

The background of the slide is a close-up photograph of water droplets on a glass surface. The droplets are of various sizes and are scattered across the frame, creating a textured, shimmering effect. The lighting is soft, highlighting the rounded shapes of the droplets and the way they reflect light. The overall color palette is dominated by cool blues and greys, giving the image a clean, scientific, and refreshing feel.

# Umidità atmosferica

A cura di S. Furlani

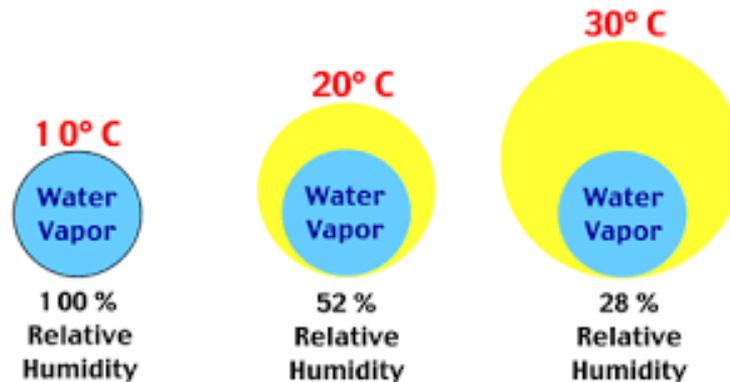
# Argomenti della lezione

Vapor acqueo e ciclo idrologico

- Evaporazione
- Misurare l'umidità
- Condensazione (nubi, nebbia, rugiada)
- Stabilità e instabilità
- Precipitazioni
- Impatto dell'umidità atmosferica sul paesaggio

# Obiettivo della lezione

- Comprendere i processi che sono legati alle variazioni dell'umidità atmosferica, evaporazione e condensazione, le modalità in cui si trova l'acqua nell'atmosfera, l'impatto dell'umidità atmosferica sul territorio



L'umidità atmosferica

# Water in atmosphere



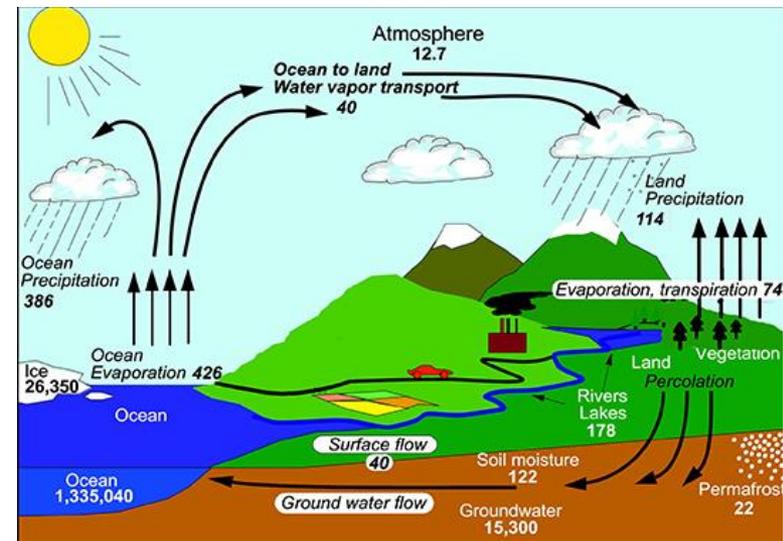
# Il vapore acqueo

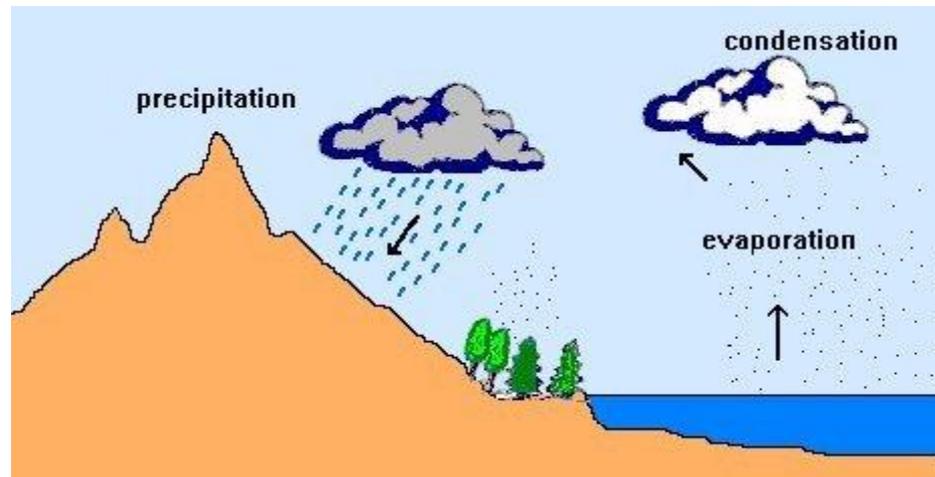
- È un gas incolore, inodore, insapore e invisibile che si mescola con gli altri gas nell'atmosfera;
- La sua presenza è percepita direttamente attraverso stati diversi di sensibilità;
- La quantità dipende dalla zona e arriva fino al 4%;
- Metà si trova sotto i 1600 m, pochissimo oltre i 6000 m.

# Distribuzione dell'umidità

- Dipende dalla facilità in cui l'acqua cambia stato in relazione alla pressione e temperatura;
- L'acqua può abbandonare la superficie terrestre sotto forma di gas e tornarvi in forma liquida o solida;

Questo scambio è detto ciclo idrologico.



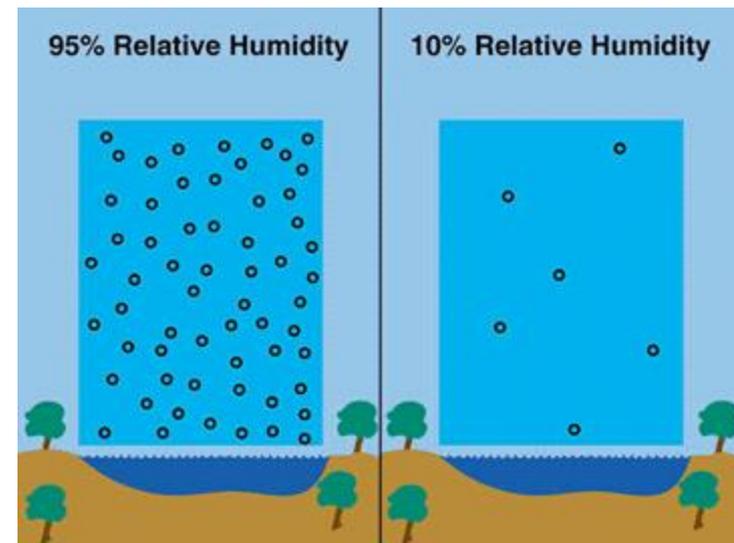
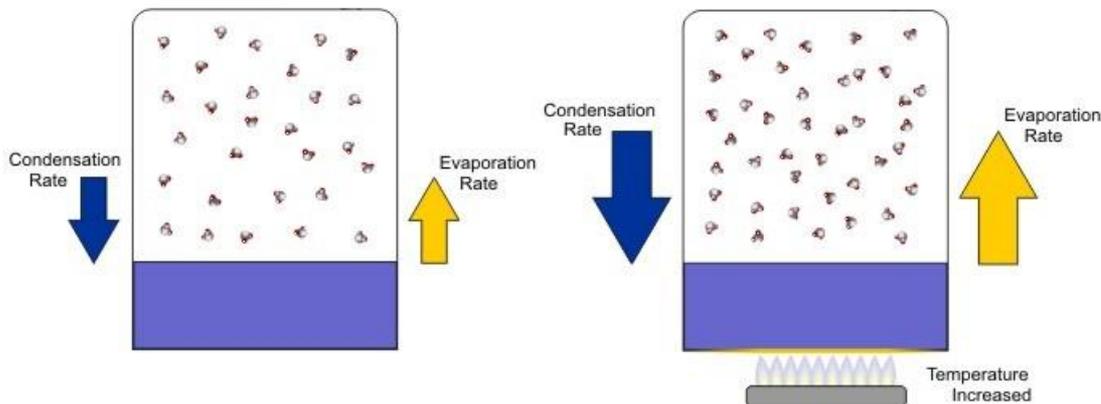


# Evaporazione

- Passaggio dell'acqua dallo stato liquido a quello gassoso, ovvero l'acqua diventa vapor acqueo. Le molecole di acqua sfuggono dalla superficie liquida circostante;
- L'energia assorbita dalle molecole in evaporazione è immagazzinata come calore latente di condensazione quando il vapore torna allo stato liquido
- Per questo motivo, l'acqua che rimane liquida diventa più fredda.

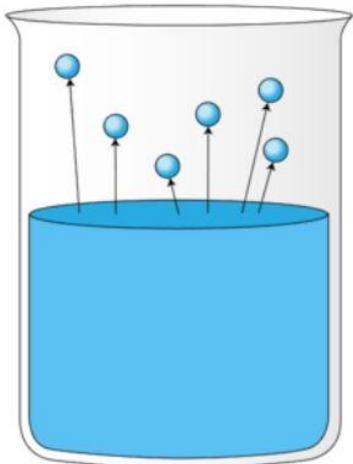
# Da cosa dipende?

- Temperatura (aria, acqua)
- Quantità di vapor acqueo già presente nell'aria
- Stato di quiete o movimento dell'aria



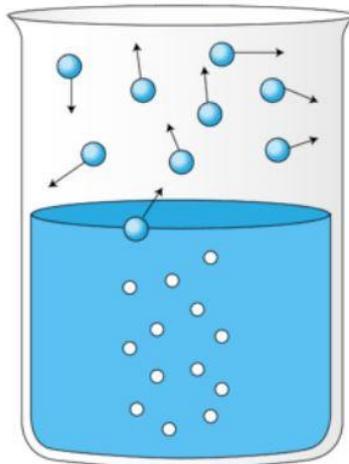
# Temperatura

## Evaporation

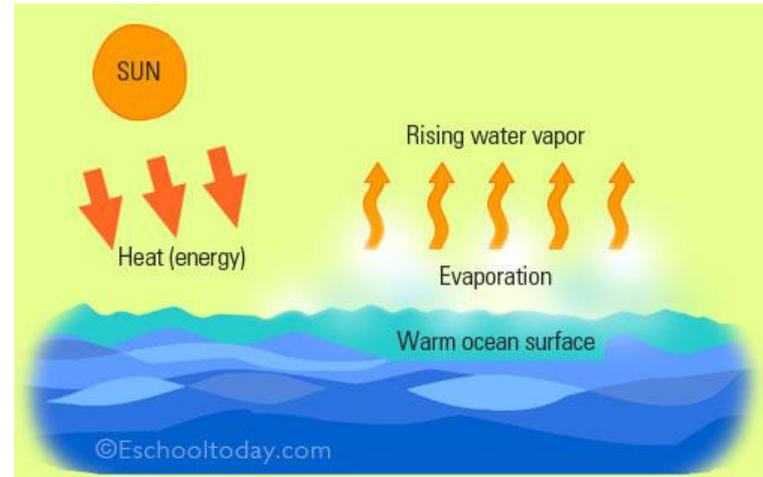


Vapor Pressure < Atmospheric Pressure  
Bubbles cannot form

## Boiling



Vapor Pressure = Atmospheric Pressure  
Bubbles can form and rise



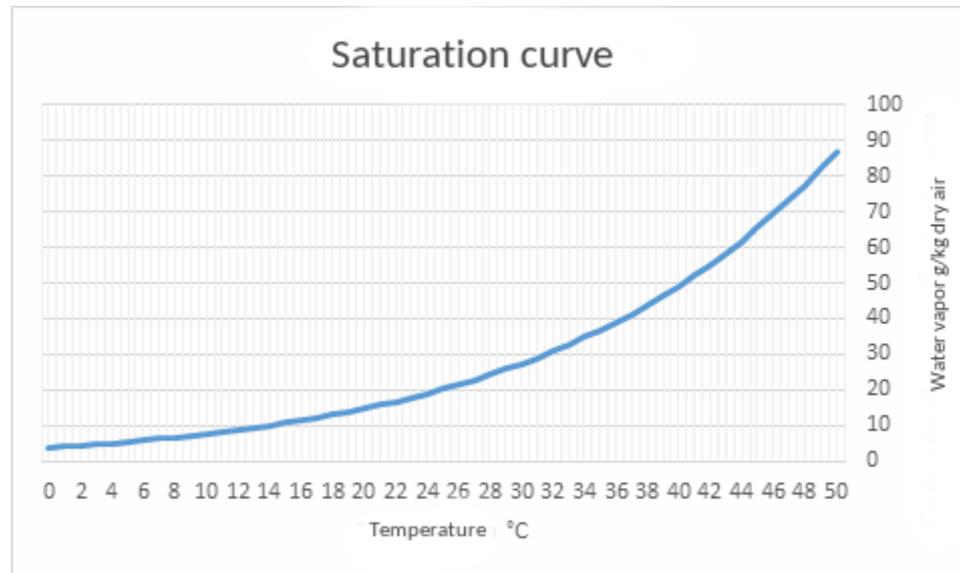
## Water Travels



# Tensione di vapore

- I gas nell'atmosfera esercitano una pressione
- La pressione esercitata dal vapor acqueo nell'aria è detta tensione di vapore, che dipende dalla temperatura
- Se nell'aria c'è una quantità d'acqua in grado di esercitare la massima tensione di vapore, l'aria è satura. Se superata, le molecole passano allo stato liquido;
- $>T \Rightarrow$  <tensione di vapore. Più calda è l'aria, più quantità di vapore acqueo potrà contenere l'aria prima di raggiungere la saturazione

