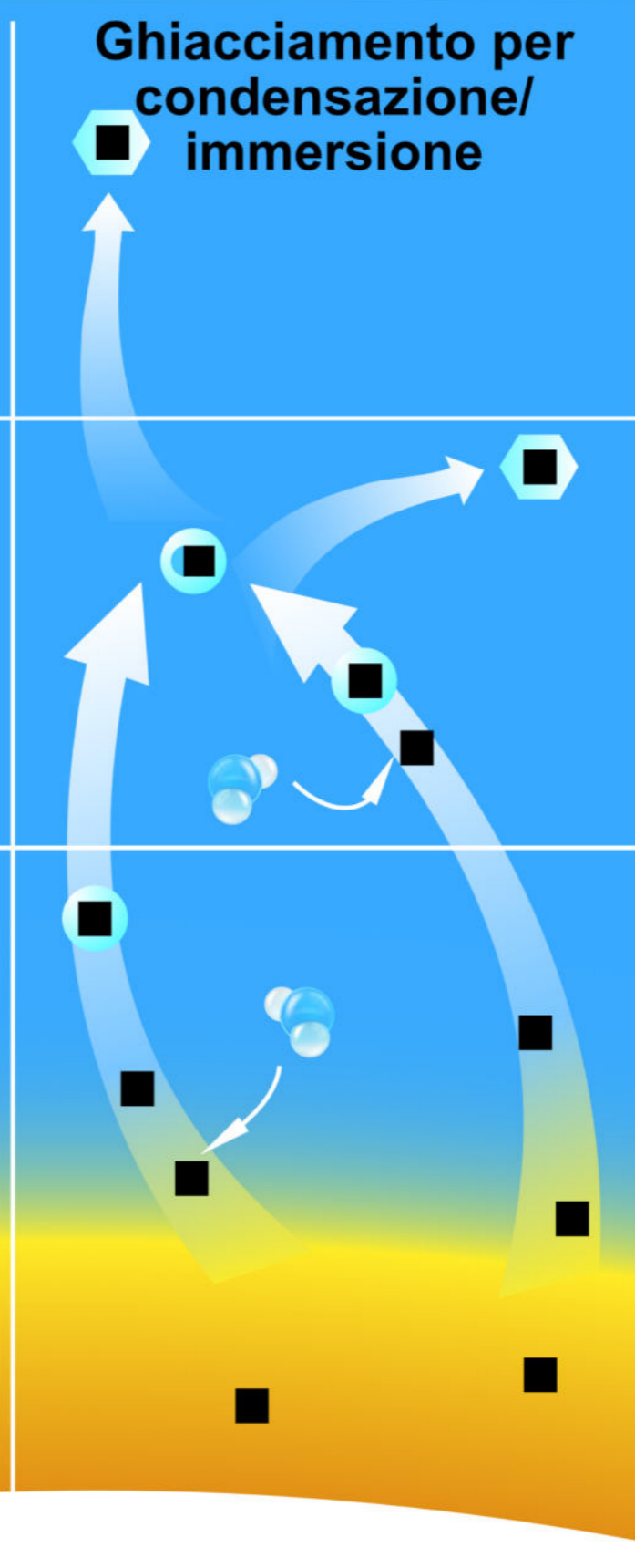
### Ghiacciamento omogeneo



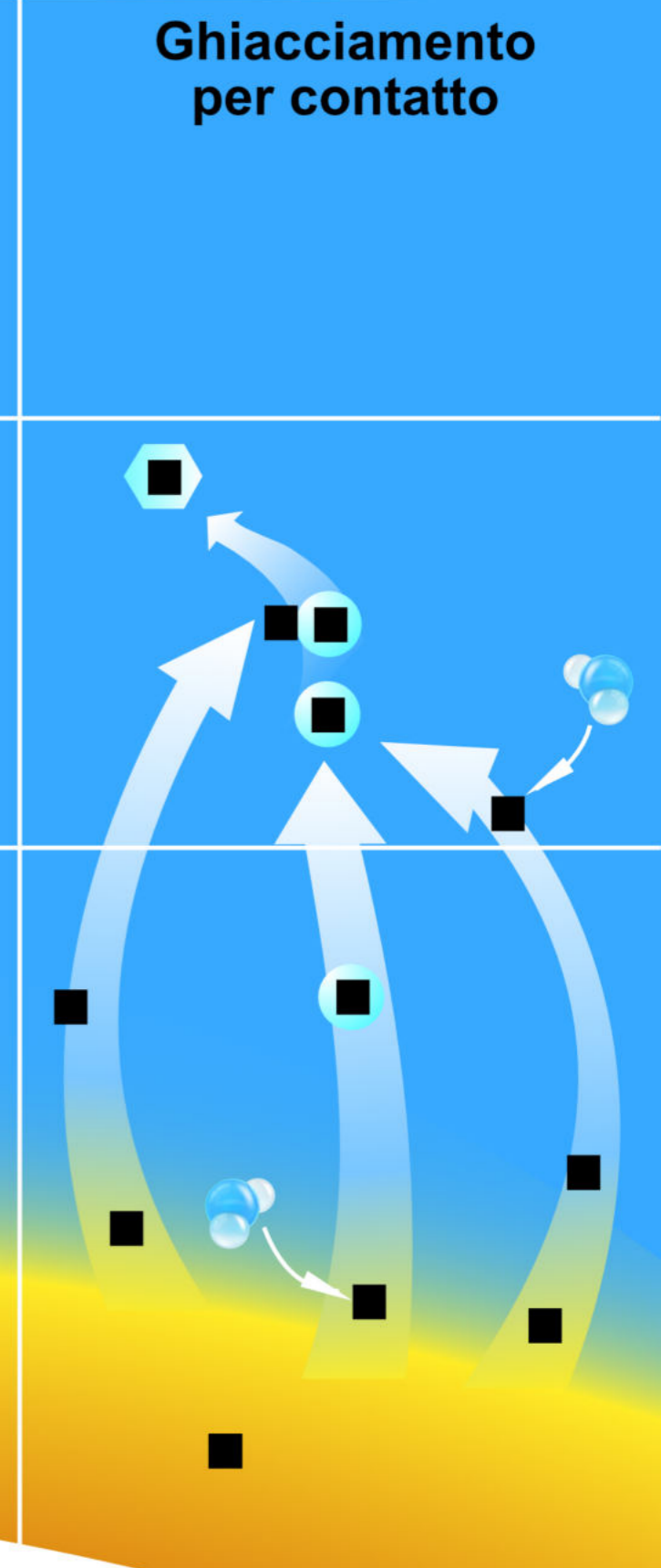
### Nucleazione per deposito



### Ghiacciamento per condensazione/immersione



### Ghiacciamento per contatto



-38°C

0°C

Gocciolina di nube

Molecola di vapore

Particella di aerosol solubile/insolubile

Embrione di ghiaccio

Cristallo di ghiaccio

Dobbiamo considerare poi che non tutta l'acqua in nube ghiaccia quando viene raggiunta la temperatura di ghiacciamento a  $0^{\circ}\text{C}$ . Strano vero?!

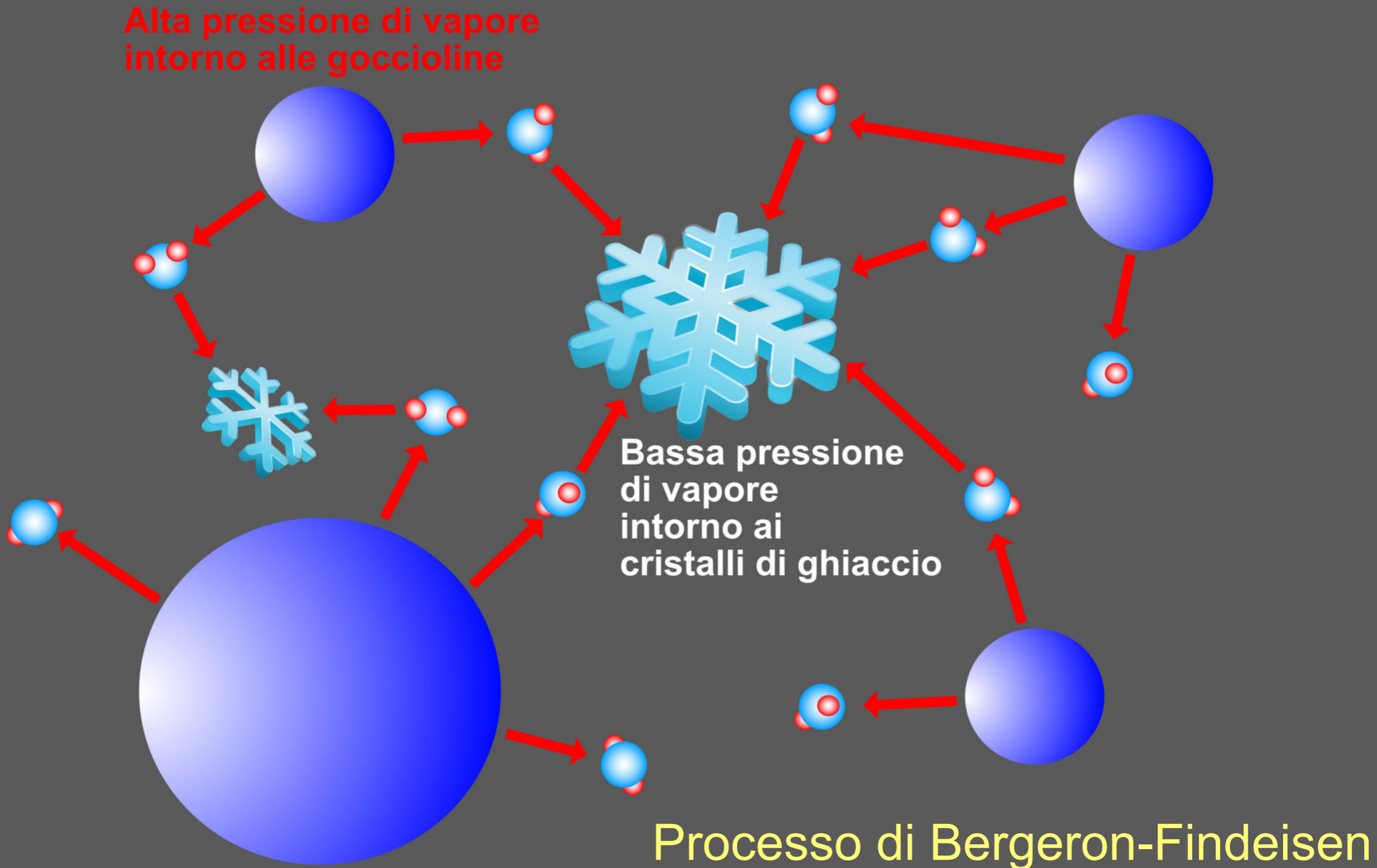
Il fenomeno dell'acqua sopraffusa si verifica a causa delle dimensioni delle gocce d'acqua: una goccia che sia molto piccola ha la proprietà di avere una tensione superficiale tale da non farla ghiacciare. Inoltre, in nube le velocità verticali dell'aria calda e umida che sale sono spesso molto alte e le goccioline non hanno materialmente il tempo di ghiacciare istantaneamente.

Esiste, quindi, acqua liquida in nube fino alla bassissima temperatura di  $-38.5^{\circ}\text{C}$ !





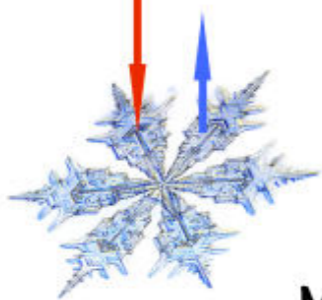
La pressione di vapore sulle goccioline liquide è inferiore rispetto a quella sul ghiaccio. Questo comporta che la saturazione rispetto all'acqua significa sovrasaturazione rispetto al ghiaccio.



Il ghiaccio cresce a spese delle goccioline che rimpiccioliscono.

**Deposizione**      **Sublimazione**      **Condensazione**      **Evaporazione**

La pressione di vapore  
sul ghiaccio è più bassa  
che sull'acqua

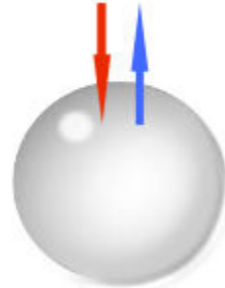


**Sublimazione**

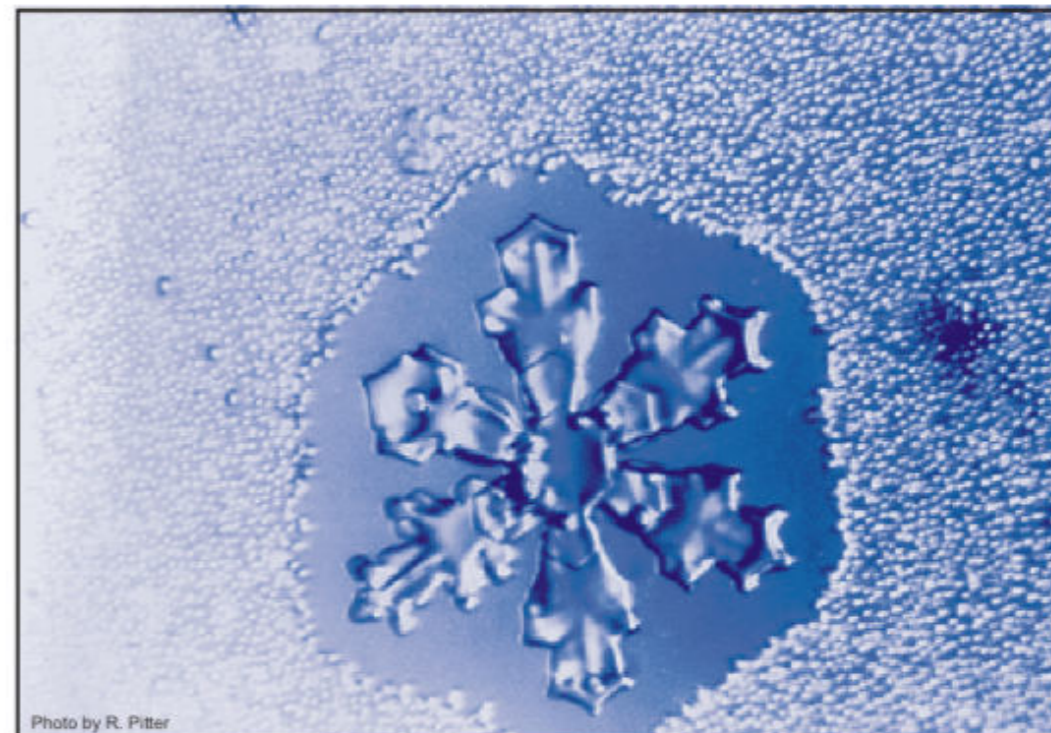
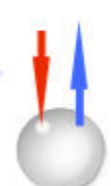
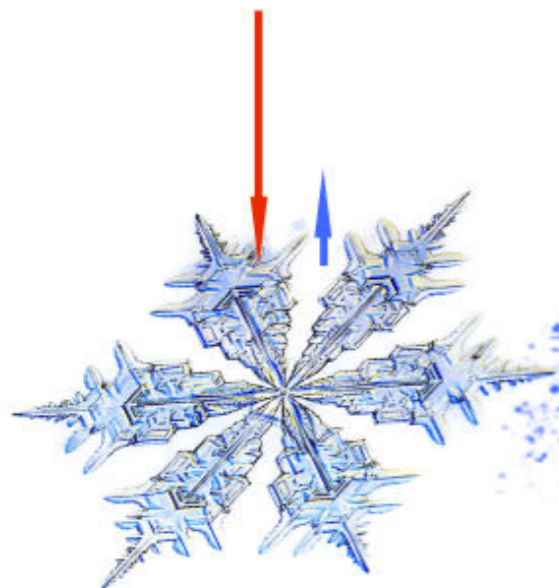
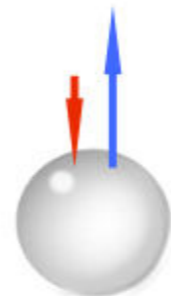
**Condensazione**

