

www.ufficiometeo.it



ufficiometeo.it

CORSO DI METEOROLOGIA GENERALE E AERONAUTICA 7 - Le Nubi

DEFINIZIONE - CLASSIFICAZIONI
CLASSIFICAZIONE PER ALTEZZA DELLA BASE
CLASSIFICAZIONE W.M.O.
CLASSIFICAZIONE PER PROCESSI DI FORMAZIONE
PROCESSI ATMOSFERICI ADIABATICI
ANALISI DEI PRINCIPALI GENERI DI NUBE

Dr. Marco Tadini
meteorologo

U.M.A. Home Page - Ufficio Meteorologico Aeroportuale
www.ufficiometeo.it

DEFINIZIONE

- agglomerato visibile di **acqua** e **pulviscolo atmosferico**
 - acqua nella fase liquida o solida
 - pulviscolo atmosferico **igroscopico**
- elementi concentrati nella fascia troposferica
 - non vi è meteorologia a quote superiori alla troposfera
- nubi non troposferiche non hanno significato meteo
 - nubi madreperlacee (stratosfera)
 - nubi nottilucenti (mesosfera)

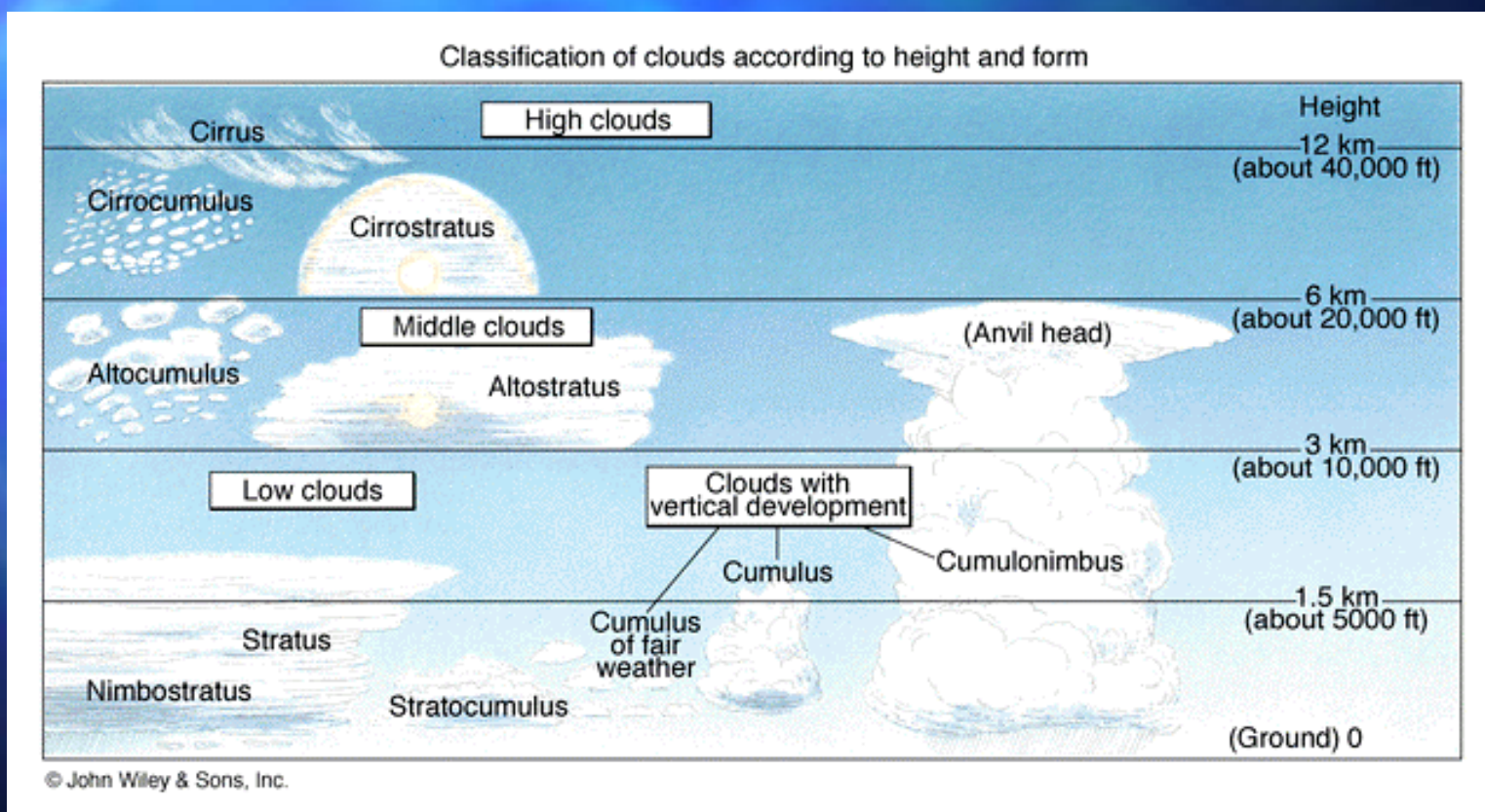
CLASSIFICAZIONE

- per altezza della base
 - alte, medie, basse, ampio sviluppo verticale
 - nubi speciali
 - non troposferiche o troposferiche non meteorologiche
- WMO/OMM, Atlante delle Nubi
 - generi, specie, varietà
 - particolarità supplementari e nubi accessorie
- per processi di formazione
 - frontali calde e fredde, convettive, orografiche

