

Perché è importante la stabilità dell'atmosfera?

Stabilità → moti verticali

I moti verticali in atmosfera permettono il trasporto di energia e influenzano il ciclo idrologico

Senza moti verticali non avremmo le precipitazioni, non avremmo rimescolamento degli inquinanti emessi vicino al suolo, non avremmo il “*tempo*” meteorologico

Si possono distinguere due tipi di moti verticali:

-forzati da un ostacolo (orografia, convergenza, aria fredda)

-galleggiamento, legati alla differente densità di masse d'aria vicine. In questi entra fortemente in gioco la stabilità

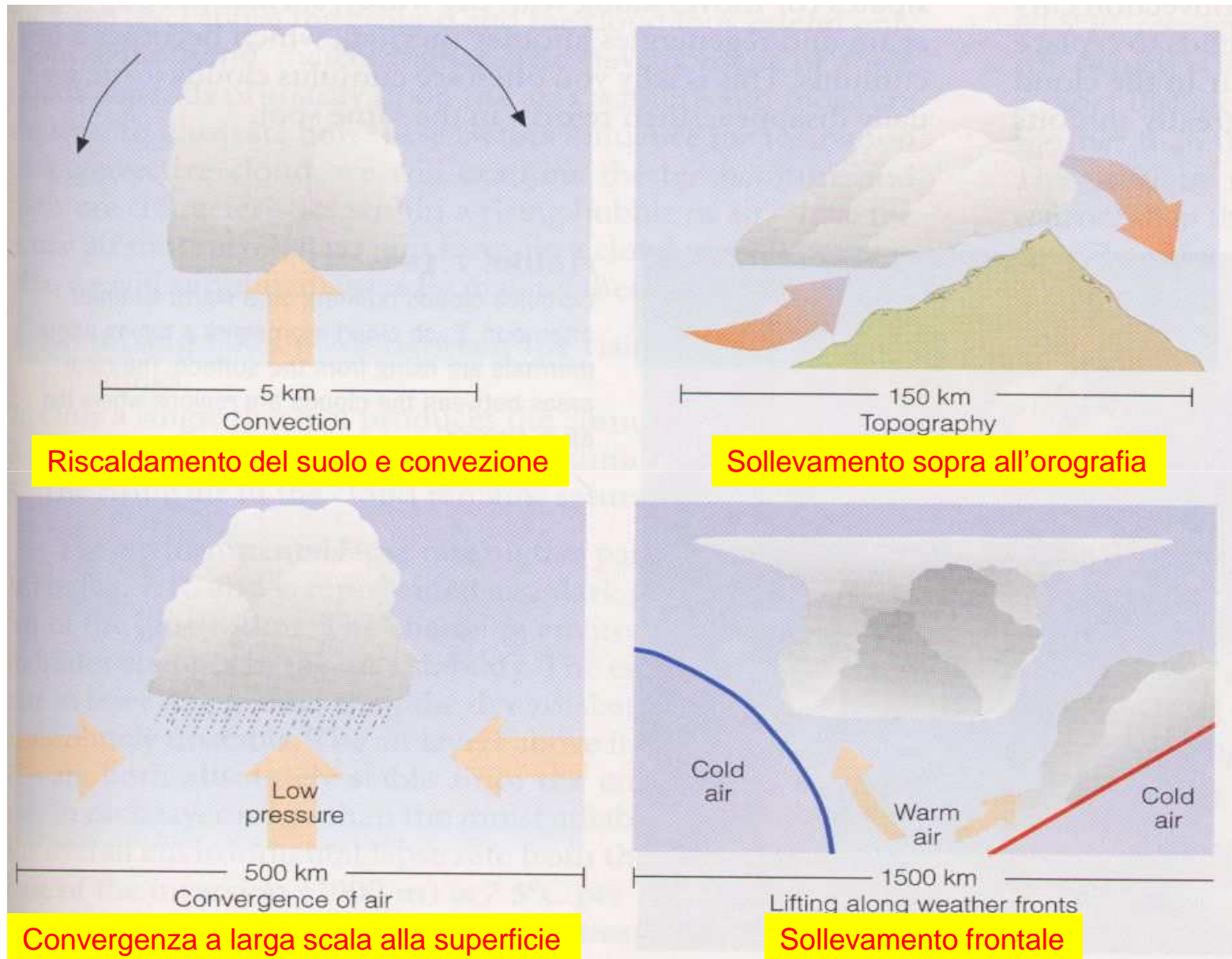
Condizioni che favoriscono la stabilità dell'atmosfera:

- Raffreddamento radiativo notturno alla superficie
- Avvezione di aria fredda vicino alla superficie
- Aria in movimento sopra ad una superficie fredda (es. neve)
- Compressione adiabatica dovuta a moti di subsidenza (alta pressione)

Condizioni che favoriscono l'instabilità dell'atmosfera:

- Raffreddamento di aria sopra: avvezione o raffreddamento radiativo
- Riscaldamento dell'aria vicino alla superficie: riscaldamento del suolo, avvezione calda nei bassi strati, aria in movimento sopra ad una superficie calda (bacino di acqua "calda")
- Sollevamento di strati d'aria in particolari condizioni

Le nubi si formano quando l'aria si solleva, si espande, si raffredda e condensa



		Diameter
rain	drizzle	0.2 mm
	Light rain	0.5 mm
	Strong rain	5.0 mm
cloud	Small droplets	1 μm
	droplets	10 μm
snow	Small cristals	0.2 mm
	Medim cristals	5.0 mm
	Small flakes	1.0 mm
	Big flakes	20.0 mm
hail	Graupeln	0.5 mm
	Light hail	5.0 mm
	hail	3.0 mm
	Giant hail	> 20.0 mm

Nucleo di condensazione medio

0.0002 mm = 0.2 μ

Gocce di nube medie

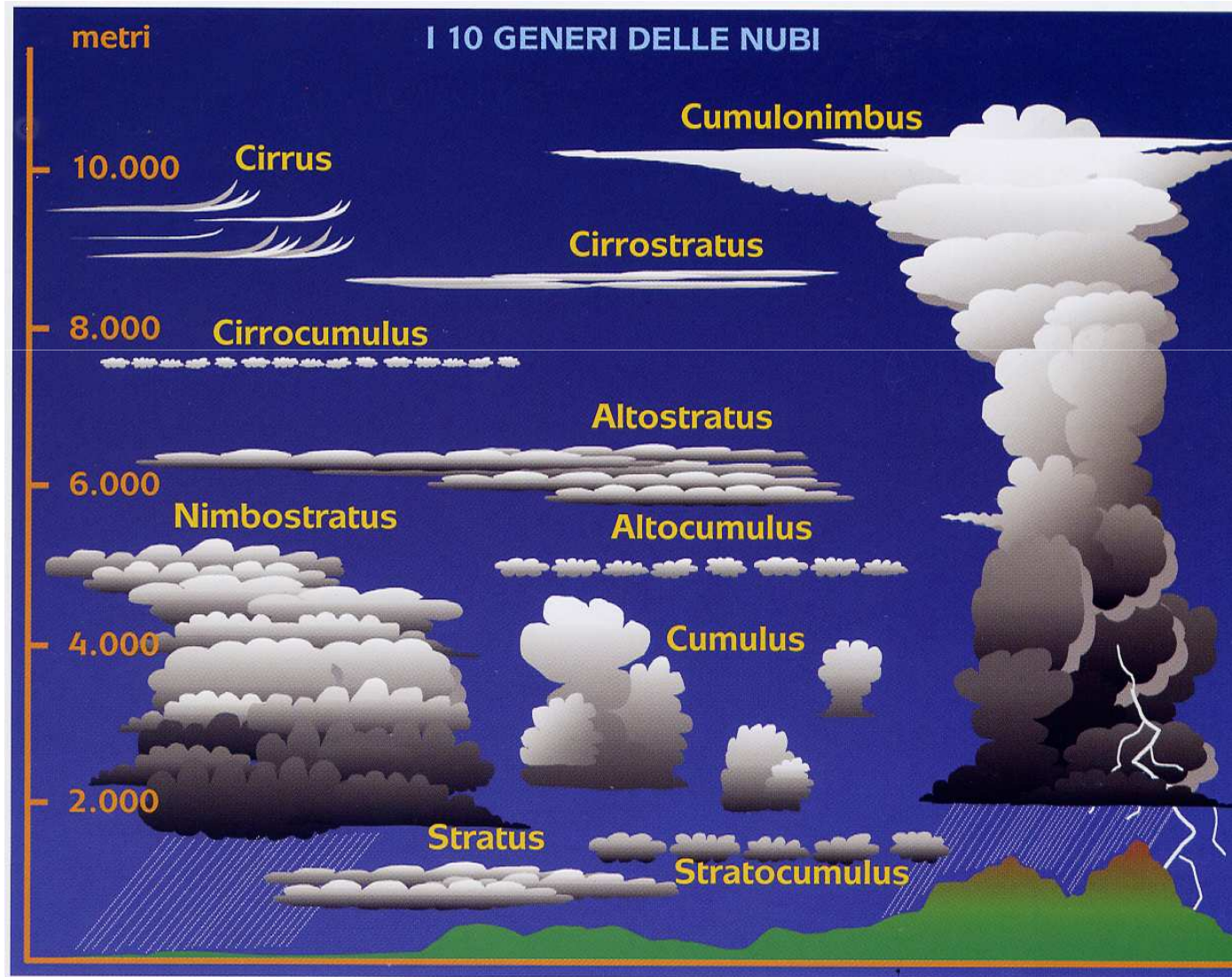
0.02 mm = 20 μ

Gocce di pioggia medie

2 mm = 2000 μ

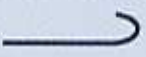











LIVELLO (quote valide per latitudini medie)	FORMA		
	Nubi stratiformi		Nubi cumuliformi
Alto (da 5.000 a 13.000 m)	<i>Cirrus</i> <i>Cirrostratus</i>		<i>Cirrus</i> <i>Cirrocumulus</i>
Medio (da 2.000 a 7.000 m)	<i>Altostratus</i>		<i>Alto cumulus</i>
Basso (da 0 a 2.000 m)	<i>Stratus</i>		<i>Stratocumulus</i>



D. Zanocco



GENERE	ABBREVIAZIONI	SIMBOLI INTERNAZIONALI
<i>Cirrus</i>	Ci	
<i>Cirrocumulus</i>	Cc	
<i>Cirrostratus</i>	Cs	
<i>Alto cumulus</i>	Ac	
<i>Altostratus</i>	As	
<i>Nimbostratus</i>	Ns	
<i>Stratocumulus</i>	Sc	
<i>Stratus</i>	St	
<i>Cumulus</i>	Cu	
<i>Cumulonimbus</i>	Cb	

NEBBIA

La nebbia è una sospensione nell'atmosfera di piccolissime gocce d'acqua che riduce la visibilità orizzontale alla superficie terrestre a meno di 1 km
In pratica sono nubi formatesi a contatto con il suolo

Esistono diversi tipi di nebbia a seconda del processo che porta alla condensazione l'aria vicino alla superficie.

- 1) Nebbia da irraggiamento
- 2) Nebbia da avvezione
- 3) Nebbia da *upslope*
- 4) Nebbia da evaporazione



NEBBIA DA IRRAGGIAMENTO

La superficie terrestre si raffredda rapidamente a causa dell'irraggiamento (emissione di radiazione IR).

Lo strato d'aria a contatto con il suolo si raffredda, originando un'inversione termica.

Tale strato diventa saturo e si forma la nebbia. Raggiunta la saturazione, il calo termico rallenta.

