



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

Umidità atmosferica

Prof. **Manuela Pelfini**

1

Umidità atmosferica

Differenze geografiche tra zone secche e piovose.....

Conseguenza di:

Variazioni di temperatura, pressione e venti.. e **UMIDITA'** (quarto elemento del tempo e del clima)

Acqua è la componente più complessa del pianeta (3 stati, ciclo idrologico)

Interazione dell'acqua con tutte le componenti del pianeta Terra



2

Circolazione atmosferica e precipitazioni

L'acqua sulla Terra

Stato solido,
liquido, gassoso

Copre il 70% della superficie terrestre

Oceani, mari, laghi, fiumi ecc.
Ghiacciai, neve, ghiaccio marino
Acqua sotterranea

Acqua in atmosfera

Precipitazioni: caduta sulla superficie della T di acqua allo stato liquido o solido a seguito di condensazione

Condensazione: da raffreddamento della miscela aria-vapore si formano piccole gocce d'acqua (o cristalli di ghiaccio) che crescono fino a che non possono più rimanere in sospensione in atmosfera

Osservazioni alla scala del ciclo idrologico e molecolare

3

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Idrosfera

Mari: 97,2% (salata, salmastra)

Acqua dolce 2,8%

2,15% del totale nei ghiacciai

0,63% del totale = acque sotterranee

% rimanente piante/animali

0,001% vapore in atmosfera

- Importante perché attraverso precipitazioni ri-alimenta le riserve del pianeta
- I passaggi di stato sono elementi fondamentali per gli eventi meteorologici
- I flussi che si originano dai mari caldi (diretti verso aree più fredde) ridistribuiscono il calore

4

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Ciclo idrologico

Descrive i movimenti delle masse d'acqua tra atmosfera, terre emerse, oceani

Flusso e «archivio»

Evaporazione: da terre emerse e oceani

passa dallo stato liquido a vapore

(da oceani circa 6 volte rispetto ai continenti)

Condensazione: nubi e precipitazioni liquide e solide

(Precipitazioni su oceani circa 4 volte rispetto ai continenti)

- 1) evaporazione, 2) infiltrazione e percorso sotterraneo, 3) deflusso superficiale

Il bilancio dei flussi è nullo (la quantità di acqua è costante)

5

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Proprietà fisiche dell'acqua

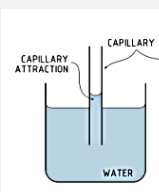
L'attrazione tra molecole produce **una tensione superficiale** e forma una pellicola esterna

Se: tensione superficiale + forza di adesione = possibile infiltrazione nei pori della roccia o suolo con un processo detto **capillarità**

Acqua = ottimo **solvente**

Dovuto al legame che l'idrogeno crea con altre molecole
L'acqua può così contenere minerali, particelle che si legano con altre sostanze

(acqua dei fiumi, laghi, del suolo....)



Perché studiarle? Esempio: processi di alterazione chimica e fisica della roccia

6

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Proprietà fisiche dell'acqua

Stato liquido (dominante)

Quindi grande efficacia come agente attivo nei processi atmosferici, litosferici e della biosfera

Stato solido: espansione al passaggio liquido/solido - ghiaccio

Acqua si contrae diminuendo la T fino a 4°C poi espansione al congelamento (+9%)

Tra 4°C e 0°C le molecole iniziano a formare strutture esagonali tenute insieme da legami idrogeno

Quando solidifica è organizzata nelle strutture esagonali



Ghiaccio è meno denso dell'acqua (0,92 g/cm³ - 1 g/cm³) - meno denso. Espansione subito prima del congelamento quindi acqua prossima a 0° risale - nei laghi il congelamento procede dalla superficie verso il basso

7

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Proprietà fisiche dell'acqua

Sempre dovuto al legame idrogeno è l'elevato **calore specifico** dell'acqua responsabile della sua inerzia termica

L'acqua necessita di un maggiore scambio di energia per scaldarsi o raffreddarsi

Calore specifico: determina la quantità di calore necessaria per innalzare la temperatura di una sostanza da 15° C a 16° C

(per aumentare energia cinetica delle molecole d'acqua deve essere rotto il legame idrogeno - serve gran parte dell'energia termica ricevuta)