CLASSIFICAZIONE PER ALTEZZA DELLA BASE

- **nubi alte**
 - Ci cirri, Cs cirrostrati, Cc cirrocumuli
 - scie di condensazione
- **nubi medie**
 - Ac altocumuli, As altostrati
- **nubi basse**
 - St strati, Sc stratocumuli, Ns nembostrati
- **nubi a sviluppo verticale**
 - Cu cumuli
 - Cb cumulonembi

CLASSIFICAZIONE PER ALTEZZA DELLA BASE



CLASSIFICAZIONE WMO/OMM

- 10 generi
 - *nomi* delle nubi (cirri, cirrostrati, cirrocumuli, ecc.)
 - autoescludenti
- 14 specie
 - suddividono i generi in base a:
 - forma e dimensione
 - processi fisici coinvolti nella formazione nube
 - autoescludenti
- 9 varietà
 - determinate considerando caratteristiche nube
 - es.: trasparenza e posizione di elementi macroscopici interni
 - non autoescludenti

CLASSIFICAZIONE PROCESSI DI FORMAZIONE

- portare massa d'aria al **punto di rugiada**
 - temperatura tale da avviare condensazione vapore acqueo
- tre meccanismi principali
 - **nubi frontali**
 - per innalzamento di masse aria calda nei cicloni extratropicali
 - maggior parte nubi classificabili ha origine frontale
 - differenziate in **frontali calde** e **frontali fredde**
 - **nubi convettive**
 - per innalzamento convettivo di bolle di aria
 - **nubi orografiche**
 - per innalzamento meccanico di bolle d'aria
 - impatto con ostacoli orografici

NUBI FRONTALI CALDE

- innalzamento di massa aria calda
 - internamente ai cicloni extratropicali (perturbazioni)
 - ad est del centro di bassa pressione
- nubi stratiformi da fronte caldo
 - aria calda scivola lentamente su aria fredda
 - nubi a dimensione orizzontale più elevata di quella verticale
 - all'avvicinarsi di un fronte caldo, nubi di altezza decrescente
 - cirri, cirrostrati e cirrocumuli (ghiaccio)
 - altocumuli e altostrati (ghiaccio e acqua)
 - strati, stratocumuli, nembostrati (acqua)
 - precipitazioni deboli ma lunga durata
 - iniziano con altostrati e con possibile *virga*
 - pioggia, neve, pioggia congelante

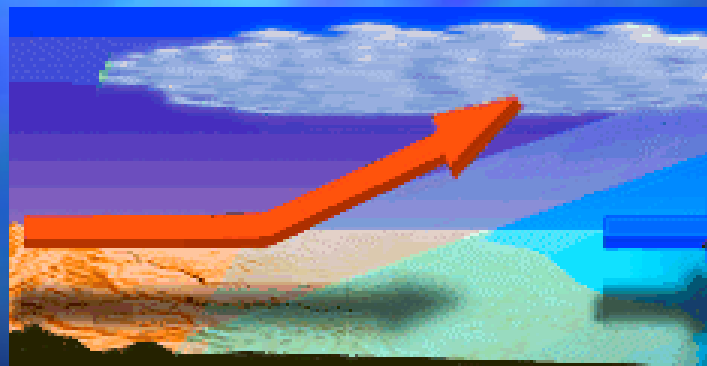
NUBI FRONTALI FREDDE

- innalzamento di massa aria calda
 - internamente ai cicloni extratropicali (perturbazioni)
 - ad ovest del centro di bassa pressione
- nubi cumuliformi da fronte freddo
 - aria fredda sbalza violentemente aria calda verso l'alto
 - dimensione verticale più pronunciata di quella orizzontale
 - cumuli, cumuli imponenti o torreggianti, cumulonembi
 - precipitazioni intense ma breve durata
 - rovesci, temporali

NUBI FRONTALI

CALDE

FREDDE



NUBI CONVETTIVE

- innalzamento di bolle di aria calda
- diverso riscaldamento della superficie terrestre
 - terreni diversi hanno diverso **calore specifico**
 - calore da assorbire per aumentare temperatura di 1°C
 - calore rilasciato quando temperatura diminuisce di 1°C
 - atmosfera trasparente a radiazione solare diretta
 - suolo si scalda assorbendo radiazione solare diretta
 - suolo riemette energia assorbita come radiazione infrarossa
 - presenza di nubi impedisce dispersione calore nello spazio
 - effetto serra

NUBI CONVETTIVE

- diverso riscaldamento di limitate regioni di atmosfera
 - bolle di aria calda, più leggere atmosfera circostante
 - le bolle prendono movimento ascensionale
 - salendo si espandono, raffreddandosi **adiabaticamente**
 - raffreddamento di 1°C ogni 100 metri di quota
 - γ **adiabatico aria secca** (UR inferiore 100%) = 1°C / 100 m
 - senza scambio di calore con atmosfera circostante
 - possono raggiungere livello di condensazione
 - favorevoli condizioni di instabilità atmosferica
 - confronto tra γ gradiente termico atmosferico e γ adiabatico
 - originano nubi cumuliformi
 - base al livello di condensazione
 - altezza dipendente dall'instabilità atmosferica