**Evaporazione**

Molecole di vapore acqueo

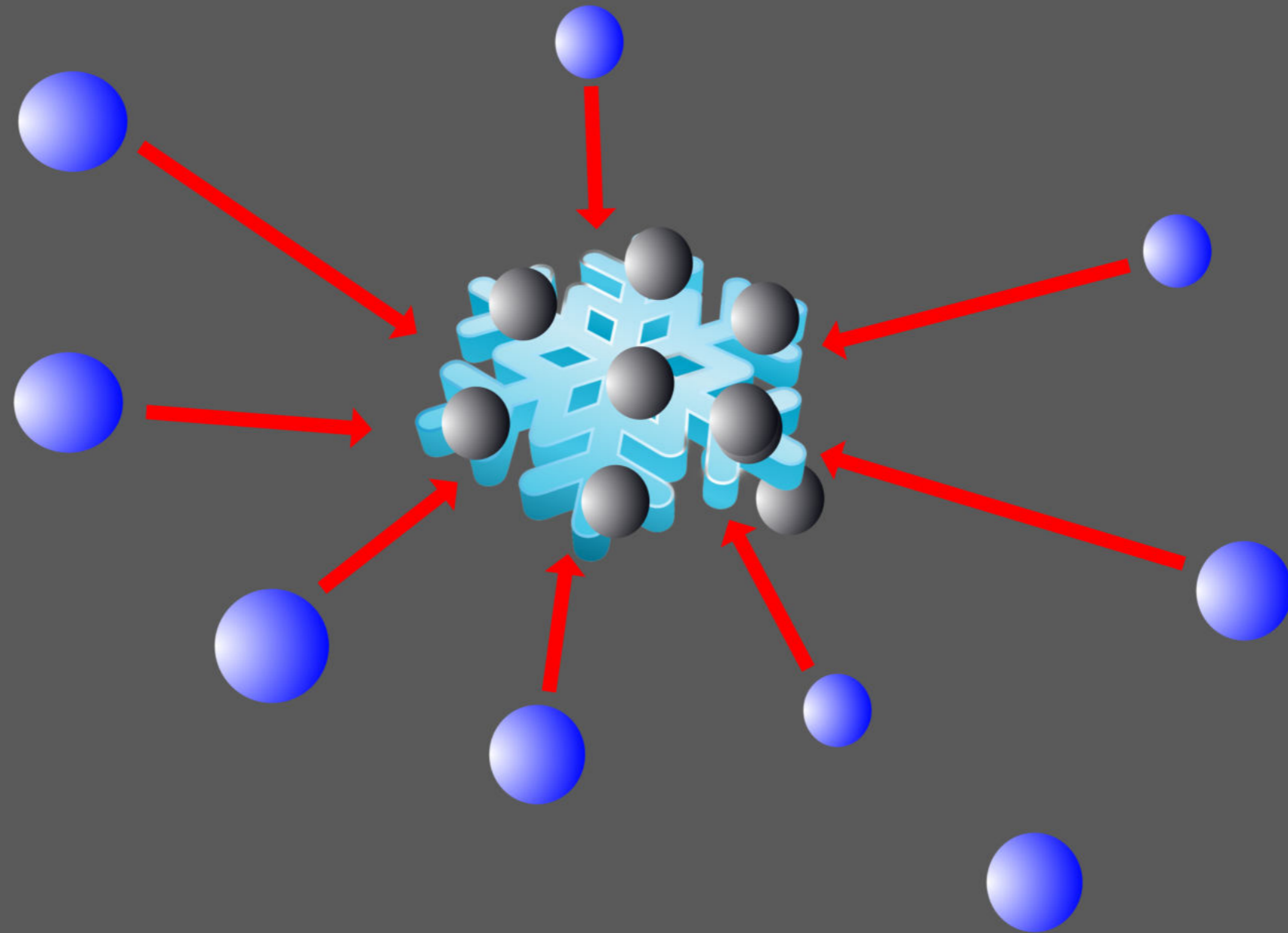


Il ghiaccio cresce a spese  
delle goccioline d'acqua

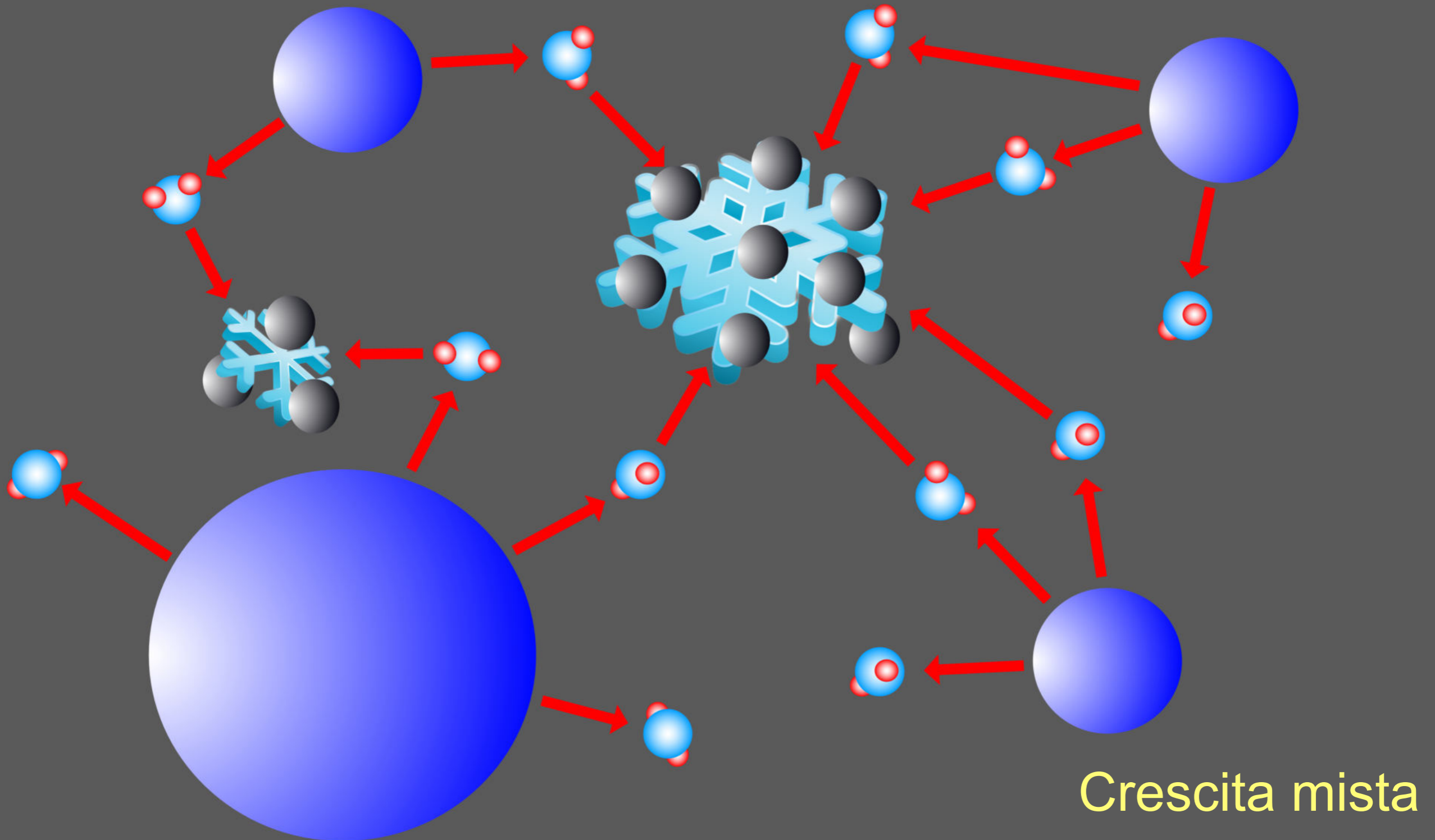


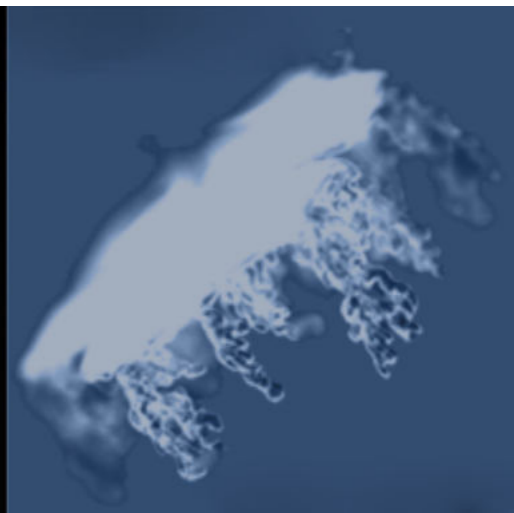
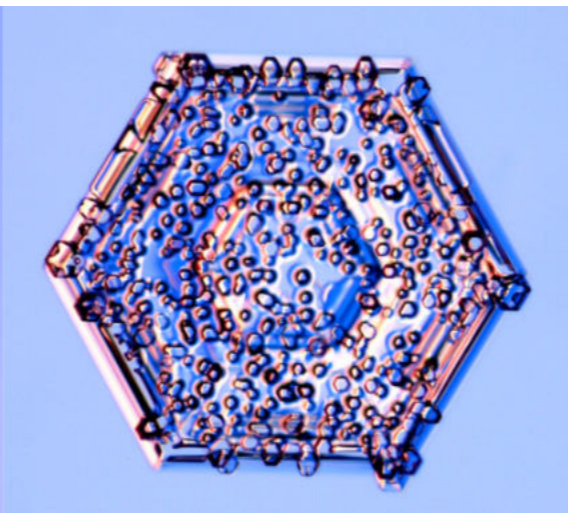
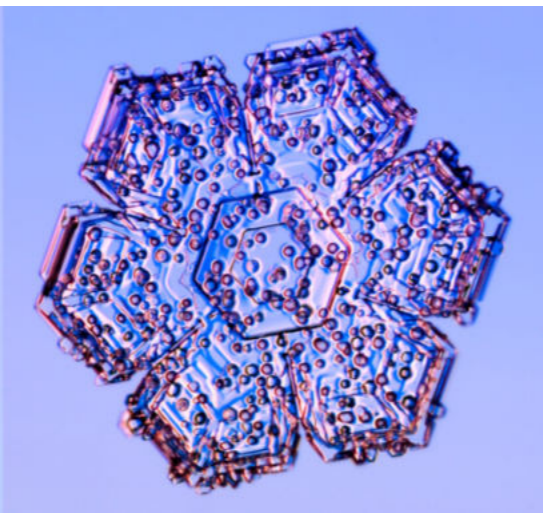
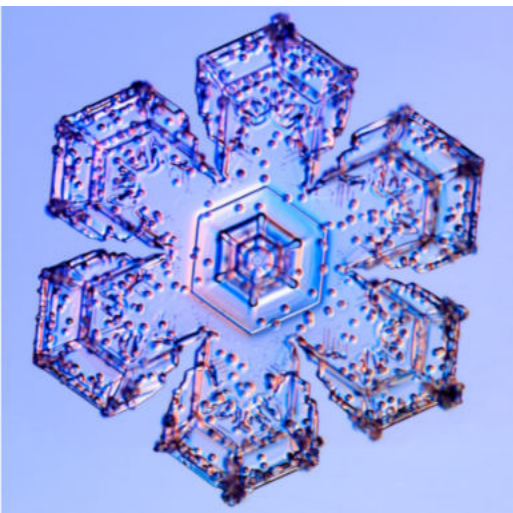
Quando le goccioline sopraffuse urtano un cristallo di ghiaccio congelano istantaneamente e vengono inglobate nella struttura cristallina. Nelle nubi temporalesche il processo porta alla formazione delle graupel (gragnola) e della grandine.

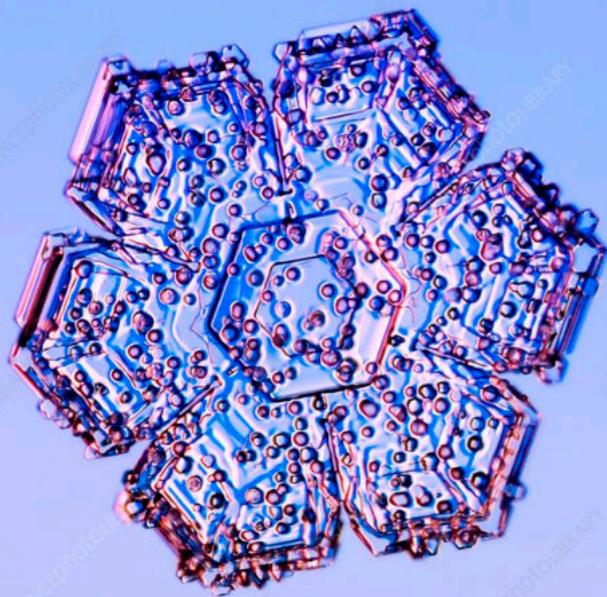
## Riming



I due processi spesso coesistono e, a seconda della prevalenza del primo o del secondo, si formano cristalli di ghiaccio più o meno regolari, neve in grani o neve in “palline” anche del diametro di 5-6 mm.







Cristalli durante il riming



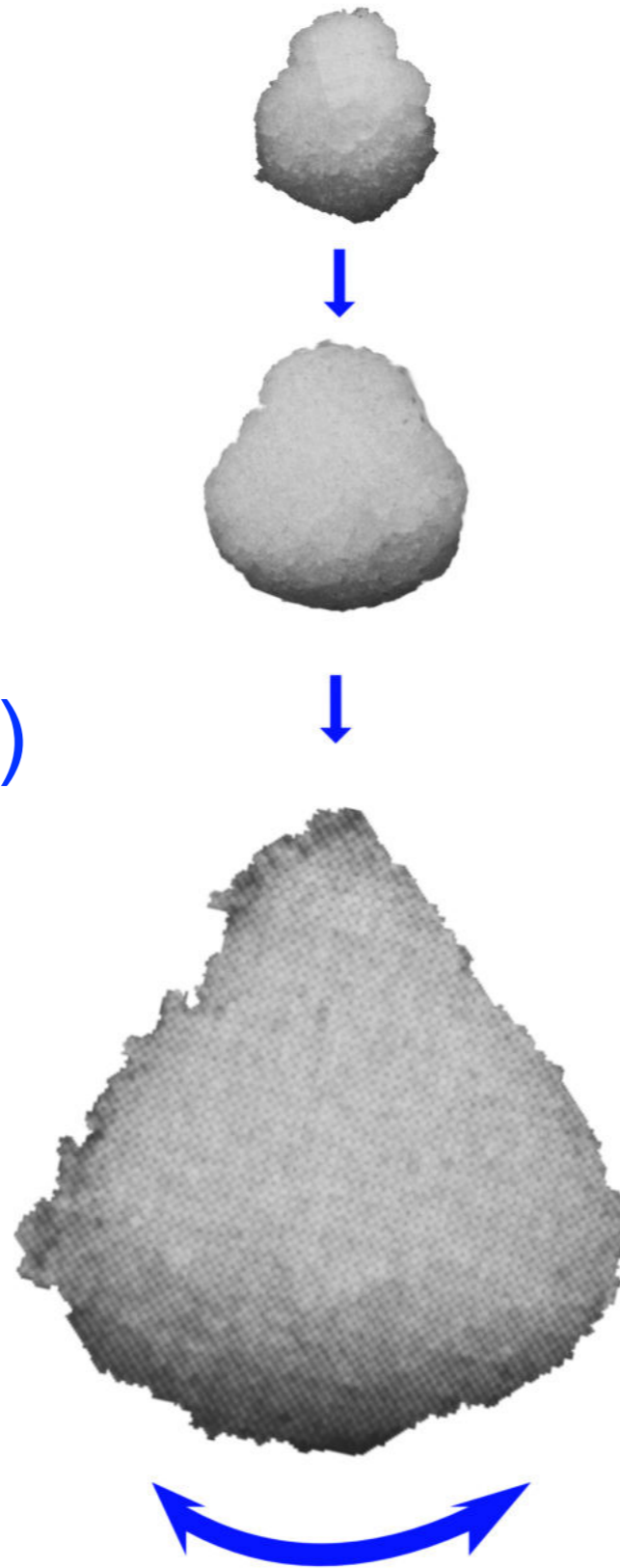
Graupel



Chicco di grandine

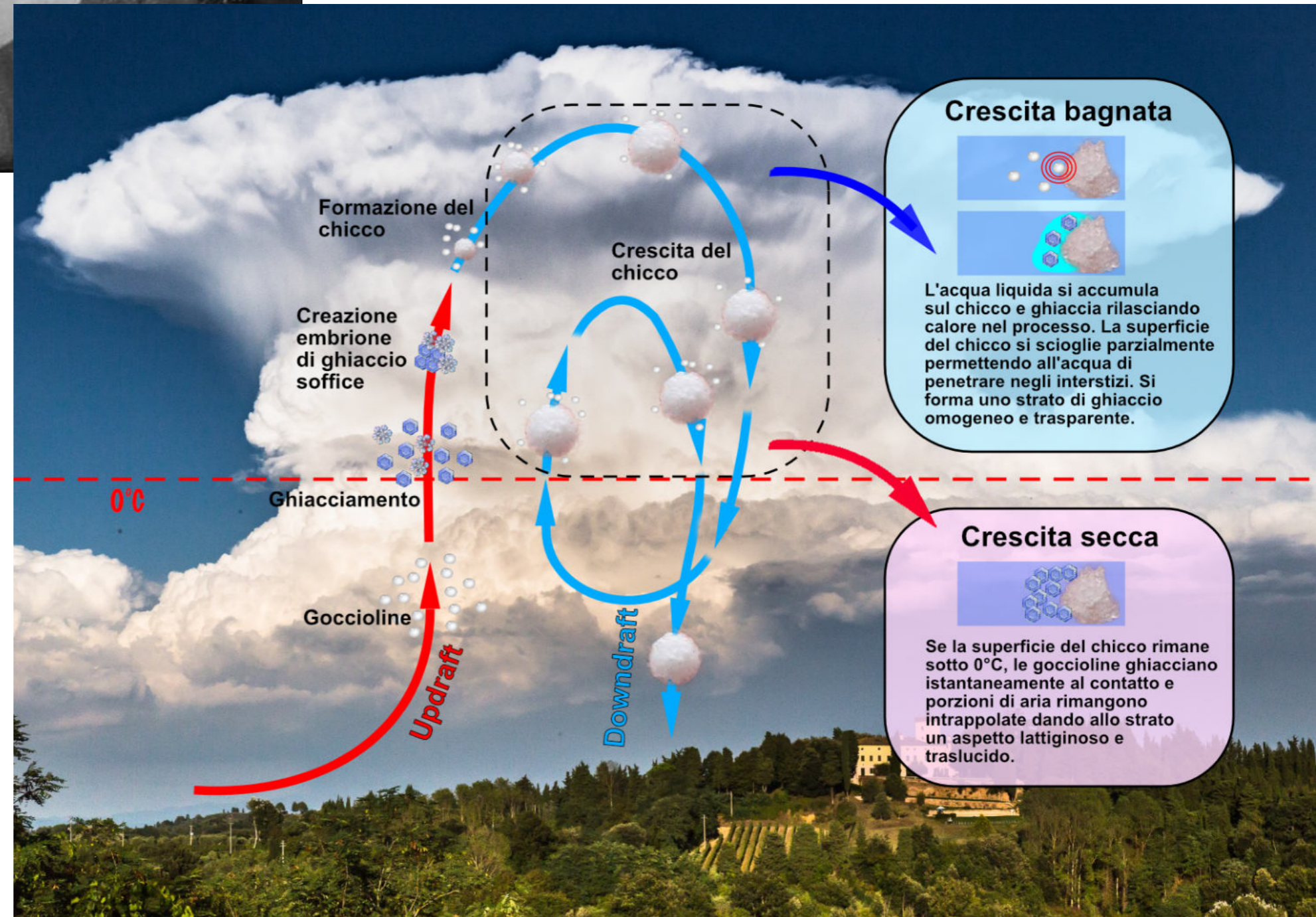
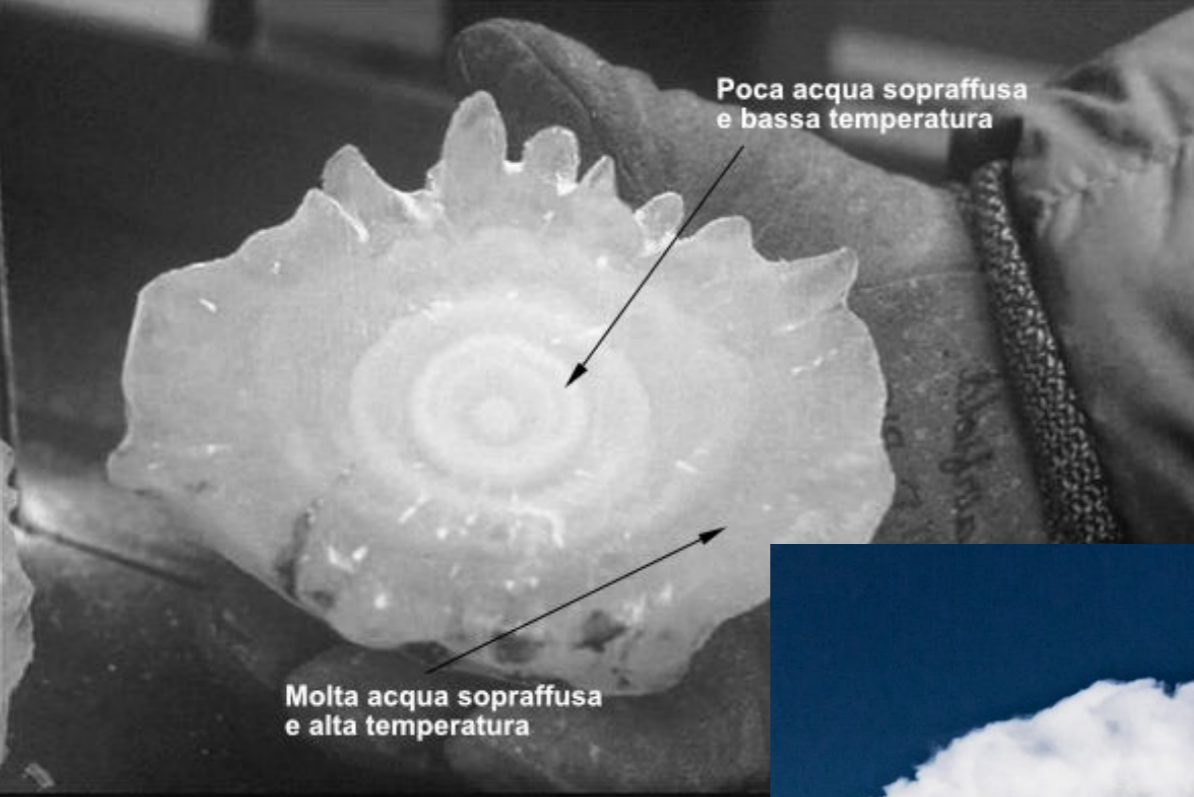