Lo strato di nebbia si ispessisce a causa dell'ulteriore raffreddamento radiativo dell'aria alla sommità

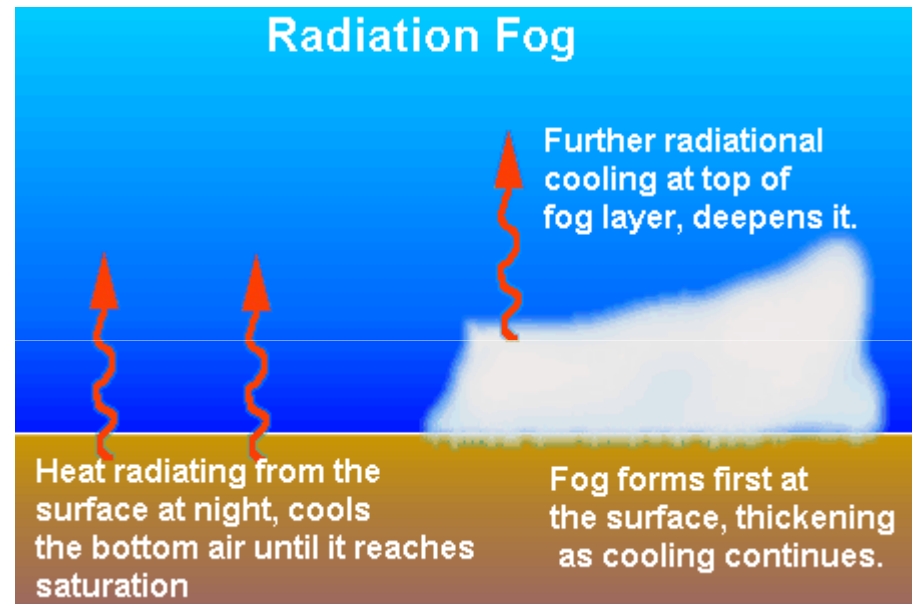
Condizioni favorevoli:
elevata umidità (relativa)
assenza di nubi
leggera turbolenza

Condizioni di dissolvimento:

La radiazione solare riscalda il suolo che emette radiazione IR. La nebbia assorbe tale radiazione e evapora

Rafforzamento del vento → rimescolamento

Passaggio di nubi che trasmettono calore (radiazione IR) allo strato di nebbia

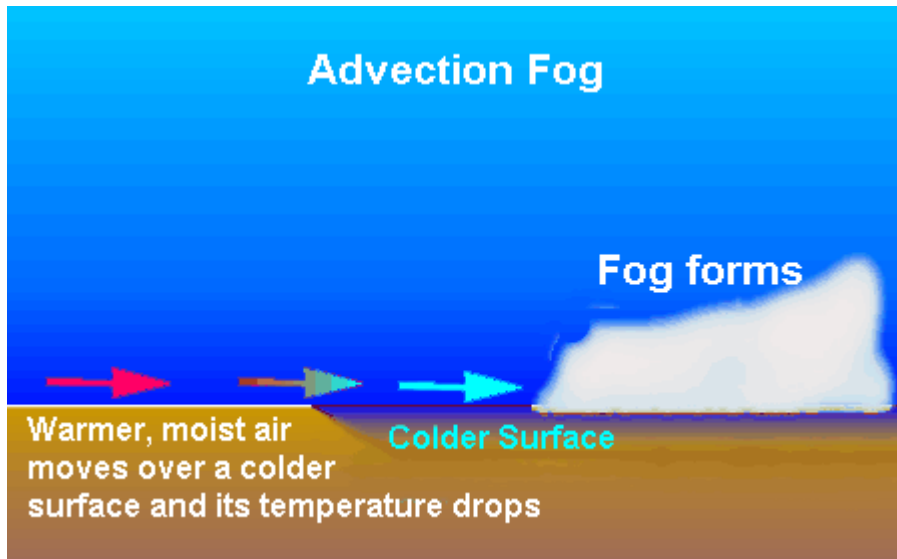
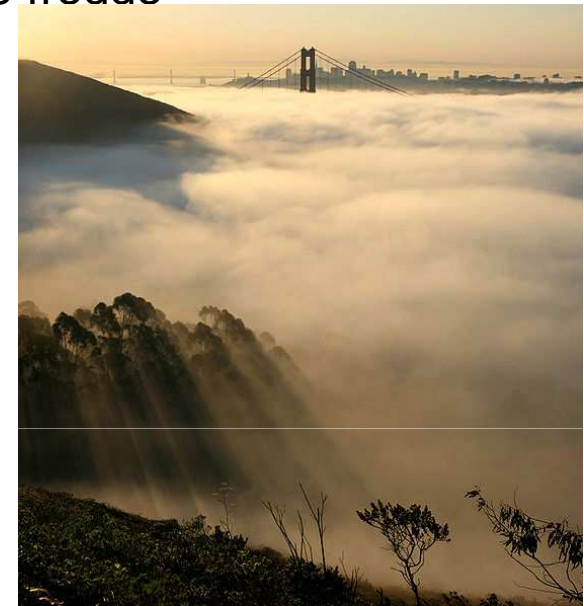


NEBBIA DA AVVEZIONE

Si genera quando aria umida scorre (è avvevata) sopra ad una superficie fredda
L'aria viene raffreddata fino ad arrivare alla saturazione
Frequente sul mare, specie in presenza di correnti oceaniche fredde

Casi tipici:

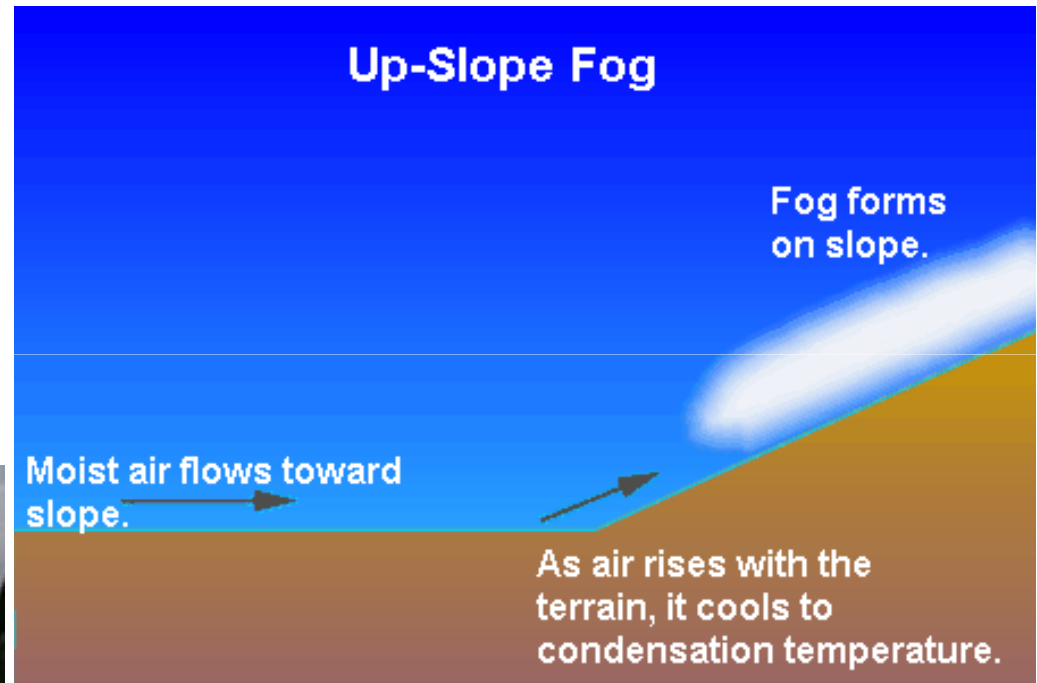
- passaggio di un fronte caldo sopra ad una vasta superficie innevata
- passaggio di una massa di aria calda su una superficie oceanica fredda; in tal caso spesso la nebbia si dissolve se viene trasportata sulla costa dove la superficie terrestre è più calda



NEBBIA DA *upslope*

Si forma quando il vento costringe una massa d'aria sufficientemente umida a risalire il versante di una montagna

Il sollevamento genera un raffreddamento (per espansione) della massa d'aria che può raggiungere la saturazione



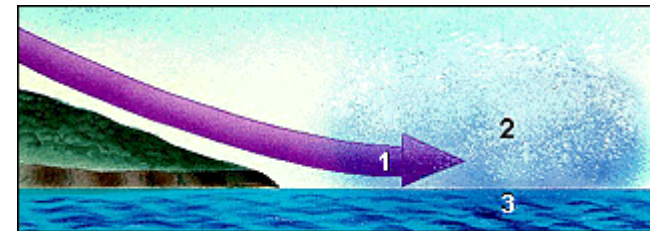
NEBBIA DA EVAPORAZIONE

Si forma su mare/laghi quando l'acqua è più calda dell'aria sovrastante.

A causa dell'evaporazione dal corpo d'acqua si uniscono due masse d'aria, una calda e umida e una più fredda e secca.

Il raffreddamento conduce a condizioni di saturazione

Frequente lungo le coste artiche e nei fiordi norvegesi dove sul mare relativamente caldo arriva aria freddissima polare



NUBI ALTE

I **Cirri** sono nubi alte sottili, isolate, costituite da delicati filamenti bianchi di aspetto fibroso, senza ombre. Sono costituiti interamente da cristalli di ghiaccio
A volte hanno “appendici” a forma di virgola, dette virga, indicative di precipitazione di cristalli di ghiaccio

I **Cirrostrati** sono uno strato esteso e compatto di cirri, un velo nuvoloso biancastro e trasparente di aspetto fibroso o liscio che copre interamente o quasi il cielo
Tipica condizione di cielo velato
Possibili fenomeni di alone

I **Cirrocumuli** sono una distesa di piccoli elementi a forma di batuffoli, increspature o granuli che coprono porzioni di cielo ma senza oscurare il sole

Cirrus



Cirrus



Cirrus e Virga



Cirrocumulus



Cirrocumulus



Cirrostratus



Cirrostratus

Alone



Contrails



NUBI MEDIE

Gli **Altostrati** sono un insieme di macchie o banchi di nuvole bianche o grigie, a forma di batuffolo o masse tondeggianti, con ombra propria.

Assomigliano ai cirrocumuli, ma diversamente da questi presentano ombre proprie e sono costituiti da elementi di dimensioni maggiori

Sono costituiti principalmente da goccioline di acqua e hanno uno spessore inferiore a 1 km

Gli **Altostrati** sono uno strato nuvoloso grigio o bluastro di aspetto striato, fibroso o uniforme che ricopre totalmente o parzialmente il cielo. Il sole può essere visibile nelle zone più sottili della nube come attraverso un vetro smerigliato, ma non produce fenomeno di alone.

Sono costituiti principalmente da goccioline di acqua.

Altostratus



Altostratus



Altostratus radiatus



Altostratus



NO
Alone



NUBI BASSE

Gli **Strati** sono una distesa nuvolosa grigia con base piuttosto uniforme. Se il sole è visibile attraverso la nube, allora in contorno è ben definito. Non produce fenomeni di alone. Può assomigliare a nebbia che non raggiunge il suolo. Di solito non sono associati a precipitazioni, ma si possono avere pioviggini.

Gli **Stratocumuli** sono banchi o strati di nubi grigie e biancastre, più o meno saldati tra di loro, il cui aspetto non è mai fibroso e caratterizzati da parti scure. Spesso gli elementi sono disposti regolarmente. Rispetto agli Altostrati hanno la base a quote inferiori ed elementi di dimensione superiore.

I **Nembostrati** sono uno spesso e grigio strato nuvoloso, molto scuro, che ricopre completamente il cielo e non lascia intravedere il sole. Sono associati a precipitazioni più o meno continue.

La loro base è piuttosto vicina al suolo (300-3000 m), ma si possono estendere anche per qualche migliaia di metri in verticale.

Stratus



<http://www.clouds-online.com/>

Stratus

PSC Cloud Photo



Stratus



Stratocumulus



Stratocumulus



Nimbostratus



<http://cloudappreciationsociety.org>

NUBI A SVILUPPO VERTICALE

I **Cumuli** sono nubi distinte, generalmente dense e con contorni netti, che si sviluppano verticalmente con protuberanze a cupole o torri somiglianti a cavolfiori. Le superfici illuminate dal sole sono di un bianco brillante, la base della nube è generalmente scura e piuttosto orizzontale.

Cumulus humilis: ridotta estensione verticale, cumulo di bel tempo

Cumulus mediocris: moderata estensione verticale (fino a 2000 m) e protuberanze piuttosto pronunciate. Non portano precipitazioni

Cumulus congestus: grande estensione verticale (fino a 7000 m), forma di enorme cavolfiore, base netta. Può portare precipitazioni

I **Cumulonembi** sono nubi a elevata estensione verticale, imponenti, la cui porzione superiore è almeno in parte appiattita e liscia, fibrosa o striata (forma di incudine). La base della nube è molto scura. Quasi sempre sono presenti precipitazioni e temporali

Cumulus Humilis
Cumuli di bel tempo



Estensione orizzontale > estensione verticale

Cumulus Humilis
Cumuli di bel tempo



Cumulus Mediocris



Cumulus Congestus Towering Cumulus



© 2005 Thomson - Brooks/Cole

estensione verticale >> estensione orizzontale
contorni ben definiti
rare precipitazioni





1



2



3



4



Da Cumulus Congestus a Cumulonimbus

1



Cumulonimbus Calvus: la sommità inizia ad appiattirsi e perdere i contorni ben definiti.
Può già generare precipitazioni

Cumulonimbus

2



Perde i contorni ben definiti, la parte superiore diventa fibrosa (ghiaccio), striata e appiattita. La base è scura, precipitazioni temporalesche

3



La parte superiore si distende orizzontalmente formando l'anvil "incudine"