Ricordare: clima più uniforme nelle località costiere

8

Circolazione atmosferica e precipitazioni

I tre stati fisici dell'acqua

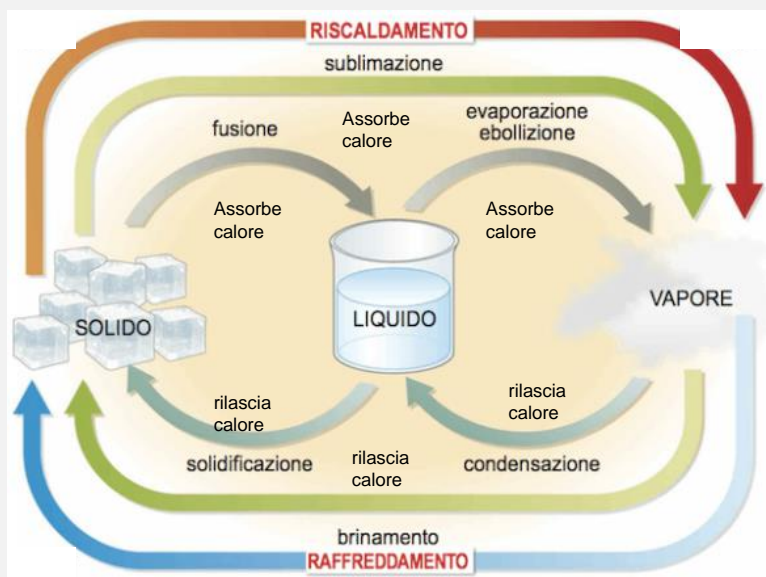
Solido - ghiaccio
Liquido - acqua
Gassoso - vapore

Per determinare un cambiamento di stato *solido-liquido* o *liquido-gas*
È necessaria energia per rompere i legami idrogeno
Tale energia è il **calore latente** (fornita dall'ambiente al contorno)

Nel passaggio *gas-liquido* o *liquido-solido* quando i legami si riformano
cedono calore all'ambiente

9

I tre stati fisici dell'acqua



10

sublimazione

Cubetti di ghiaccio ci riducono
anche in aria secca
Si usa sublimazione anche per il
passaggio opposto (brinamento)



<https://www.solofoielli.it/09072019/ghiaccio-secco-tutti-gli-utilizzi-in-cucina/11716>



<https://pixabay.com/it/photos/brina-inverno-freddo-natura-3940659/>

11

Vapore acqueo ed evaporazione

Vapore acqueo: gas incolore, inodore, insapore e invisibile – si mescola con altri gas dell'atmosfera (indicato di seguito come VA)

La quantità varia nel tempo nello spazio

Oltre la metà del VA è concentrato nei primi 1,5 km dalla superficie – minima parte oltre i 6 km

Il processo che immette vapore in atmosfera è l'evaporazione

***l'evaporazione** è il passaggio di stato dal liquido a quello aeriforme (gas o vapore) che coinvolge la sola superficie del liquido.*

Alla temperatura di ebollizione avviene invece il processo di ebollizione che coinvolge l'intero volume del liquido. Entrambi i processi rappresentano il cambiamento di stato da liquido ad aeriforme vengono complessivamente identificati sotto il nome di vaporizzazione.

12

Il tasso di evaporazione dipende da: temperatura di aria e acqua, quantità di vapore acqueo già presente in atmosfera, movimento dell'aria

temperatura: molecole di acqua calda si agitano di più delle molecole di aria acqua fredda – aria calda sulla superficie liquida facilita evaporazione (molecole collidono con acqua e cedono energia per rompere legami a idrogeno e far passare acqua allo stato di vapore)

Contenuto di vapore acqueo: la pressione esercitata dal vapore acqueo = tensione di vapore. Per ogni T dell'aria esiste una pressione di vapore massima che può essere esercitata dalle molecole di VA
Dipende dalla temperatura → acqua calda può contenere più VA dell'aria fredda.

Se le molecole di VA hanno raggiunto la tensione di vapore: l'aria ha raggiunto la saturazione - se superata si ha condensazione

Vento: se l'aria è in movimento le molecole di VA vengono disperse e il tasso di evaporazione aumenta.

13

Evapotraspirazione

Parte dell'evaporazione che deriva da suolo (limitata) e piante (animali-uomo)

L'umidità di una zona dipende dai tassi di evaporazione e di precipitazione

Evapotraspirazione potenziale:

Evapotraspirazione che si produrrebbe se il suolo fosse sempre imbevuto d'acqua

14

la quantità di vapore acqueo in atmosfera è detta umidità atmosferica

Umidità atmosferica

La quantità massima di vapore che una data quantità di aria può contenere dipende dalla temperatura

Conseguenze esempio:

Temperature elevate o estreme: con elevato tasso di umidità viene ridotta l'evapotraspirazione corporea nonché l'effetto di riduzione della temperatura.