# Saturazione

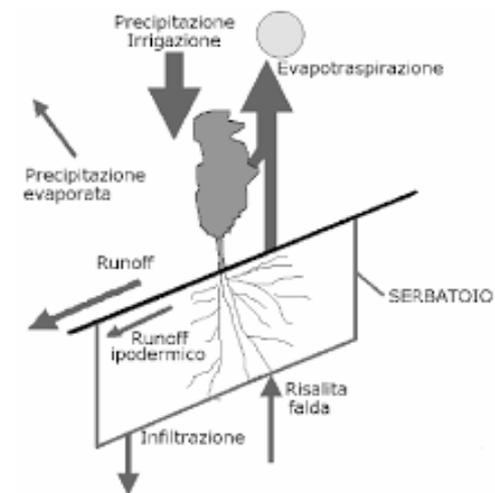
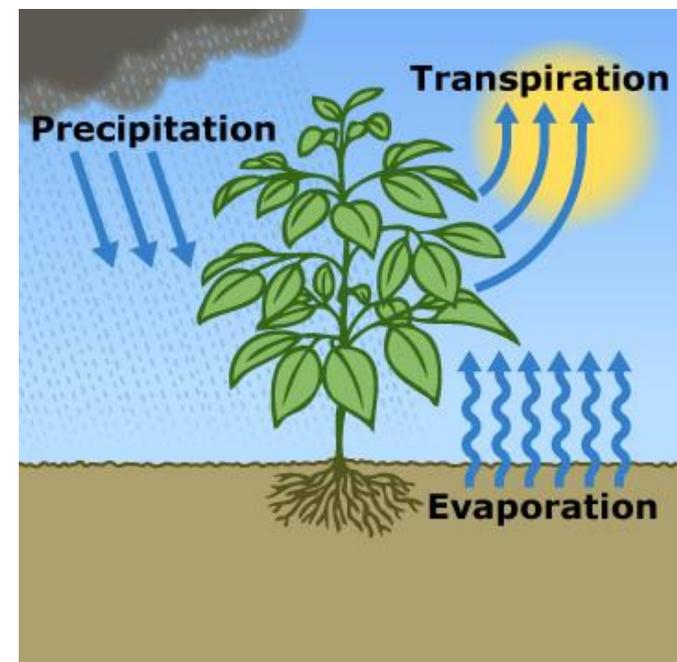


# Aria in movimento

- L'aria ferma limita il tasso di evaporazione perché ad un certo punto si satura
- Se l'aria si muove per vento/turbolenza, le molecole del vapore acqueo vengono disperse in uno spazio più ampio, quindi quelle molecole che si trovavano all'interfaccia aria/acqua allontanano l'aria dalla saturazione che aveva nella situazione in cui era ferma
- Tasso di evaporazione determinato dalla temperatura dell'acqua, dell'aria e della ventosità. Temperature più elevate e maggiore ventosità provocano più evaporazione.

# Evapotraspirazione

- Evaporazione che deriva da:
  - Suolo e altre superfici
  - piante
- Tra queste due prevale l'acqua dalle piante, che emettono vapore per traspirazione
- Evapotraspirazione = evaporazione diretta + traspirazione
- Il bilancio dell'evapotraspirazione e la precipitazione determina l'aridità o l'umidità di una certa area
- Conseguenze...





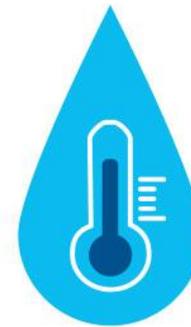
**umidità assoluta**



**umidità relativa**



**umidità specifica**



**umidità residua**

# L'umidità atmosferica

Quantità di vapor acqueo nell'aria

# Umidità assoluta

- La quantità di vapor acqueo in un dato volume d'aria ( $\text{g}/\text{m}^3$ ). Cambia quindi a seconda del volume considerato
- L'umidità assoluta ha un valore limite che dipende dalla temperatura. Più fredda è l'aria, meno vapor acqueo c'è e viceversa.

# Umidità specifica

- La quantità di vapor acqueo contenuta in una data massa d'aria (g/kg di aria).
- Cambia solo se cambia la quantità di vapor acqueo e non è influenzata dalle variazioni di volume
- H assoluta e specifica indicano la capacità di precipitazione

# Umidità relativa

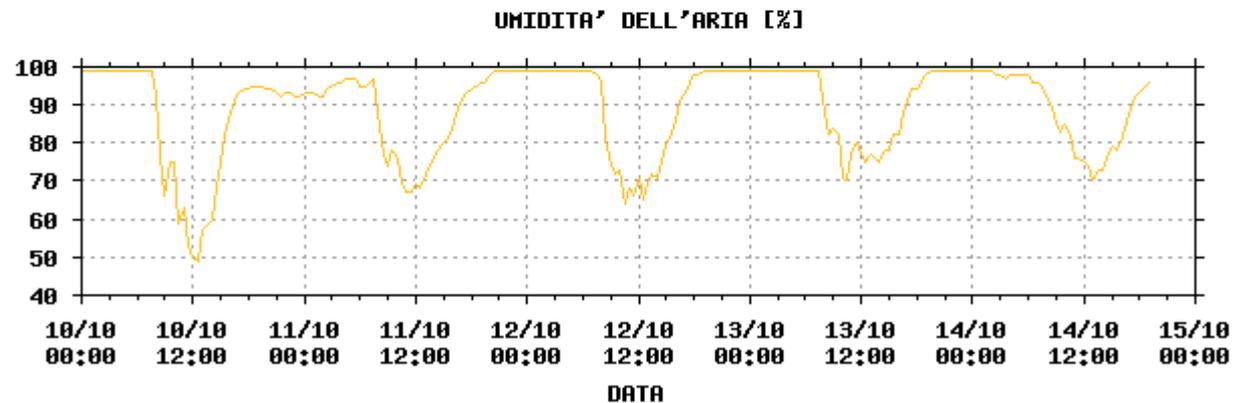
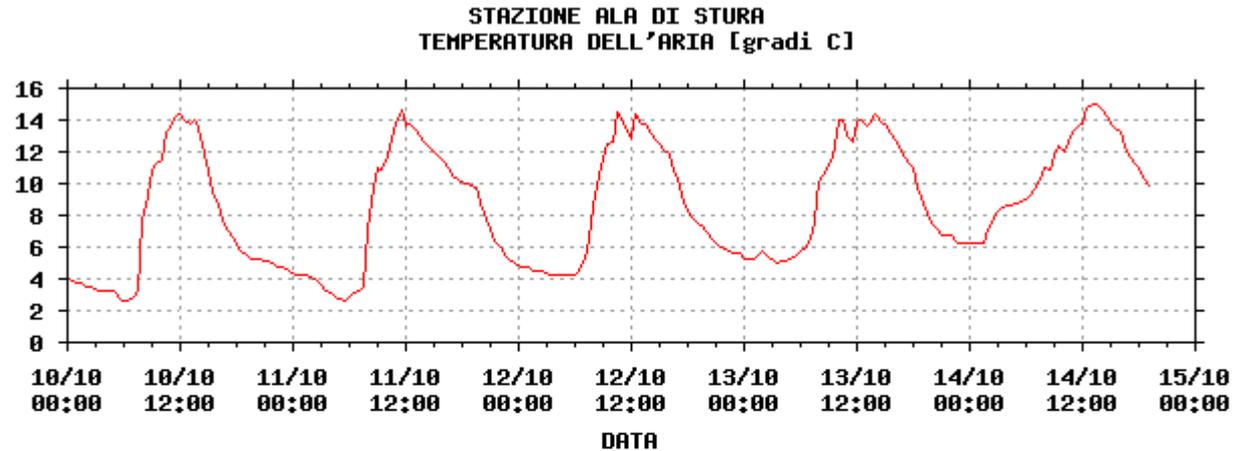
- L'umidità relativa descrive quanto l'aria sia prossima alla saturazione in vapor acqueo;
- Non è una misura diretta della quantità di vapor acqueo contenuta nell'aria, ma il rapporto tra la quantità reale di vapor acqueo nell'aria e la massima quantità ad una data temperatura

$$H_{\text{relativa}} = (\text{vapor acqueo nell'aria} / \text{capacità massima}) \times 100$$

# Relazioni T - H

- L'aria può essere portata a saturazione (100% umidità relativa) semplicemente abbassando la temperatura, senza aggiungere vapore acqueo

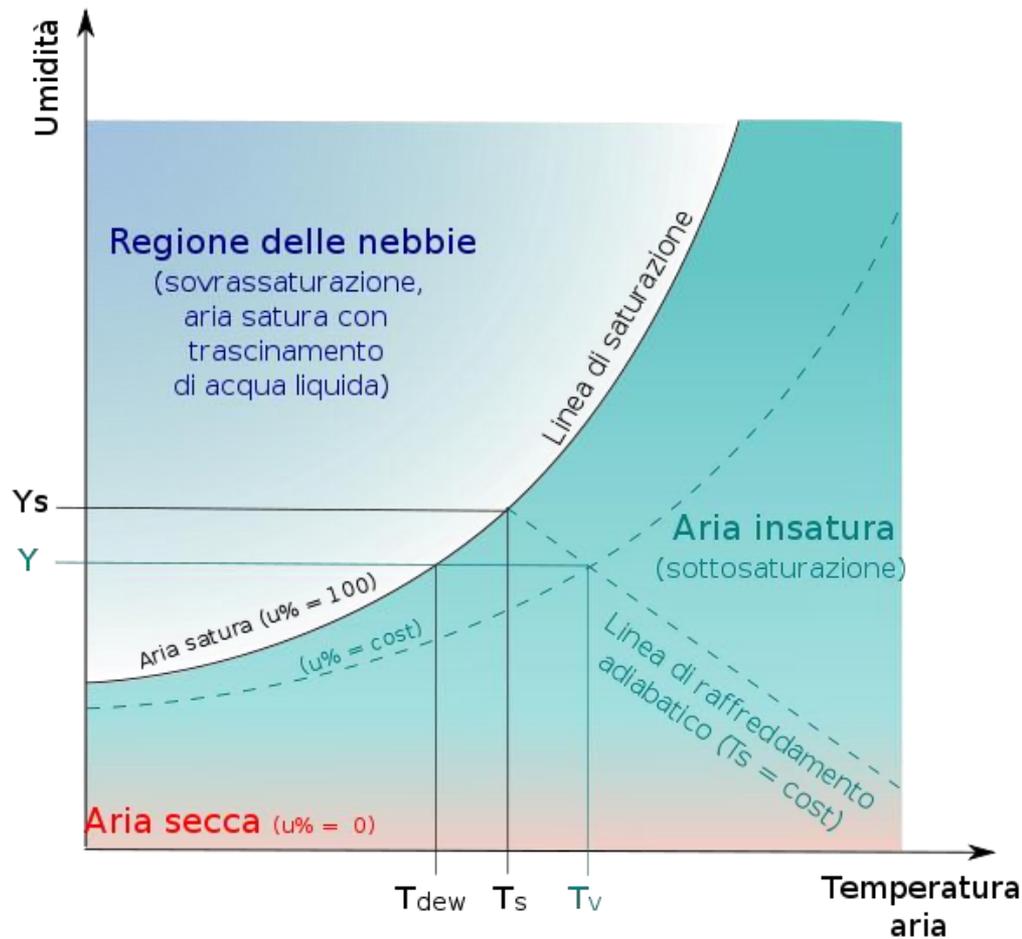
- La relazione tra temperatura e umidità relativa è una delle più importanti in meteorologia: se aumenta una diminuisce l'altra e viceversa