Graupel  
(gragnola)



# Grandine

## Crescita secca e bagnata

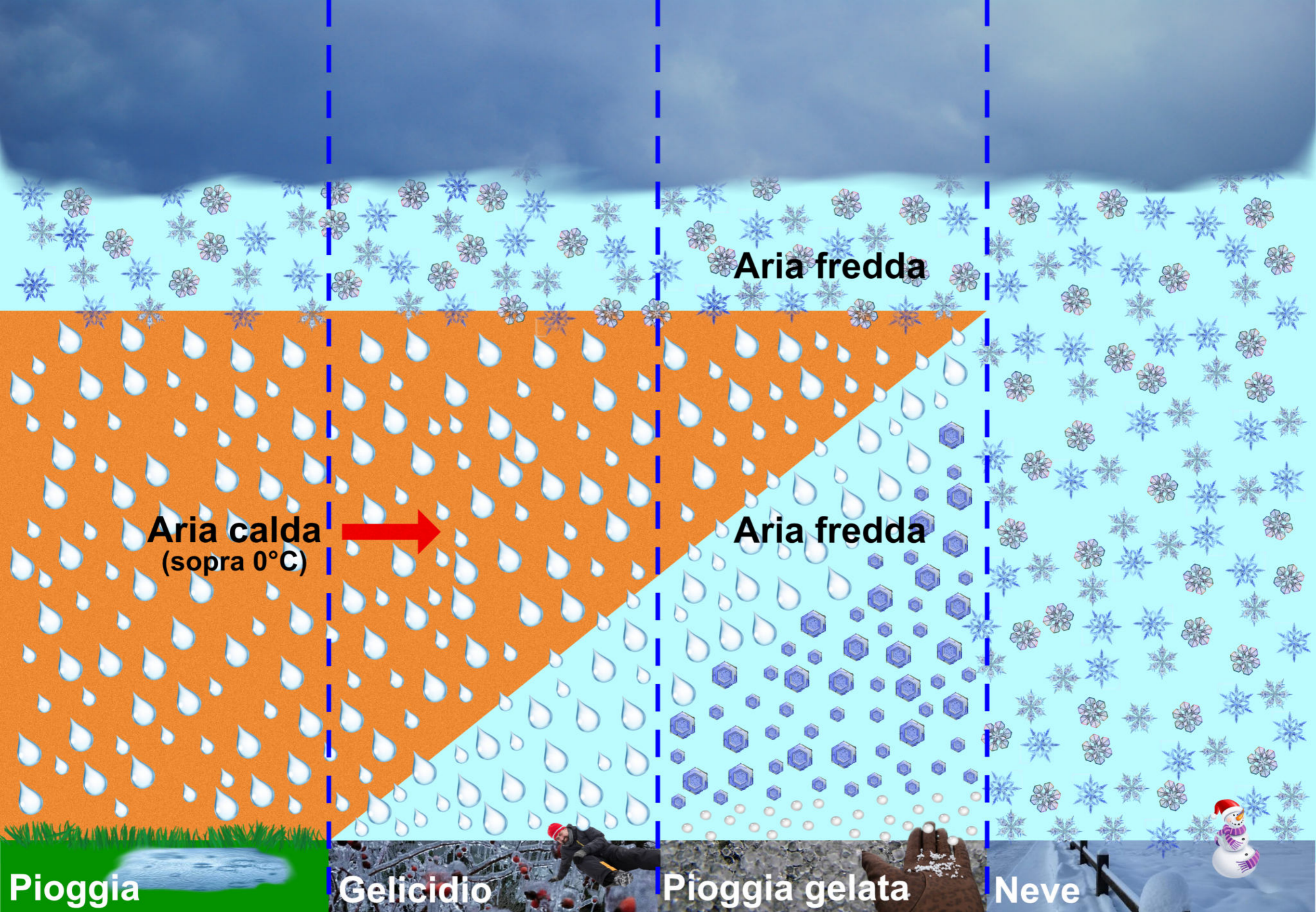






Vivian, South Dakota, 23 luglio 2010

Si calcola che il chicco misurasse circa 28 cm di diametro e pesasse 880 g al momento dell'impatto.



# Precipitazione invernale

**Quindi, che c'è dentro alle nubi?**



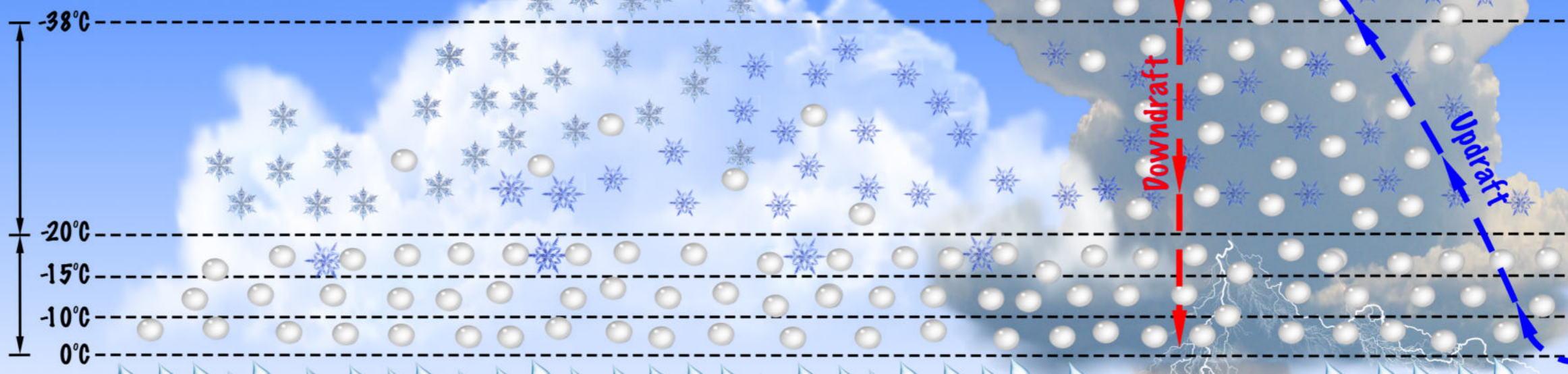
Nelle forti correnti ascensionali dei cumulonembi l'acqua sovraraffusa esiste fino ad alta quota

-  Cristalli di ghiaccio
-  Acqua sovraraffusa
-  Gocce d'acqua

### Regione dei cristalli di ghiaccio

A temperature più basse di  $-20^{\circ}\text{C}$  predominano i cristalli di ghiaccio

A temperature più alte di  $-20^{\circ}\text{C}$  predomina l'acqua sovraraffusa



Gocce d'acqua

Precipitazione

Le gocce sono trasportate in alto nella nube in ascesa.  
Sono sottoposte a collisione/coalescenza e raggiungono  
diametri tra 1000 e 2000 micron (1-2 mm, gocce di pioggia).  
Il diametro massimo raggiungibile è intorno a  
7000 micron (7 mm)

Gocce di pioggia  
1000 micron (1 mm)

Con la crescita in dimensioni  
le gocce diventano più pesanti  
e la forza di gravità controbilancia  
i moti ascensionali e le gocce  
iniziano a cadere

A seguito della condensazione  
le goccioline crescono fino  
a diametri tra 50 e 100 micron  
(0.05-0.1 mm)

Goccioline  
10 micron (0.01 mm)

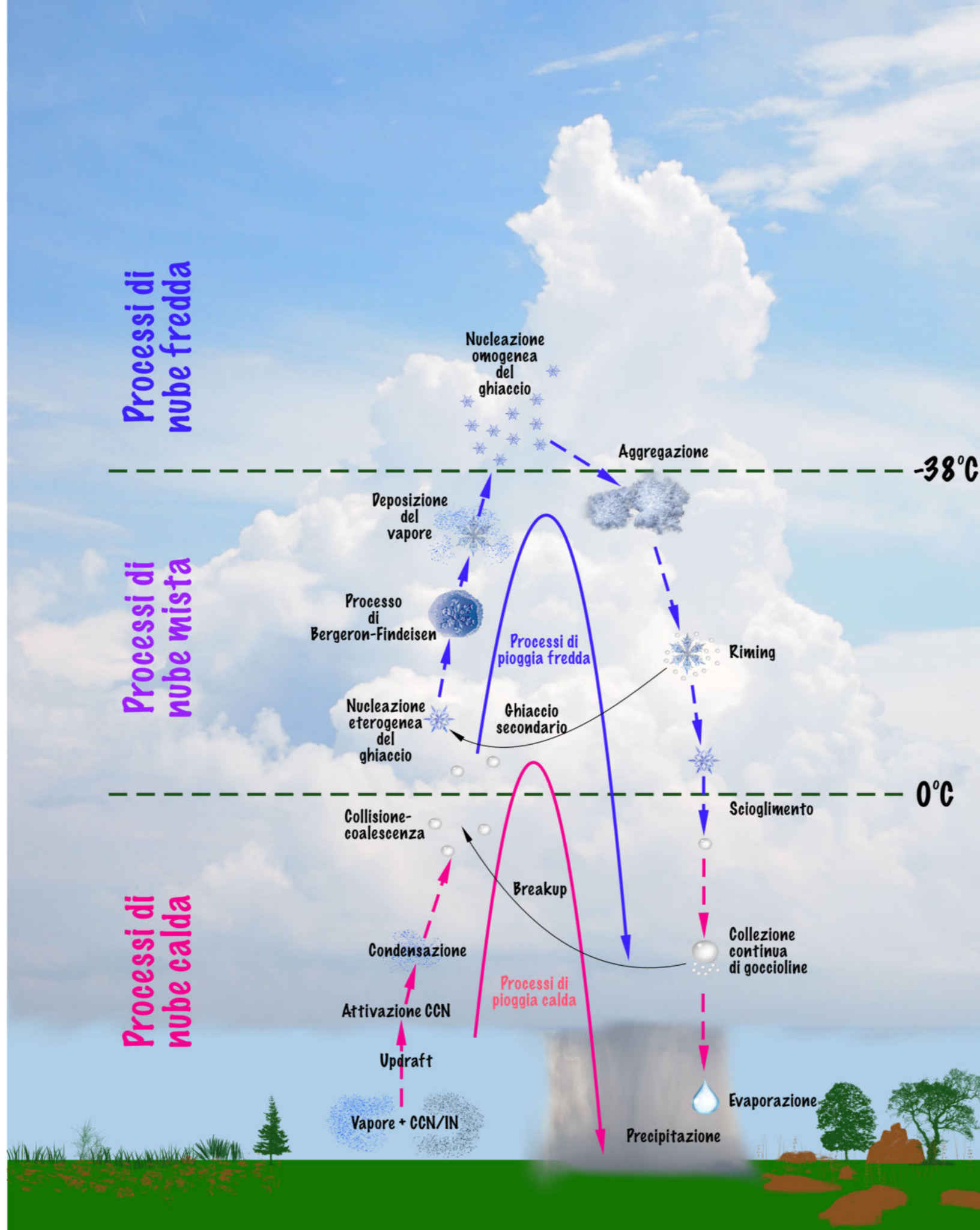
Updraft

Grandi gocce  
5000 micron (5 mm)

Nelle nubi calde l'aria satura sale  
rapidamente. Durante la salita  
l'aria si raffredda forzando la  
condensazione di goccioline

Le grandi gocce divengono  
instabili e si rompono in  
gocce più piccole durante  
la caduta