Ricordare indicatori calore

L'umidità può variare molto da luogo a luogo anche nell'arco della giornata

La quantità di vapore che può essere contenuto in una data quantità di aria dipende dalla temperatura

L'aria calda contiene più vapore di quella fredda. A 20°C circa il triplo che a 0°C

15

Umidità assoluta

Misura diretta del contenuto di umidità nell'aria ovvero

Massa di vapore acqueo in un dato volume g/m^3 di aria

Se il volume d'aria cambia (es espansione) – cambia umidità assoluta

Non viene usata per descrivere umidità dell'aria ascendente o discendente

16

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Umidità specifica

Quantità di vapore contenuta in una data massa d'aria (g/kg) = *massa del vapore acqueo/ massa totale dell'aria*

usata per grandi masse d'aria

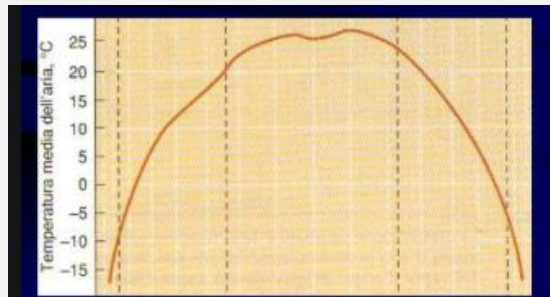
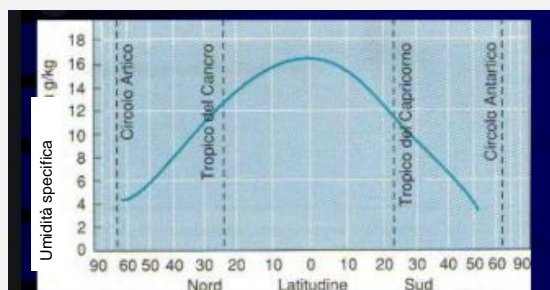
Umidità specifica:
maggiore nelle zone calde equatoriali
diminuisce via via verso i Poli

Regioni artiche: aria invernale fredda e secca –
umidità specifica anche < di 0,2 g/kg
Regioni equatoriali: - umidità specifica anche
18 g/kg
Grandi differenze!

17

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Umidità specifica



18



Tensione di vapore: contributo del vapore acqueo alla pressione atmosferica totale (si misura in millibar) – la massima pressione di vapore ad una data temperatura è detta tensione di vapore saturo



Circolazione atmosferica e precipitazioni

Temperatura di condensazione

U_s non rappresenta la quantità massima di vapore che un dato volume può contenere in ogni momento

Riferendosi alle condizioni di saturazione, **la quantità massima dipende dalla temperatura**

All'aumentare della temperatura, aumenta l'umidità specifica massima del punto di saturazione
L'aumento è esponenziale

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Temperatura di condensazione

Altro modo per descrivere il contenuto di umidità dell'aria

Temperatura di rugiada

Temperatura a cui inizia la condensazione sulle superfici

Se la T dell'aria diminuisce, diminuisce anche l'umidità specifica fino a che viene raggiunto il livello di saturazione
Se la T scende ulteriormente si ha condensazione

Detto anche "Dew Point": la temperatura nella quale l'aria diventa satura di vapore acqueo
Si arriva alla condensazione quando la **temperatura dell'aria** si abbassa, riducendo la quantità di energia disponibile a mantenere l'acqua in forma di vapore

21

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Temperatura di condensazione

Temperatura di rugiada

Esempio:
Condensa sulle finestre quando l'aria fresca notturna incontra la superficie esterna del vetro, abbassandone la temperatura mentre l'umidità all'interno della casa è sufficientemente alta da causare condensazione sulla superficie interna del vetro.