14/10/2019 19:58 UTC

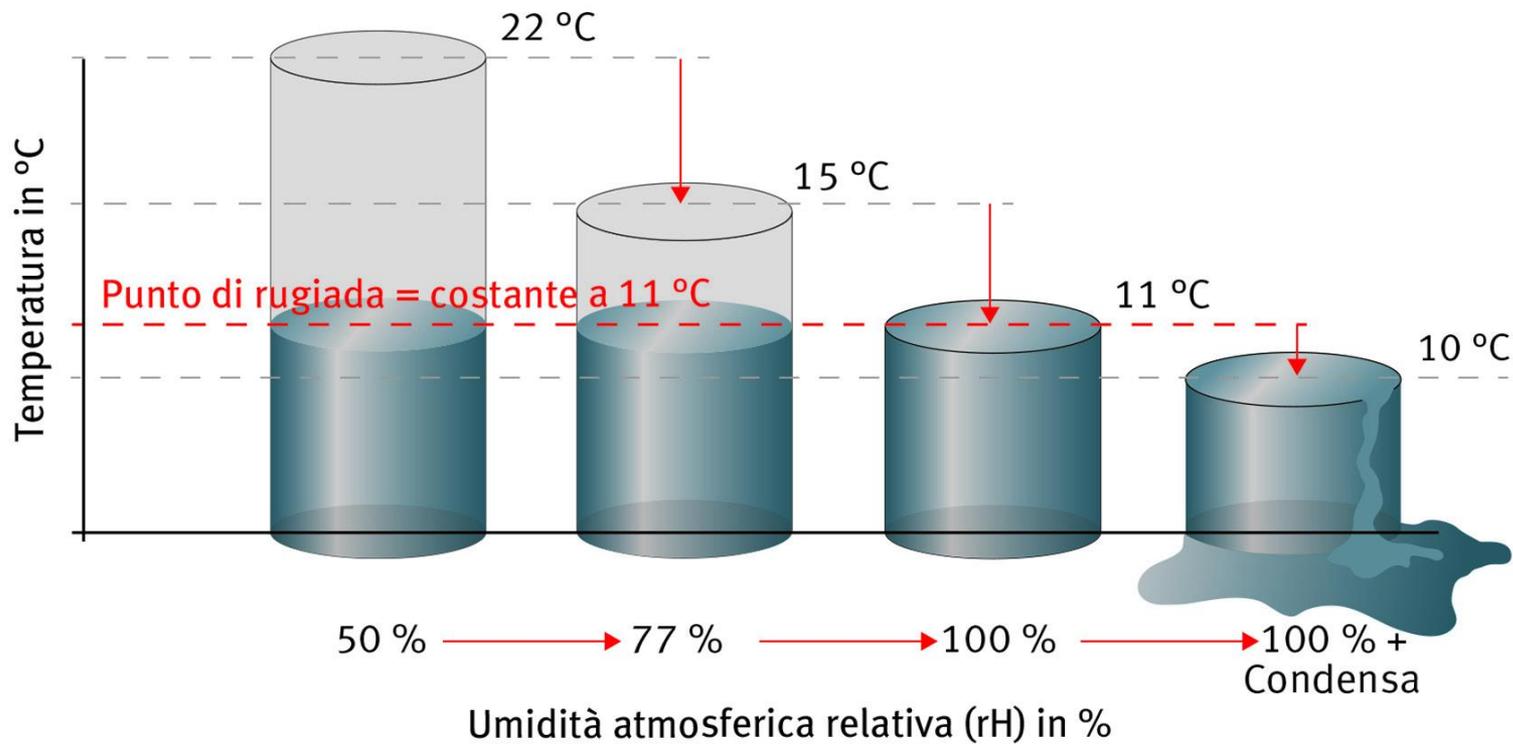
ARPA Piemonte

# Differenza tra umidità assoluta e relativa



# Punto di rugiada

- Quando l'aria si raffredda, diminuisce la capacità di vapore acqueo, quindi l'umidità relativa aumenta, portando l'aria precedentemente insatura a saturarsi
- La temperatura a cui avviene questo è detto punto di rugiada
- Varia con il contenuto di umidità dell'aria



# Temperatura percettibile

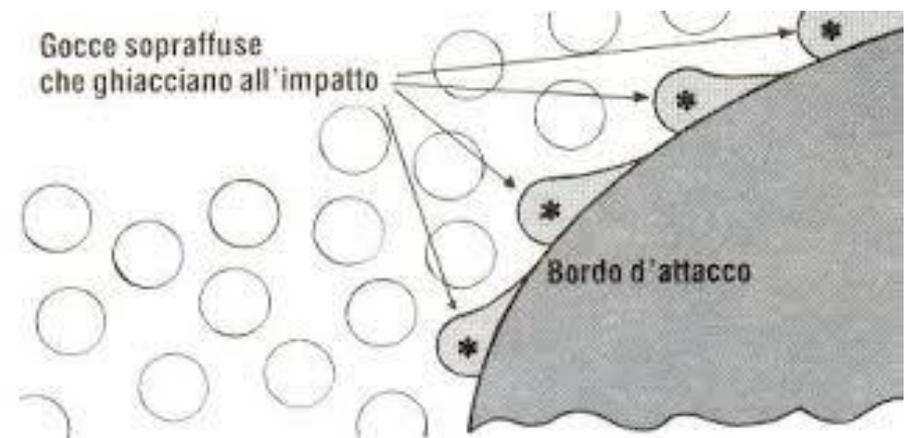
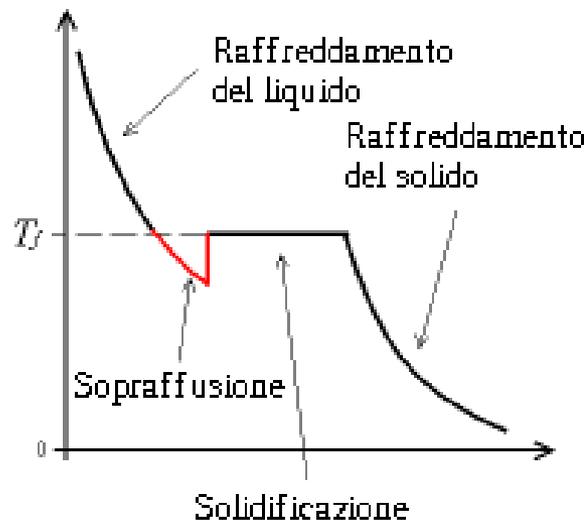
	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

# Condensazione

- È l'opposto dell'evaporazione. IL vapore acqueo si trasforma in acqua, ovvero un cambiamento di stato del gas;
- L'aria deve essere satura, più facile per raffreddamento dell'aria;
- La tensione superficiale inibisce la condensazione, quindi è necessaria una superficie sulla quale si realizzi la condensazione. Nell'aria ciò avviene sulle particelle atmosferiche (particelle igroscopiche, nuclei di condensazione)

# Acqua sopraffusa

- Acqua che rimane liquida anche a temperature al di sotto di  $0^{\circ}\text{C}$  (anche fino a  $-40^{\circ}\text{C}$  se le goccioline di acqua sono molto piccole)



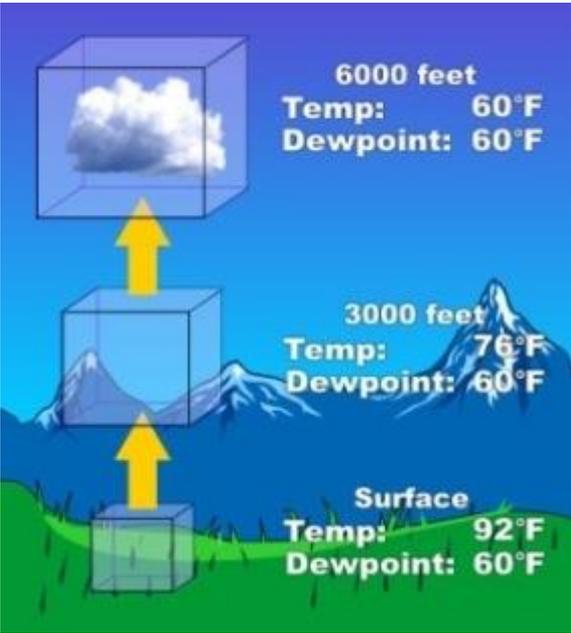


# Processi adiabatici

- Le grandi masse d'aria possono raggiungere il punto di rugiada solo raffreddandosi per espansione, cioè salendo verso l'alto, ovvero la pressione diminuisce, il volume si espande e si raffredda adiabaticamente
- Il raffreddamento adiabatico è il meccanismo fondamentale per la formazione delle nubi e la produzione di pioggia

# Concetti

- Gradiente adiabatico secco: quando una parcella di aria non satura sale si raffredda al tasso di  $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$  (diverso dal gradiente termico medio). Se sale abbastanza in alto, si raffredda e comincia a condensarsi fino a formare nubi
- Livello di condensazione per sollevamento: quota di condensazione e coincide con la base delle nubi
- Gradiente verticale adiabatico saturo: tasso di riduzione del gradiente ( $6^{\circ}/\text{km}$ ) legato al rilascio di calore latente immagazzinato nella fase precedente. Se l'aria sale ancora, si raffredda, ma il rilascio di calore latente rallenta il tasso di raffreddamento



# Le nubi

- Sono un insieme di minute goccioline di acqua o di minuscoli cristalli di ghiaccio. Sono l'effetto visibile della condensazione.
- Forniscono importanti informazioni sul tempo meteorologico e sulle tendenze future (previsioni)
- Circa il 50% della superficie terrestre è coperta da nubi
- Non tutte le nubi generano precipitazioni
- Influenzano la radiazione solare in entrata (assorbono, riflettono, irradiano insolazione e radiazione terrestre)

# Le nubi: cosa sono?

- Le nubi si formano tra il livello del mare e la tropopausa (tra 16 km e 8 km)
- Questo spazio è diviso secondo l'altitudine in strati, o regioni (0-2 km, 2-6 km, 6-tropopausa), popolate da tipi caratteristici di nubi (generi)
- Classificazione morfologica e altimetrica

# Classificazione morfologica

- **Nubi cirriformi:** forma fine e filamentosa costituite esclusivamente da cristalli di ghiaccio
- **Nubi stratiformi:** simili a lastre, coprono interamente o in parte la volta del cielo
- **Nubi cumuliformi:** massive e arrotondate, con base piatta, estensione orizzontale limitata, ma spesso si sviluppano in altezza