Nucleazione omogenea del ghiaccio

-40°C

Riming

Deposizione di vapore

Sublimazione

-40°C

Aggregazione

Nucleazione eterogenea del ghiaccio

0°C

CCN/IN

Coalescenza

Condensazione

Attivazione delle goccioline

CCN/IN

Crescita bagnata

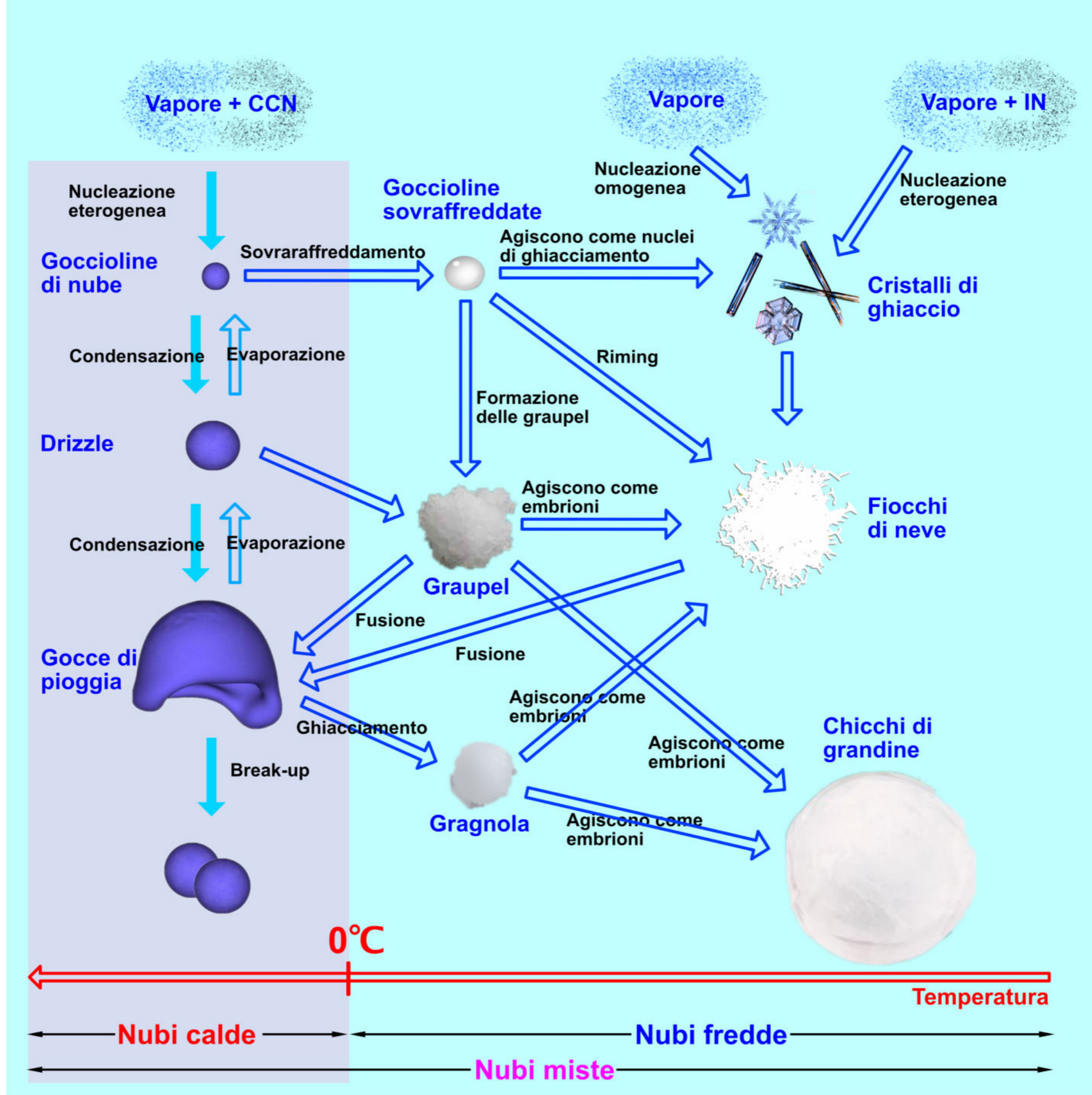
Produzione di ghiaccio secondario

0°C

Fusione  
Shedding  
Breakup

Evaporazione

In un temporale c'è di tutto

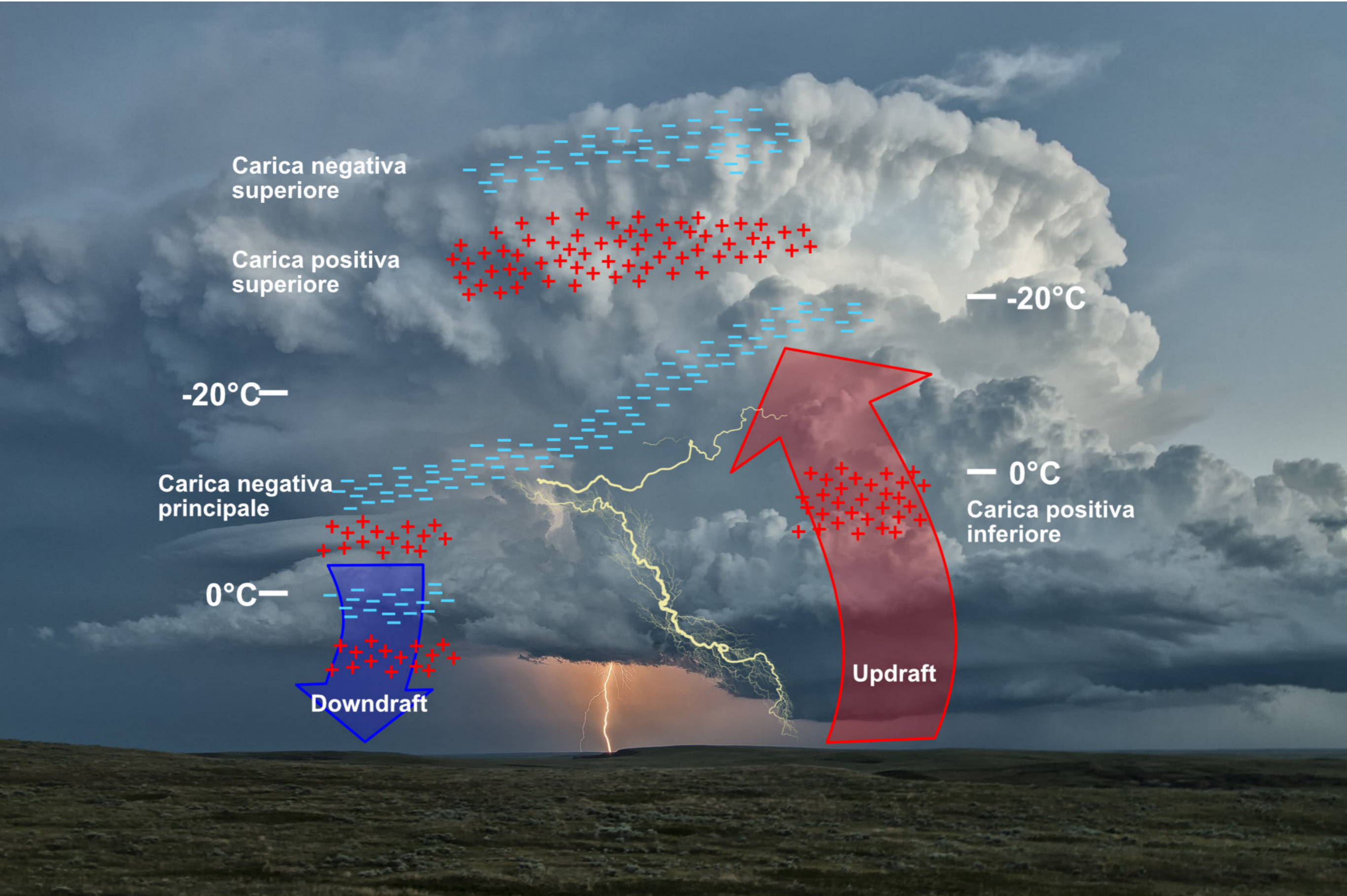




**Solo fulmini o anche altro?**



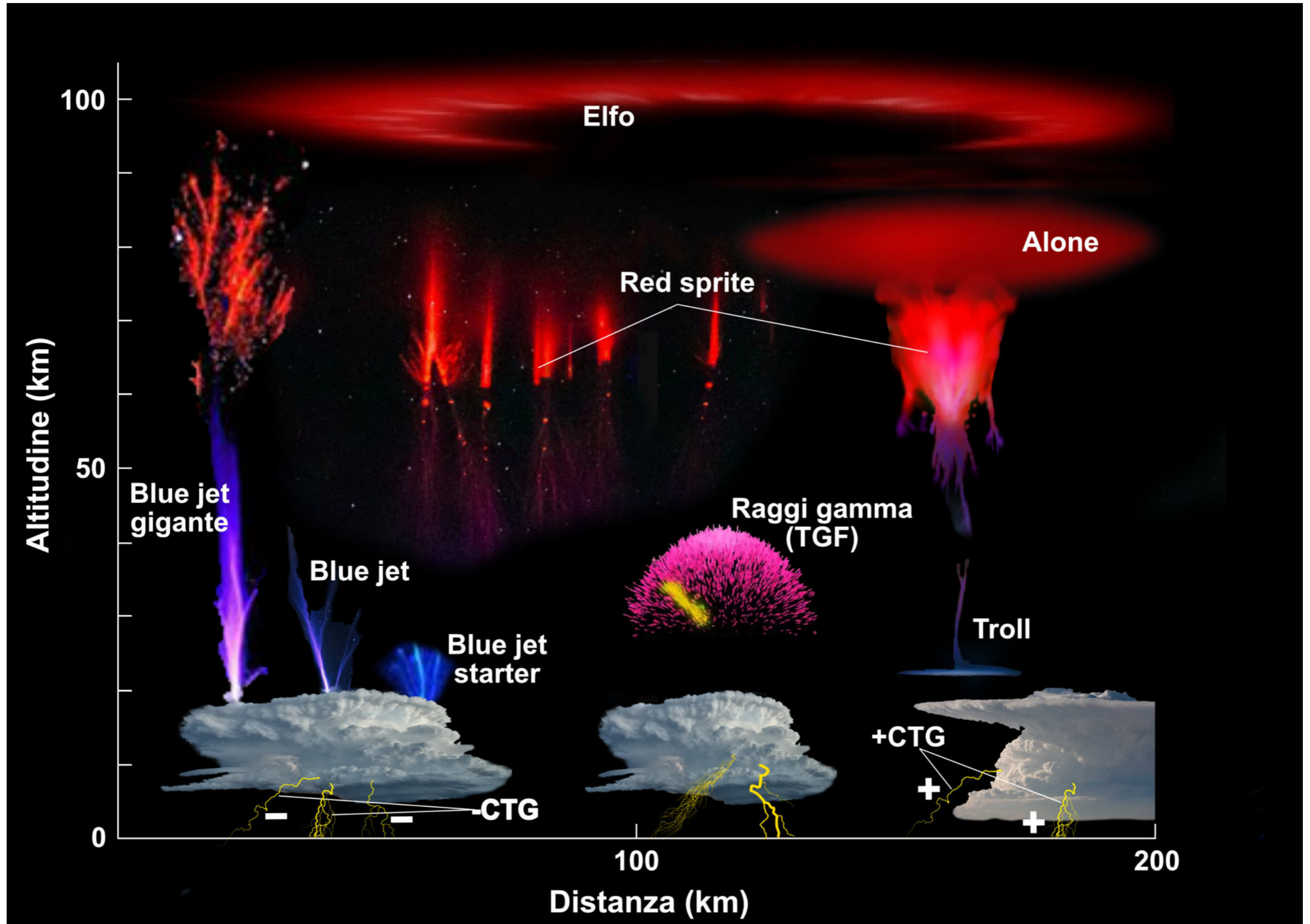
# ...tutto ciò avviene in un intenso campo elettrico



...molto intenso...