22

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Temperatura di rugiada



23

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Umidità relativa

Rapporto % tra la quantità di vapore acqueo presente nell'aria a una certa temperatura e la quantità massima che può essere contenuta

Cioè il rapporto tra umidità specifica e quella del valore di saturazione * 100

Se contiene il 100% si è al punto di rugiada

Se i valori di U specifica e di saturazione sono diversi, l'aria è insatura. Maggiori sono le differenze minore è l'umidità relativa

24

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Umidità relativa - cambiamenti

- 1) Per acquisto umidità es:
evaporazione dal suolo
(processo lento)
- 2) Per variazioni della
temperatura

25

Temperatura percepita

Si intende percepita dal corpo umano

Dipende da temperatura, umidità e vento

Giornata calda umida – si percepisce T maggiore (il sudore evapora con fatica e non esercita azione di raffreddamento)

Giornata calda secca – sudore/evaporazione efficaci quindi temperatura percepita minore

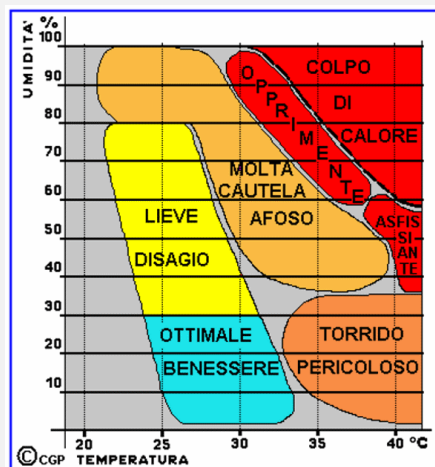
Il vento allontana calore dal corpo

Se $T < 0^{\circ} \text{C}$ l'abbassamento della T percepita è rilevante

26

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Umidità relativa – e temperatura dell'aria



27

L'effetto Wind-chill

Tabella per la valutazione dell'indice wind-chill ed effetti sull'organismo umano

V_{10m} [km/h] \ T_{aria} [°C]	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	-1	-8	-15	-22	-29	-36	-42	-49	-56	-63	-69	-76
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-80
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81

Legenda colori ed effetti sull'organismo umano

- Basso rischio di congelamento per la maggioranza delle persone
- Aumento del rischio di congelamento per la maggioranza delle persone con **30 minuti** di esposizione
- Elevato rischio di congelamento per la maggioranza delle persone con esposizione **da 5 a 10 minuti**
- Elevato rischio di congelamento per la maggioranza delle persone con esposizione **da 2 a 5 minuti**
- Elevato rischio di congelamento per la maggioranza delle persone con esposizione di **2 minuti o meno**

WINDCHILL

28

La condensazione

Opposto della evaporazione

Il vapore acqueo si trasforma in acqua (cambiamento di stato gas-liquido)

Per avere condensazione l'aria deve essere satura

Saturazione raggiungibile o per ingresso vapore acqueo o per diminuzione della temperatura

La saturazione non è sufficiente per causare condensazione (a causa della tensione di vapore che impedisce alla gocce di ingrandirsi)

Serve una superficie

In atmosfera sono i nuclei di condensazione: particelle igroscopiche

29

Acqua sopraffusa

Nelle nubi presenti goccioline di acqua anche a temperature inferiori a 0°C : l'acqua dispersa in microgoccioline può rimanere allo stato liquido fino a -40°C : acqua sopraffusa

Importanti per condensazione: favoriscono l'aggregazione di particelle di ghiaccio nelle nubi fredde

30

Processi adiabatici

Unico meccanismo con cui masse d'aria possono raffreddarsi fino alla T del punto di rugiada è la loro espansione durante moto ascensionale

Quando una massa d'aria viene sollevata verso gli strati più alti dell'atmosfera si raffredda (gas si espande)

Raffreddandosi può contenere un minor quantitativo di vapore
Viene raggiunto il punto di rugiada e si ha condensazione

I **gas** compressi aumentano la loro temperatura
I gas man mano che si espandono diminuiscono la loro temperatura

Processo adiabatico

Riscaldamento o raffreddamento di un gas senza scambio di calore con l'esterno.
Si verifica solo per variazione di pressione

31

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Processi adiabatici

La pressione atmosferica diminuisce con la quota
Quando una massa d'aria sale il gas/aria si espande (la pressione diminuisce) e si raffredda

Quando una massa d'aria discende, la pressione aumenta, i gas si comprimono e l'aria si riscalda

= Gradiente adiabatico verticale secco

Principio applicato a una massa d'aria che non si è ancora raffreddata fino al punto di saturazione

32

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Trasformazione adiabatica

Una trasformazione adiabatica inizia quando si generano, negli strati bassi dell'atmosfera, **differenze di temperatura fra masse d'aria vicine**.

(es quando le varie zone del terreno si scaldano in modo diverso; l'aria che si trova sulla zona più calda si scalda e, soprattutto, diviene più calda dell'aria circostante).

L'aria calda è **più leggera** di quella fredda, quindi **inizia a salire (bolla)**

Salendo attraversa zone con pressione via via minore che causa dilatazione della bolla d'aria che, di conseguenza, **si raffredda sempre più**.