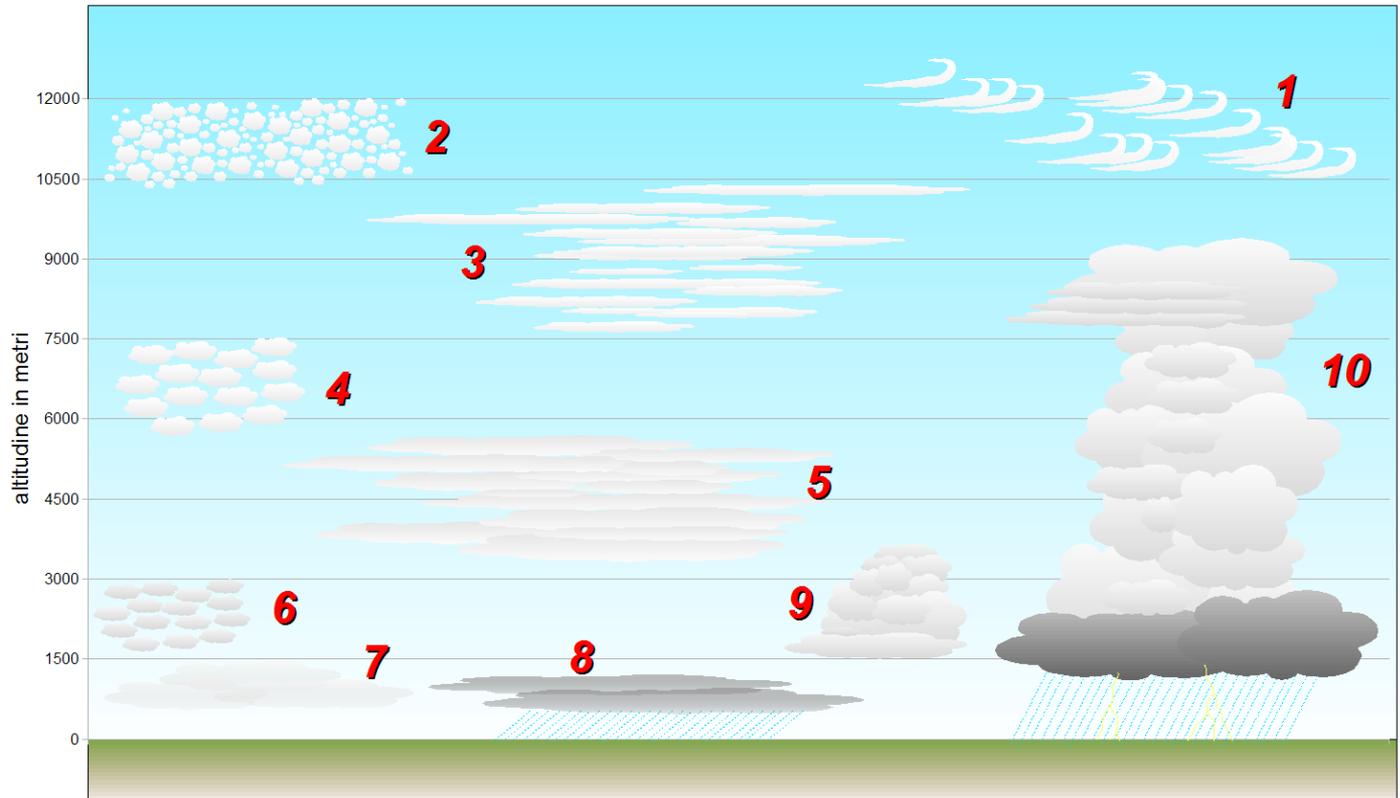


# Classificazione altimetrica

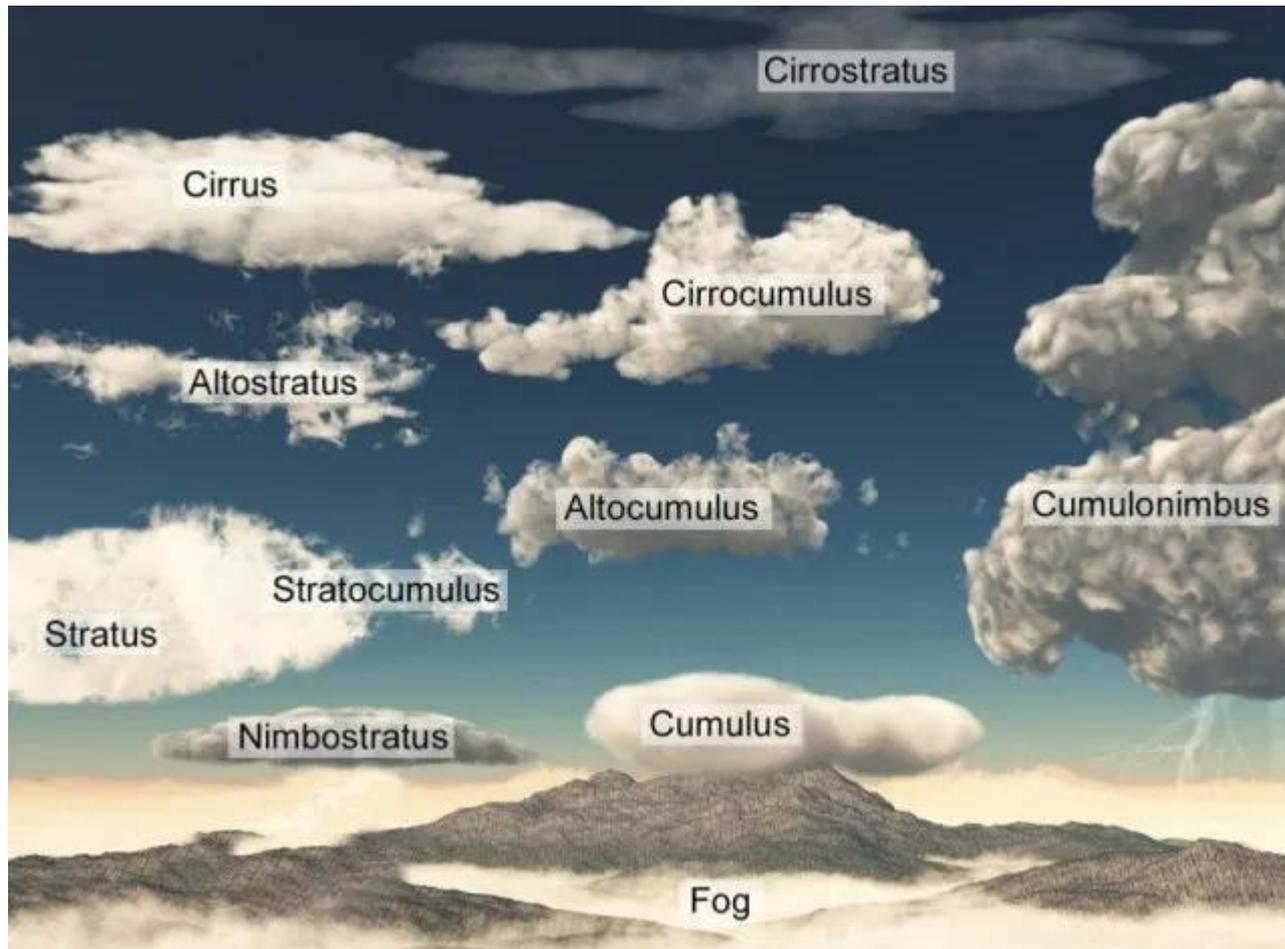
- Nubi di alta quota: sopra i 6.000 m. Precursori di arrivo di perturbazioni meteorologiche
- Nubi intermedie: tra 2.000 m e 6.000 m. Altopcumuli, altostrati. Generalmente condizioni di tempo stabile, altostrati cambi meteorologici.
- Nubi di bassa quota: sotto i 2.000 m
- Nubi a sviluppo verticale: da poche centinaia di metri a 15.000 m. Indicano movimenti d'aria convettivi. Cumuli (bel tempo), cumulinembi (temporale)

# Classificazione delle nubi

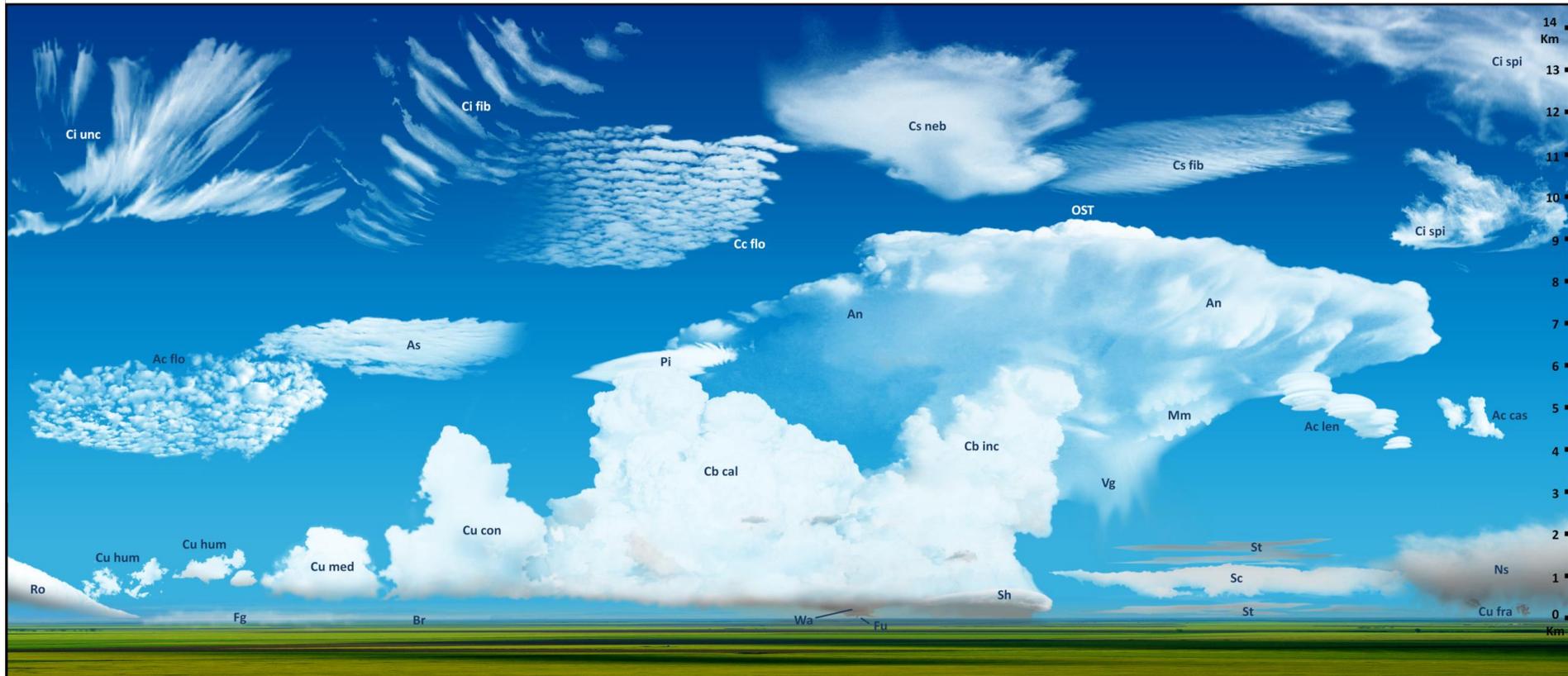
1. Cirri
2. Cirrocumuli
3. Cirrostrati
4. Altocumuli
5. Altostrati
6. Stratocumuli
7. Strati
8. Nembostrati
9. Cumuli
10. Cumulinembi



# Qualche esempio



# C L O U D S A T L A S



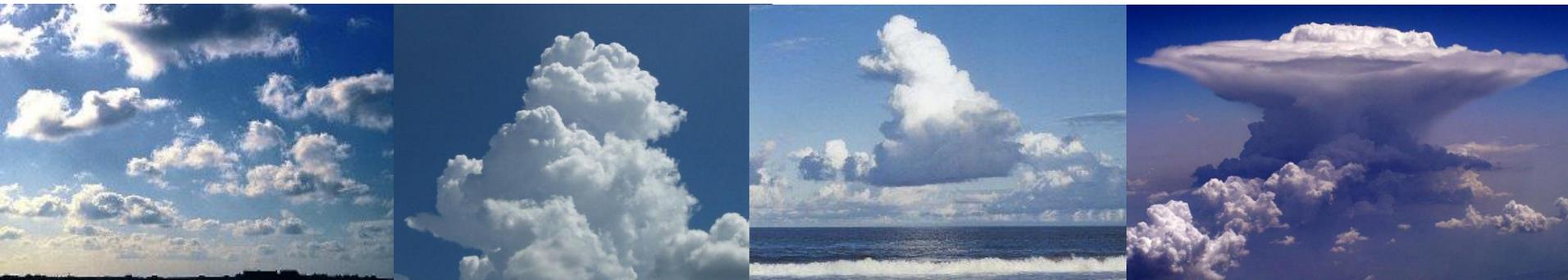
High Troposphere		Medium Troposphere		Low Troposphere		Towering vertical & Other-Accessories clouds		Surface based			
<b>Ci spi</b>	Cirrus spissatus	<b>Ac flo</b>	Alto cumulus floccus	<b>Cu fra</b>	Cumulus fractus	<b>Cu con</b>	Cumulus congestus	<b>An</b>	Anvil	<b>Br</b>	Brume
<b>Ci fib</b>	Cirrus fibratus	<b>Ac cas</b>	Alto cumulus castellanus	<b>Cu hum</b>	Cumulus humilis	<b>Cb cal</b>	Cumulonimbus calvus	<b>Vg</b>	Virga	<b>Fg</b>	Fog
<b>Ci unc</b>	Cirrus uncinus	<b>Ac len</b>	Alto cumulus lenticularis	<b>Cu med</b>	Cumulus mediocris	<b>Cb inc</b>	Cumulonimbus incus	<b>Ro</b>	Roll cloud		
<b>Cc flo</b>	Cirrocumulus floccus	<b>As</b>	Altostratus	<b>Sc</b>	Stratocumulus	<b>OST</b>	Overshooting Top	<b>Sh</b>	Shelf cloud		
<b>Cs fib</b>	Cirrostratus fibratus			<b>St</b>	Stratus	<b>Mm</b>	Mammatus	<b>Wa</b>	Wall cloud		
<b>Cs neb</b>	Cirrostratus nebulosus			<b>Ns</b>	Nimbostratus	<b>Pi</b>	Pileus	<b>Fu</b>	Funnel cloud		

Realized by Antonio Ciccolella  
05/2015

Di Antonio Ciccolella - Opera propria, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40141411>

# Tipi di nubi: alcuni esempi

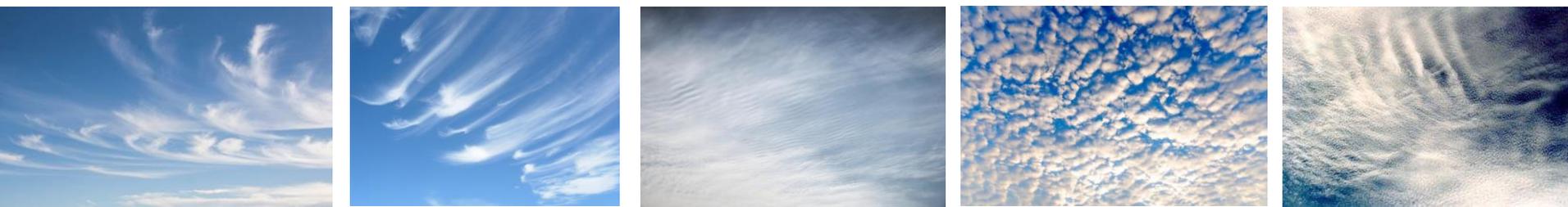
Nubi cumuliformi



Nubi stratiformi

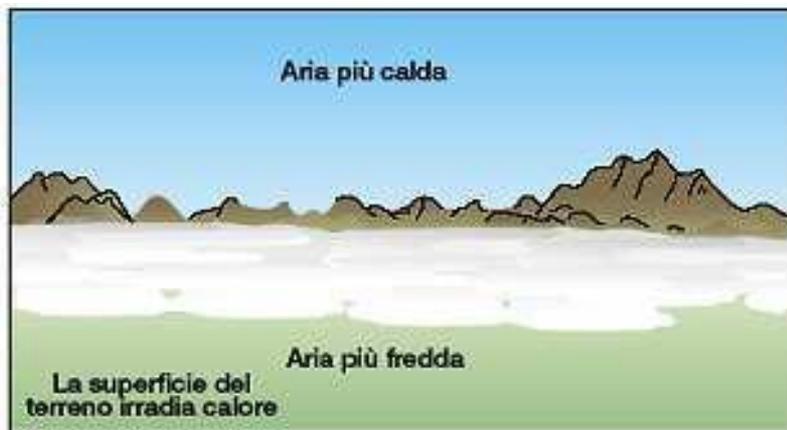


Nubi cirriformi



# La nebbia

- La nebbia rappresenta una forma di condensazione minore. Si tratta di una nube ubicata al suolo
- Mentre le nubi sono il risultato di un raffreddamento adiabatico di aria ascendente, la nebbia si forma di solito quando l'aria a contatto con la superficie terrestre si raffredda sotto il punto di rugiada, oppure per aggiunta di vapore acqueo
  - Nebbia per irraggiamento: si forma di notte
  - Nebbia per avvezione: aria calda e umida si muove sopra una superficie fredda
  - Nebbia di versante: orografica, raffreddamento adiabatico (aria umida che risale un pendio)
  - Nebbia per evaporazione: aggiunta di vapore acqueo ad aria fredda prossima alla saturazione