TRASFORMAZIONI ADIABATICHE SECCHHE

- variazioni di quota di bolla di aria non umida
 - variando quota, bolla varia pressione interna
 - uguagliare pressione ambientale
 - espandersi se sta innalzandosi
 - comprimersi se sta discendendo
 - caso espansione (bolla aumenta la quota):
 - per espandersi la bolla deve usare energia
 - principale sorgente di energia è il moto molecole di aria
 - energia del moto molecole è funzione della temperatura
 - energia usata per espansione sottratta al moto molecole
 - diminuzione della temperatura
 - caso compressione (bolla diminuisce la quota)
 - aumento della temperatura

TRASFORMAZIONI ADIABATICHE SECCHE

■ ADIABATICA

- senza importanti scambi di calore con ambiente
- dal greco adiabathos = impenetrabile

■ SECCA

- non considerati effetti di condensazione o evaporazione

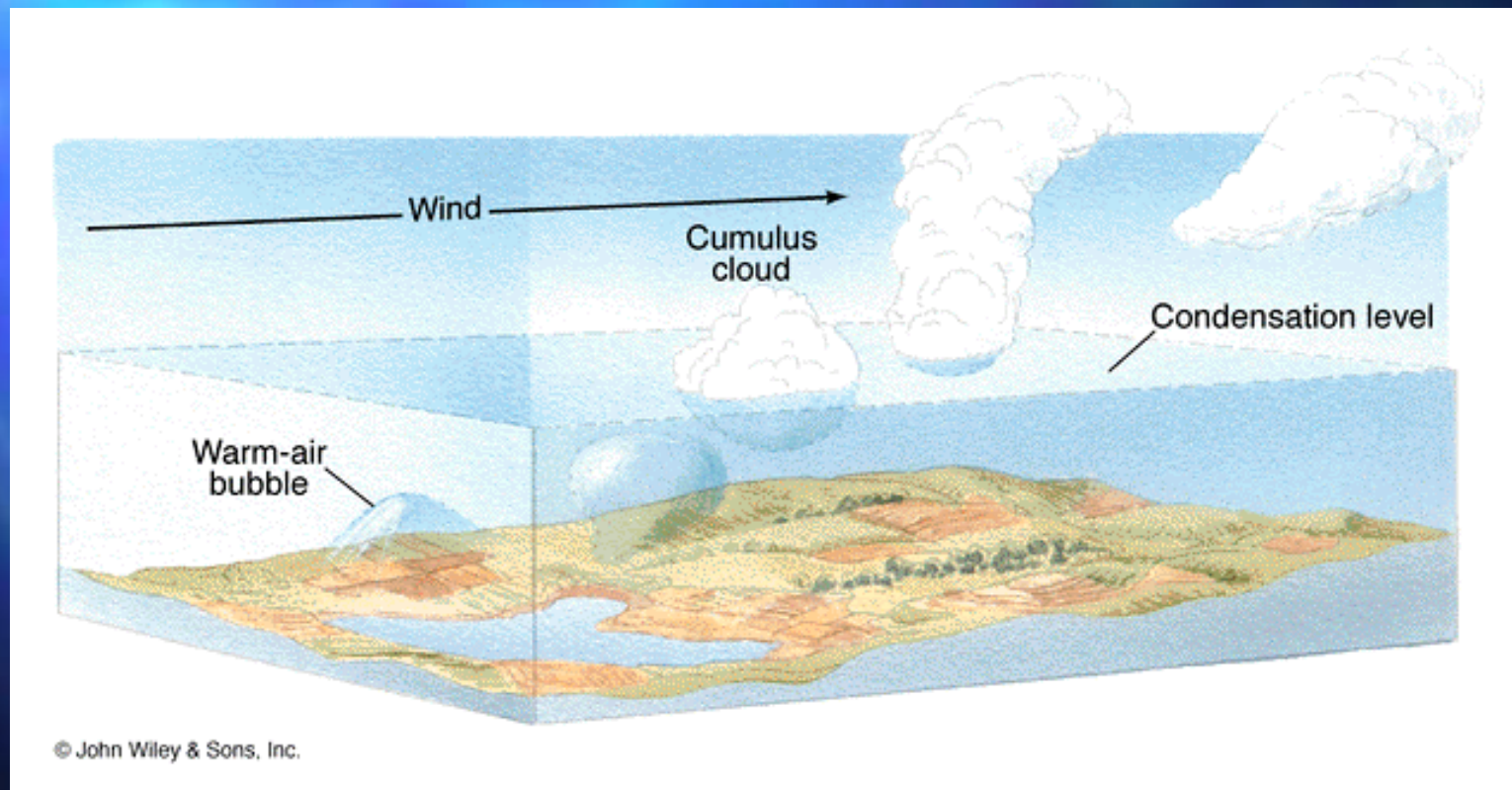
■ temperatura varia di 1°C ogni 100 metri di quota

- γ adiabatico aria secca (UR inferiore 100%) = 1°C / 100 m

■ con avvio della condensazione:

- rallentamento processo di raffreddamento aria
 - restituzione del calore latente di evaporazione
- in aria umida gradiente adiabatico minore rispetto aria secca
 - vara tra 0,5 e 0,8°C ogni 100 metri
 - dipende dalla quantità di acqua che condensa in unità tempo
 - **umidità assoluta**: grammi di vapore acqueo per metro cubo aria