("ritmo di raffreddamento" **costante**, circa **1 grado ogni 100 metri (gradiente adiabatico secco)**. (10 gradi ogni 1000 m)

33

Circolazione atmosferica e precipitazioni

gradiente adiabatico secco – non avviene condensazione



<https://blog.liveinup.it/esperienze-di-volo-blog/volo-in-deltaplano>



<https://www.lagomaggioreguide.com/parapendio-lago-maggiore/>

Diverso da **gradiente termico dell'atmosfera**: come varia la T di una massa immobile con l'altitudine

Si applica ad una massa d'aria che sale

34

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Processi adiabatici (2)

La quota a cui inizia
condensazione e formazione
nubi: **livello di condensazione
per sollevamento**

Proseguendo nella salita il gradiente diminuisce fino al
livello di condensazione
(dato dalla T iniziale dell'aria e dal punto di rugiada iniziale)
(il punto di rugiada diminuisce con l'altezza - 1,8° ogni 100m)

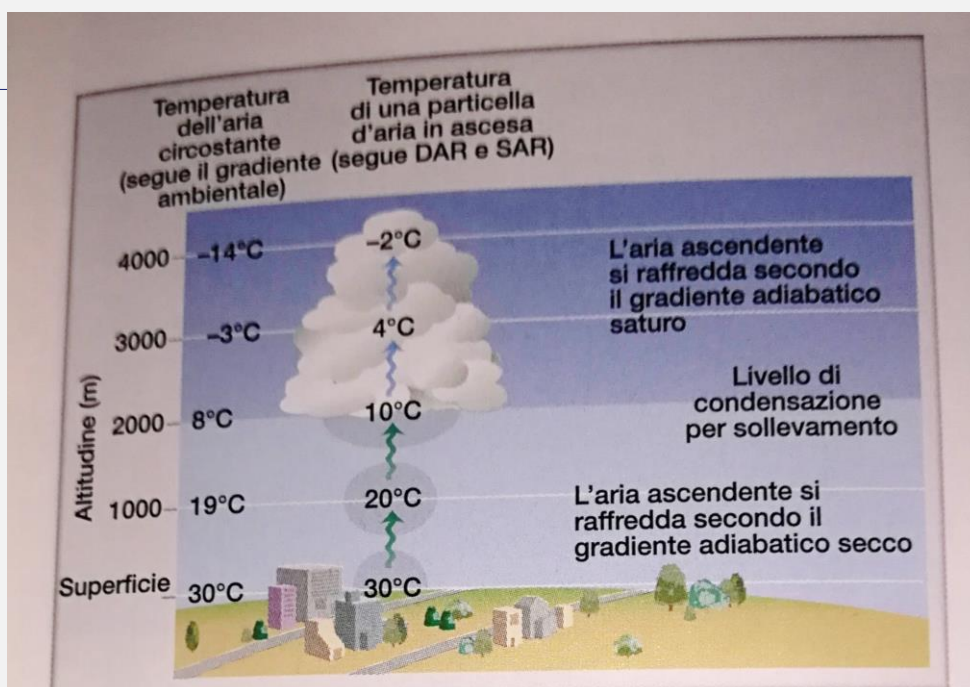
*Viene emessa energia latente di condensazione
Quindi l'aria si raffredda e al contempo si riscalda per
calore latente - prevale il raffreddamento*

Quindi l'aria continua a raffreddarsi ma con una velocità
minore (tra 4° e 9° ogni 1000 m valore medio 5°/1000m)
*Continua il processo di condensazione gocce acqua-ghiaccio
- formazione nubi*