Cumulonimbus Capillatus



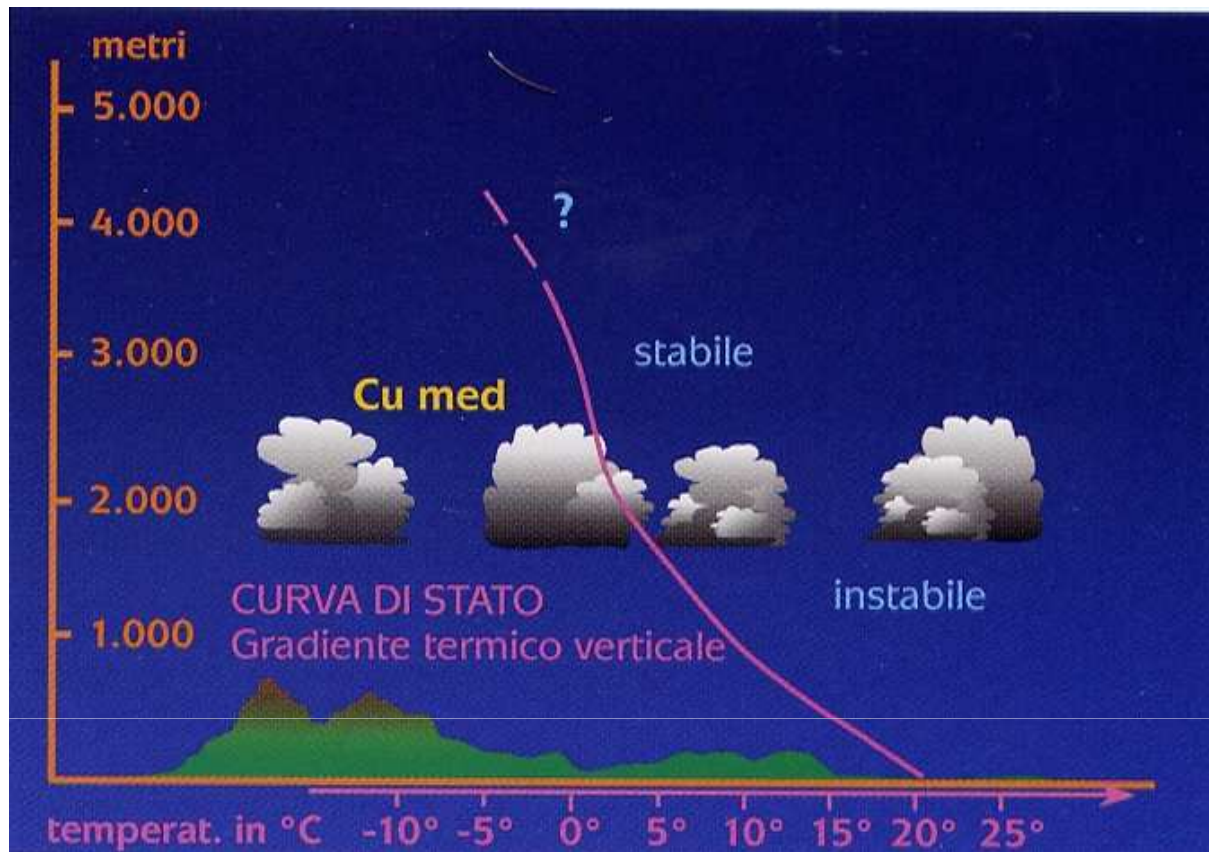






Mammatus

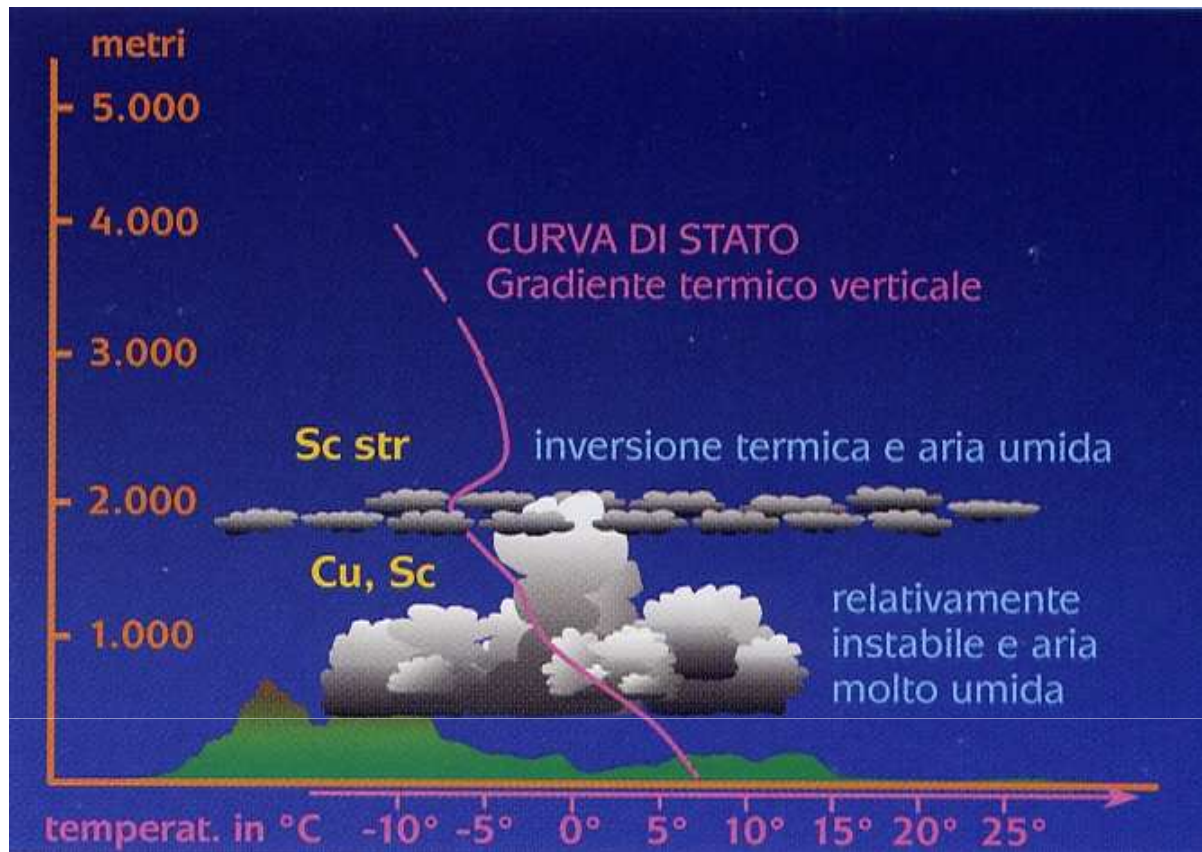




Cumulus Mediocris

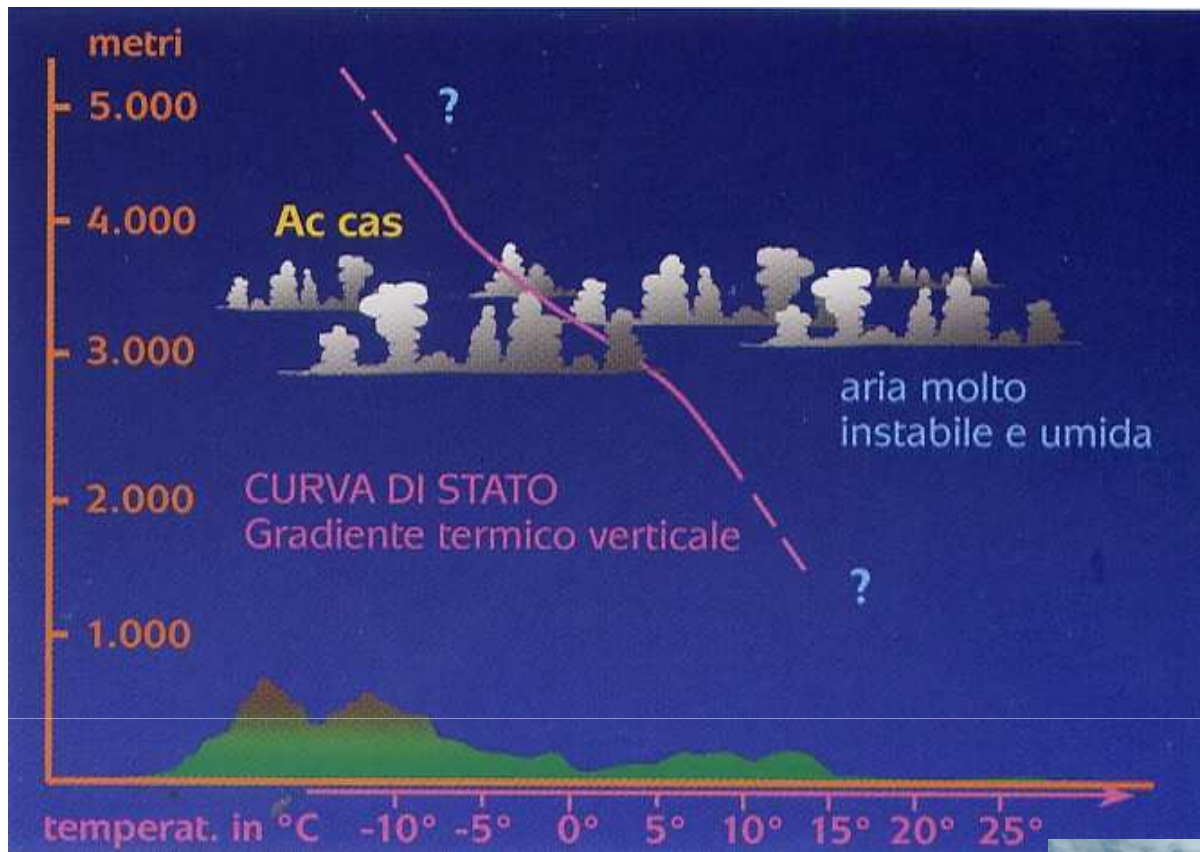
indicano un livello basso instabile con un livello medio sovrastante stabile





Cumulus e Stratocumulus a bassa quota indicano aria umida e instabile nei bassi livelli, sovrastata da un'inversione termica nei livelli medi

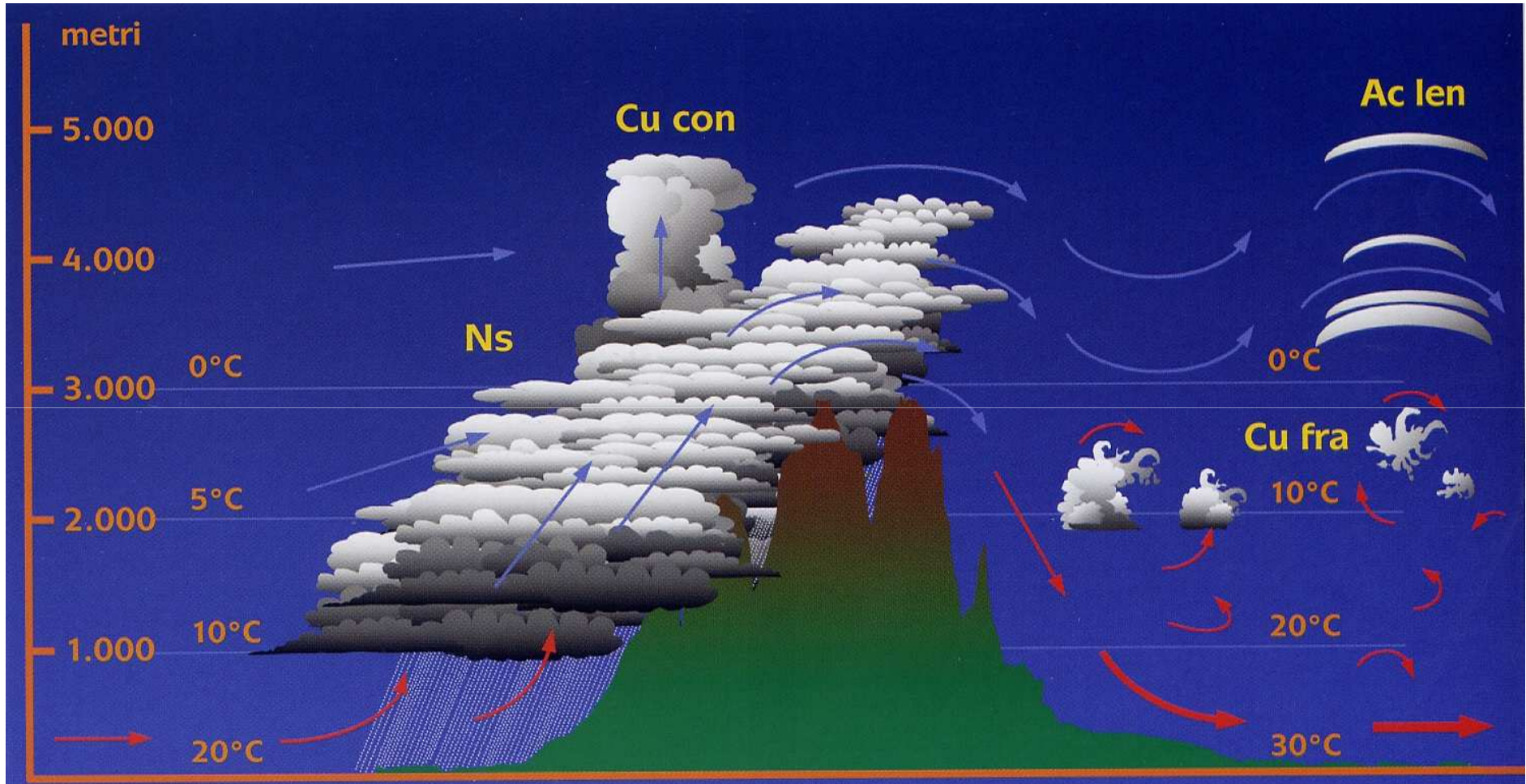




Alto cumulus castellanus indicano aria molto instabile e umida nei medi livelli. Se compaiono al mattino, indicano alta probabilità di temporali