(a) Radiazione



(b) Avvezione



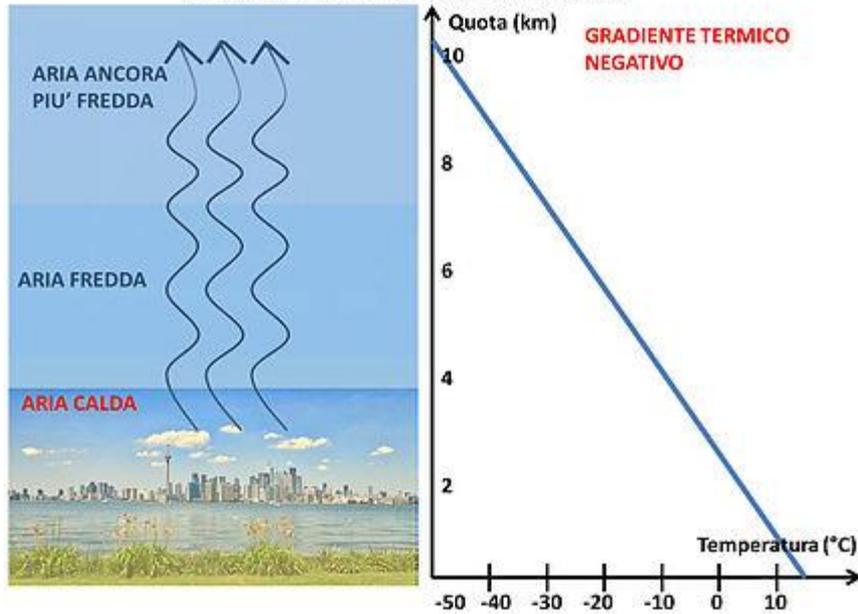
(c) Ascendenza (orografica)



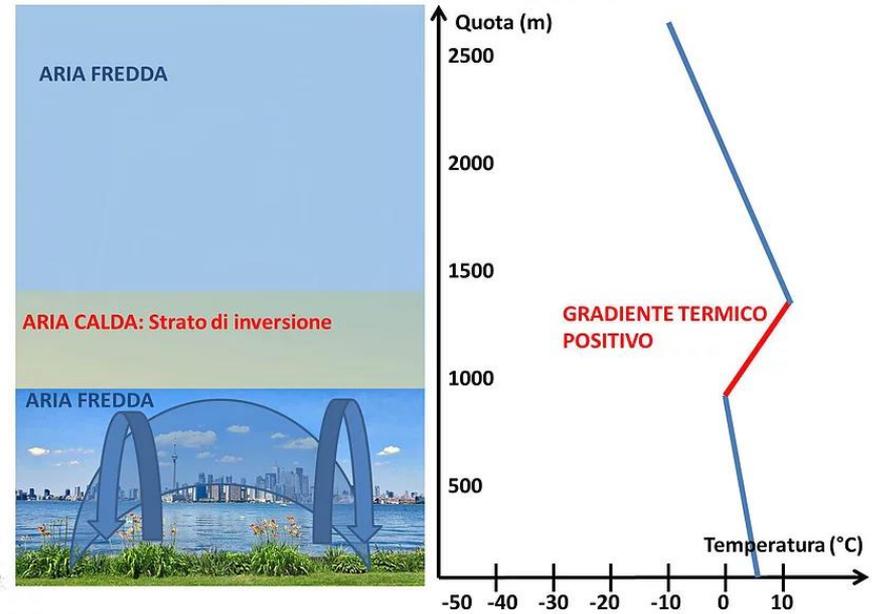
(d) Evaporazione



## CONDIZIONI STANDARD



## INVERSIONE TERMICA

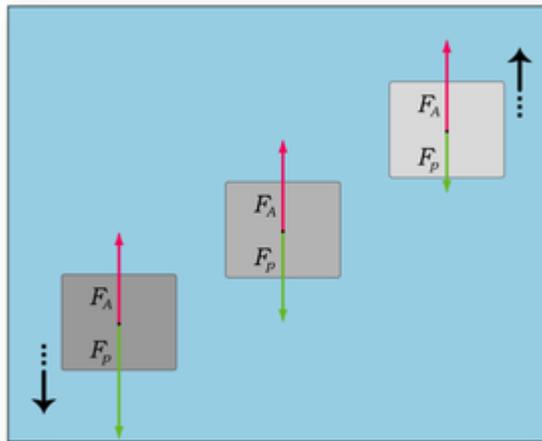


# La rugiada

- Si genera a causa dell'irraggiamento terrestre
- Si tratta di minuscole goccioline di acqua che condensano durante la notte (es. su roccia, erba, marciapiedi, automobili, ecc) a causa del raffreddamento per irraggiamento della superficie e del raffreddamento per conduzione, sotto il punto di rugiada
- Se la temperatura si abbassa, si forma direttamente ghiaccio.

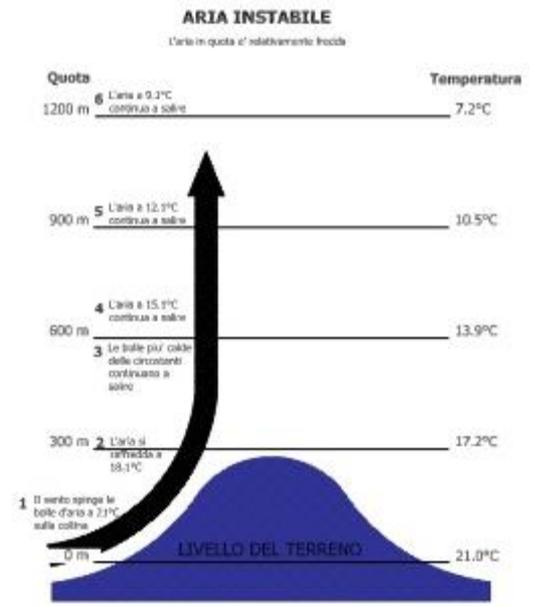
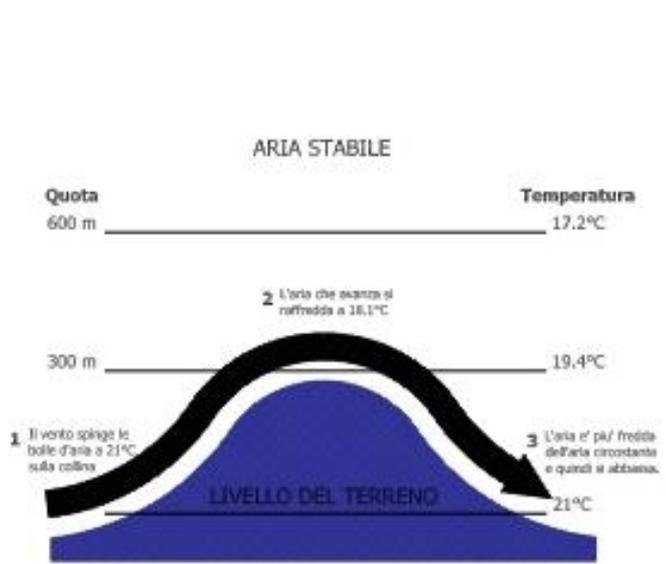
# Spinta idrostatica dell'aria

- A seconda della tendenza a salire a causa della spinta idrostatica, l'aria si muove verso l'alto più o meno facilmente a seconda delle circostanze, rendendo il tempo meteorologico più o meno stabile



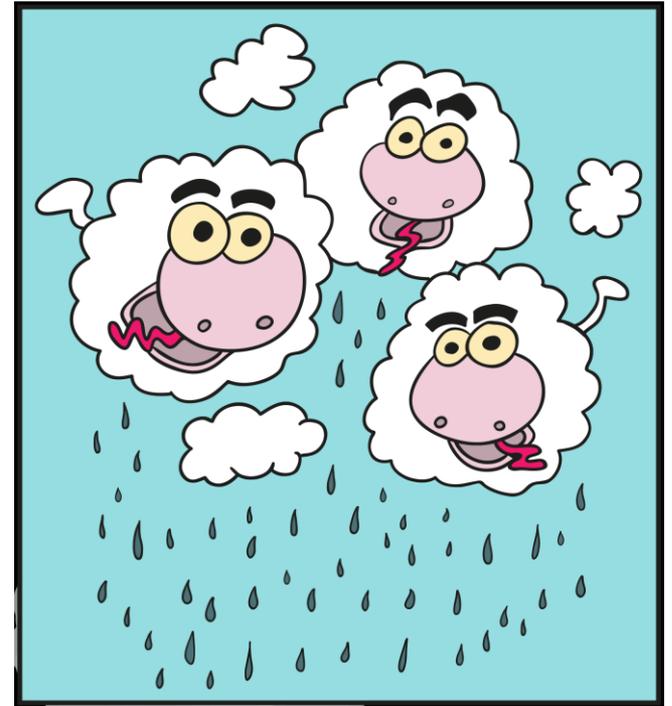
# Condizioni di stabilità

- La tendenza a salire in un fluido per effetto della spinta idrostatica è detta tendenza al galleggiamento
- L'aria calda tende a galleggiare rispetto quella fredda. In queste condizioni, si dice che una parcella di aria è stabile
- Se forzata a salire, es. su un versante, sale fino a che la forza che la spinge persiste, poi torna verso il basso
- **L'aria stabile non tende a salire, l'aria instabile continua a salire**



# Condizioni di stabilità

- Le condizioni di stabilità sono basate su misure di temperatura, ma anche un'attenta osservazione può dare buoni risultati



# Stima della stabilità (temperatura)

- L'instabilità si verifica quando il gradiente verticale normale dell'aria circostante è maggiore del gradiente verticale adiabatico secco dell'aria in ascesa. In tal caso, l'aria è più calda dell'aria circostante e quindi sale fino a raggiungere il livello di equilibrio
- Se l'aria si raffredda fino al punto di rugiada, la situazione diventa più instabile
- Le misure vengono fatte all'interno ed all'esterno della cella adiabatica

# Stima visuale della stabilità

- L'assetto delle nubi è spesso un indice della stabilità dell'aria. L'instabilità è associata a distinte correnti ascensionali, che tendono a produrre nubi a sviluppo verticale;
- Cumuli=instabilità, cumulonembo=instabilità pronunciata
- Le nubi che si sviluppano in senso orizzontale sono caratteristiche di aria stabile forzata a salire verso l'alto
- Cielo sereno indica aria stabile e immobile

**La sola assenza di nubi è un indice, ma non un'evidenza certa, di stabilità**

## Onde di gravità

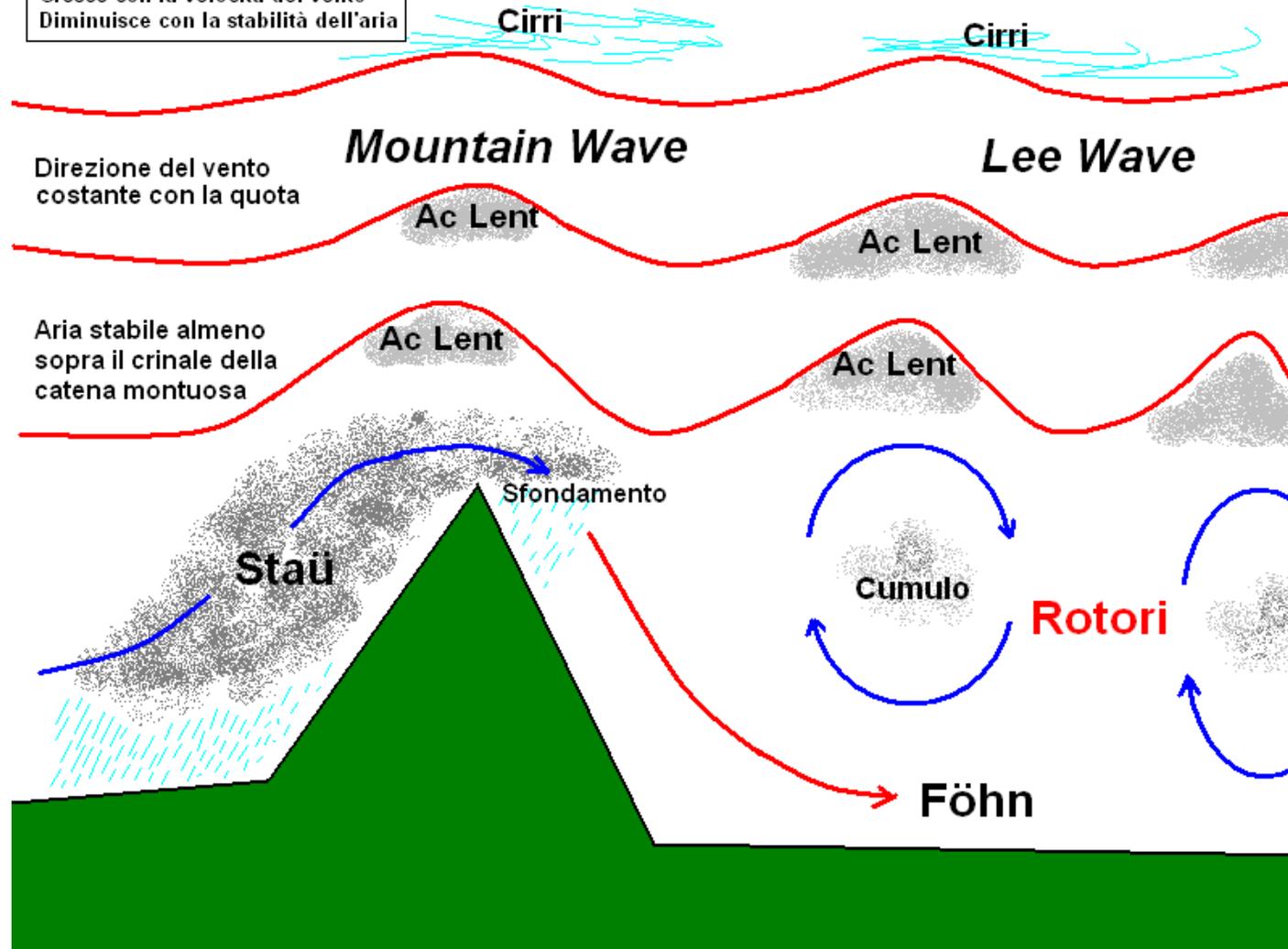
Sono stazionarie  
Lunghezza  
Cresce con la velocità del vento  
Diminuisce con la stabilità dell'aria