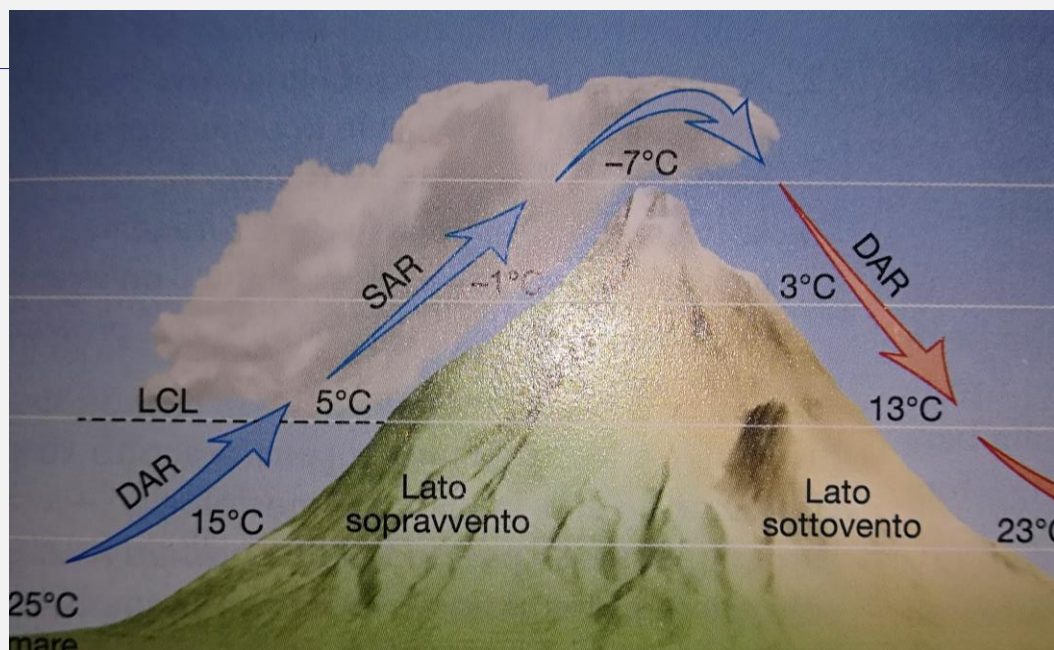
= Gradiente adiabatico verticale umido (o saturo)

Individuabile dalla base
piatta delle nubi

35



36

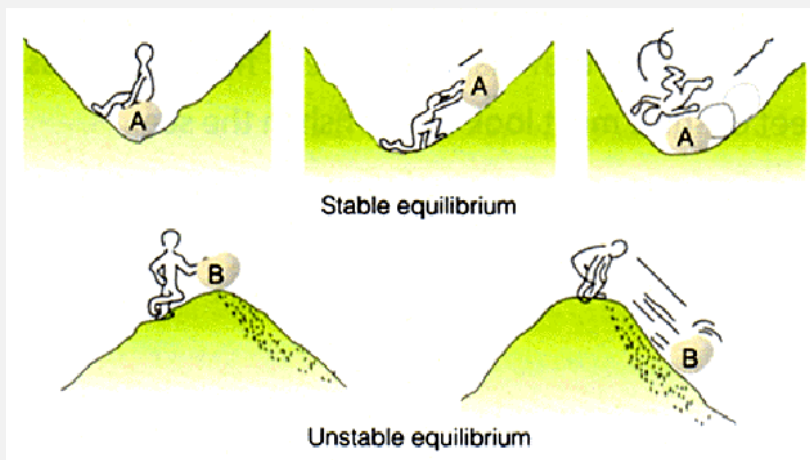


37

Quindi....

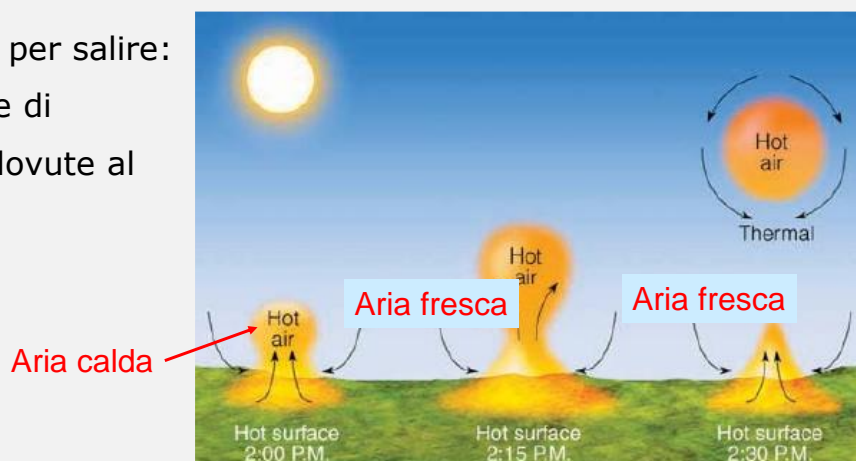
Cosa porta l'aria a salire, e quindi a formare una nuvola?