Stau e Föhn



Nubi lenticolari



Nubi lenticolari



Nubi lenticolari



FORMAZIONE DELLE NUBI

Le nubi si formano quando l'aria diventa sovra-satura e il vapore condensa in goccioline o piccoli cristalli di ghiaccio
es: sollevamento dell'aria, raffreddamento adiabatico, saturazione

Gocciolina di nube $\sim 2 \mu$

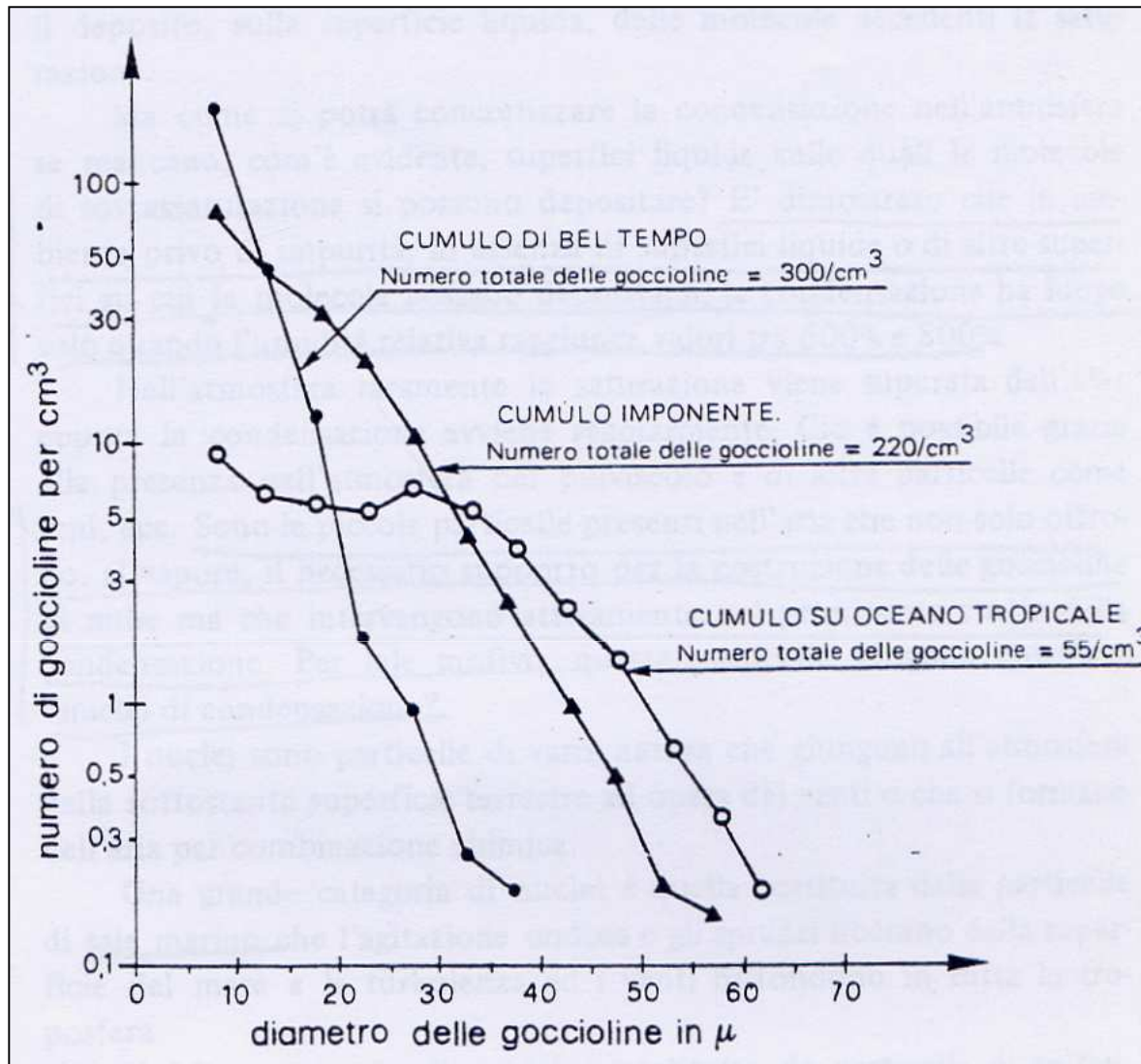
Goccia di pioggia $\sim 2 \text{ mm} = 2000 \mu$

Per trasformarsi in pioggia, la goccia di nube deve aumentare la sua massa di un milione di volte o più. Per spiegare questa crescita che in alcune nubi convettive avviene in tempi brevi (10 minuti) bisogna considerare i processi fisici il cui studio è l'ambito della **microfisica**

La nube è generalmente composta sia da gocce che da cristalli di ghiaccio, soprattutto se sviluppata verticalmente (la T cala con la quota e diventerà $< 0^\circ\text{C}$)

Anche se di aspetto immutabile, la nube è in realtà il risultato di incessanti processi di evaporazione, condensazione e sublimazione e i suoi elementi costitutivi si rinnovano continuamente

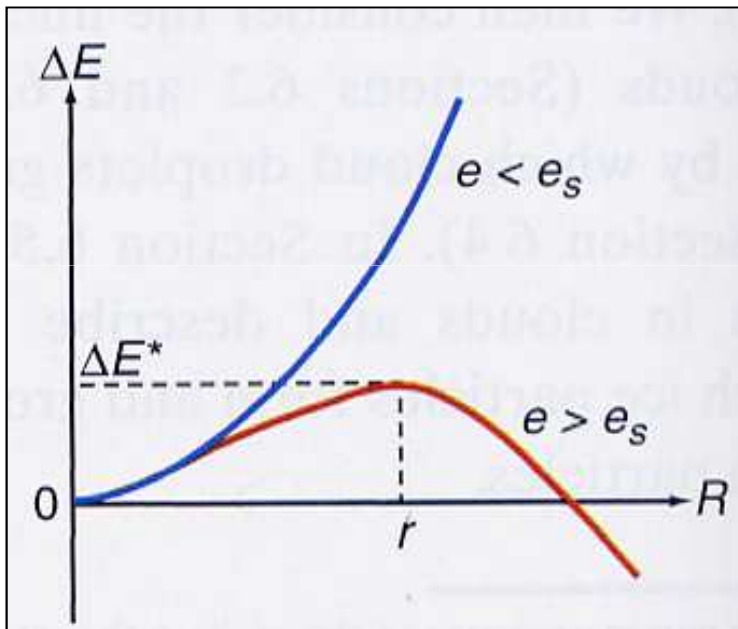
Una gocciolina risente della attrazione gravitazionale e precipita con una velocità terminale. Se esce dalla nube si troverà in un ambiente non saturo e evaporerà molto rapidamente. Per poter raggiungere il suolo (pioggia) le gocce devono crescere di dimensione per sopravvivere a tale evaporazione



Concentrazione delle gocce di nube: $10 \div 10^3$ per cm^3
 Concentrazioni maggiori per goccioline piccole
 Concentrazioni minori per goccioline grandi

NUCLEAZIONE OMOGENEA

In aria perfettamente pulita, in assenza di superfici liquide su cui potersi depositare, la formazione di gocce di acqua pura per condensazione del vapore acqueo sovrassaturo avviene per **nucleazione omogenea**: è necessario che particelle di vapore si uniscano per collisione per arrivare a formare una goccia di dimensioni sufficienti per sopravvivere.



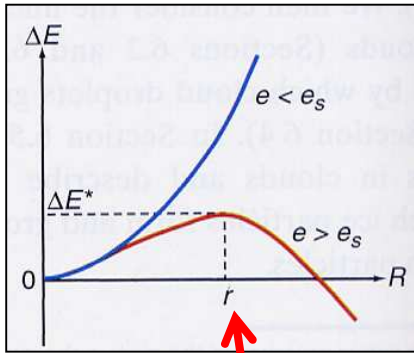
Questo processo non può spiegare la formazione delle nubi!

Fig: incremento di energia dovuto alla formazione di una goccia di nube di raggio R da vapore con pressione e

Se $e < e_s$ (sotto-saturazione) la formazione di una gocciolina porta un aumento di energia del sistema. Più grande la gocciolina, maggiore l'aumento di energia \rightarrow processo NON favorito siccome un sistema cerca un equilibrio riducendo spontaneamente la sua energia

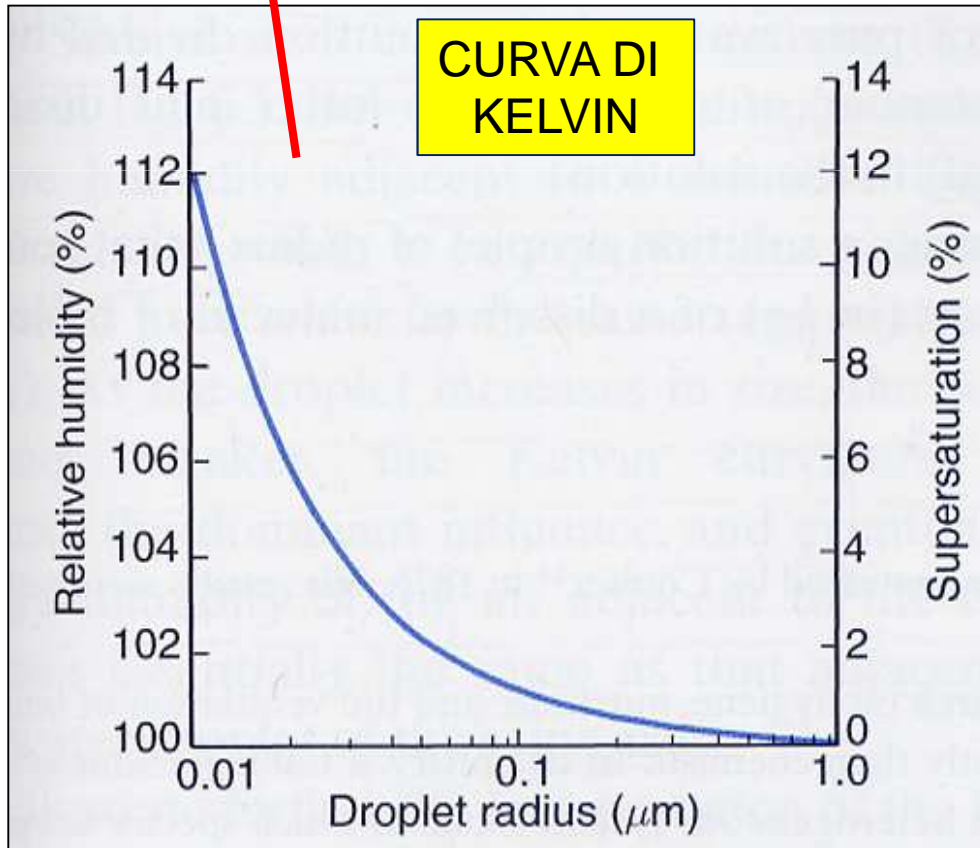
Se $e > e_s$ (sovra-saturazione) il processo può avvenire spontaneamente se si supera un certo raggio critico (r). Se l'embrione di goccia ha $R > r$ allora cresce spontaneamente.

Ma che pressione di vapore è richiesta per avere raggio r ???



$e > e_s$ $R < r$ la goccia tende a evaporare
 $R > r$ la goccia tende a crescere spontaneamente

Umidità relativa e sovra-saturazione alla quale una goccia di acqua pura di raggio $R=r$ (asse x) si trova in equilibrio instabile alla T di 5°C



Per acqua pura il processo di crescita spontanea della gocciolina di nube può avvenire solo con valori di sovra-saturazione **non presenti** normalmente in atmosfera

Per avere una gocciolina di raggio 0.01 μ che poi cresce spontaneamente ci vorrebbe il RH=112% (ovvero il 12% di sovra-saturazione)

~ IMPOSSIBILE

Goccioline di 1 μ richiederebbero una debole sovra-saturazione per crescere.

Come ottenerle?

PER LA FORMAZIONE DELLE NUBI SONO NECESSARI I NUCLEI DI CONDENSAZIONE

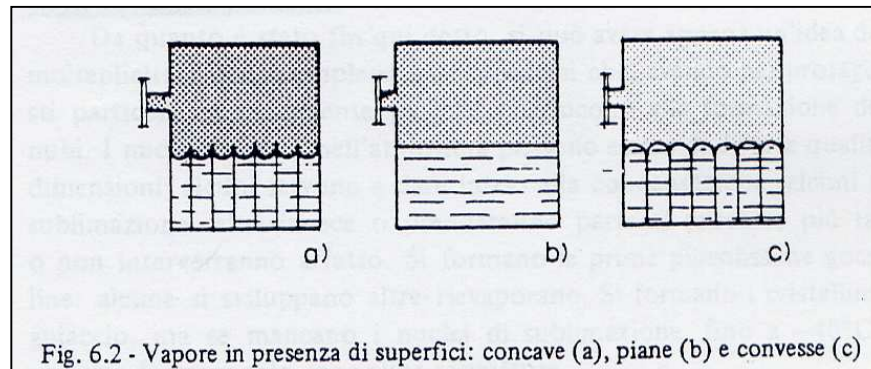
Cosa sono?