NUBI CONVETTIVE

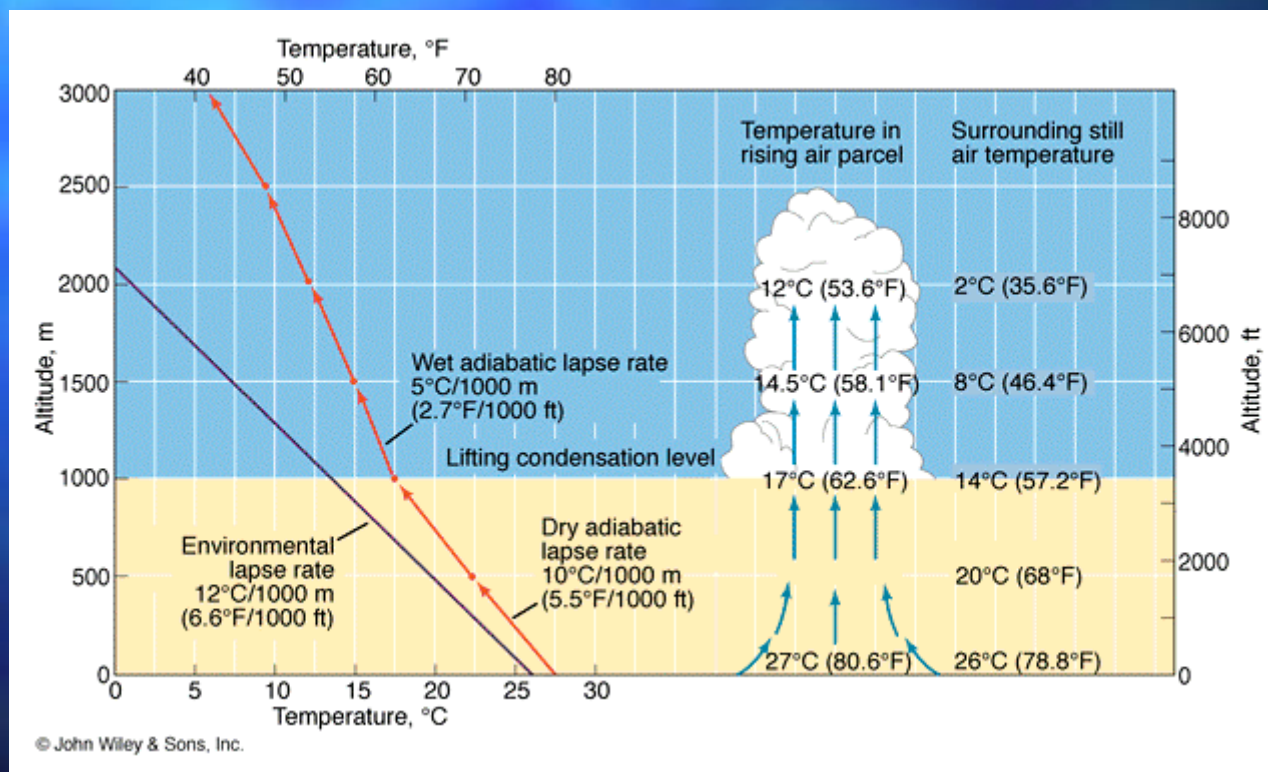


STABILITA' E INSTABILITA' ATMOSFERICA

- tre stati atmosfera secca (UR inferiore al 100%)
 - atmosfera adiabatica o in equilibrio indifferente
 - indifferente ai moti ascensionali al proprio interno
 - γ atmosfera = γ adiabatico = $1^\circ\text{C}/100$ metri
 - atmosfera superadiabatica o in equilibrio instabile
 - interviene favorendo i moti ascensionali al proprio interno
 - γ atmosfera maggiore $1^\circ\text{C}/100$ metri
 - atmosfera subadiabatica o in equilibrio stabile
 - interviene contrastando i moti ascensionali al proprio interno
 - γ atmosfera minore $1^\circ\text{C}/100$ metri