1. Questione di stabilità



38

2. Energia per salire:
formazione di
termiche dovute al
sole.



39

3. Orografia: ascesa forzata della massa d'aria.

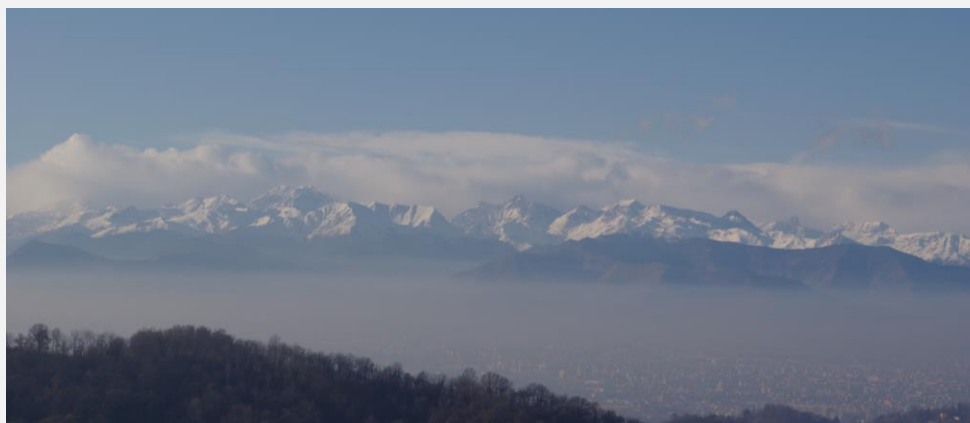
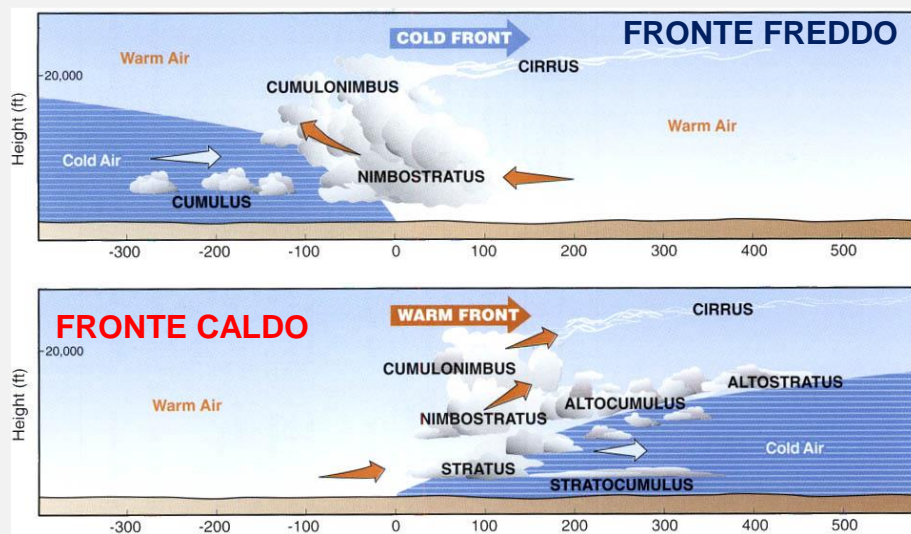


Foto Golzio

40



4. Fronti:
scontri tra
masse d'aria
differenti.
(concetto che
verrà ripreso più
avanti)

41



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

Circolazione atmosferica e precipitazioni classificazione delle nubi

Prof. Manuela Pelfini

42

Circolazione atmosferica e precipitazioni

Nubi -classificazione

La classificazione delle nubi fu proposta per la prima volta nel Dicembre 1802 dal farmacista Luke Howard. Oggi viene mantenuta aggiornata dalla OMM (WMO) e disponibile sul sito.

<https://cloudatlas.wmo.int/home.html>

La classificazione riguarda innanzitutto la **quota** della nuvola:

alte (Cirri)

medie (Altostrati, altocumuli)

basse (Cumuli, strati)

a tutte le quote (Cumulonembi)

Poi si suddivide in base alla forma, che ne determina il **genere**.