Pulviscolo e particelle di varia natura presenti in atmosfera (aerosol), con dimensioni comprese tra $0,001 \div 10 \mu$

Se il vapore si deposita su un nucleo di condensazione e lo ricopre, si ottiene una “finta goccia” di nube di dimensioni dell'ordine del μ che quindi necessita solo di una debole sovra-saturazione per crescere.

I nuclei di condensazione hanno due effetti

1) EFFETTO CURVATURA: la presenza di superfici concave su cui si deposita il vapore condensato, hanno l'effetto di diminuire la tensione di vapore saturo rispetto al valore per superficie piana. La diminuzione è proporzionale al raggio di curvatura (per superfici convesse la tensione di vapore saturo aumenta).



Aggiungo vapore nei tre recipienti fino ad arrivare alla condensazione.

Per superfici concave si raggiunge prima la saturazione: $RH=100\%$ si raggiunge con una quantità di vapore inferiore

2) **EFFETTO SOLUTO**: la presenza di impurità disciolte nell'acqua provoca un calo della tensione di saturazione $e_s(T)$, quindi favorisce la condensazione.

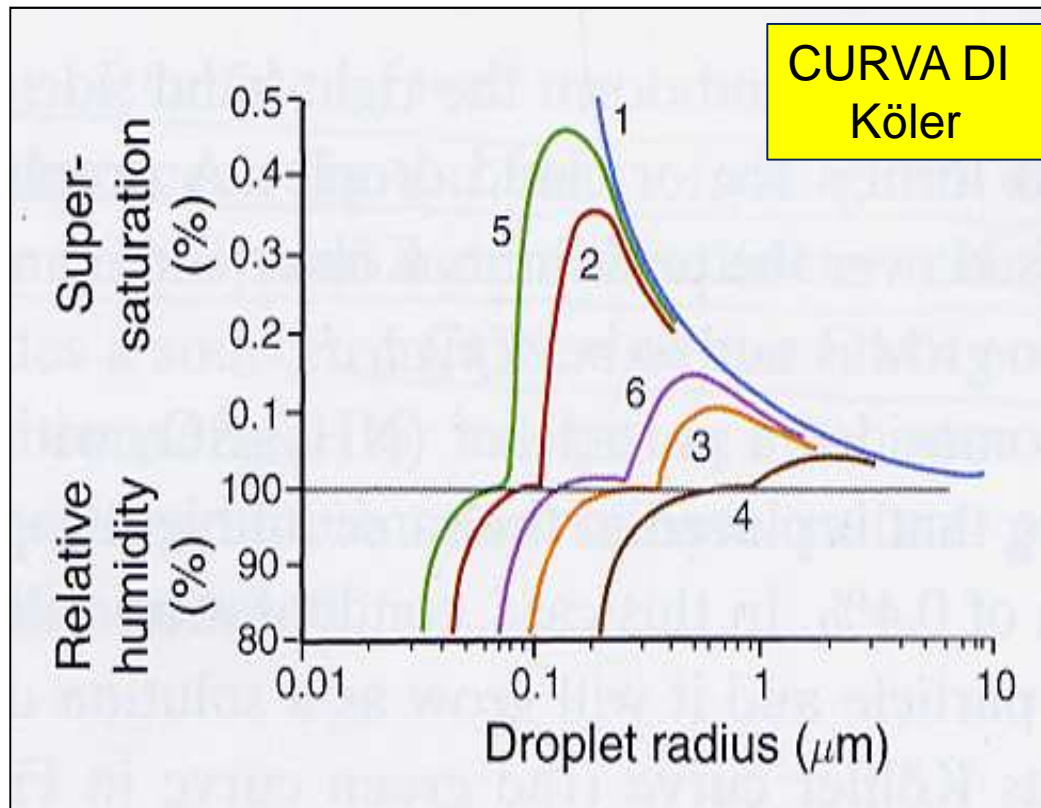
La soluzione, rispetto all'acqua pura, presenta alla superficie di contatto con il vapore un numero minore di molecole di acqua (sostituite in parte dal soluto) e di conseguenza la pressione di saturazione del vapore viene ridotta.

Inoltre, depositandosi su un nucleo di condensazione e ricoprendolo, il vapore forma una "finta gocciolina" di dimensioni già dell'ordine del μ

I nuclei igroscopici, fra i quali quelli salini, ricchi di cavità assorbono le molecole di vapore. Grazie al duplice effetto (soluto e curvatura) si genera un netto abbassamento della tensione di vapore saturo e si ha condensazione capillare che porta alla formazione di piccole gocce di nube

Le gocce che si formano non tendono a evaporare grazie alla presenza del soluto

Con temperature inferiori a 0°C si ha la formazione di cristalli di ghiaccio attorno a nuclei di sublimazione



CURVA DI Köler

Grafico che mostra l'umidità relativa dell'aria adiacente la gocciolina di nube

Curva 1: acqua pura \rightarrow curva di Kelvin

Curve 2-6: acqua + soluto

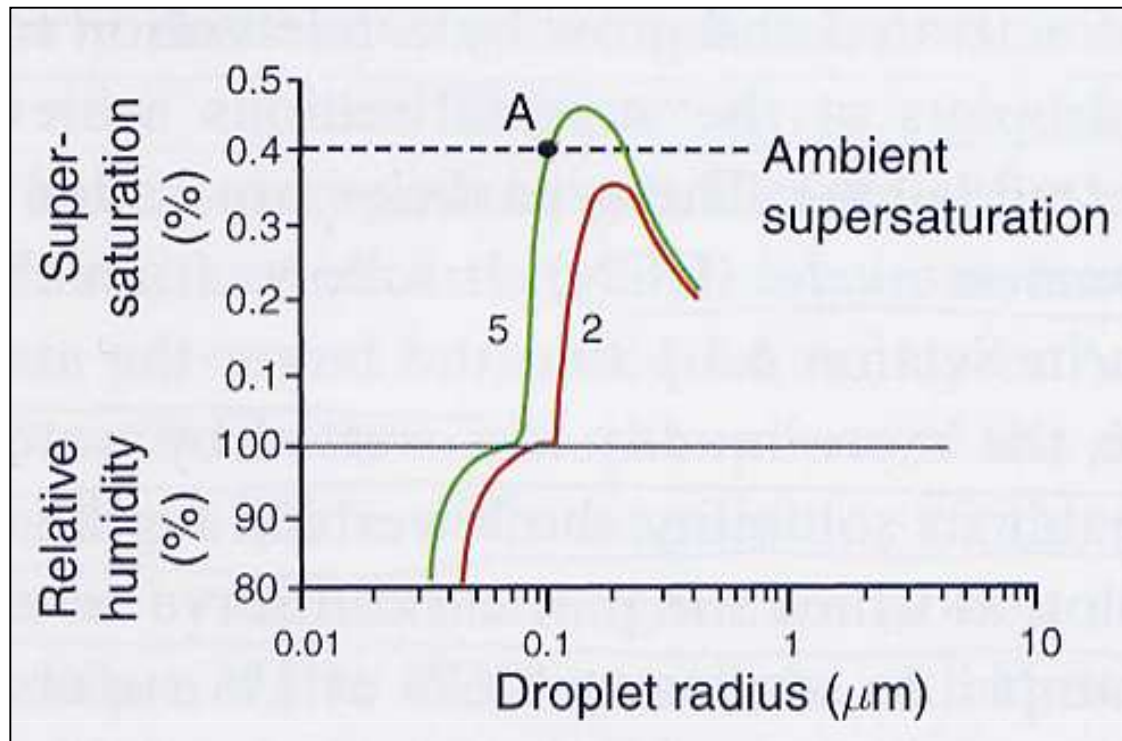
Rappresenta il valore di umidità o sovra-saturazione attorno alla gocciolina per il quale la gocciolina di raggio R si trova in equilibrio

Man mano che la dimensione aumenta, la soluzione diventa sempre più diluita e il comportamento si avvicina a quello dell'acqua pura (curva di Kelvin).

Rispetto all'acqua pura:

- cambia il comportamento per R piccoli

- si parte da R più grandi in quanto il vapore si deposita sui nuclei di condensazione



Curva 2: soluto NaCl
 Curva 5: soluto (NH₄)₂SO₄

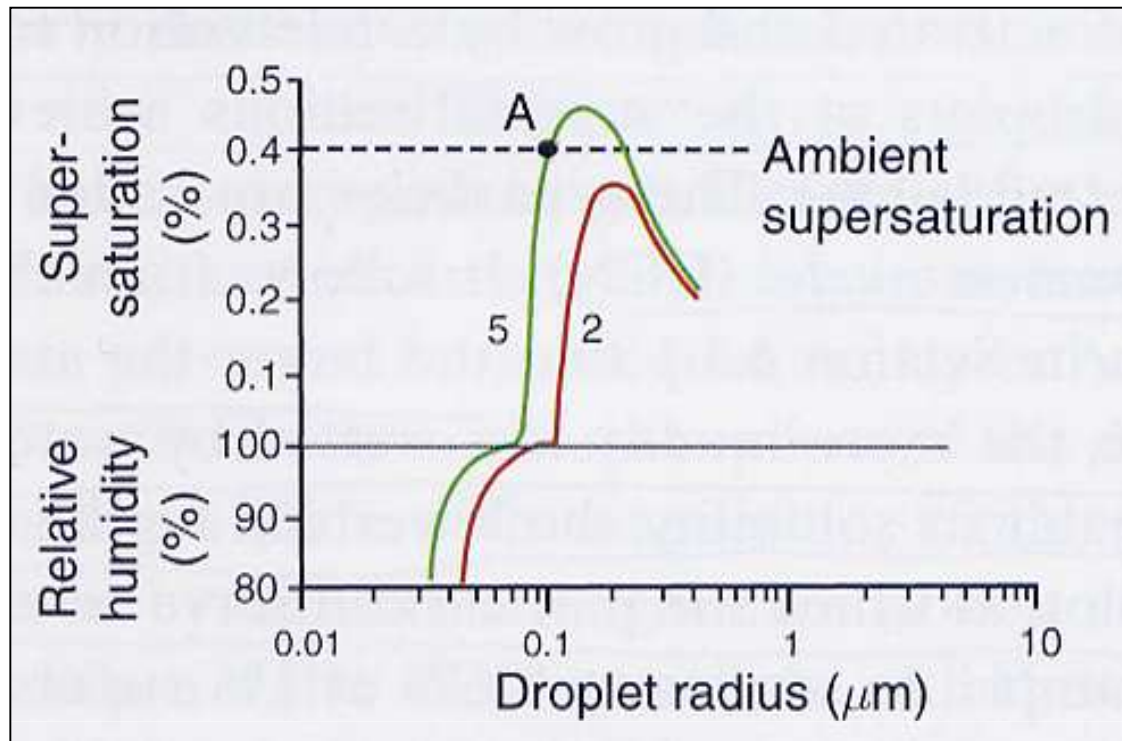
Sovra-saturazione dell'ambiente
 0.4%

Se avviene condensazione sulla particella per formare la goccia, la crescita della goccia seguirà la curva del grafico

Curva 2: la goccia cresce e aumenta il valore di sovra-saturazione adiacente alla superficie della goccia per cercare di raggiungere l'equilibrio con il valore di umidità dell'ambiente (ambient supersaturation).

Ma anche giunti al picco, tale sovra-saturazione è comunque inferiore a quello ambientale e quindi la goccia continua a crescere raggiungendo la dimensione propria di una goccia di nube

Una gocciolina che supera il picco della curva di Köhler si dice **ATTIVATA**



Curva 2: soluto NaCl
 Curva 5: soluto (NH₄)₂SO₄

Sovra-saturazione dell'ambiente
 0.4%

Se avviene condensazione sulla particella per formare la goccia, la crescita della goccia seguirà la curva del grafico

Curva 5: la goccia cresce lungo la curva di Köler. Al punto A la sovra-saturazione adiacente la goccia raggiunge l'equilibrio con la sovra-saturazione dell'ambiente.

Se la goccia cresce ulteriormente → la sovra-saturazione adiacente supera quella dell'ambiente e la goccia deve evaporare per rimpicciolire e tornare all'equilibrio.