## Föhn "Classico"

Stau e Sfondamento

## Nubi tipiche

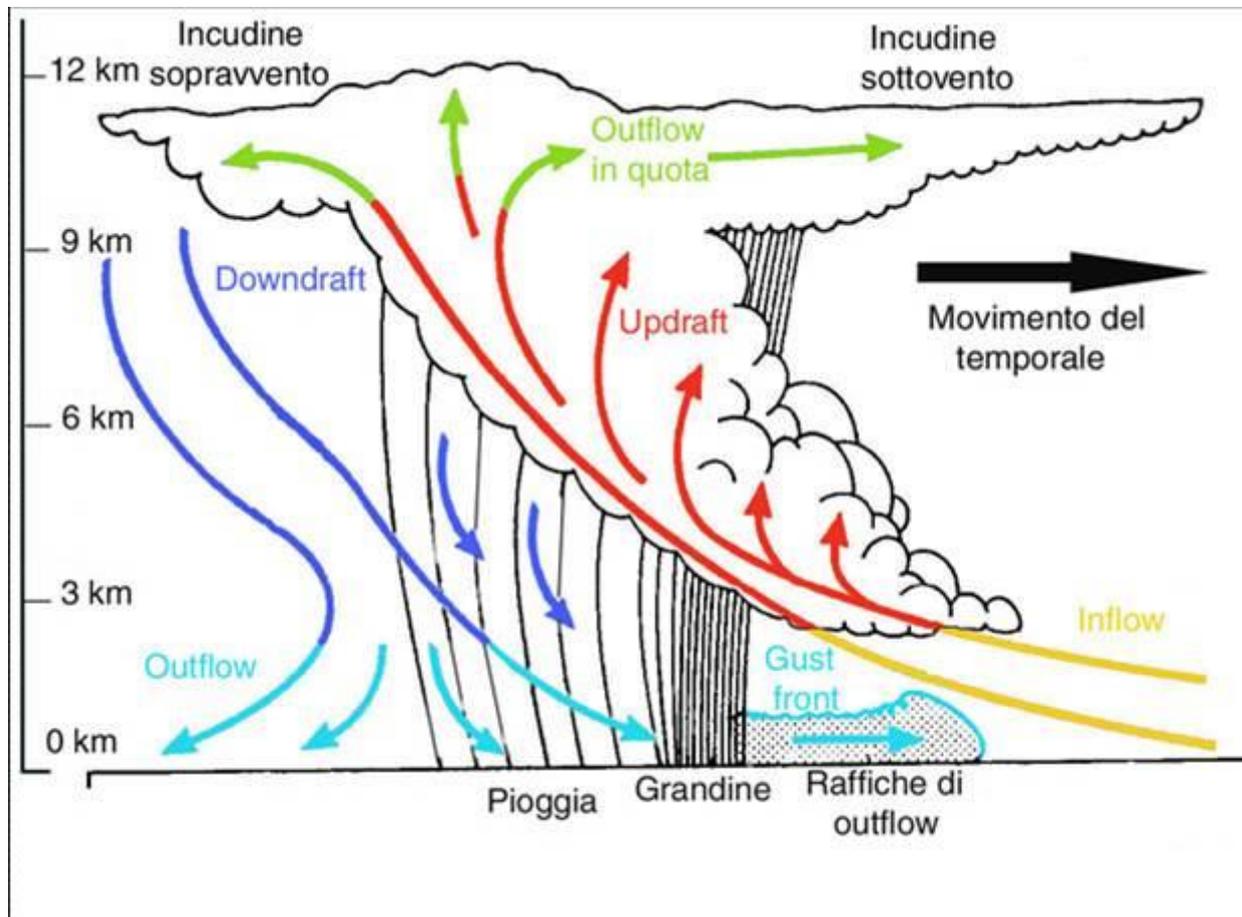
Lenticolari sotto le creste  
Cumuli da rotore nei bassi strati



# Le precipitazioni

- Tutte le precipitazioni sono originate dalle nubi, ma molte di queste non apportano precipitazioni
- La sola condensazione non è in grado di produrre gocce di pioggia. Le goccioline di acqua che costituiscono le nubi non possono cadere al suolo come pioggia perché le loro minuscole dimensioni le fanno galleggiare e la normale turbolenza le mantiene sollevate

**Perché avviene la pioggia?**



# Processi di formazione delle precipitazioni

- Una goccia di pioggia contiene alcuni milioni di volte l'acqua di una gocciolina di acqua presente in una nube
- È necessaria un'aggregazione di goccioline per formarne una di dimensioni tali da vincere la turbolenza e l'evaporazione, e cadere quindi verso il basso;
- Principali meccanismi:
  - Formazione di cristalli di ghiaccio
  - Collisione e coalescenza di gocce

# Cristalli di ghiaccio: processo di Bergeron

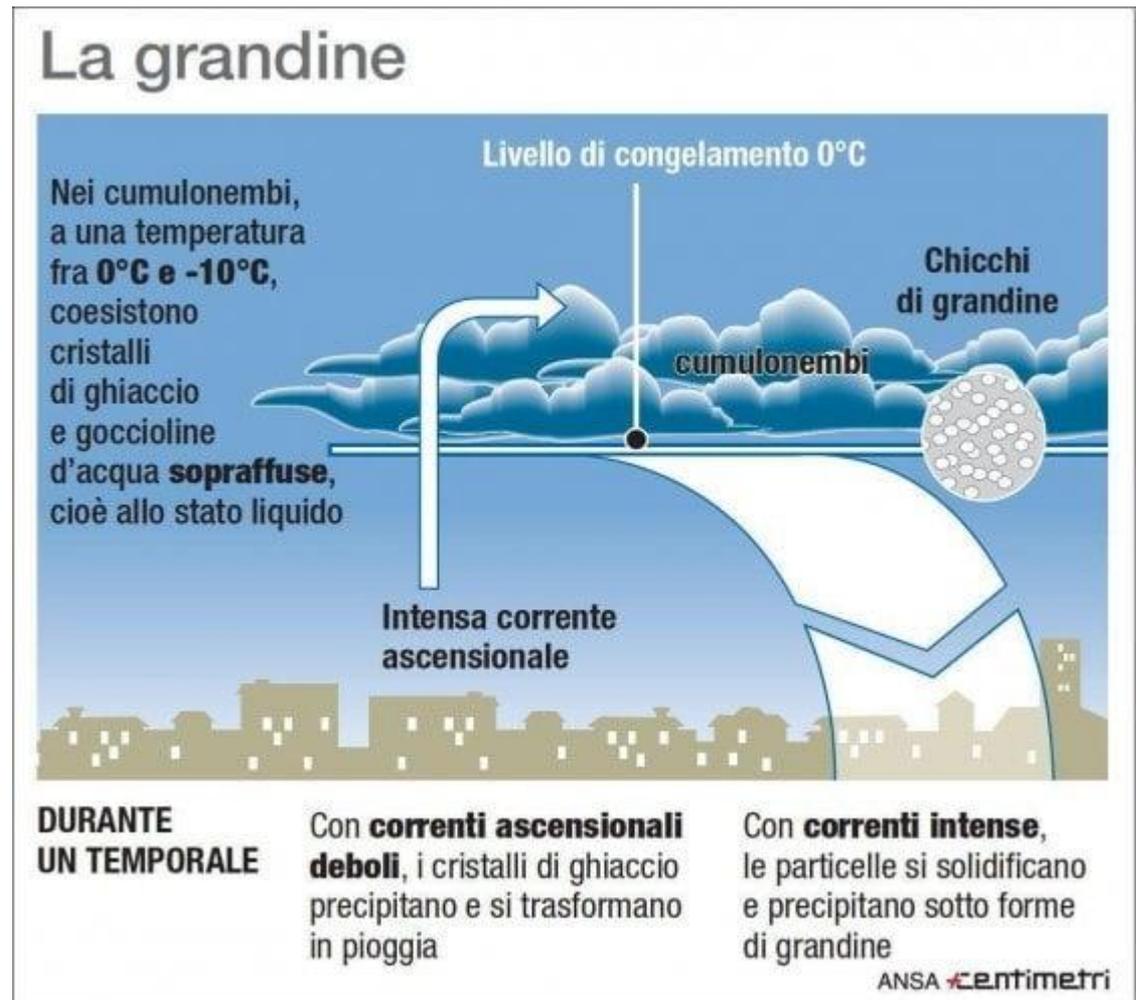
- Molte nubi si innalzano al punto tale da raggiungere temperature ben inferiori al punto di congelamento dell'acqua, dove coesistono cristalli di ghiaccio e acqua sopraffusa
- I cristalli di ghiaccio attraggono buona parte del vapore e le goccioline d'acqua evaporano per rimpiazzare la diminuzione di calore
- I cristalli quindi possono cadere verso il basso, o sottoforma di neve, grandine, oppure se le temperature sono più alte si sciolgono e diventano pioggia
- Processo che spiega le precipitazioni in zone extratropicali

# Collisione/coalescenza

- Nella zona intertropicale, ma anche medie latitudini, invece prevalgono le precipitazioni per coalescenza/collisione
- Le temperatura delle nubi è troppo alta per la formazione di cristalli di ghiaccio
- Per collidere e diventare coalescenti, è necessario che l'elettricità atmosferica carichi le goccioline (+/-)