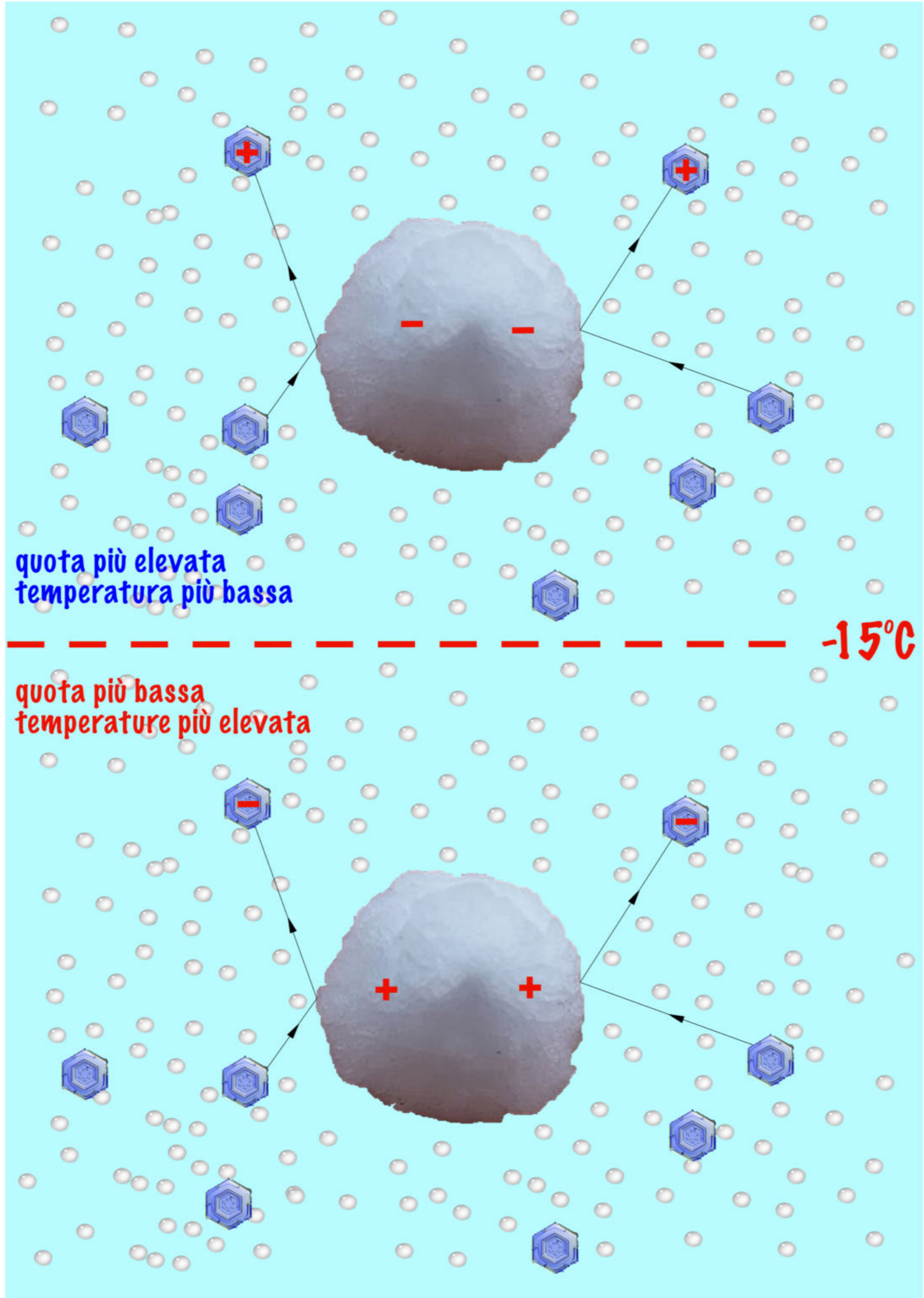
...a volte estremamente intenso



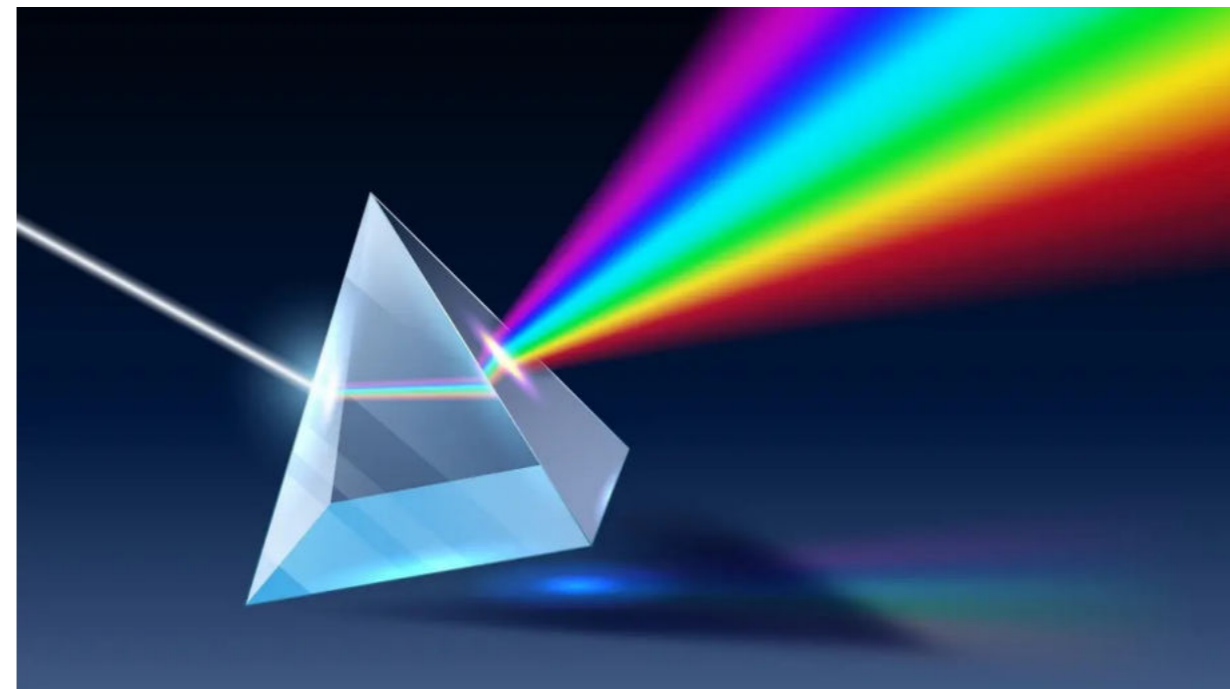


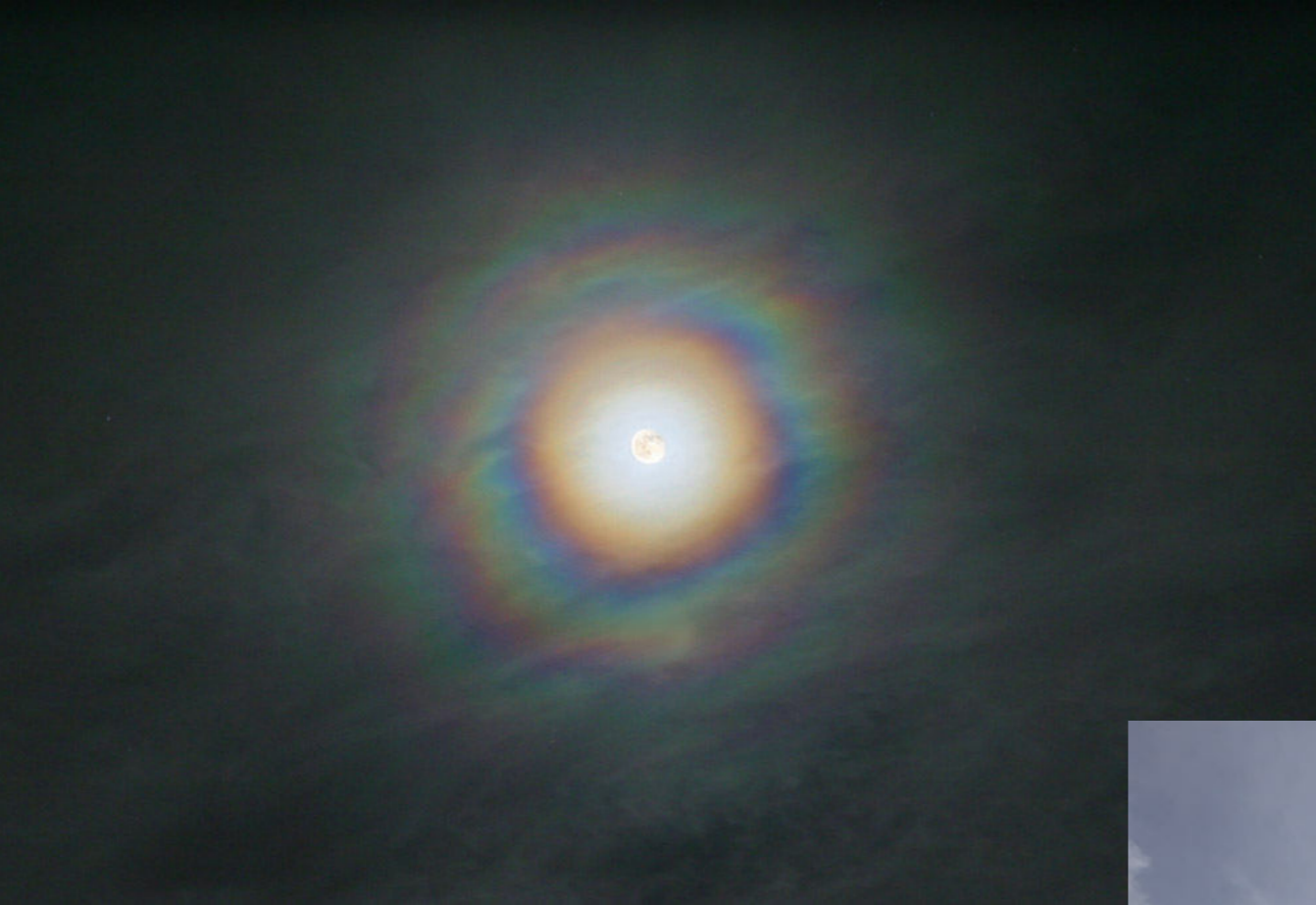
© Phebe Pan



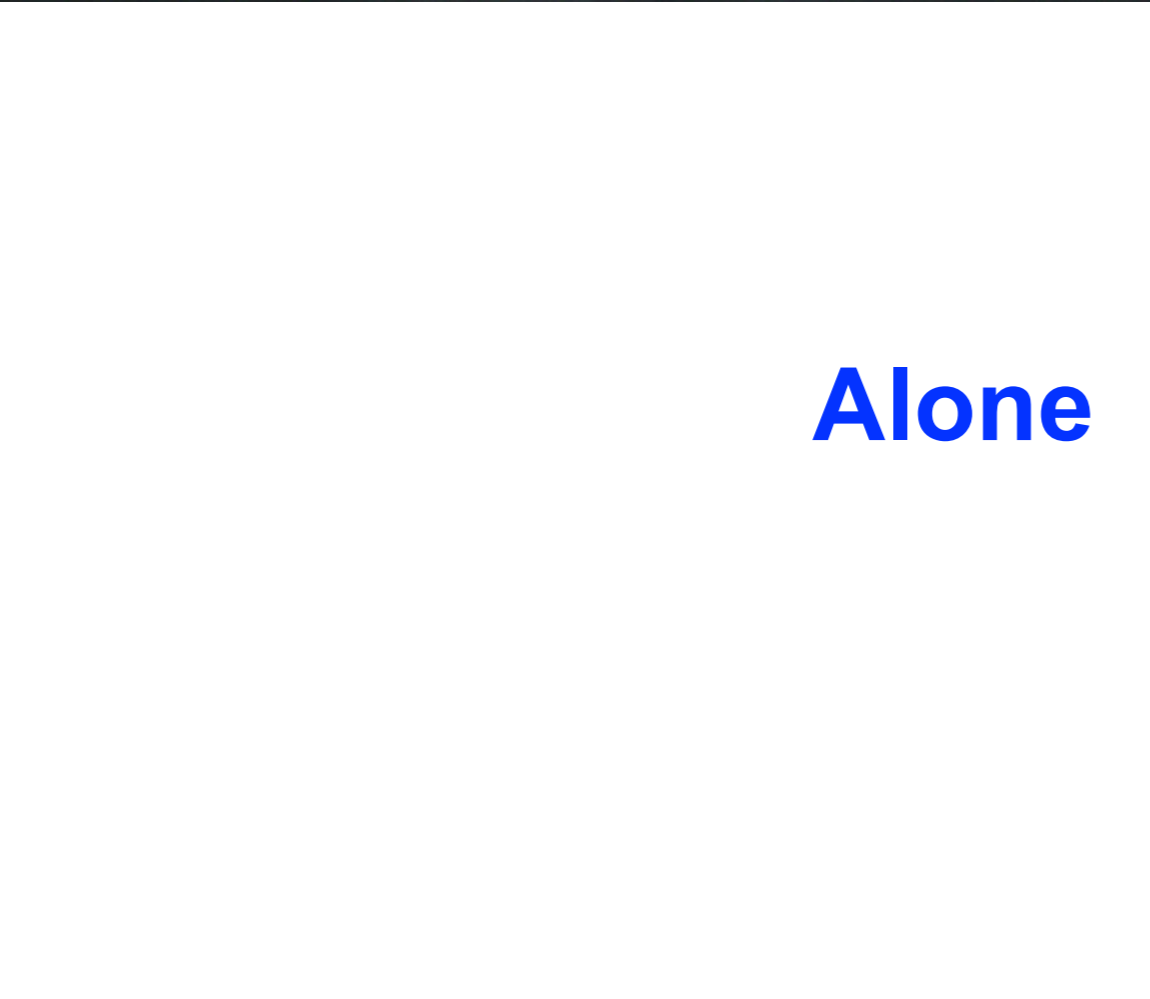


# Nubi e luce





**Corona**



**Alone**







**Gloria**

**Luci crepuscolari**





**Pilastrini di luce**

**Parelio**



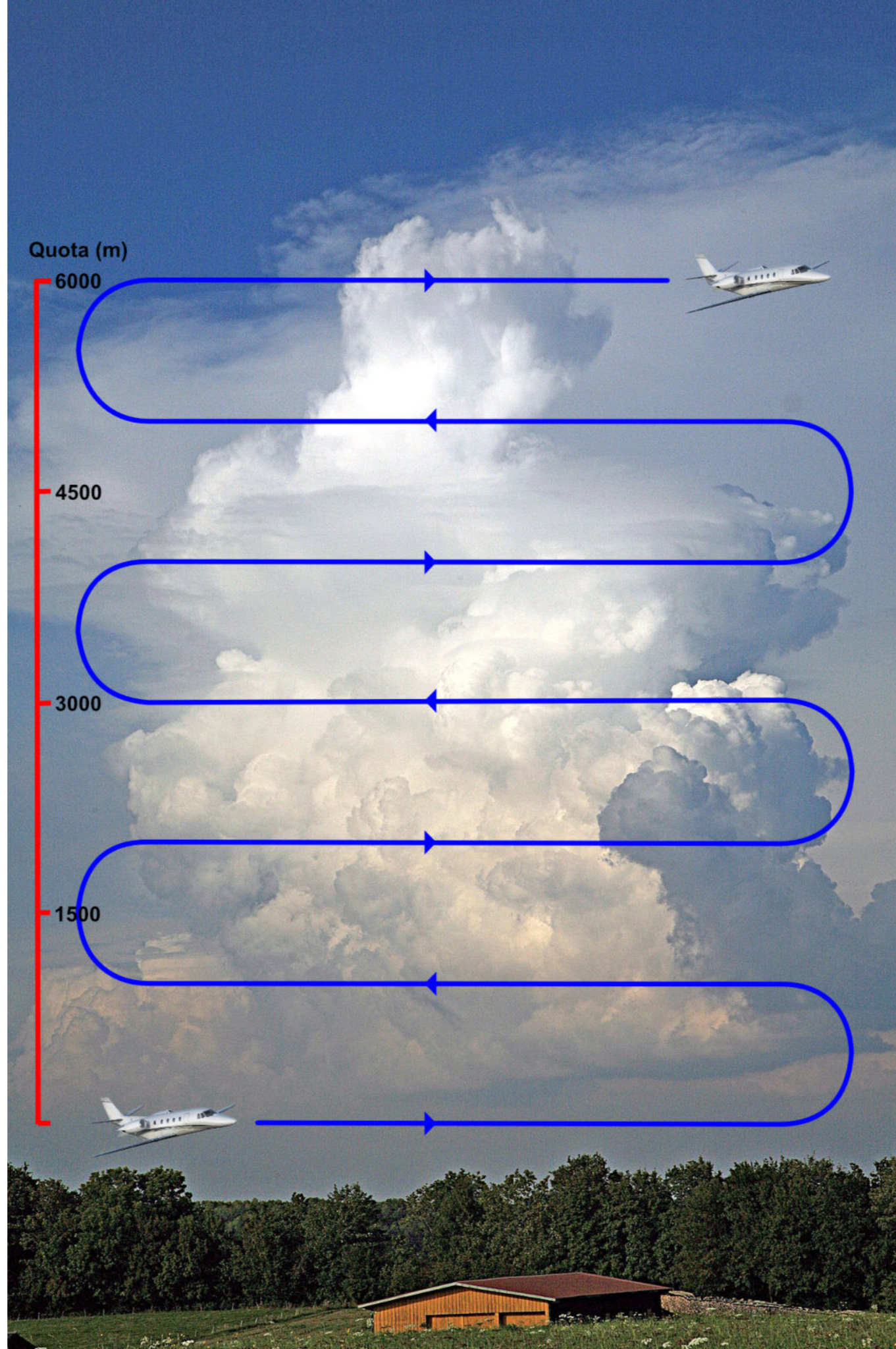


# Arcobaleno

**Cosa stiamo facendo per capire  
più a fondo la struttura  
delle nubi?**







Quota (m)

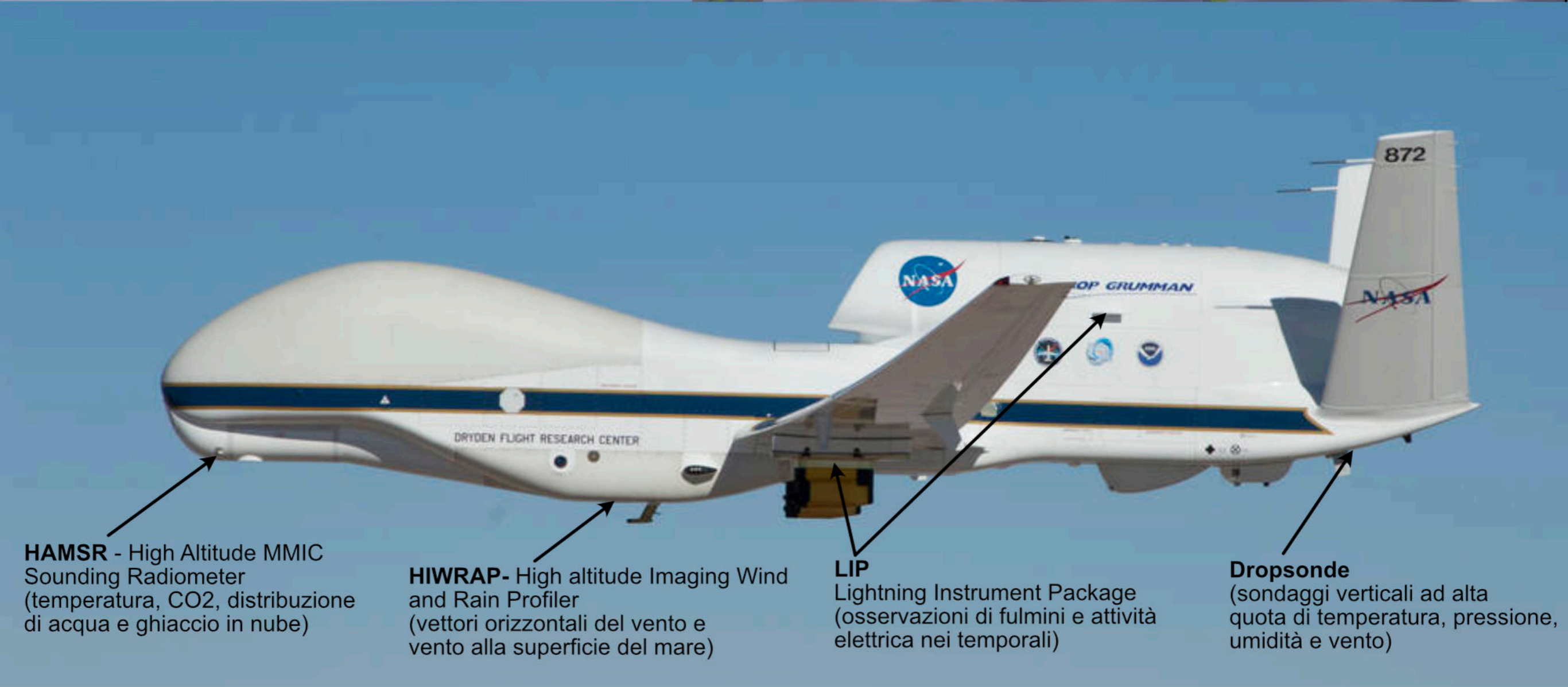
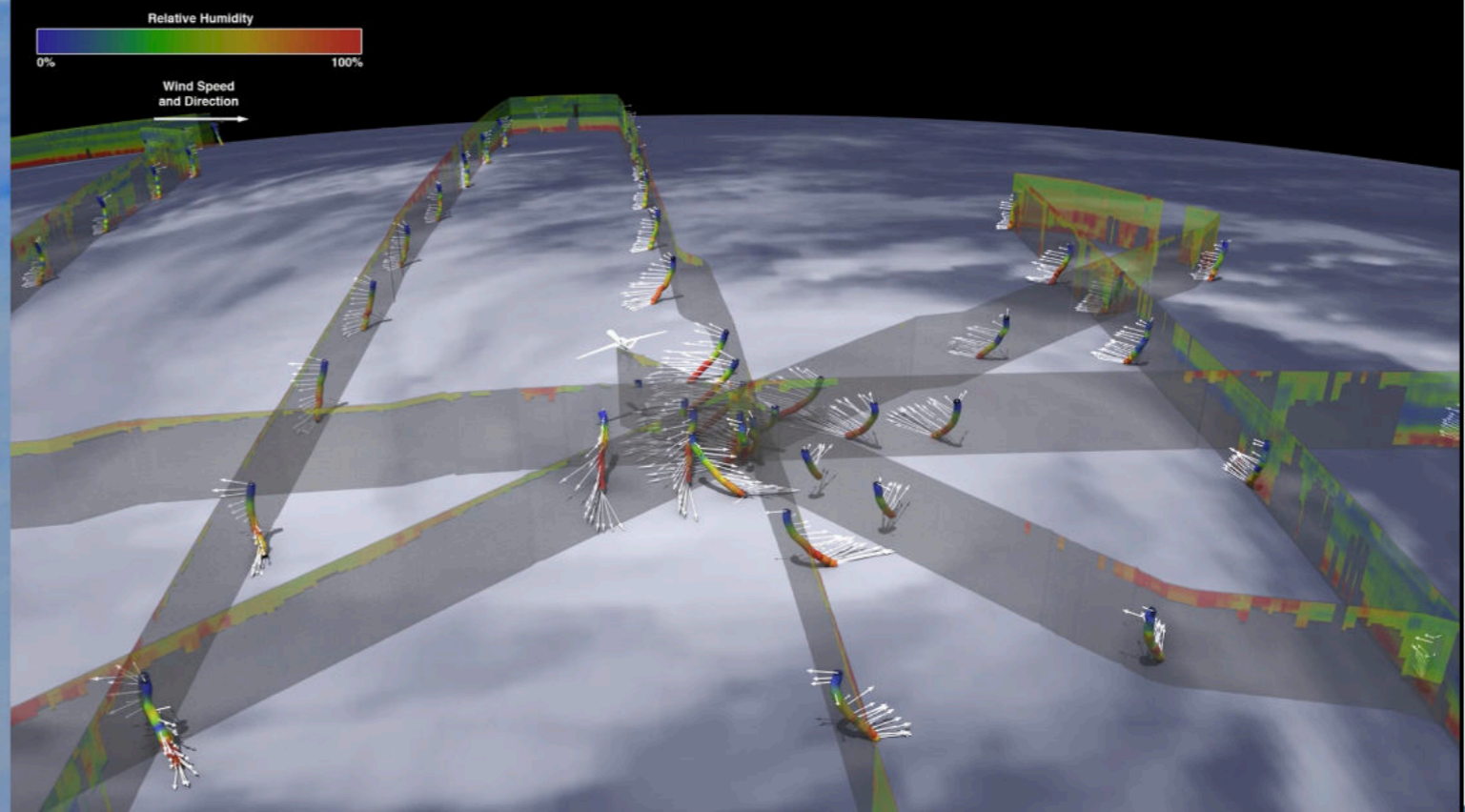
6000

4500

3000

1500





**HAMS**R - High Altitude MMIC Sounding Radiometer (temperatura, CO<sub>2</sub>, distribuzione di acqua e ghiaccio in nube)

**HIWRAP**- High altitude Imaging Wind and Rain Profiler (vettori orizzontali del vento e vento alla superficie del mare)

**LIP** Lightning Instrument Package (osservazioni di fulmini e attività elettrica nei temporali)

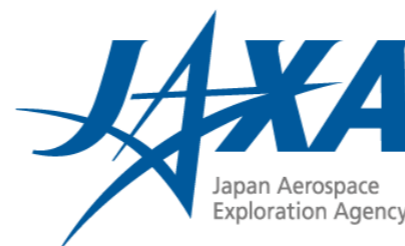
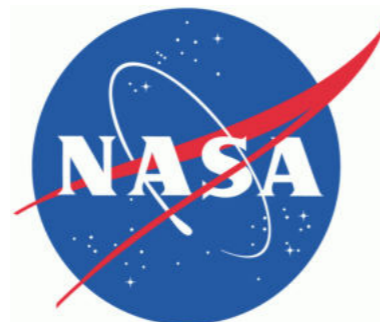
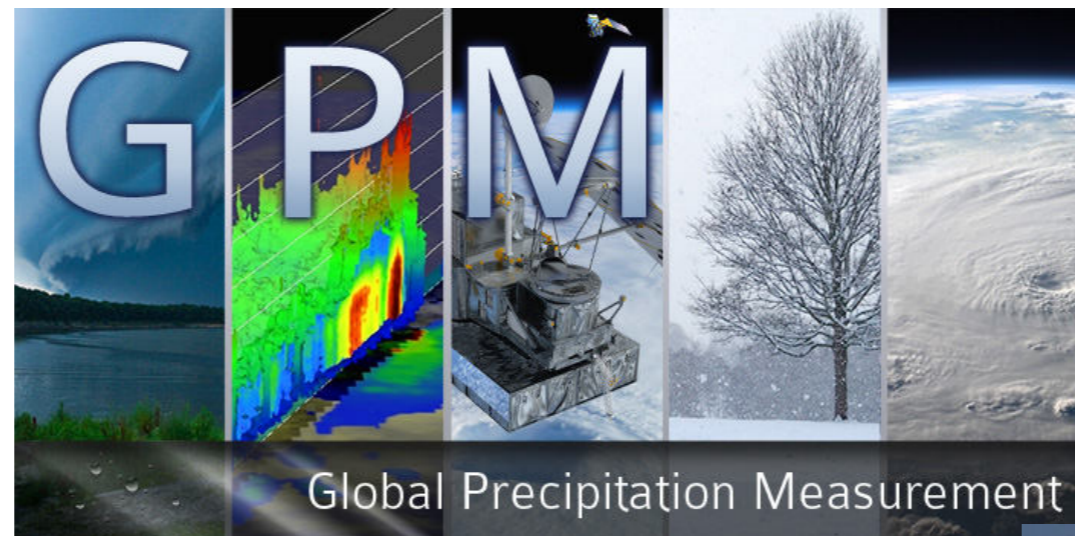
**Dropsonde** (sondaggi verticali ad alta quota di temperatura, pressione, umidità e vento)

**I satelliti però...**

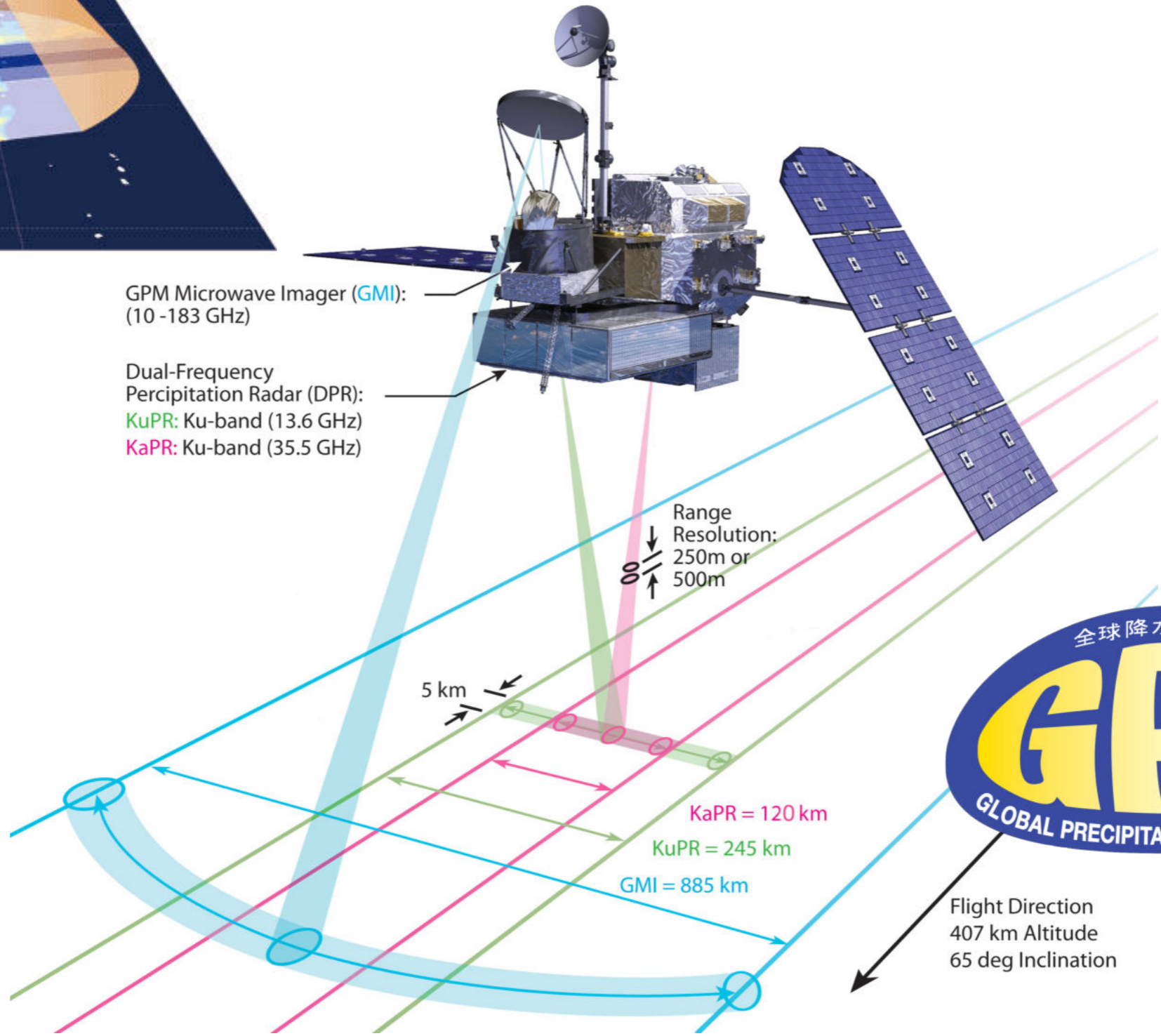
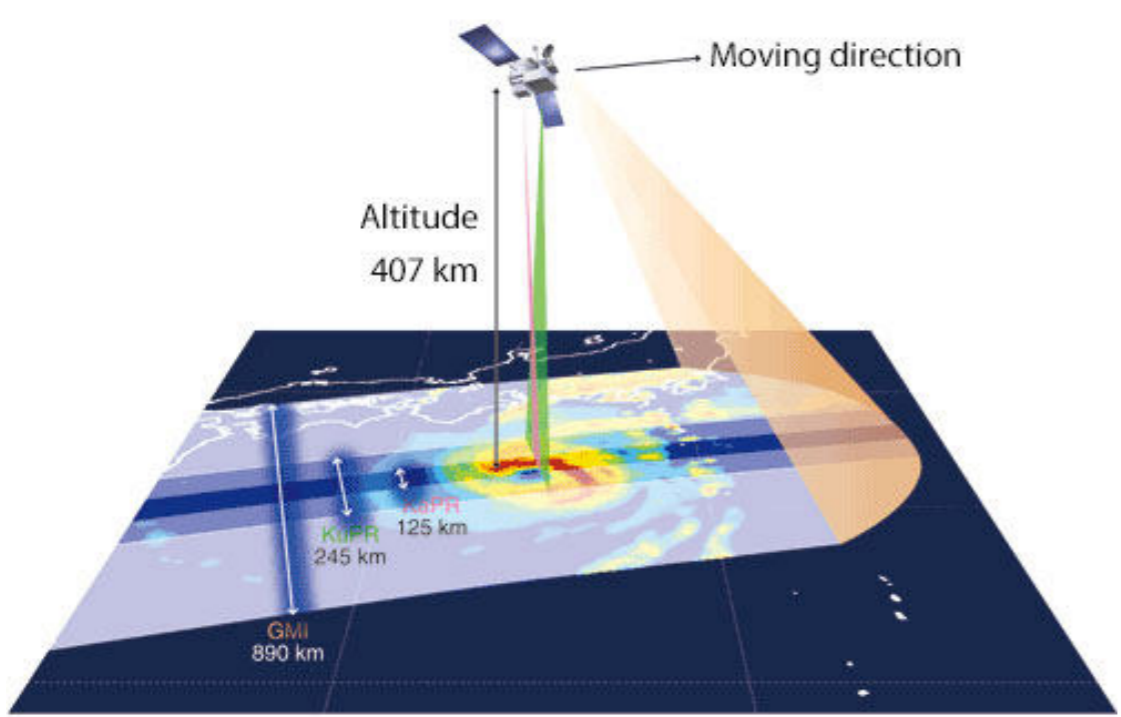