Se la goccia diminuisce di dimensioni (evapora) → deve crescere per condensazione per tornare al punto A di equilibrio

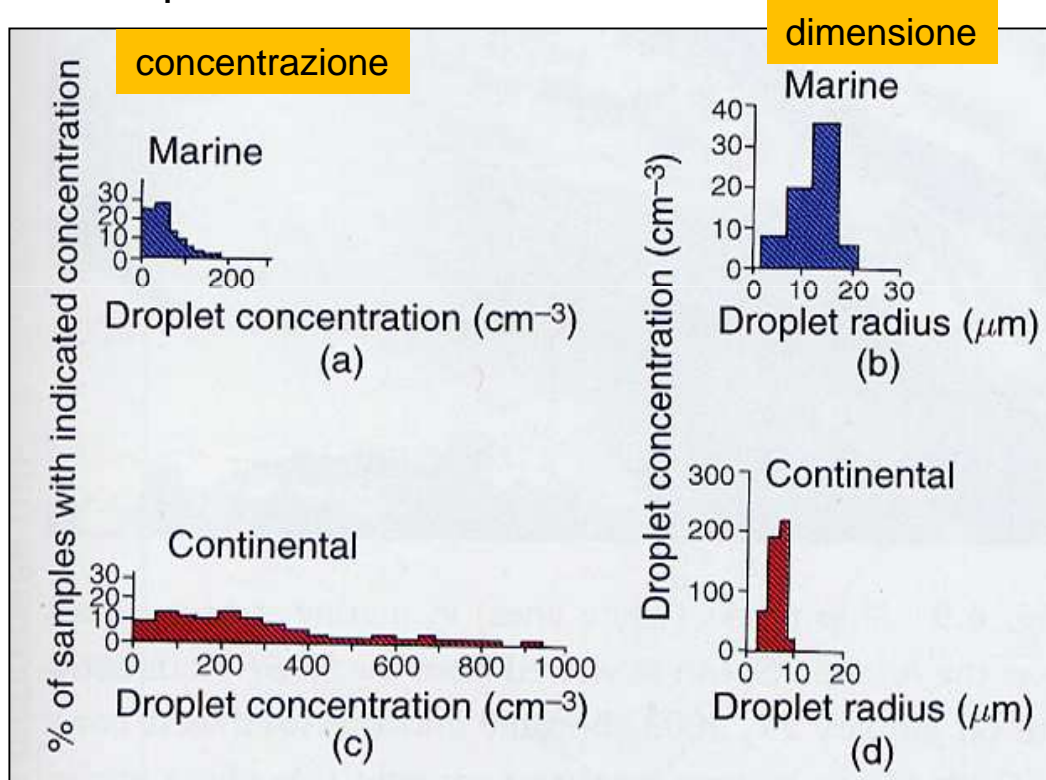
In A la goccia si trova in equilibrio con l'ambiente e si dice **INATTIVATA** o **HAZE DROPLET**. Tali gocce non formano una nube ma riducono la visibilità (foschia)

Caratteristiche delle nubi:

- liquid water content (g/m^3)
- cloud droplet concentration (n/cm^3)
- droplet size distribution (istogramma)

I nuclei di condensazione hanno un forte impatto sulle caratteristiche delle nubi.

Esempio: Cumuli formatisi in ambiente marino o continentale



Per cumuli “marini” la concentrazione è sempre inferiore a 100 cm^{-3} ma le gocce hanno dimensioni fino a 20μ

Per cumuli “continentali” le concentrazioni possono essere molto maggiori, fino a 900 cm^{-3} ma le gocce sono mediamente più piccole

Maggiore concentrazione \rightarrow minore dimensione delle gocce

PRECIPITAZIONE

TABLE 5-4 Types of precipitation

Type	Approximate Size	State of Water	Description
Mist	0.005 to 0.05 mm	Liquid	Droplets large enough to be felt on the face when air is moving 1 meter/second. Associated with stratus clouds.
Drizzle	Less than 0.5 mm	Liquid	Small uniform drops that fall from stratus clouds, generally for several hours.
Rain	0.5 to 5 mm	Liquid	Generally produced by nimbostratus or cumulonimbus clouds. When heavy, size can be highly variable from one place to another.
Sleet	0.5 to 5 mm	Solid	Small, spherical to lumpy ice particles that form when raindrops freeze while falling through a layer of subfreezing air. Because the ice particles are small, any damage is generally minor. Sleet can make travel hazardous.
Glaze	Layers 1 mm to 2 cm thick	Solid	Produced when supercooled raindrops freeze on contact with solid objects. Glaze can form a thick coating of ice having sufficient weight to seriously damage trees and power lines.
Rime	Variable accumulations	Solid	Deposits usually consisting of ice feathers that point into the wind. These delicate frostlike accumulations form as supercooled cloud or fog droplets encounter objects and freeze on contact.
Snow	1 mm to 2 cm	Solid	The crystalline nature of snow allows it to assume many shapes, including six-sided crystals, plates, and needles. Produced in supercooled clouds where water vapor is deposited as ice crystals that remain frozen during their descent.
Hail	5 mm to 10 cm or larger	Solid	Precipitation in the form of hard, rounded pellets or irregular lumps of ice. Produced in large convective, cumulonimbus clouds, where frozen ice particles and supercooled water coexist.
Graupel	2 mm to 5 mm	Solid	Sometimes called "soft hail," graupel forms as rime collects on snow crystals to produce irregular masses of "soft" ice. Because these particles are softer than hailstones, they normally flatten out upon impact.

**Per avere precipitazione, le gocce di nube devono accrescersi ulteriormente!
Processi differenti in nubi fredde ($T < 0^{\circ}\text{C}$) e calde ($T > 0^{\circ}\text{C}$ - cumuli tropicali)**

Una goccia di nube, cadendo sotto l'effetto dell'attrazione gravitazionale, si troverà in un ambiente non saturo e evaporerà rapidamente.

Una piccola goccia di pioggia contiene una quantità di acqua paria quella di un milione di goccioline di nube

Per spiegare una tale trasformazione, la sola condensazione non è sufficiente. L'effetto soluto poi scompare per gocce di nube grosse, in quanto molto diluite e assimilabili quindi all'acqua pura

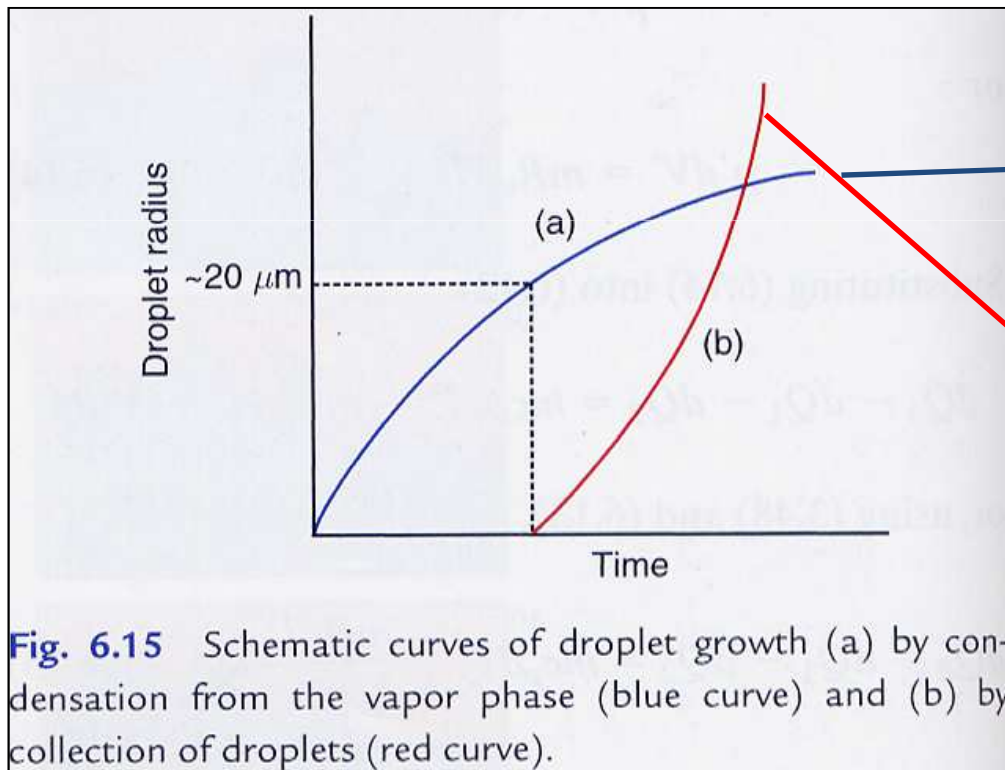
Per aria che sale e si raffredda espandendosi adiabaticamente, una volta raggiunto il LCL si avrà saturazione e i nuclei di condensazione presenti attiveranno delle gocce di nube. La concentrazione delle gocce aumenterà man mano che l'aria sale e continua a raffreddarsi. Ma ad un certo punto la crescita delle gocce sottrae alla massa d'aria più vapore di quanto se ne generi con il raffreddamento. A tal punto se il processo continua le haze droplet iniziano a evaporare per fornire vapore alle gocce attivate che continuano a crescere.

Le gocce piccole crescono più rapidamente di quelle grandi e il processo ad un certo punto arriva a "saturazione" senza che si sia arrivati ad avere gocce di pioggia

NUBI CALDE (WARM CLOUDS)

Sono nubi che si sviluppano in ambienti sempre al di sopra di 0°C e che quindi non contengono cristalli di ghiaccio

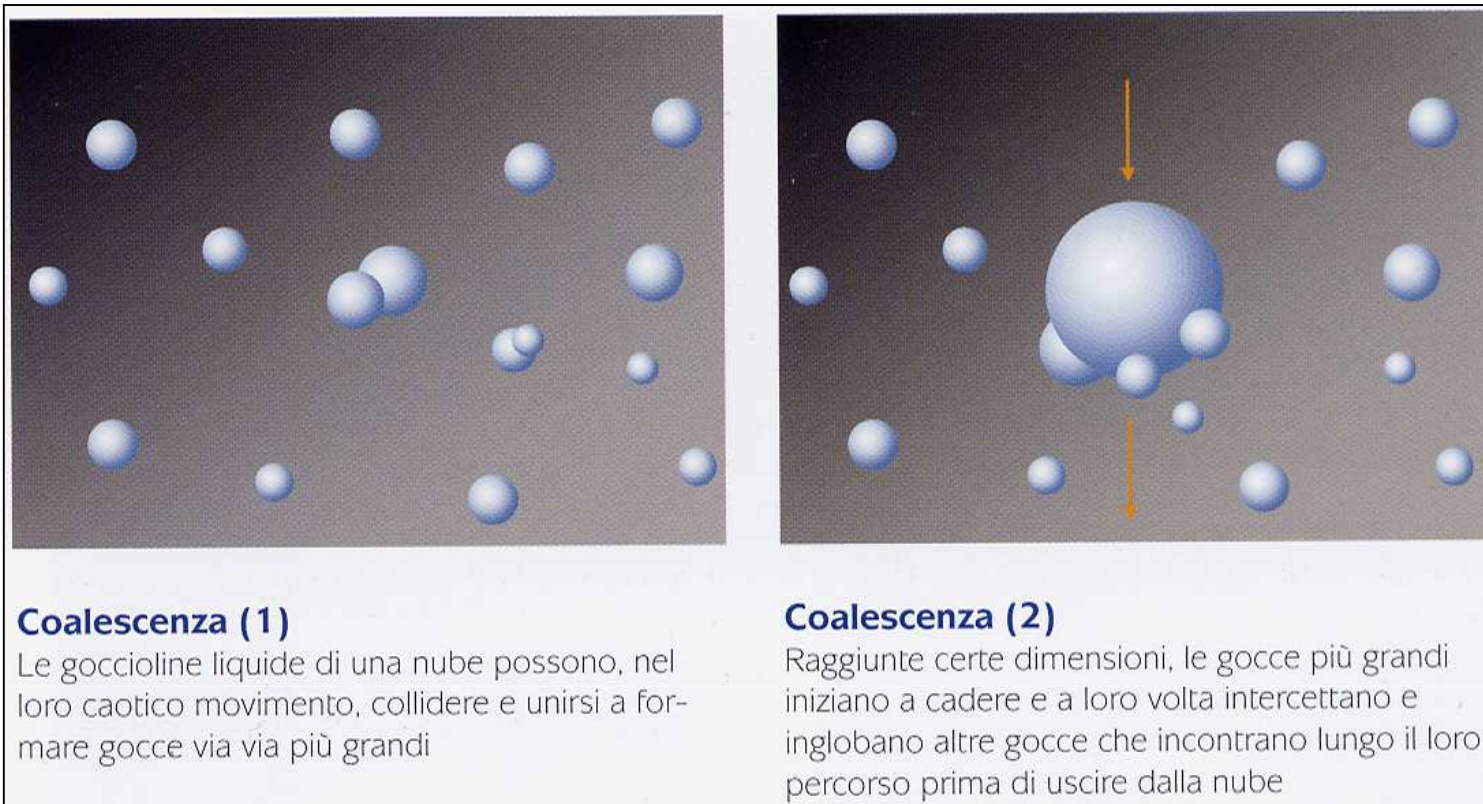
La crescita delle gocce avviene per COLLISIONE e COALESCENZA delle goccioline di nube. Questo fenomeno ha un'efficienza maggiore della condensazione oltre un certo diametro delle goccioline e può spiegare la formazione della precipitazione



La crescita per condensazione si arresta

La crescita per coalescenza diventa più efficiente

Fig. 6.15 Schematic curves of droplet growth (a) by condensation from the vapor phase (blue curve) and (b) by collection of droplets (red curve).