STABILITA' E INSTABILITA' ATMOSFERICA

NUBI CUMULIFORMI IN ATMOSFERA SUPERADIABATICA

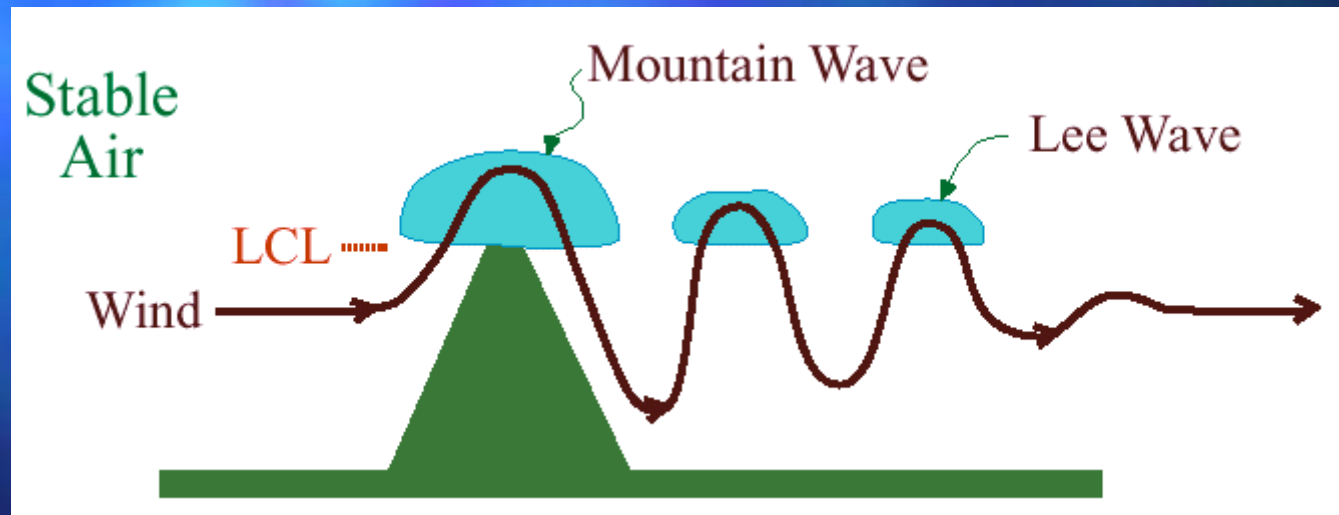


NUBI OROGRAFICHE

- innalzamento meccanico di bolle d'aria
 - correnti atmosferiche impattano ostacoli orografici
- nubi dipendenti dallo stato atmosfera all'impatto
 - nubi stratiformi se condensazione in atmosfera stabile
 - nubi cumuliformi se condensazione in atmosfera instabile
- se ostacolo è una catena: **onde orografiche**
 - sottovento le correnti assumono forma ondulata
 - formazioni di nubi nelle creste delle onde
 - aria condensa nella fase ascensionale dell'onda
 - condensazione termina nella fase di discesa
 - risultano nubi caratteristiche:
 - forma lenticolare (forma cresta onda)
 - sono stazionarie (in corrispondenza della cresta d'origine)
 - quota media troposferica (altocumuli)

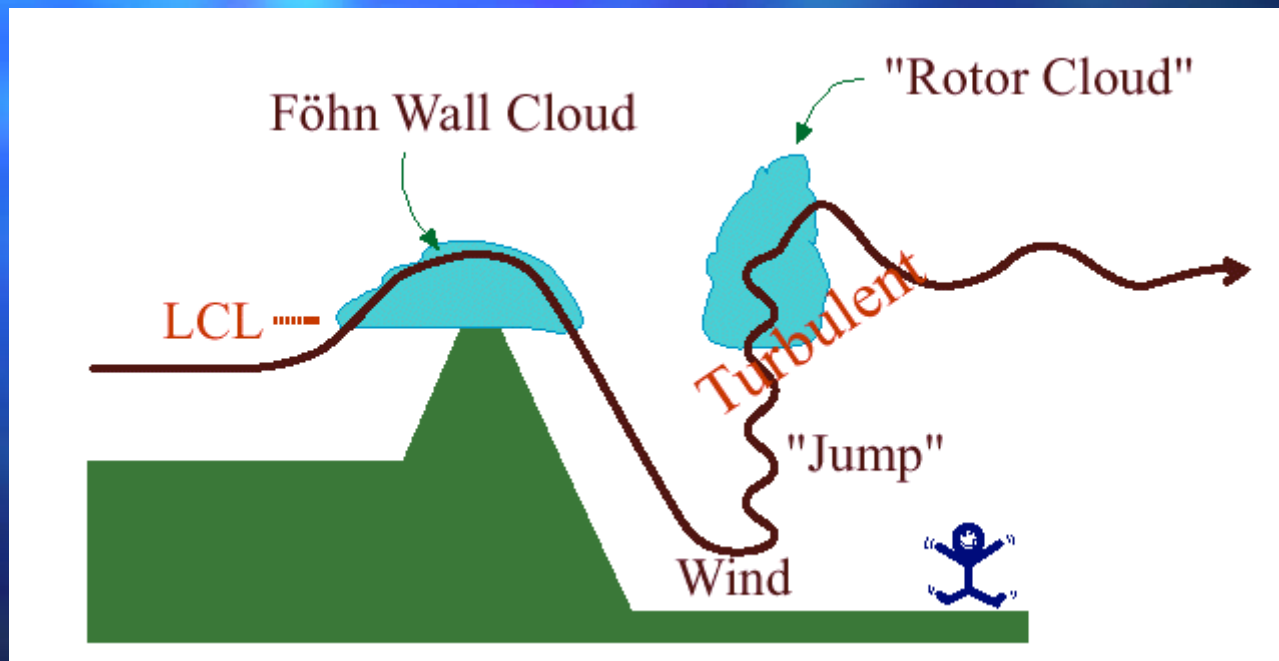
NUBI OROGRAFICHE

FORMAZIONE DI NUBI OROGRAFICHE IN ATMOSFERA STABILE



NUBI OROGRAFICHE

FORMAZIONE DI NUBI OROGRAFICHE IN ATMOSFERA INSTABILE



PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI DIVERSI GENERI DI NUBE

- *genere* secondo la classificazione WMO/OMM
 - cirri, cirrostrati, cirrocumuli, ecc.
- *analisi* secondo la classificazione per altezza base
 - alte, medie, basse, ecc.