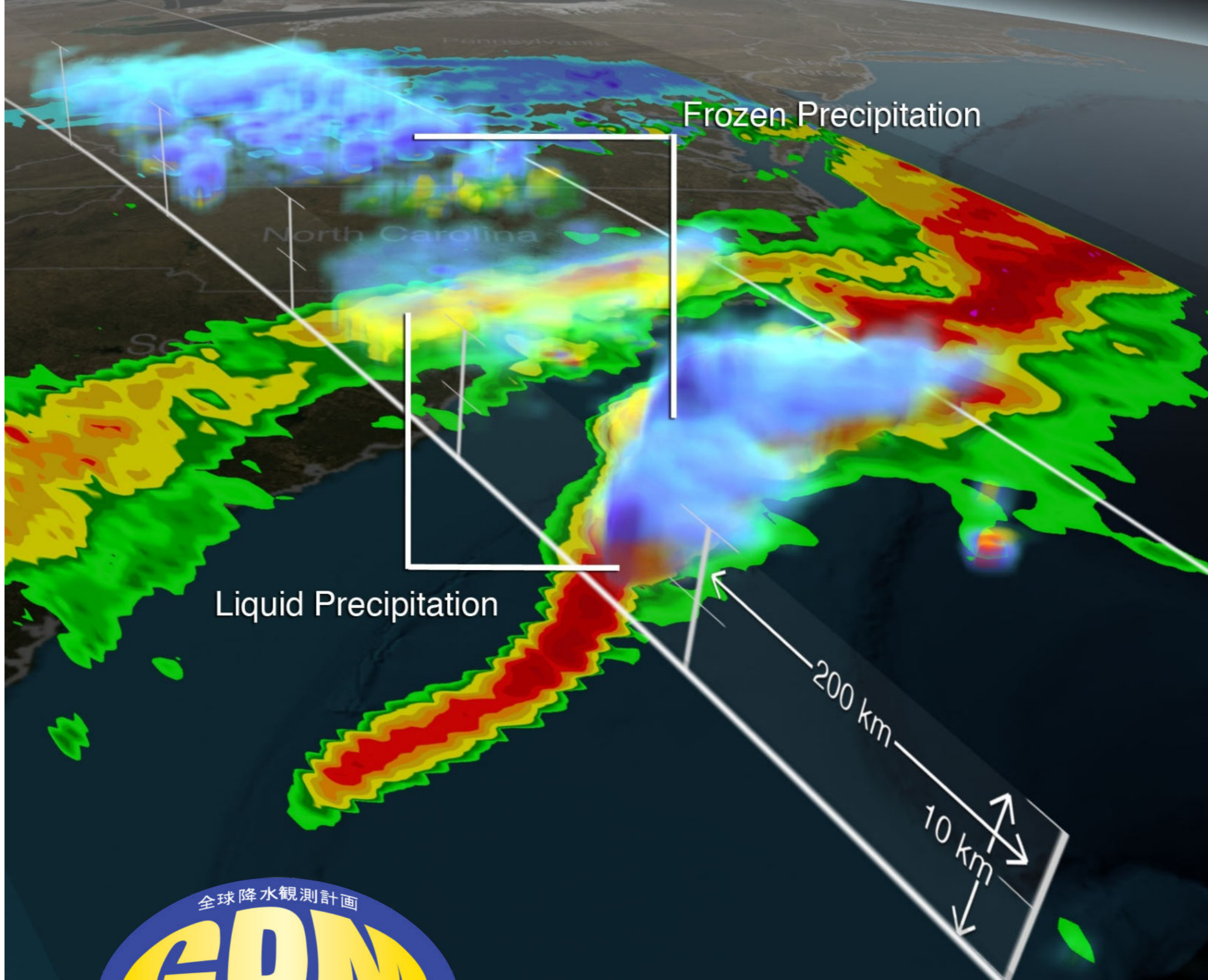
# La Global Precipitation Measurement GPM mission



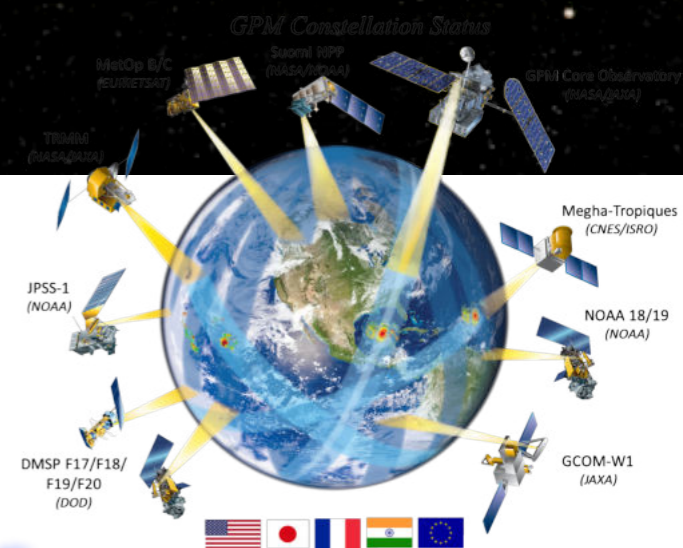
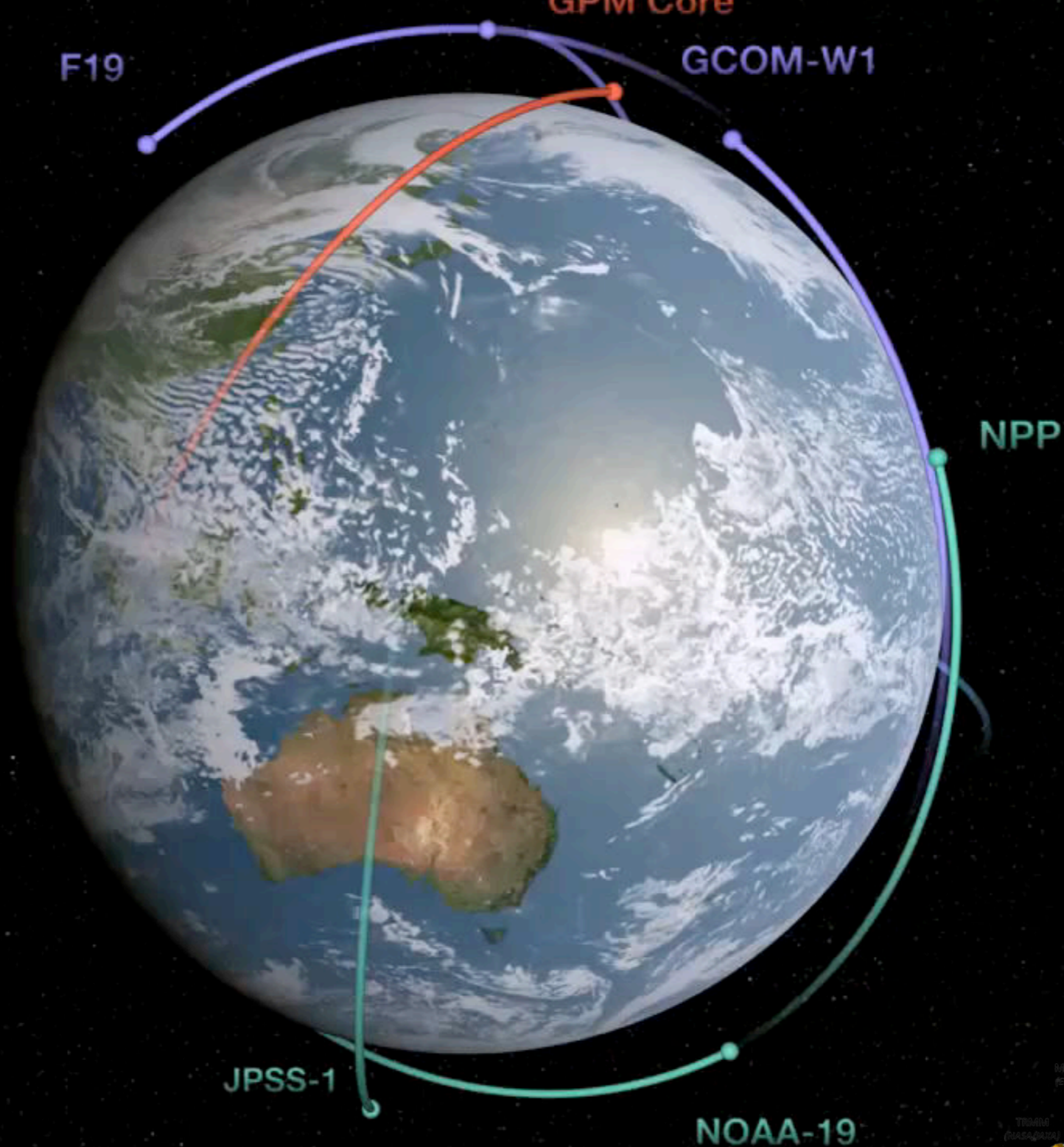
Lancio 27 febbraio 2014



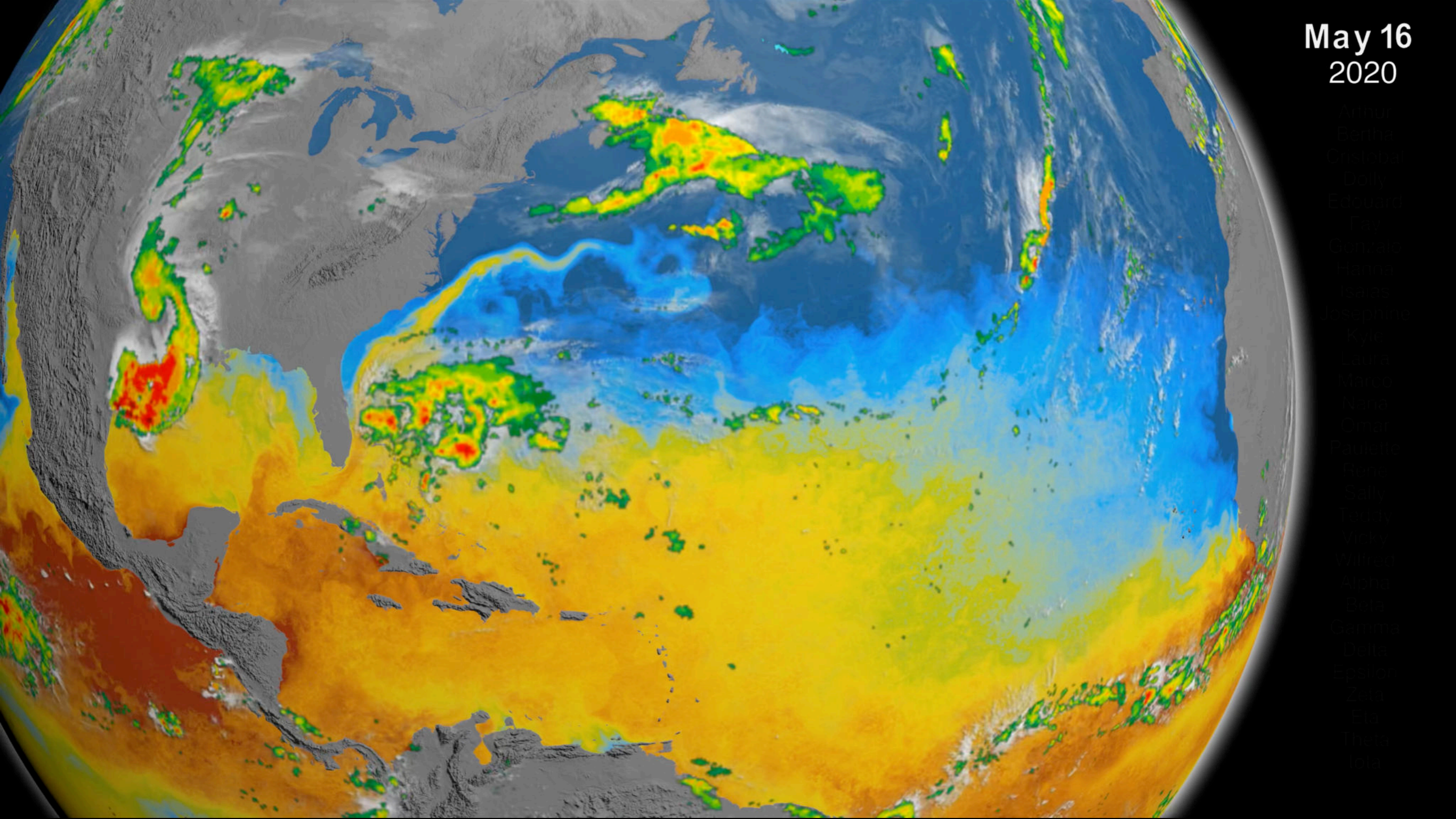




17 marzo 2014 Costa est degli USA  
 Tempesta di neve in cui la GPM vede sia la componente liquida  
 che quella solida della precipitazione