I moti presenti all'interno della nube (turbolenza o correnti verticali) portano le gocce a urtarsi (soprattutto in nubi cumuliformi)

Inoltre, le goccioline hanno una velocità di caduta differente a seconda delle dimensioni, che aumenta al crescere delle dimensioni delle goccioline. Gocce più pesanti raggiungono quelle più piccole e le urtano (efficienza di **collisione**)

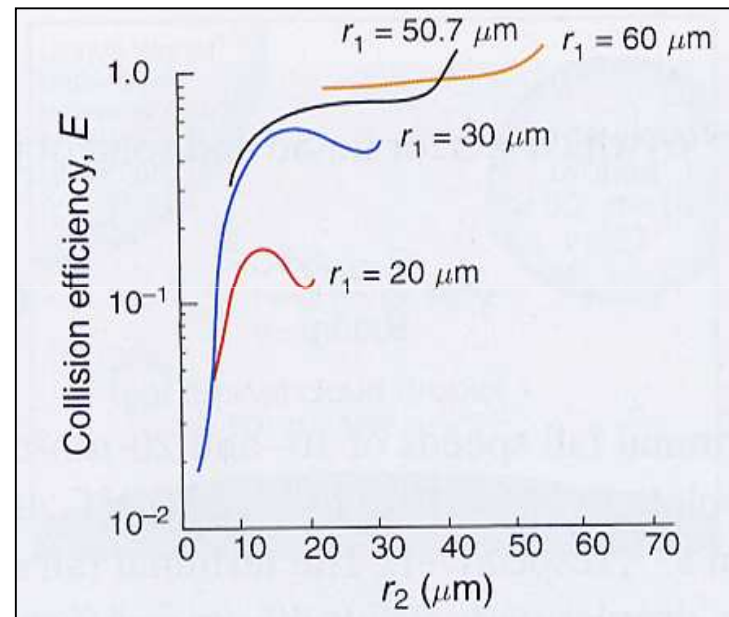
A seguito dell'urto le gocce possono unirsi o rimbalzare (efficienza di **coalescenza**)

L'efficienza della collisione aumenta al crescere delle dimensioni delle gocce

Se le gocce hanno dimensioni molto diverse \rightarrow bassa efficienza, la piccola gira attorno

Se le gocce hanno dimensioni simili ($r_1/r_2 \approx 0.6 \rightarrow 0.9$) \rightarrow cala l'efficienza perché le velocità di caduta sono molto vicine

Se le dimensioni sono circa uguali ($r_1/r_2 \approx 1$), l'efficienza aumenta perché entrano in gioco altri effetti di interazione (tra cui il "wake" sul retro)



$r_1 \rightarrow$ collector drop
 $r_2 \rightarrow$ droplet

L'efficienza totale del processo tiene conto sia dell'efficienza di collisione che di quella di coalescenza

Nel tempo di circa 15' una gocciolina può passare da 100μ a 1mm

La coalescenza ha un ruolo secondario alle medie latitudini, mentre è il processo principale per la precipitazione nelle nubi tropicali

NUBI FREDE (COLD CLOUDS)

Nubi che si estendono al di sopra della quota dello zero termico 0°C , in cui possono coesistere gocce d'acqua e cristalli di ghiaccio

Fino a T di -40°C possono esserci goccioline di acqua liquida, detta **sopraffusa**.

Infatti in assenza di impurità, l'acqua perfettamente pura e in quiete, in normali condizioni di pressione, necessita di tale temperatura per congelare completamente

L'accrescimento delle gocce può avvenire attraverso tre processi:

- 1) Sublimazione del vapore sul cristallo di ghiaccio
- 2) Riming: collisione tra ghiaccio e goccia sopraffusa
- 3) Aggregation: collisione fra cristalli di ghiaccio

Inizialmente in una nube fredda la crescita è dovuta alla sublimazione.

Successivamente entrano in gioco anche riming e aggregation che possono produrre precipitazione in tempi inferiori a un'ora

TEORIA dei cristalli di ghiaccio (Bergeron) SUBLIMAZIONE del vapore sul ghiaccio

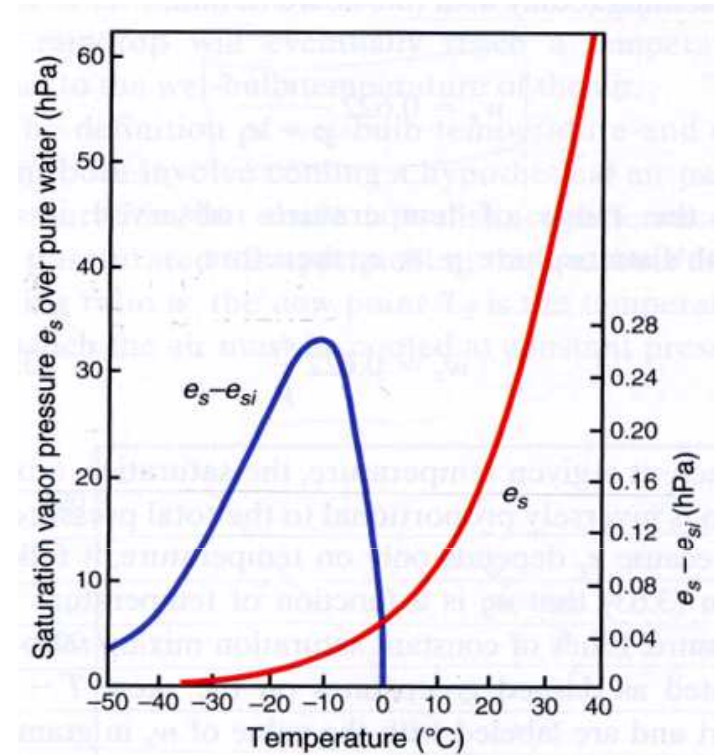
La pressione di saturazione del vapore rispetto al ghiaccio e_{si} è inferiore alla pressione di saturazione del vapore rispetto all'acqua e_s

- 1) Se in una nube in cui il vapore è in equilibrio con le gocce d'acqua sopraffusa arrivano dei cristalli di ghiaccio, il vapore risulterà essere sovra-saturo rispetto al ghiaccio e inizierà a depositarsi sul ghiaccio
- 2) Depositandosi sul ghiaccio, viene sottratto dall'ambiente. In tal modo il vapore scenderà sotto al valore di saturazione rispetto all'acqua
- 3) Le goccioline di acqua iniziano ad evaporare per tornare all'equilibrio di saturazione
- 4) Il nuovo vapore disponibile continua a sublimare sul ghiaccio

Si innesca così un processo di accrescimento del cristallo di ghiaccio a scapito delle goccioline di acqua sopraffusa

Per avere presenza di cristalli di ghiaccio:

- 1) La nube è sufficientemente sviluppata verticalmente
- 2) La nube è sovrastata da nubi alte (es. cirri) che fanno precipitare cristalli di ghiaccio



Il cristallo di ghiaccio così formato inizia a precipitare e si accresce ulteriormente attraverso gli altri due processi:

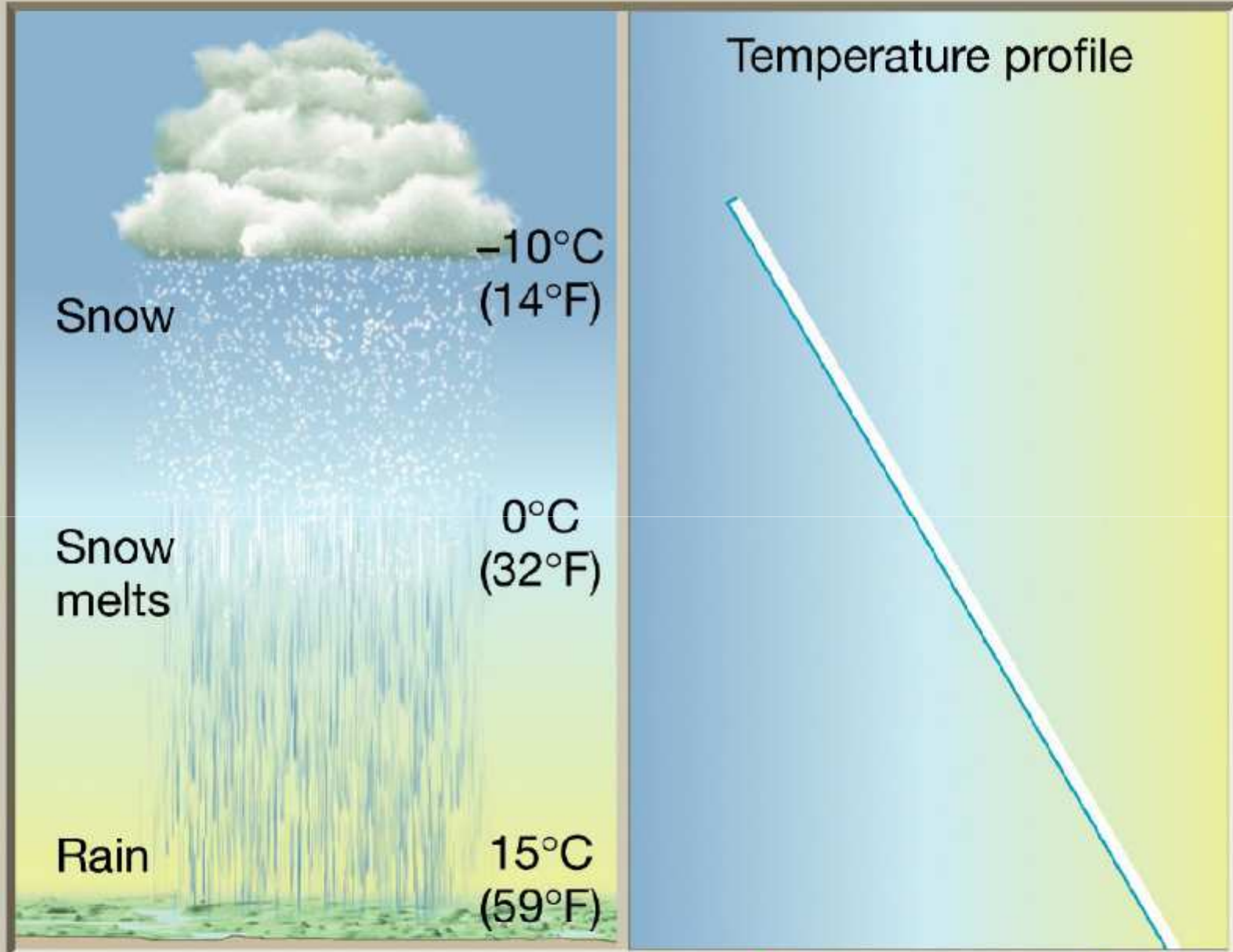
RIMING: urto ghiaccio-goccia sopraffusa

La goccia sopraffusa che urta il cristallo di ghiaccio congela sulla sua superficie

AGGREGATION: urto ghiaccio-ghiaccio

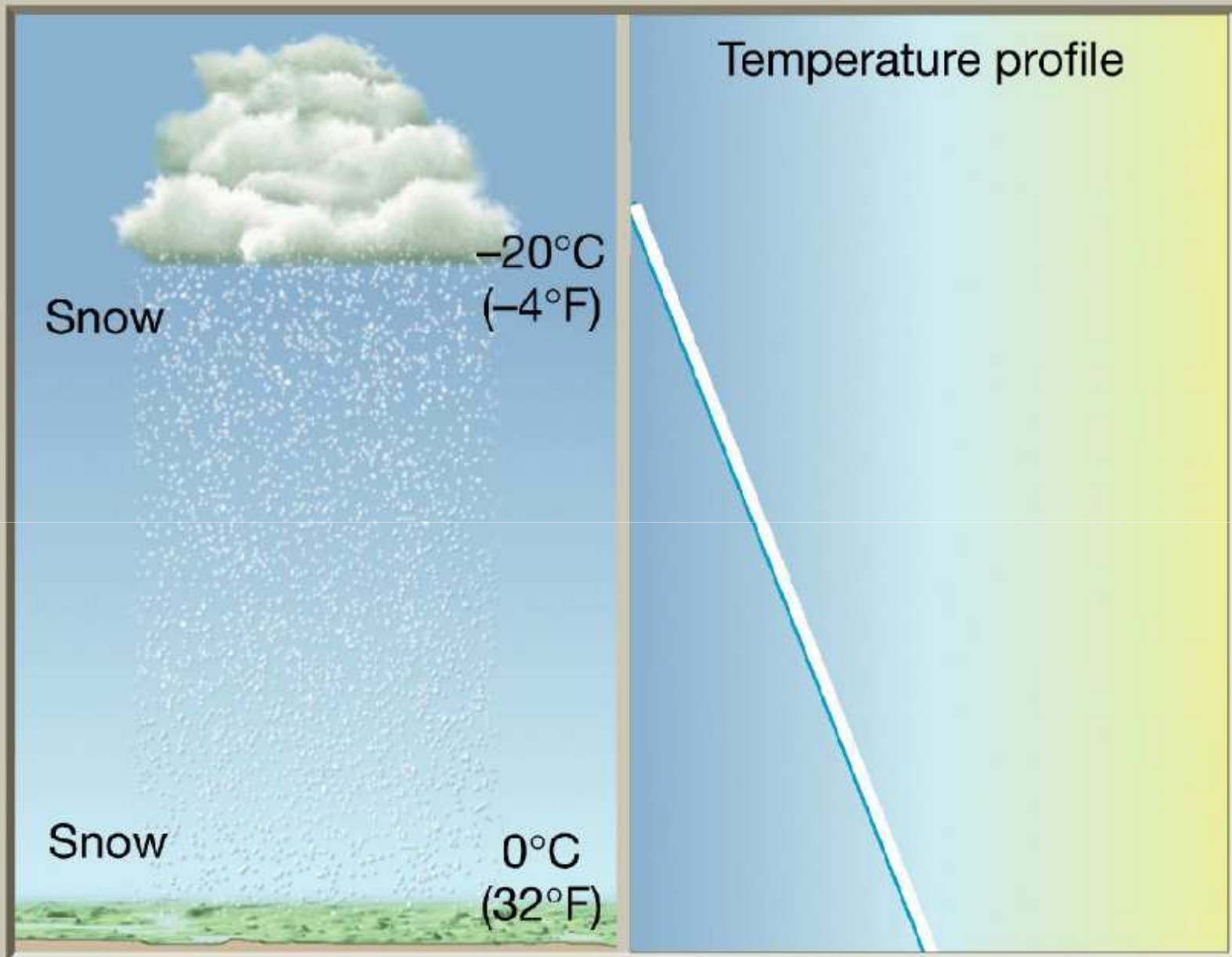
A causa della diversa velocità di caduta, legata a peso e forma, i cristalli di ghiaccio possono urtare e aderire l'uno all'altro. L'efficienza del processo dipende alla T della nube e alla forma dei cristalli