Materiali e foto di A.Golzio
rielaborati

43

La classificazione delle nubi

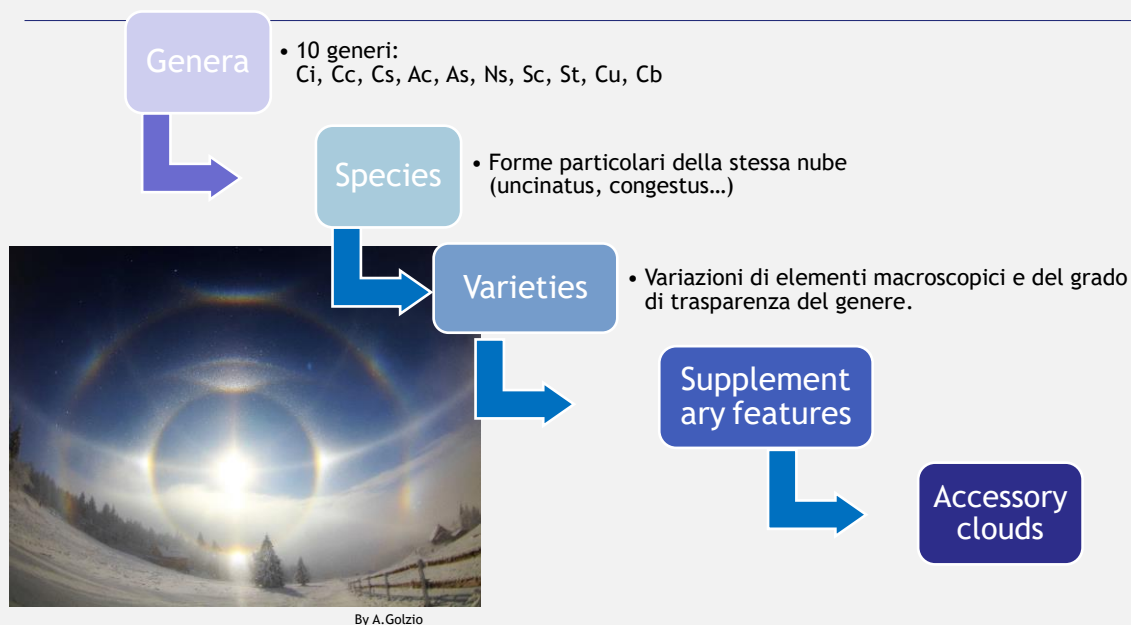
Le quote limite variano a seconda della **latitudine**, poiché varia anche lo spessore della **troposfera**.

Level	Genera	Polar region	Temperate region	Tropical region
High	Cirrus Cirrocumulus Cirrostratus	3 – 8 km	5 – 13 km	6 – 18 km
Middle	Alto cumulus Altostratus Nimbostratus	2 – 4 km	2 – 7 km	2 – 8 km
Low	Stratus Stratocumulus Cumulus Cumulonimbus	From the Earth's surface to 2 km	From the Earth's surface to 2 km	From the Earth's surface to 2 km
Troposphere		8 km	13 km	18 km

By A. Golzio

44

La classificazione delle nubi



45

Nubi alte



Cirri sparsi con qualche cirrocumulo

Solo qualche esempio – tutte le foto sono presentate a lezione

Foto (tutte) di A. Golzio

46

Nubi medie



Altocumuli

47

Nubi medie



Altocumulus undulatus

48

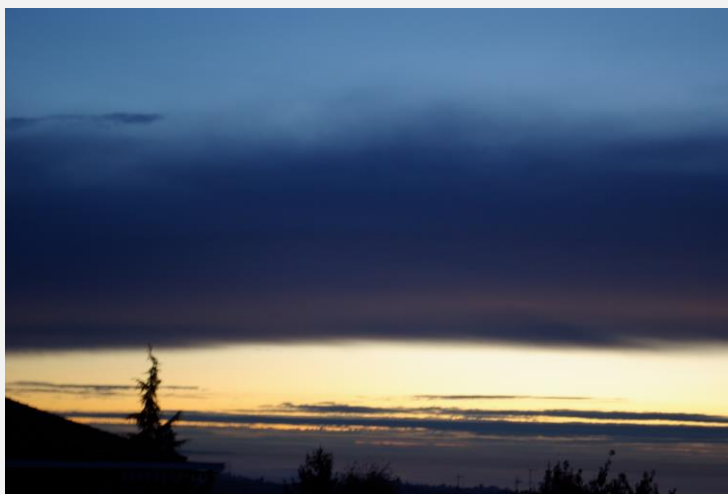
Nubi basse



Cumuli del bel tempo

49

Nubi basse



Nembostrati

50

50

Nubi basse



Cumulonembo

51

Tempo e Clima

Il **Tempo** è caratterizzato dalle condizioni fisiche e termodinamiche dell'atmosfera in un determinato istante (1h – 1 giorno *fino ad alcuni anni*) e in un determinato luogo (spazialmente ristretto).

Il **Clima** è caratterizzato dalle condizioni meteorologiche mediate su un periodo lungo (minimo 30 anni, WMO) per una certa area, spazialmente più vasta di quella predetta.

52