May 16  
2020

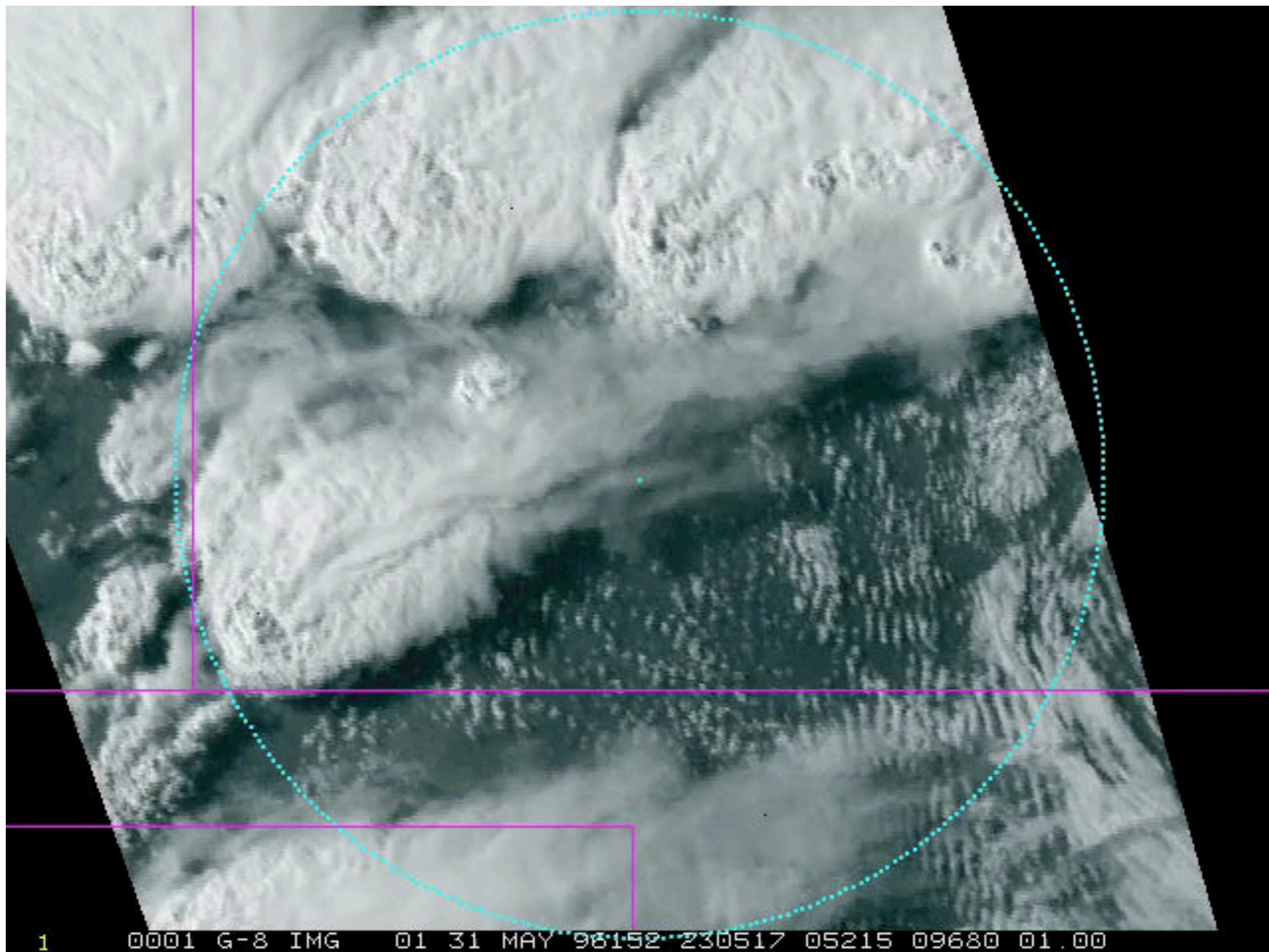


Hurricane tracks  
2020 hurricane season





Uragano Matthew  
28 settembre-6 ottobre 2016



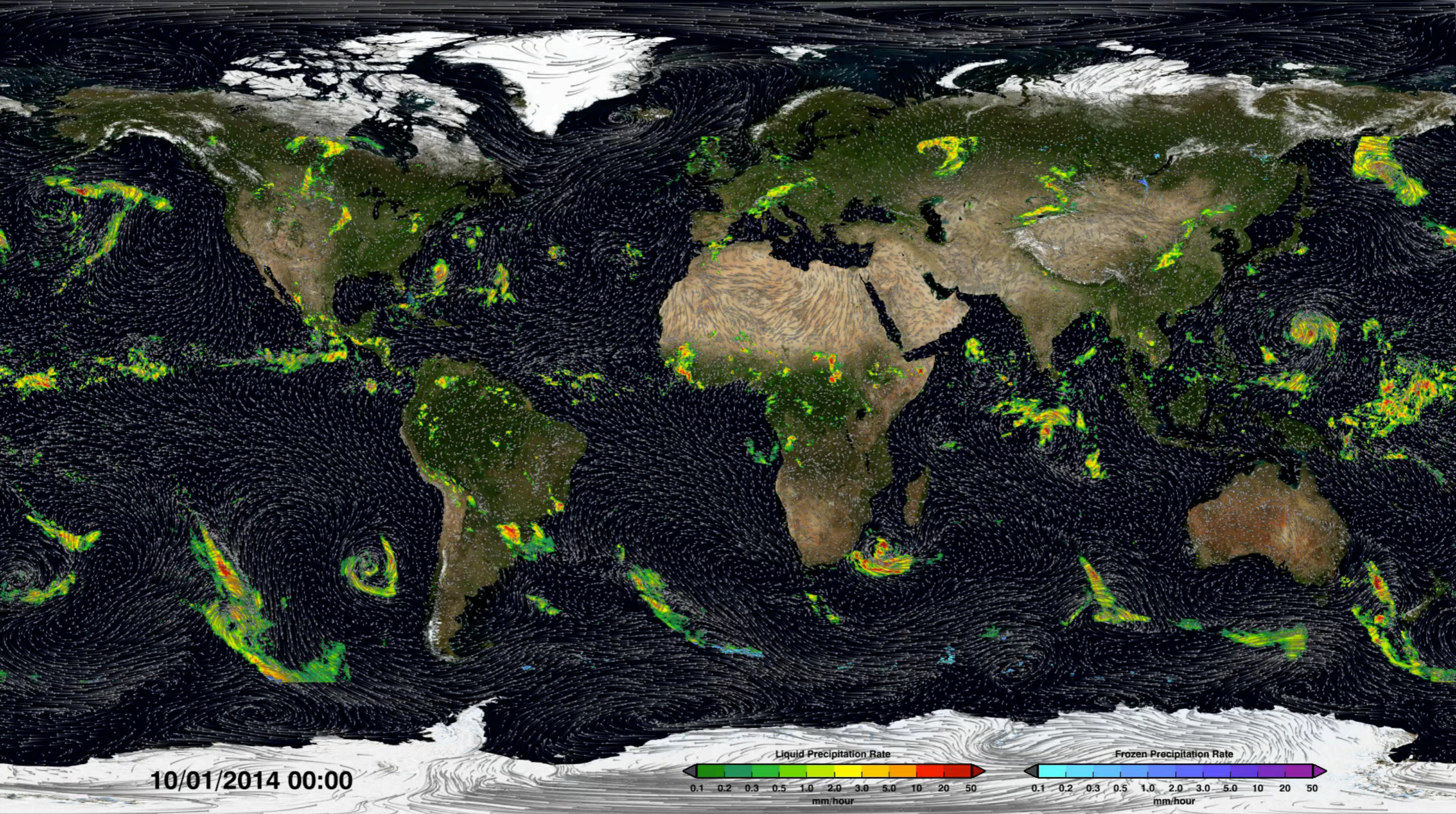
Osservazione in modalità "rapid scan" (ogni 30 sec) di temporali tornadici sulle Grandi Pianure americane del satellite GOES, 31 maggio 1996 2300 UTC

Ness City, Kansas

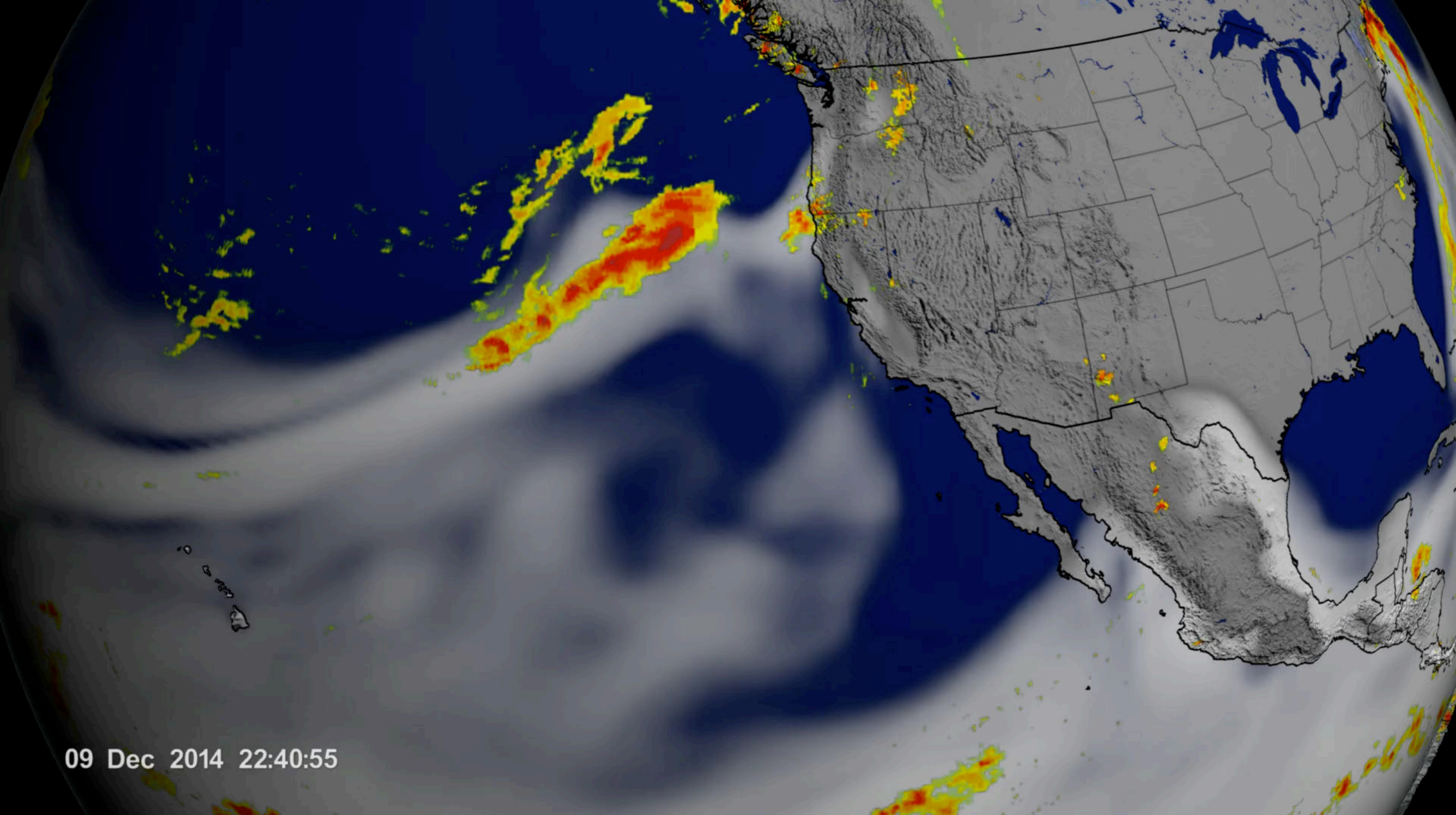


**A cosa serve scoprire di più  
sulla struttura delle nubi?**

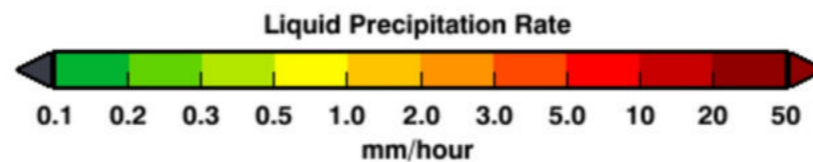




Venti alla superficie dalla reanalisi MERRA sovrapposti al prodotto di precipitazione globale GPM IMERG durante il mese di ottobre 2014.



09 Dec 2014 22:40:55



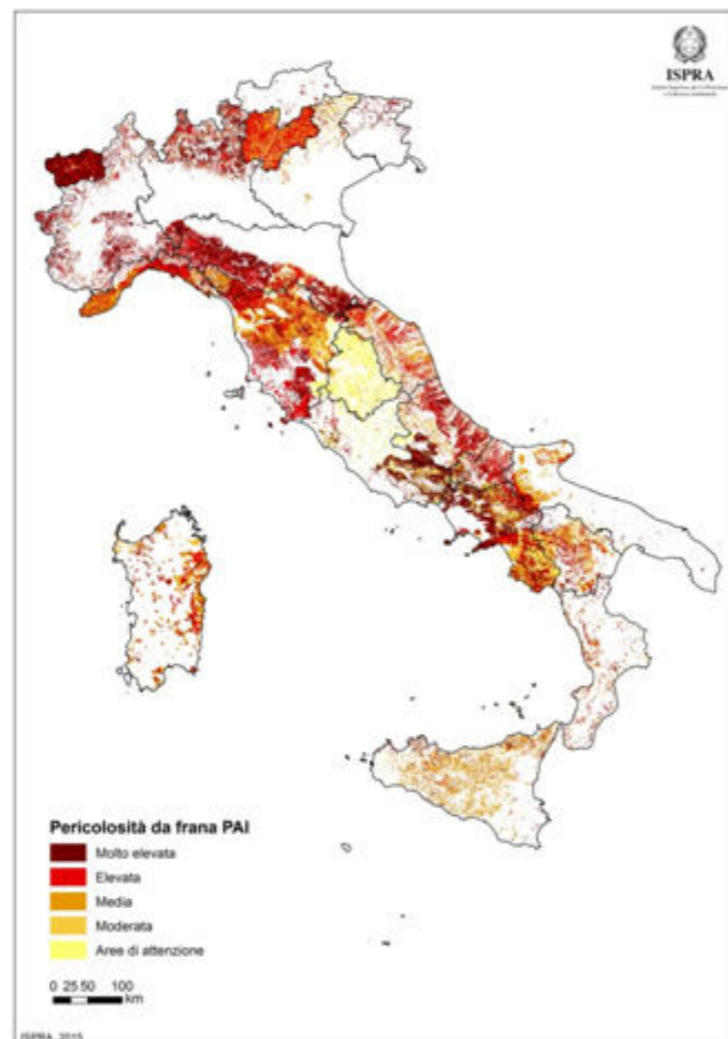
Gli “atmospheric rivers” sono stretti corridoi o filamenti di umidità concentrata in atmosfera che sono responsabili della maggior parte del trasporto verso i poli di vapore acqueo intorno al globo. Essi consistono di strette bande di aumentato trasporto di vapore tipicamente lungo i confini tra grandi aree di divergenza alla superficie incluse alcune zone frontali associate a cicloni extratropicali che si formano sugli oceani.



1966



7.145 comuni italiani, pari all'88,3% del numero totale, sono a rischio frane e alluvioni

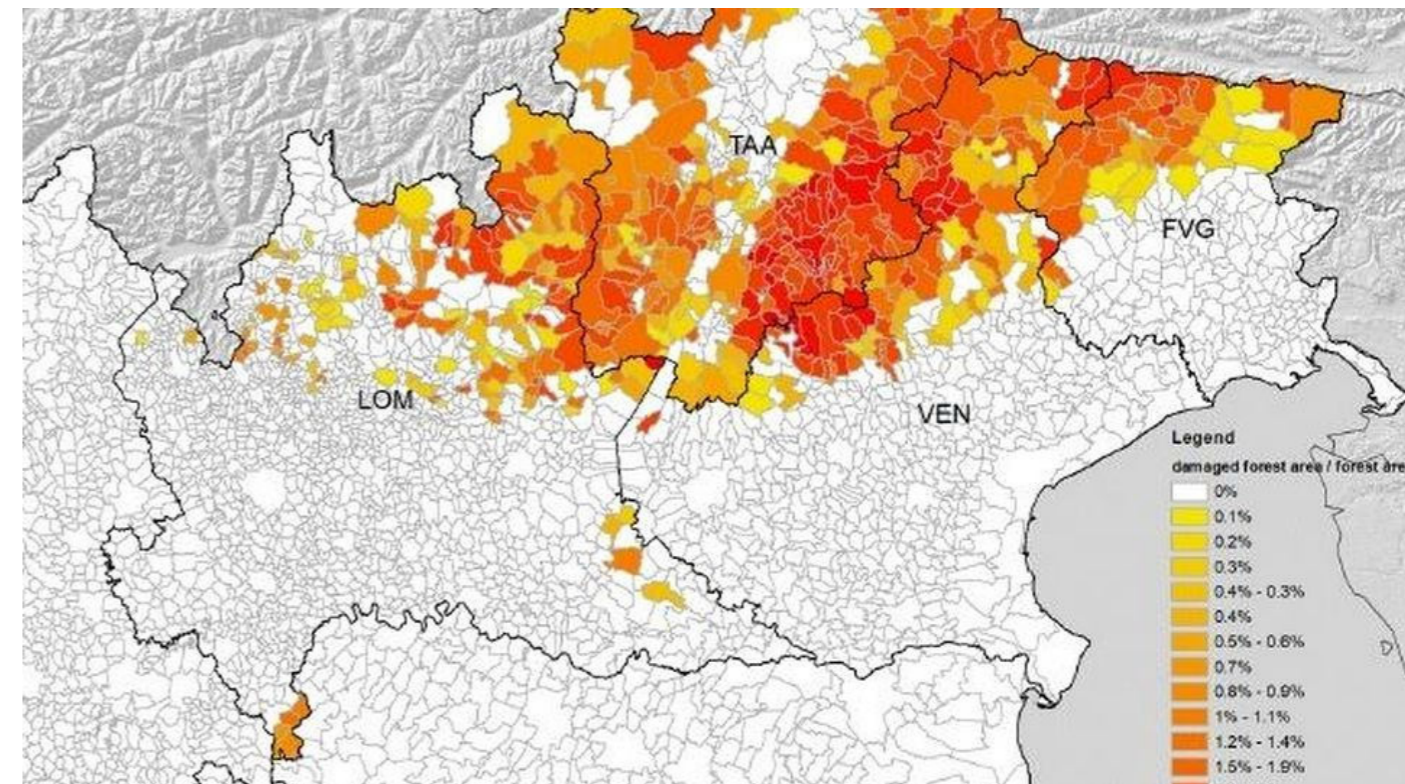
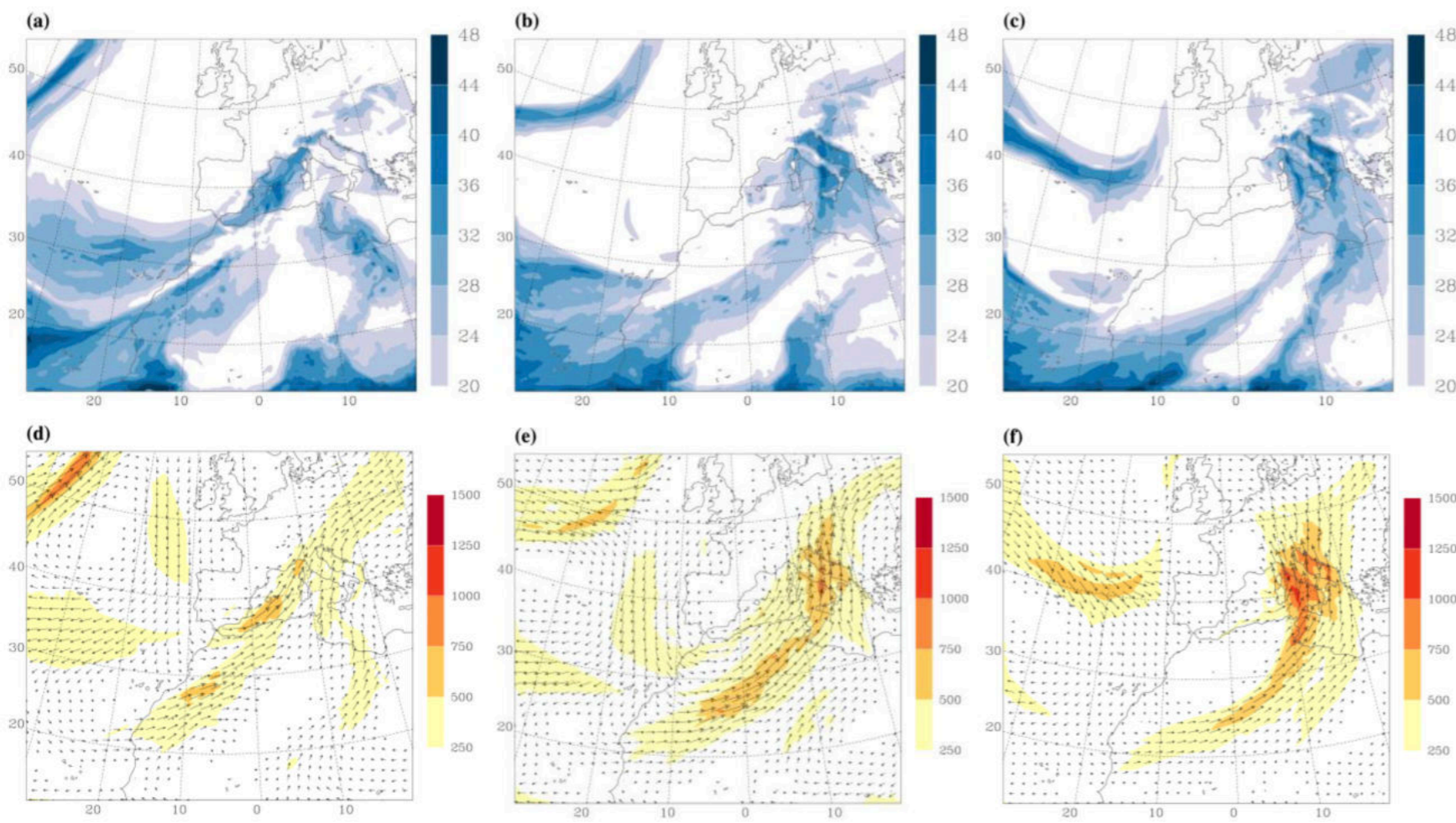