Il tipo di precipitazione che arriva al suolo dipende dal profilo di temperatura



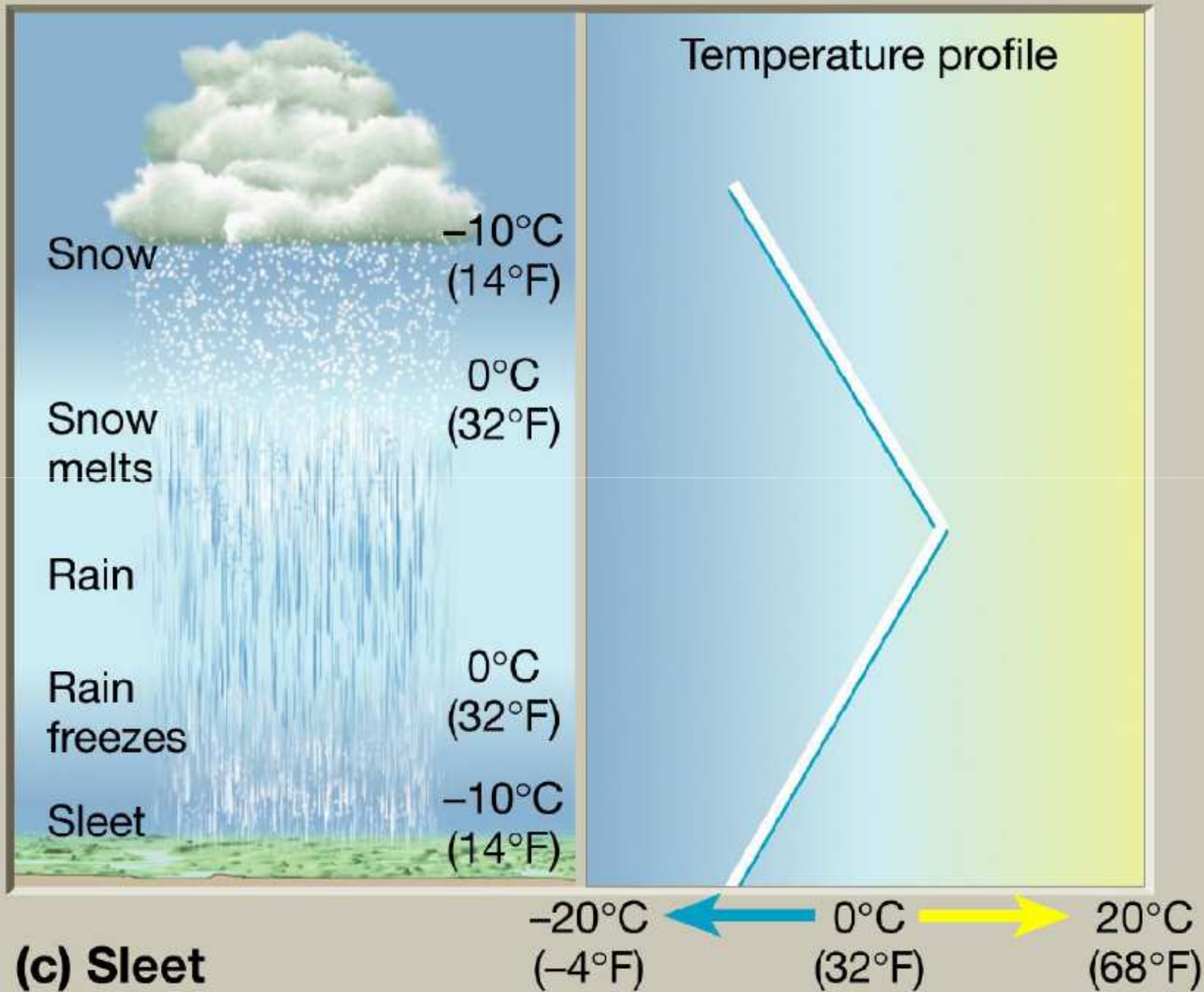
(a) Rain

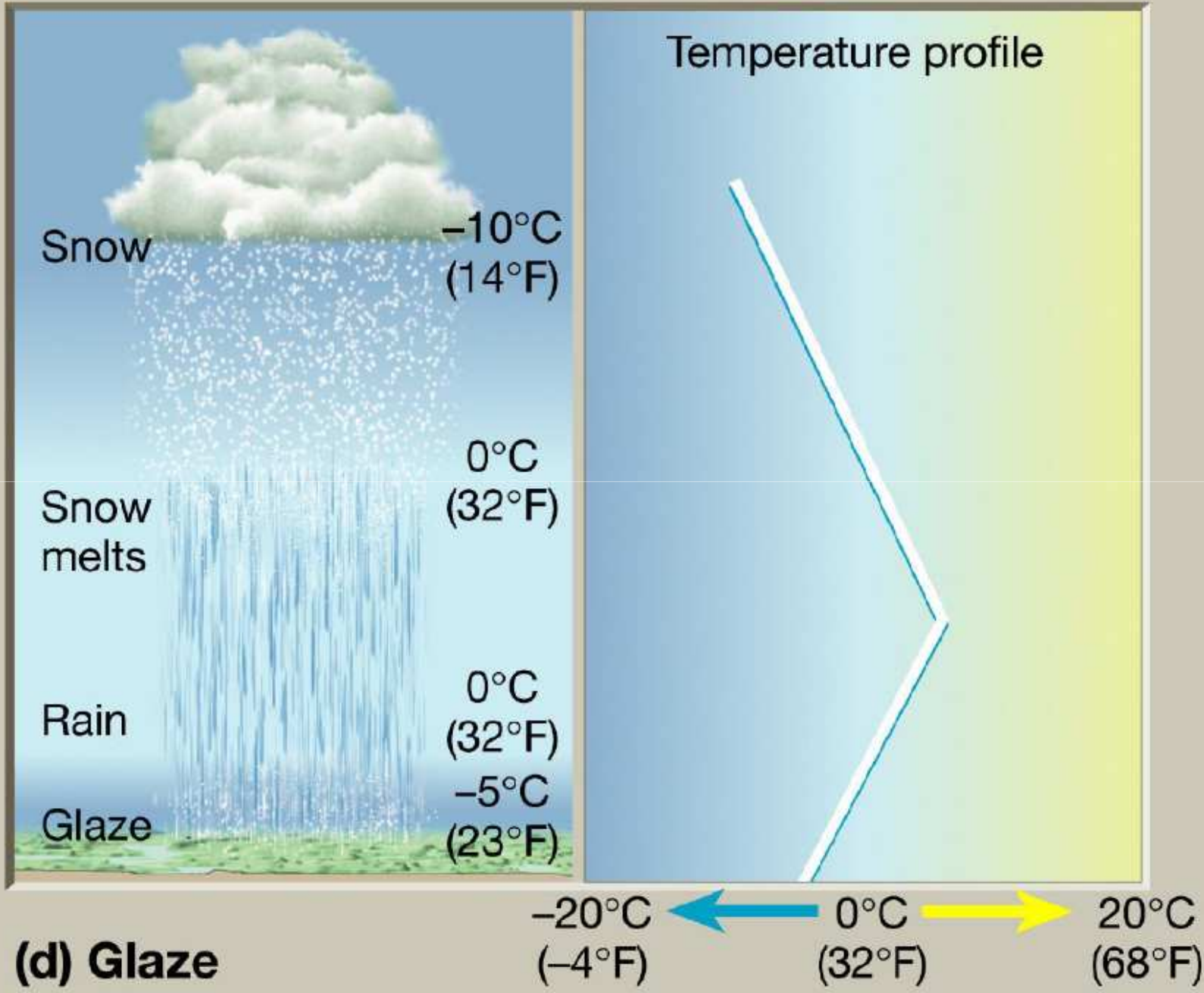




(b) Snow

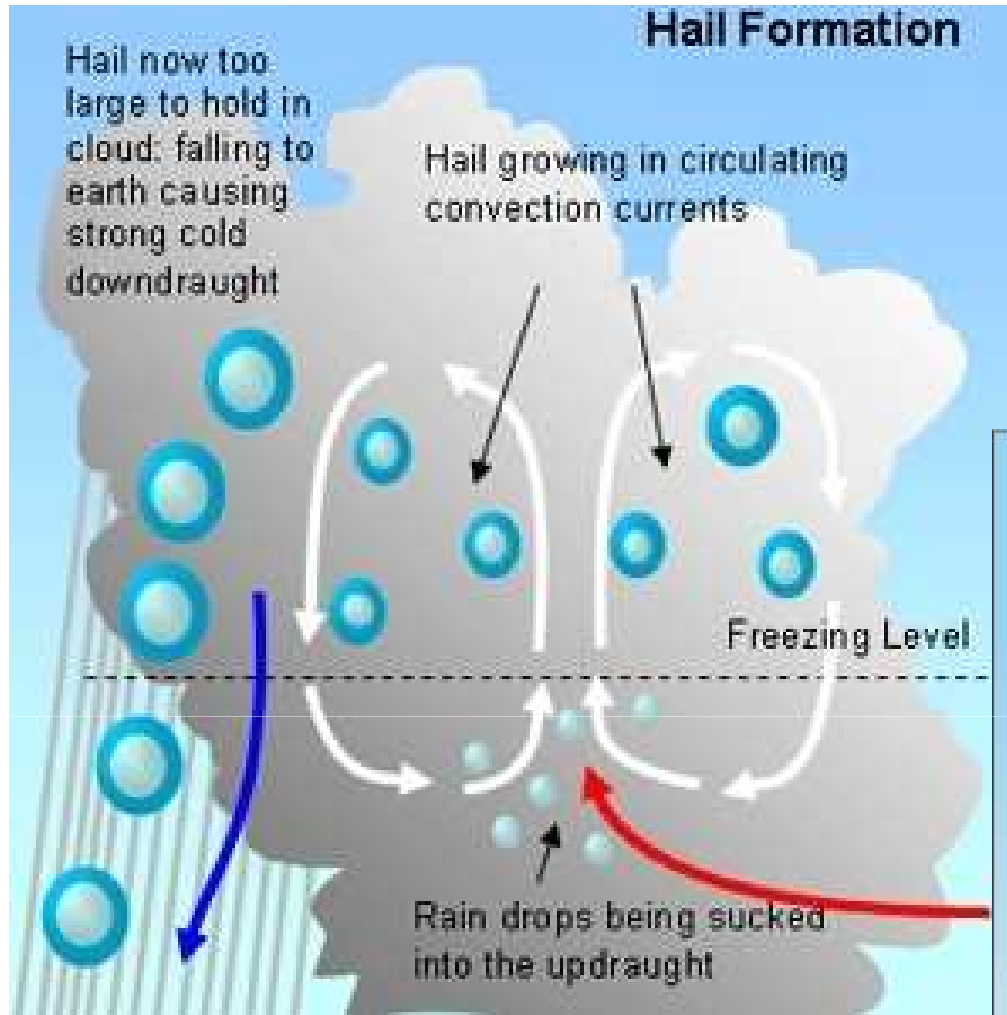






(d) Glaze

Hail Formation



Grandine