NUBI ALTE

- livelli superiori troposfera
- oltre 6000 Metri, circa 20.000 piedi
- disposte secondo direzione vento in quota
 - tendenzialmente occidentali (*westerlies*)
- non portano precipitazioni
 - composte da ghiaccio
- velocità apparente bassa

NUBI ALTE

- **Ci, cirri**
 - privi di uniformità, spesso sottili e a ciuffi con riccioli
 - anche origine non frontale
 - decadimento parte superiore cumulonembi
- **Cs, cirrostrati**
 - velo uniforme a coprire il cielo
 - Sole o Luna danno effetto di alone
 - diffrazione luce dai cristalli ghiaccio della nube
- **Cc, cirrocumuli**
 - “celle” allineate come ondulazioni della sabbia
 - moto ondoso o turbolenza in strati umidi alta troposfera
- **scie di condensazione**
 - aeromobili in quota in aria molto fredda
 - immediata sublimazione vapore gas scarico

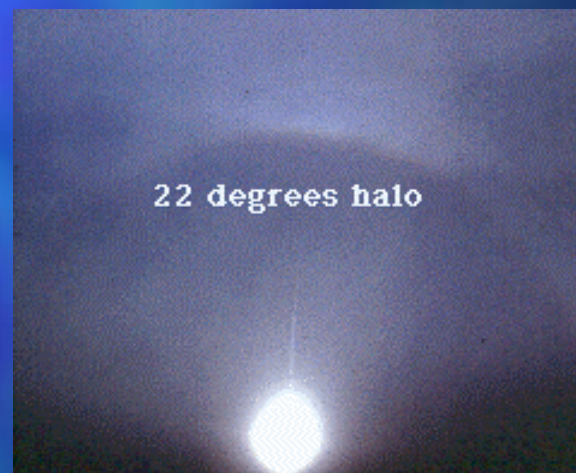
NUBI ALTE

CIRRI



NUBI ALTE

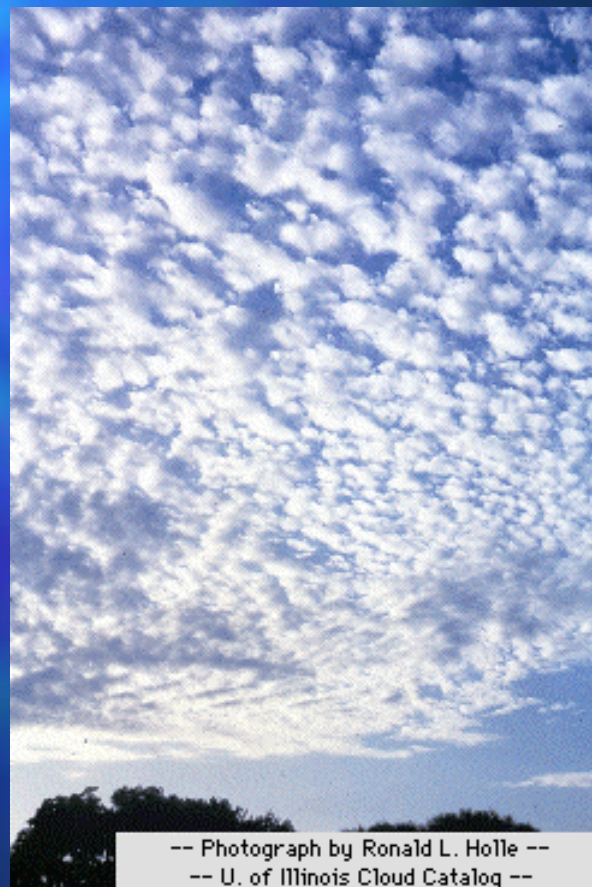
CIRROSTRATI CON ALONE



NUBI MEDIE

- strati troposferici intermedi
 - tra 2000 e 6000 metri (6500 e 20.000 piedi)
- composte principalmente da gocce di acqua
 - anche cristalli ghiaccio se temperatura bassa
- **Ac, altocumuli**
 - struttura a bande o globulare, anche in più strati successivi
 - fratture interne se turbolenza in strati umidi media troposfera
 - corrispondenti ai Cc nella media troposfera
 - ma non producono alone
 - ombreggiature interne non visibili nei Cc
- **As, altostrati**
 - aspetto sottile e nebbioso, grigio scuro se molto spessi
 - possono arrivare a confondersi con nubi più alte o basse
 - pioggia debole che spesso evapora in quota (virga)

NUBI MEDIE
ALTOCUMULI



-- Photograph by Ronald L. Holle --
-- U. of Illinois Cloud Catalog --

NUBI BASSE

- base al di sotto dei 2000 metri (6500 piedi)
- composte principalmente da gocce di acqua
 - anche cristalli ghiaccio o neve se temperatura bassa
- **Sc, stratocumuli**
 - versione a basso livello dei Cc e Ac
 - spesso in strati multipli anche in combinazione con Ac
 - caratteristica struttura a bande o rotoli
 - nei primi chilometri di quota per innalzamento turbolento di aria oltre livello condensazione bande disposte trasversalmente a direzione del vento dissolvono sottovento e formano sopravvento Sc sembra in lento rotolamento attraverso il cielo
 - negli strati bassi al di sotto delle inversioni termiche turbolenza nei bassi strati conferisce struttura a rotoli

NUBI BASSE STRATOCUMULI



NUBI BASSE

■ St, strati

- aspetto uniforme senza particolari caratteristiche
- base spesso sotto i 500 metri (1650 piedi)
- oltre al meccanismo frontale, anche:
 - strati per innalzamento nebbia
 - aspetto tenue e sottili
 - stessa nebbia è considerata uno strato con base al suolo
 - nebbie di montagna (hill fog)
 - condensazione di venti umidi che innalzano su colline o coste
 - frattostrati
 - pioggia o neve da nube alta in aria chiara sottostante
 - raffreddamento a tratti produce macchie di nubi frastagliate
 - strati con base alta, che non tocca il suolo
 - venti caldi che raffreddano soffiando su superfici innevate