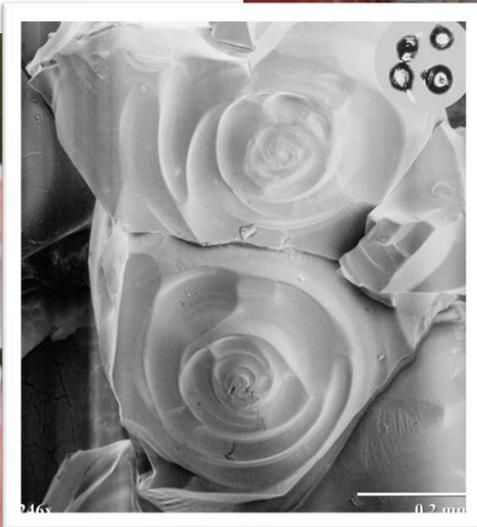
# Forme delle precipitazioni

- Pioggia
- Neve
- Nevischio
- Gelicidio
- Grandine





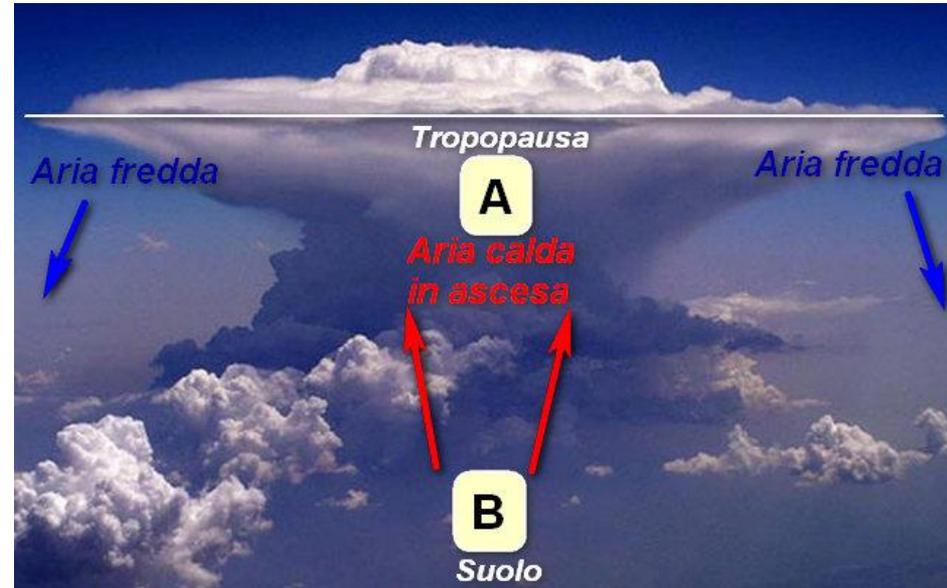
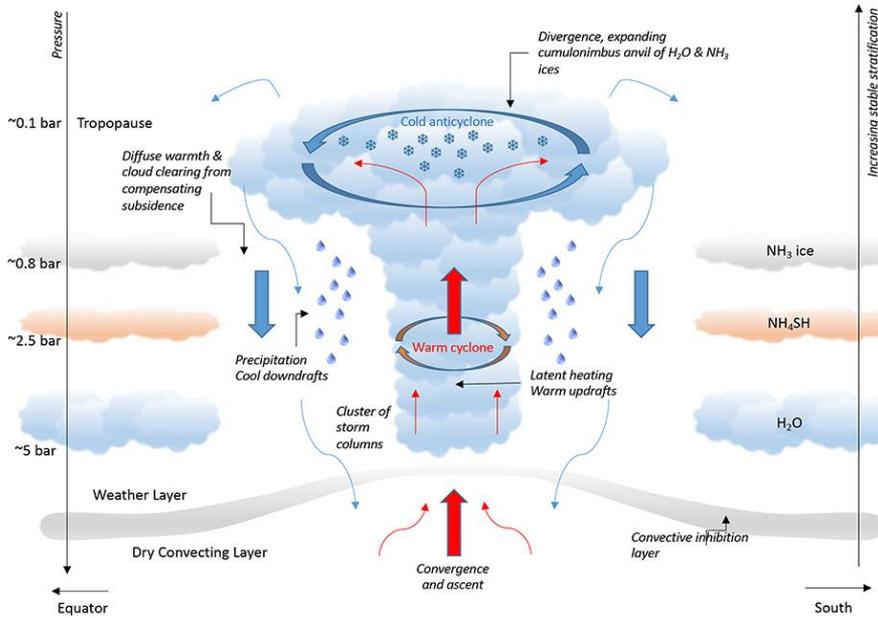
eo Giornale



# Ascendenza atmosferica e precipitazioni

- Ascendenza convettiva
- Ascendenza orografica
- Ascendenza frontale
- Ascendenza convergente

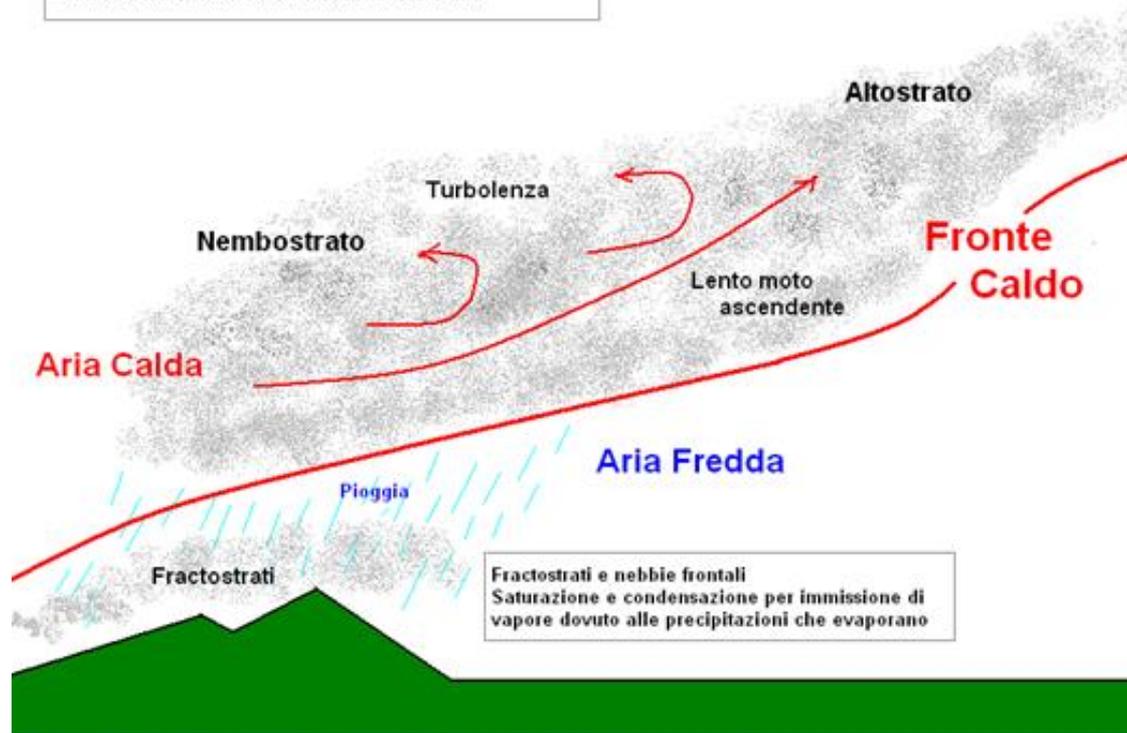
# Convezione



# Ascendenza frontale

**FRONTE CALDO:** aria calda scorre sopra aria più fredda

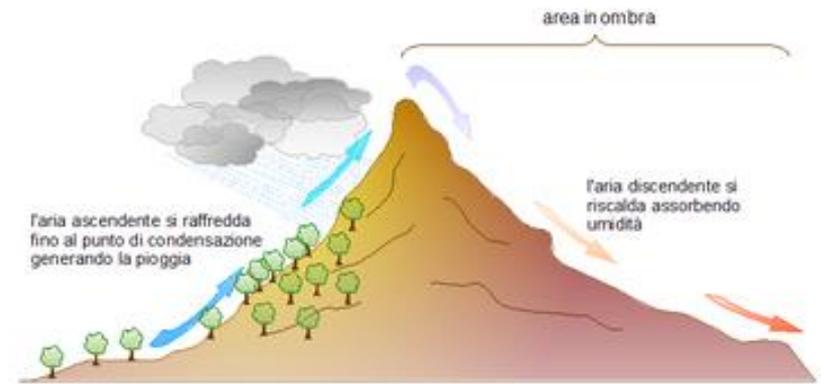
- Lenta ascendenza sopra un piano inclinato
- Condensazione per avvezione di aria più umida
- Condensazione per raffreddamento lungo moti ascendenti
- Rimescolamento turbolento delle masse d'aria



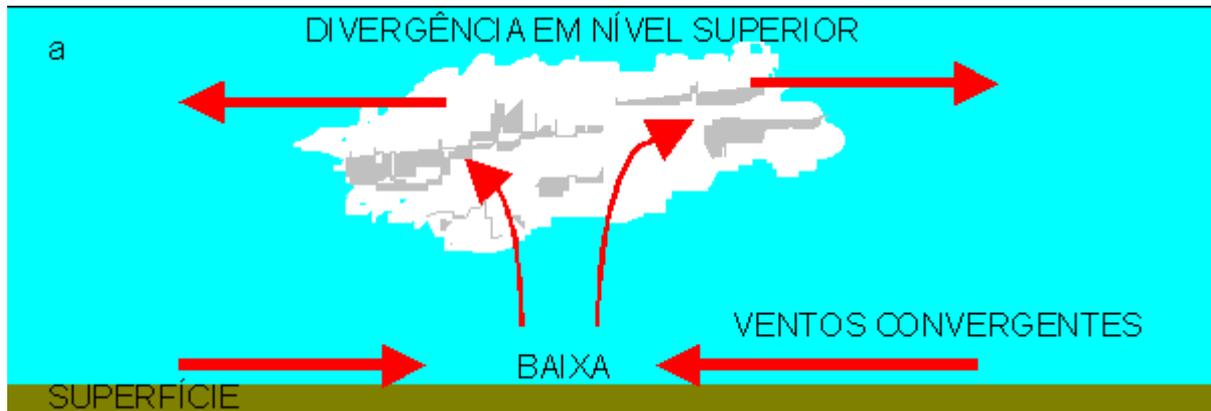
Dettagli dello sviluppo della nuvolosità in prossimità di un fronte caldo