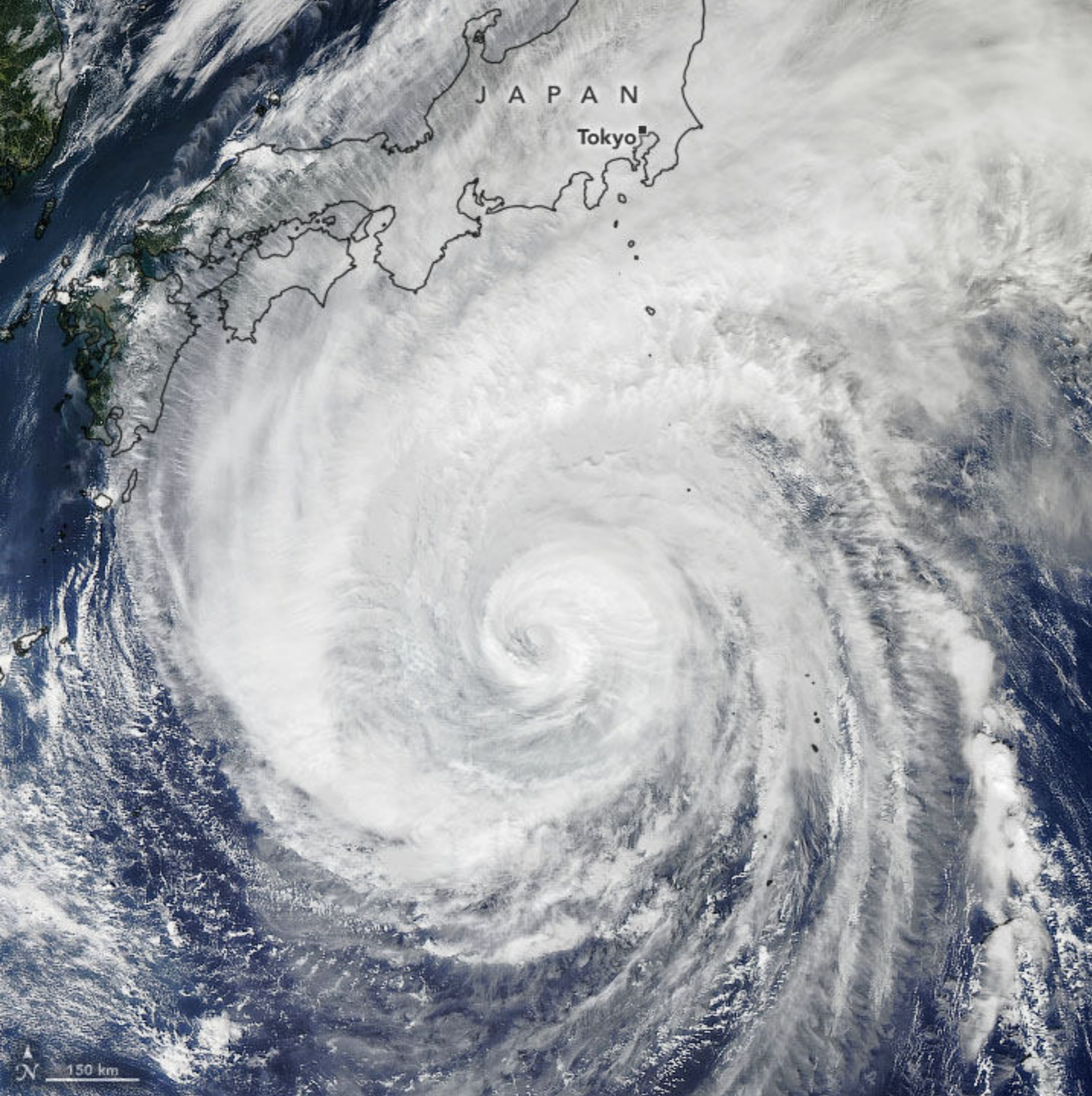
2014





# Tempesta Vaia 27-30 ottobre 2018





Supertifone Hagibis 2019

# Typhoon Hagibis



Source: Japanese Meteorological Agency

© AFP

Supertifone Hagibis

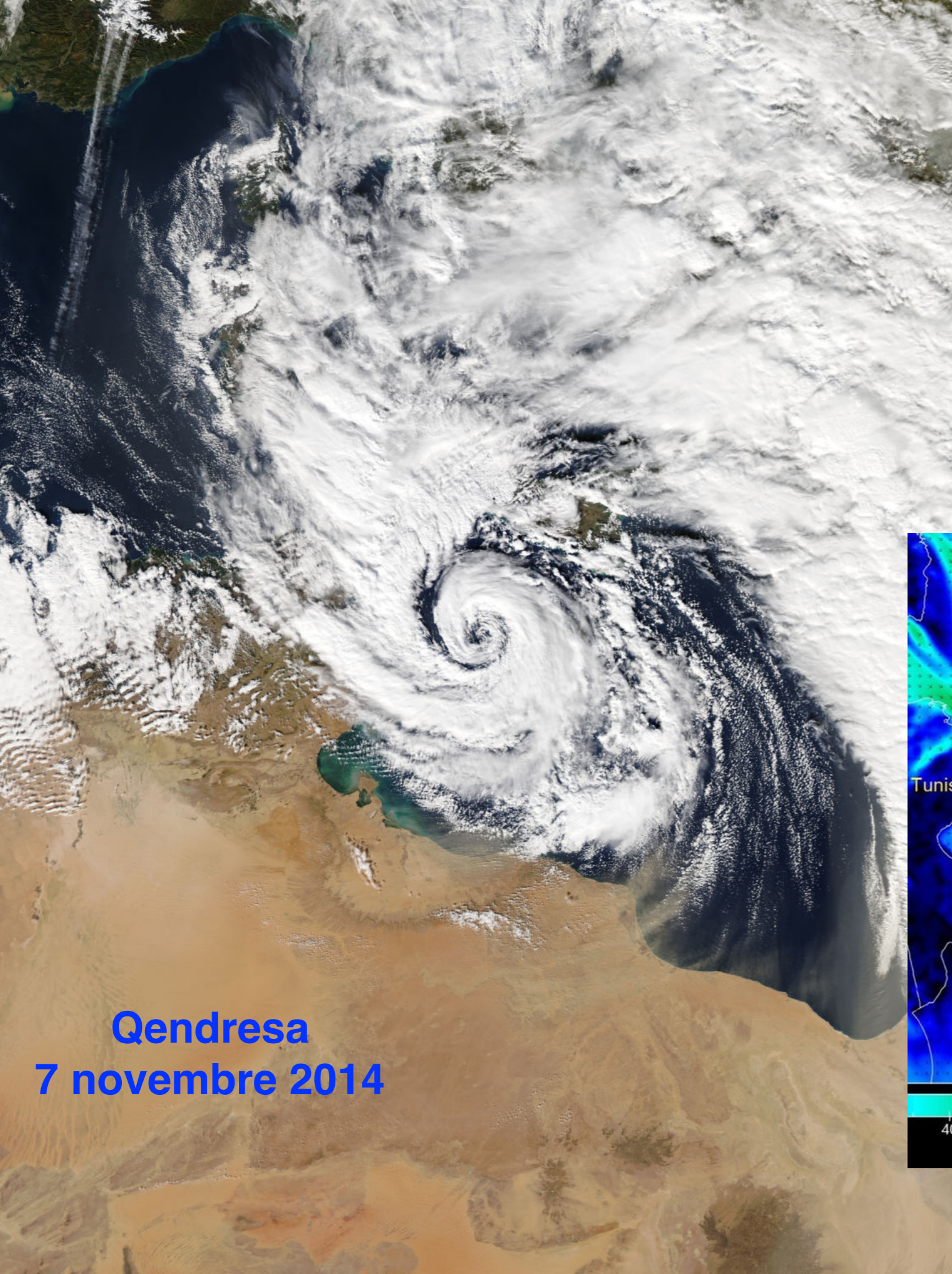




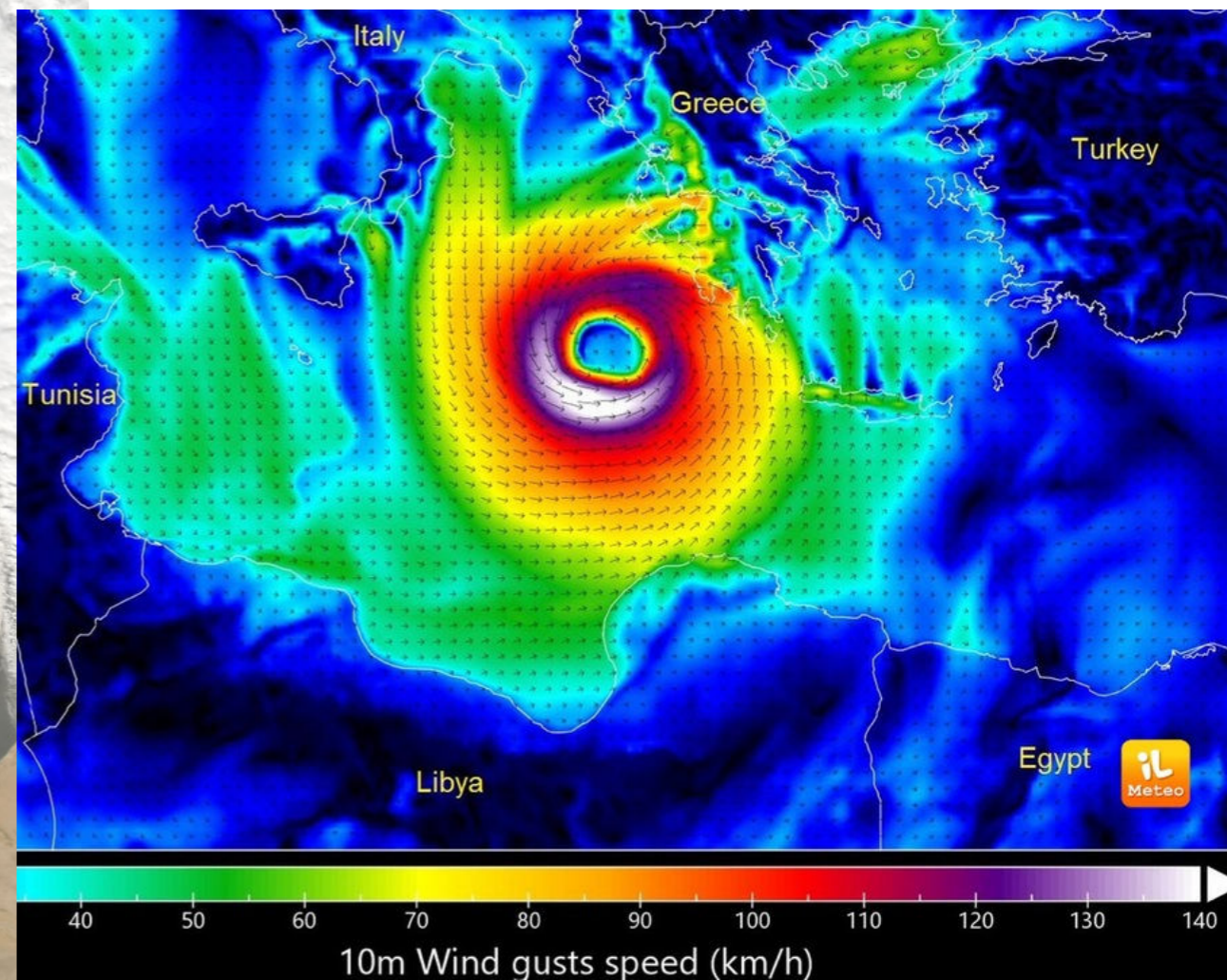
© EPA



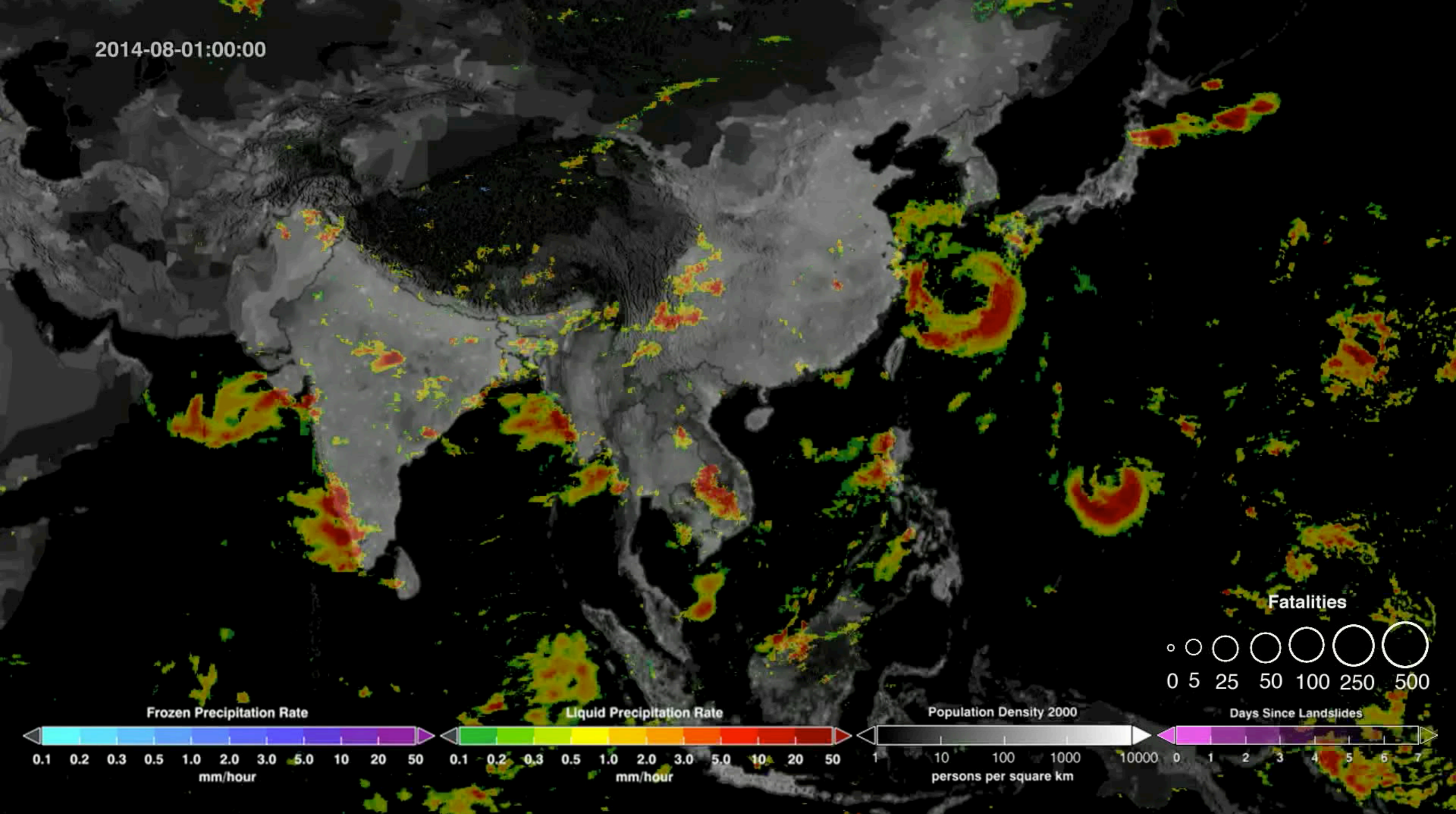
# Medicane



**Qendresa**  
**7 novembre 2014**



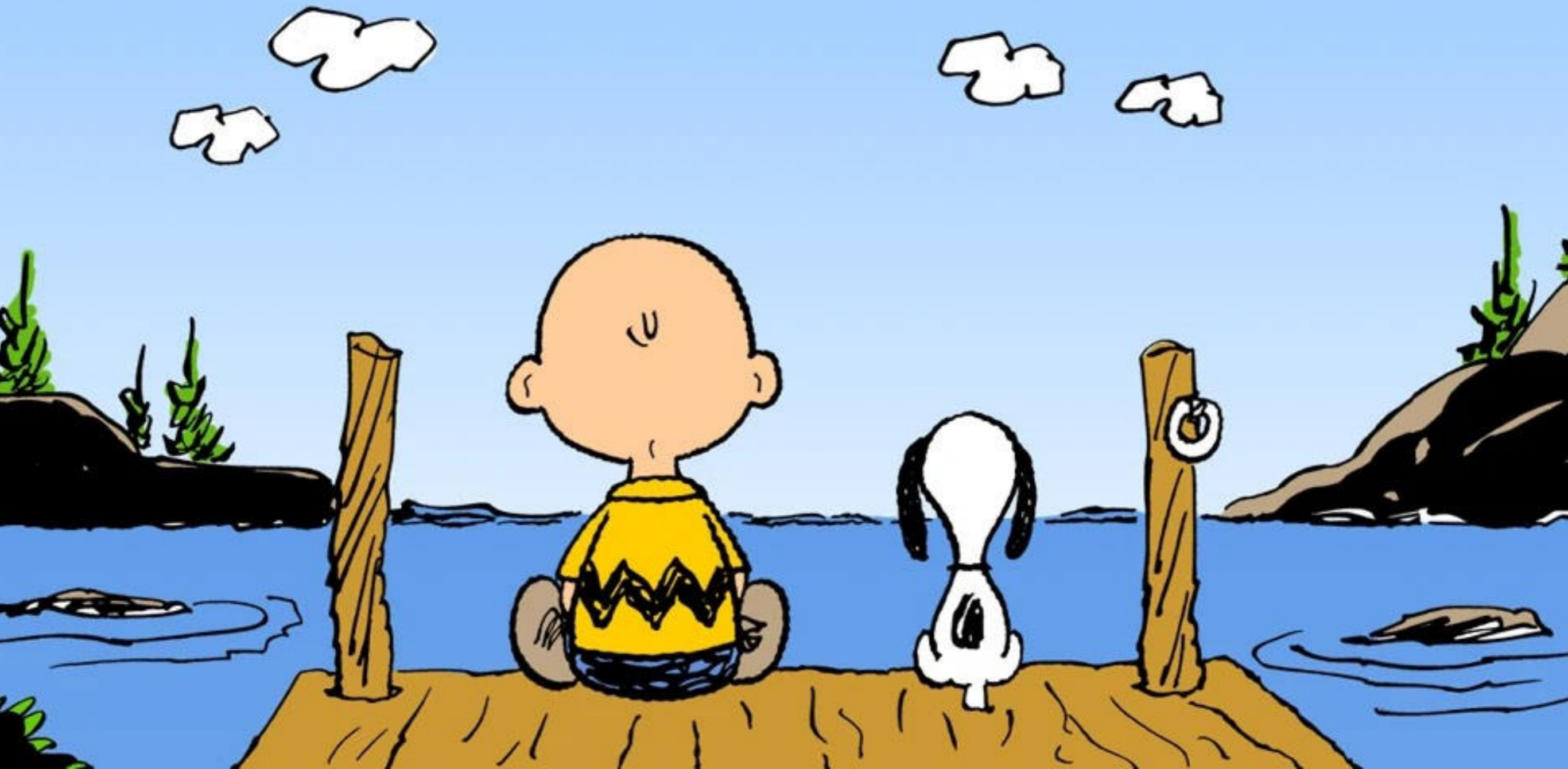
2014-08-01:00:00



Gli inventari di frane e smottamenti sono molto importanti per capire dove e quando essi sono accaduti e quindi dove possono accadere di nuovo in futuro. Tuttavia, c'è sorprendentemente assai poca informazione storica alla scala globale su questi eventi.

Questa visualizzazione mostra tutte le frane e smottamenti provocati da precipitazione intensa dal 2007 fino a marzo 2015 come ricavati dal Global rainfall-triggered Landslide Catalog (GLC). Questo tipo di informazioni è prezioso per caratterizzare il pattern globale delle frane e valutare le loro relazioni con la precipitazione estrema alla scala regionale e globale.

Quindi, c'è un mondo all'interno delle nuvole:  
guardiamole e ne scopriremo delle belle!



C'è molto altro, ma ci fermiamo qua...

Grazie



Vincenzo Levizzani  
**Piccolo manuale  
per cercatori  
di nuvole**



ilSaggiatore