NUBI BASSE

■ Ns, nembostrati

- immediatamente precedenti al fronte caldo
- provocano pioggia e neve
- nubi spesse ed estese
 - base spesso indistinguibile per le precipitazioni
 - se precipitazioni intense, l'intera nube diviene amorfa
 - spessore tale che alcuni autori non considerano il Ns stratiforme
 - nube ad intenso sviluppo verticale
- alto contenuto di acqua
- severi fenomeni di icing su aeromobili

NUBI BASSE NEMBOSTRATI

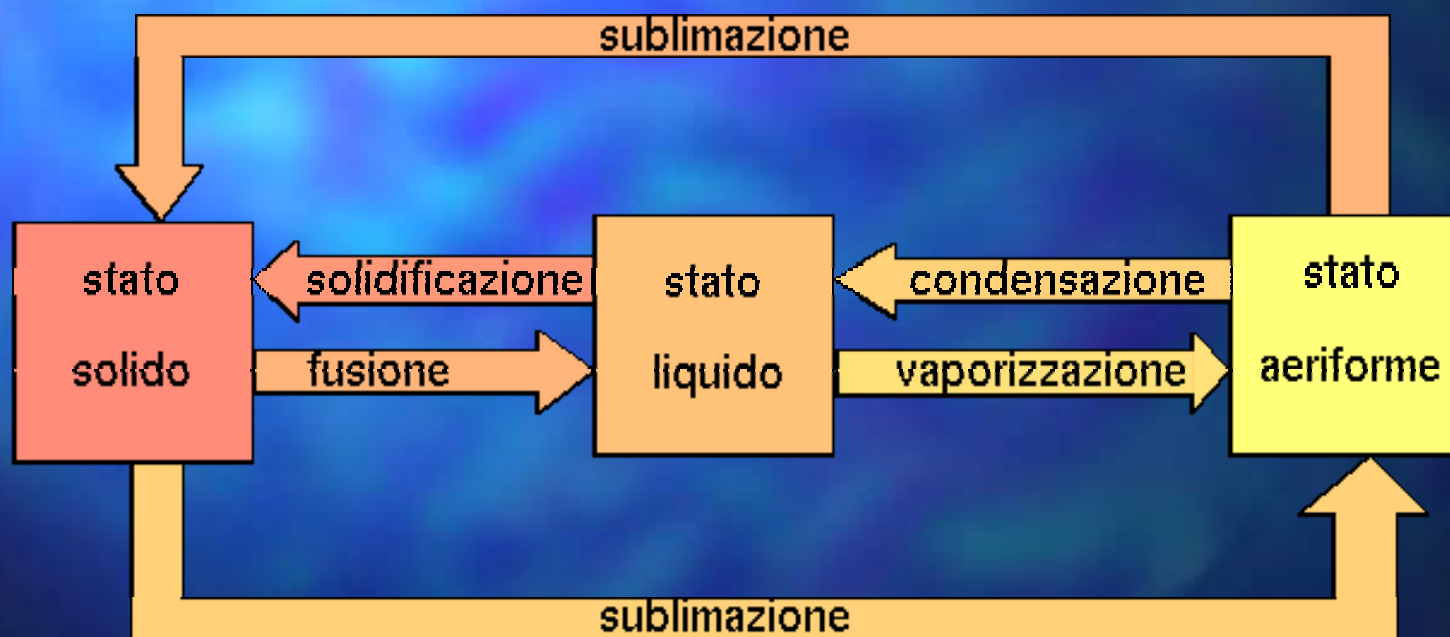


NUBI A SVILUPPO VERTICALE

- origine frontale o termica
- tendono a formarsi separatamente
 - disposte in linea se origine fronte
 - sparpagliate se origine termica
- dimensioni verticali dipendenti da instabilità atmosfera
 - anche maggiori di 12.000 metri
- assorbono e rilasciano grandi quantità di energia
 - calore latente acqua

CAMBIAMENTI DI FASE DELL'ACQUA

I PASSAGGI DI STATO



CALORE LATENTE ACQUA
CALORE CEDUTO (+) O ASSORBITO (-)
DALL'ACQUA NEI CAMBIAMENTI DI FASE

<u>PROCESSO</u>	<u>VARIAZIONE</u>	<u>BILANCIO</u>
CONDENSAZIONE	vapore/liquido	600 cal/g
SUBLIMAZIONE	vapore/ghiaccio	680 cal/g
EVAPORAZIONE	liquido/vapore	- 600 cal/g
CONGELAMENTO	liquido/ghiaccio	80 cal/g
FUSIONE	ghiaccio/liquido	- 80 cal/g
SUBLIMAZIONE	ghiaccio/vapore	- 680 cal/g

NUBI A SVILUPPO VERTICALE

- **Cu, cumuli**
 - **cumuli di bel tempo o cumuli umili**
 - piccole, sparpagliate, ampi tratti di cielo sereno
 - leggera instabilità atmosferica
 - assenza di precipitazioni
 - **cumuli congesti o cumuli torreggianti**
 - maggiori dimensioni verticali
 - strato di instabilità atmosferica ~ 3000 metri (10.000 piedi)
 - bordi netti e marcate protuberanze
 - segnalati nel METAR con sigla **TCU**