Matteo Dei Cas © CML 2009

# Ascendenza orografica



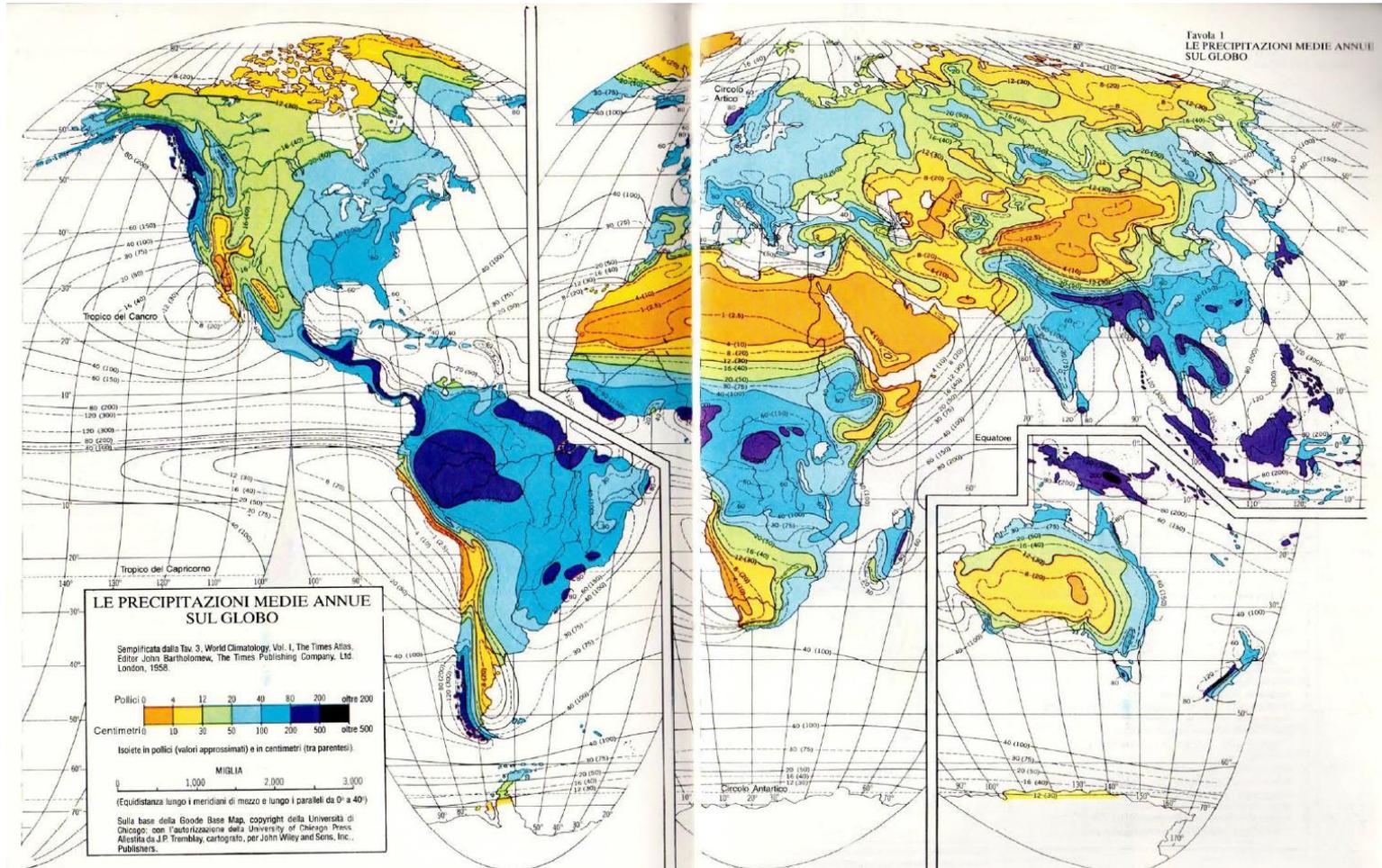
# Ascendência convergente

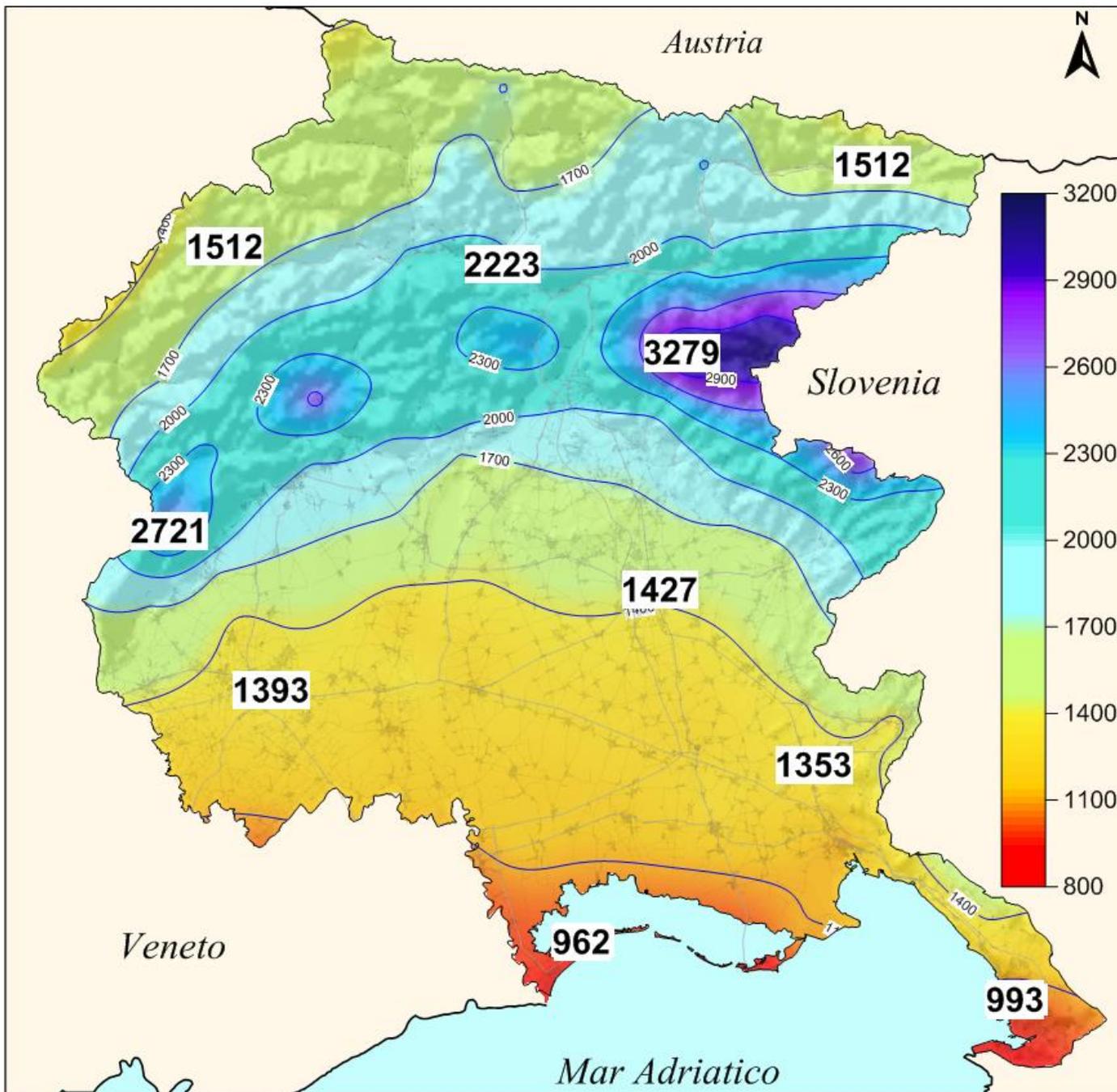


# Distribuzione globale delle precipitazioni

- La distribuzione delle precipitazioni è l'aspetto geografico più importante dell'umidità atmosferica
- È legata alle latitudini, ma entrano in gioco molti parametri che complicano la distribuzione
- Le linee di uguale precipitazione nelle carte delle precipitazioni sono dette isoiete

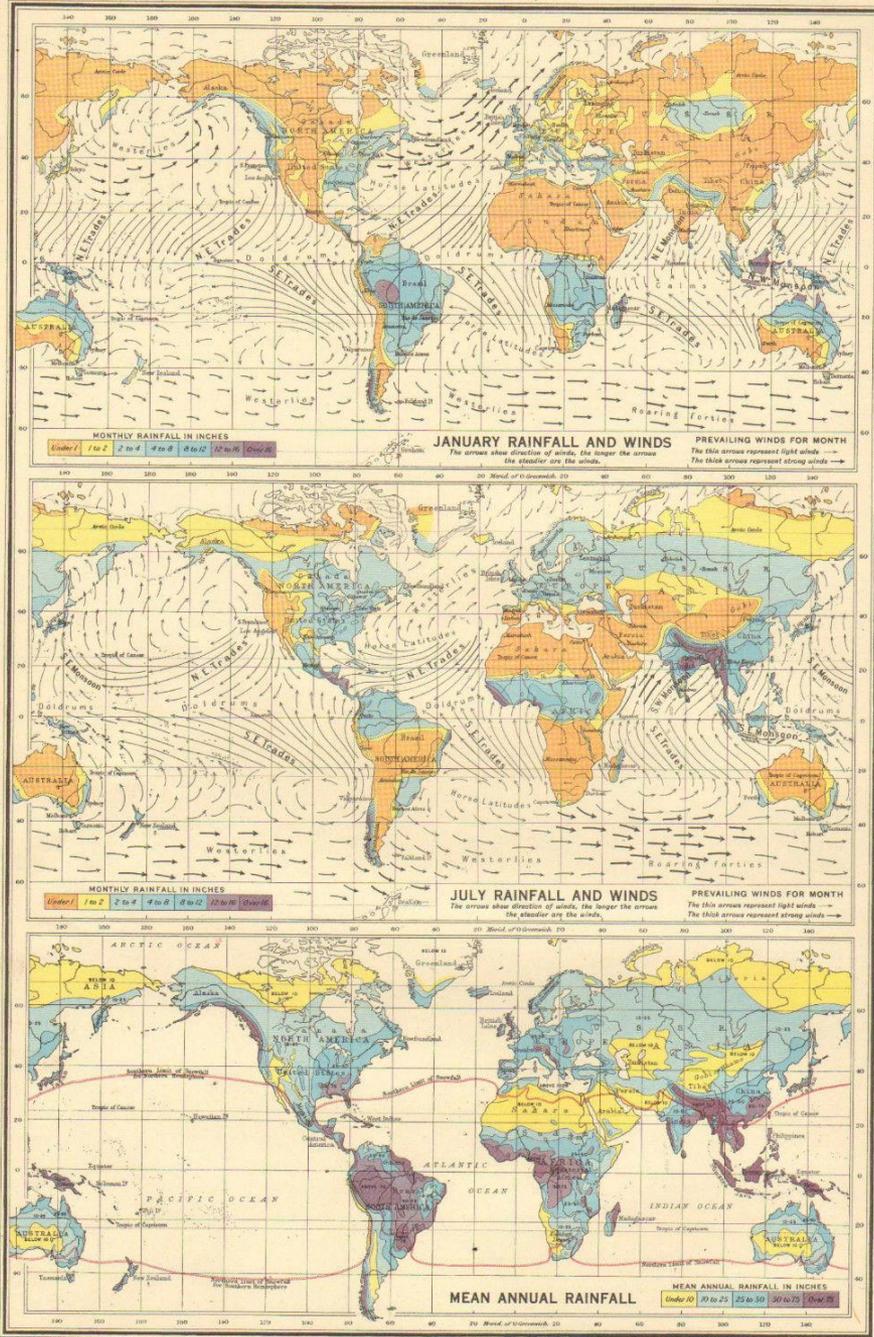
# Le precipitazioni medie annue

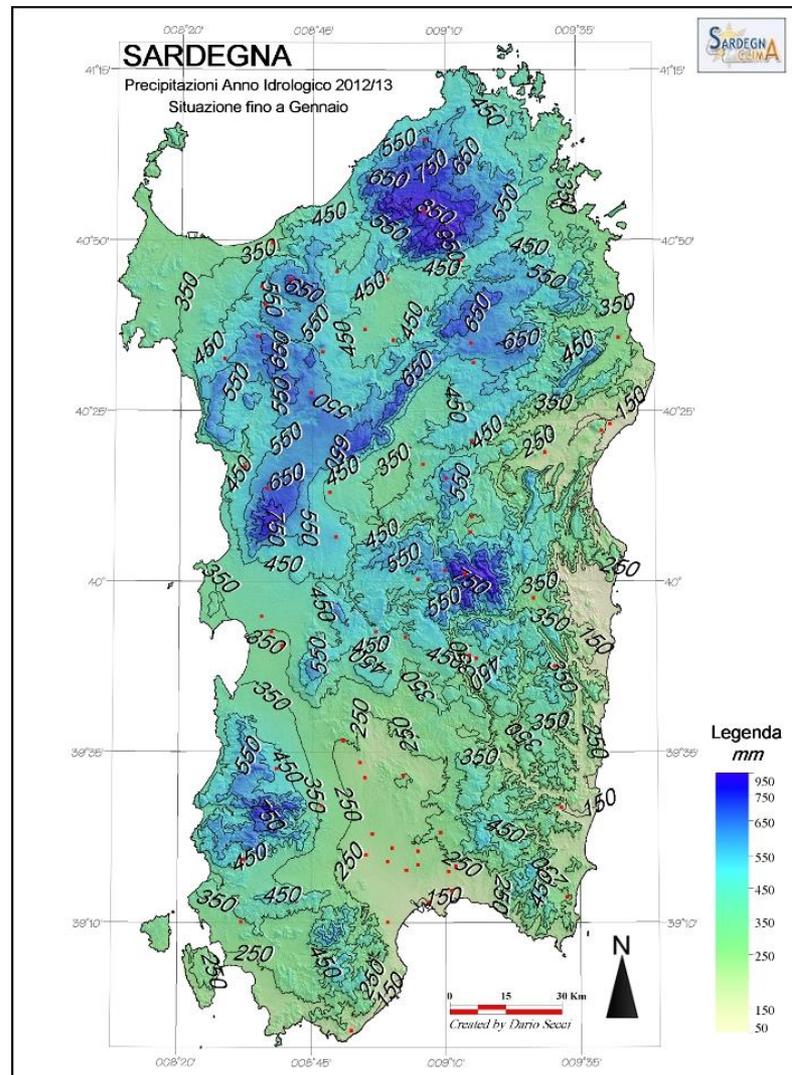
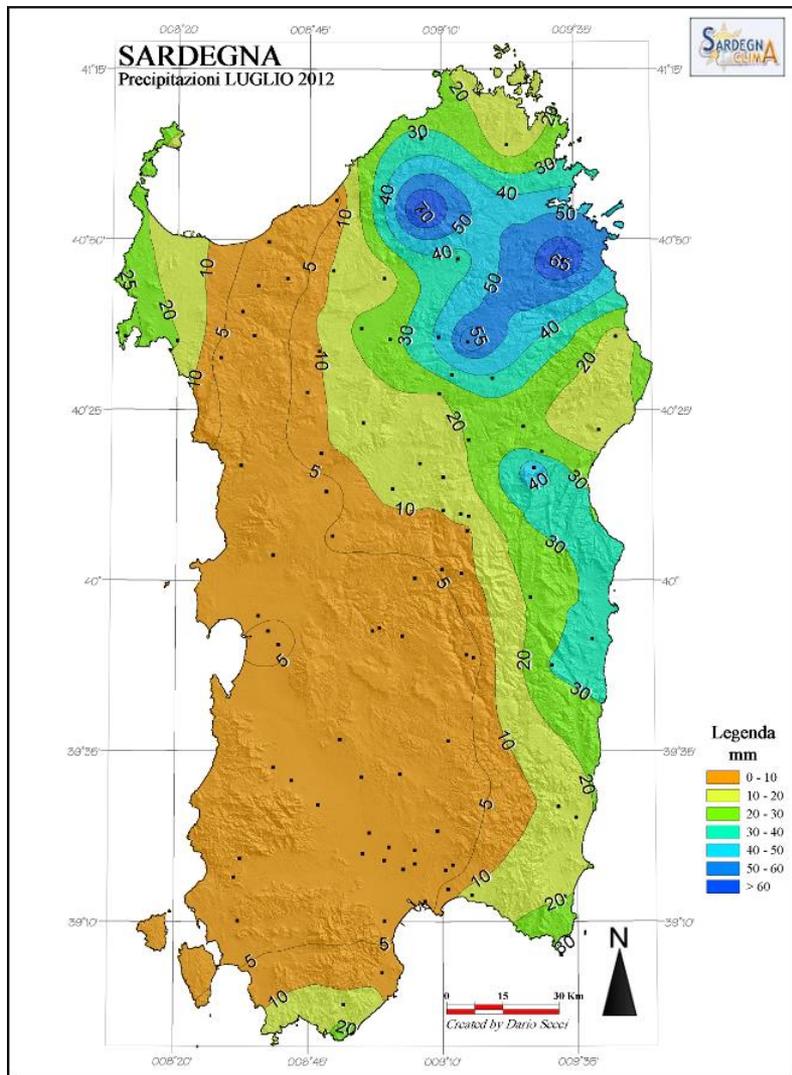




# Andamenti stagionali delle precipitazioni

- Differenze notevoli tra estate ed inverno, più pronunciata all'interno dei continenti, a causa del forte riscaldamento estivo
- Aree costiere regime pluviometrico più bilanciato





# Variabilità delle precipitazioni

- La variabilità è legata allo scostamento dalle precipitazioni medie per ciascun anno, espresso come percentuale sopra o sotto la media
- Variabilità massima in regioni aride, minima in regioni con precipitazioni abbondanti

# Impatto dell'umidità e delle precipitazioni sul territorio

- Può determinare zone più umide e più secche