NUBI A SVILUPPO VERTICALE

CUMULI

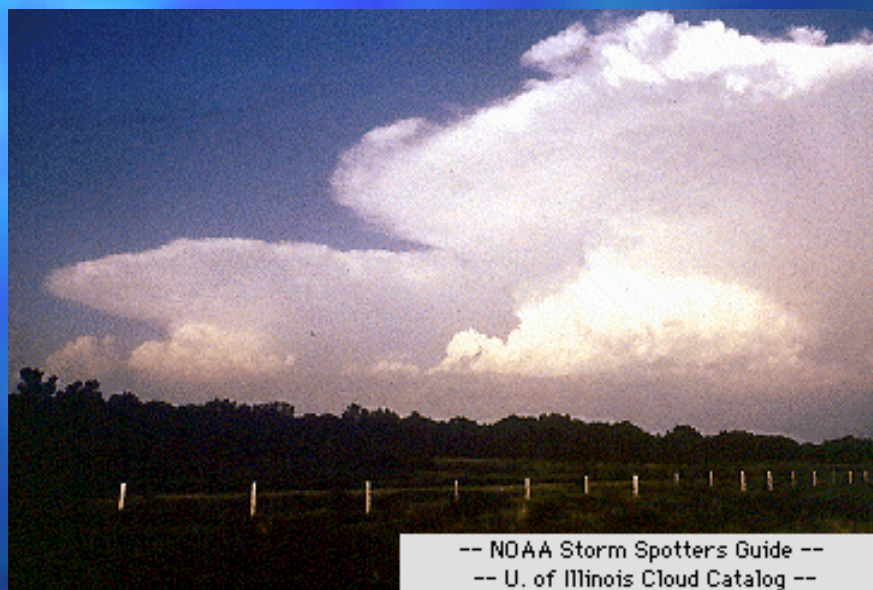


-- Photograph by Ronald L. Holle --
-- U. of Illinois Cloud Catalog --

NUBI A SVILUPPO VERTICALE

- **Cb, cumulonembi**
 - più imponenti tra nubi a sviluppo verticale
 - all'inversione termica tropopausa (*incus* o *anvil top*)
 - anche oltre tropopausa e nella stratosfera
 - composti da:
 - acqua e ghiaccio nella parte bassa
 - pioggia, grandine, neve
 - cristalli di ghiaccio nella parte alta
 - associati a fenomeni pericolosi per navigazione aerea
 - rovesci, temporali, grandine, colpi di vento, trombe aria
 - turbolenza forte, wind shear, icing
 - segnalati nel METAR con sigla **CB**

NUBI A SVILUPPO VERTICALE CUMULONEMBI

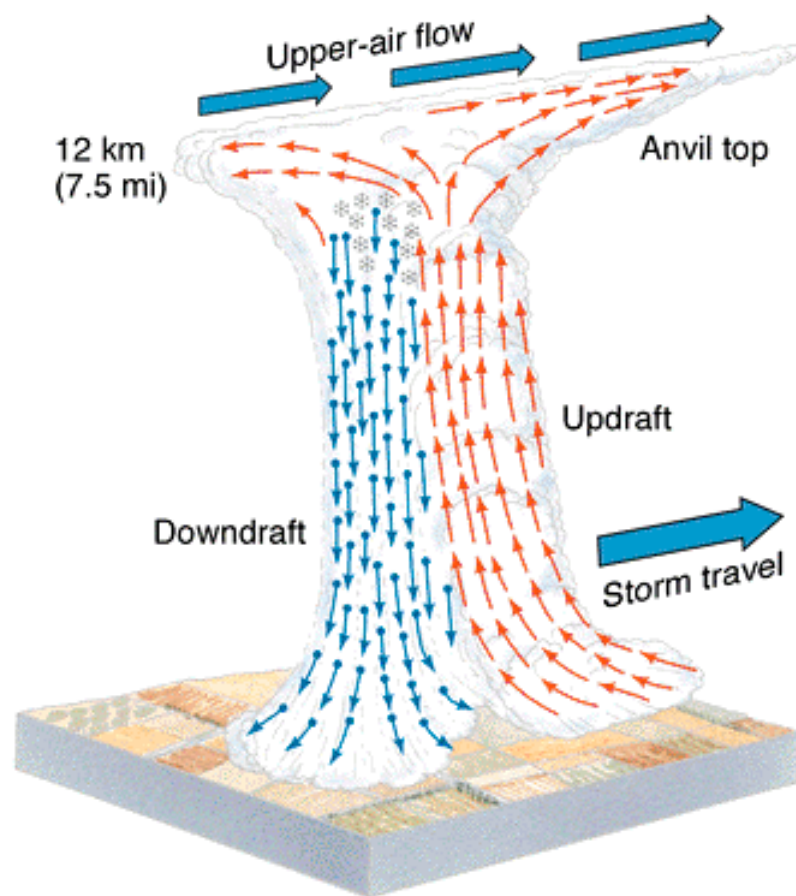


NUBI A SVILUPPO VERTICALE CUMULONEMBO "MAMMA"



NUBE TEMPORALESCA CON CIMA AD INCUDINE

- incudine dovuta a "schiacciamento" contro inversione termica tropopausa



© John Wiley & Sons, Inc.

NUBI SPECIALI

■ nubi madreperlacee

- quote tra 21 e 30 km (da 70.000 a 100.000 piedi)
- in luce solare sembrano cirri, colori brillanti dopo tramonto
- composizione sconosciuta
 - diffrazione della luce solare e colori \Rightarrow ghiaccio ?

■ nubi nottilucenti

- quote tra 75 e 90 km (da 250.000 a 300.000 piedi)
- invisibili in luce solare, netti come cirri sottili dopo tramonto
- polvere cosmica e ghiaccio (di origine cometaria ?)

■ nubi di cenere

- eruzione vulcanica, incendi, esplosioni, attività industriali