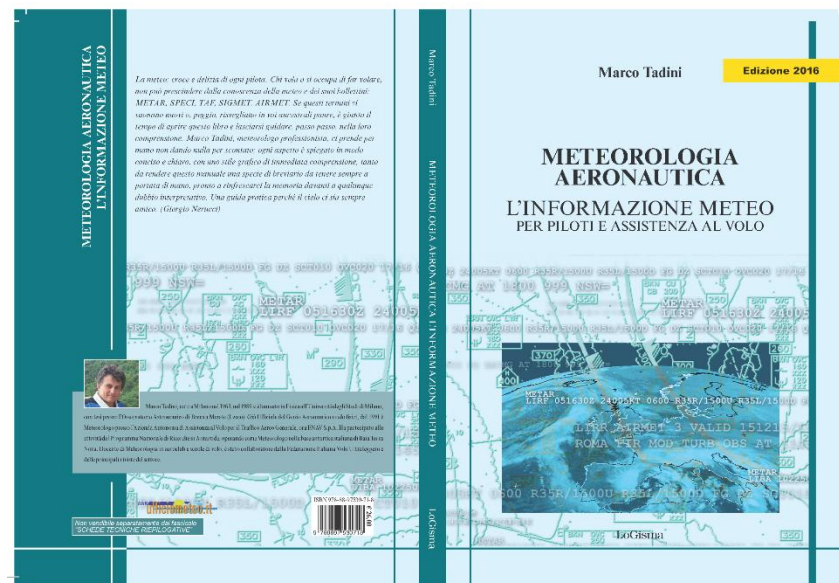




Corso di Meteorologia per piloti VDS e VFR

Marco Tadini
www.ufficiometeo.it

PARTE 2



Marco Tadini, nato a Milano nel 1963, nel 1989 si è laureato in Fisica presso l'Università degli Studi di Milano.

Dal 1991 è Meteorologo presso ENAV S.p.A.

È autore del libro *Meteorologia Aeronautica* e del sito web www.ufficiometeo.it.



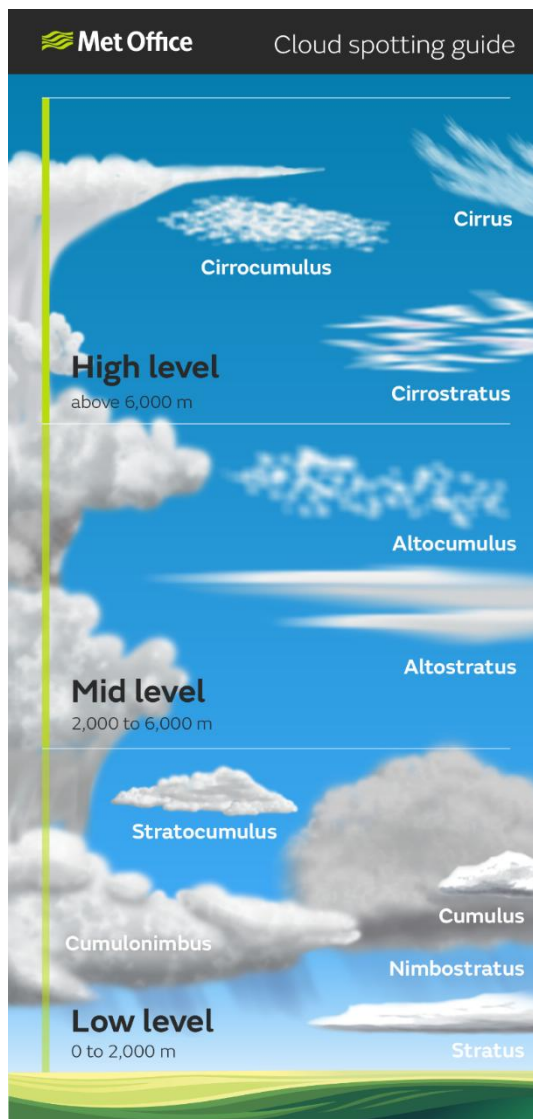
IL NOSTRO PERCORSO

- **NELLA PRIMA PARTE ABBIAMO PARLATO DI:**
 - proprietà dell'atmosfera
 - altimetria
 - cenni di circolazione generale atmosferica
 - circolazione extratropicale: i fronti
- **IL PROGRAMMA DELLA SECONDA PARTE:**
 - origine e classificazione delle nubi
 - stabilità e instabilità atmosferica
 - fenomeni pericolosi per il volo
- **NELLA TERZA PARTE PARLEREMO DI:**
 - Il briefing meteo VDS



ORIGINE E CLASSIFICAZIONE DELLE NUBI

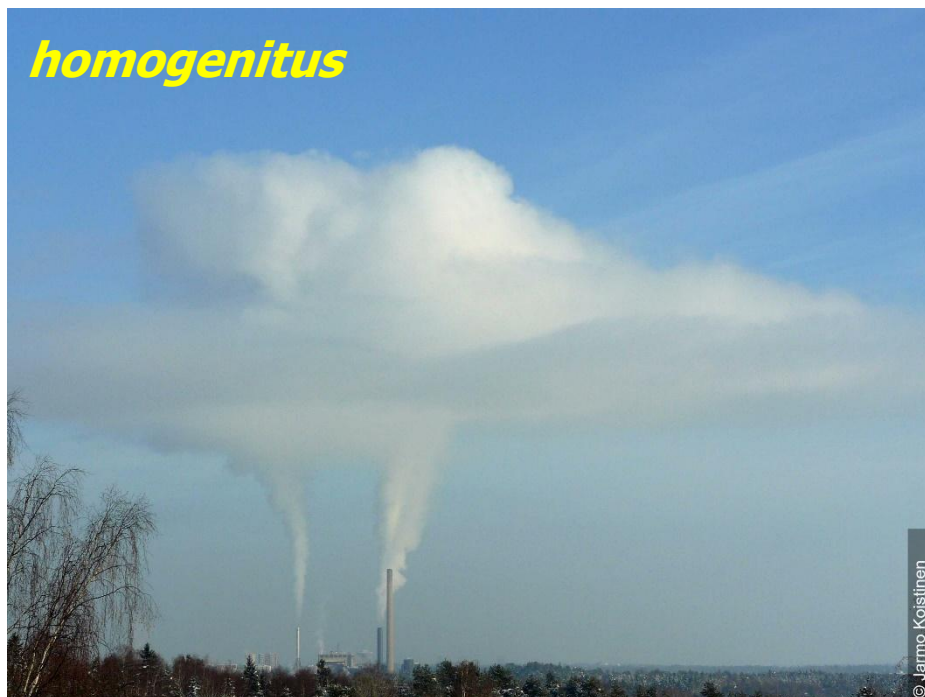
CLASSIFICAZIONE DELLE NUBI: L'ATLANTE FOTOGRAFICO WMO



- Il *WMO International Cloud Atlas* ha introdotto una classificazione in:
 - **generi**: sono 10 e identificano le principali caratteristiche della nube (es.: *cirrus*, *cumulus*)
 - **specie** e **varietà**: descrivono forma e struttura della nube, grado di trasparenza e disposizione degli elementi interni
 - **caratteristiche supplementari** e **nubi accessorie**
- In totale oltre un centinaio di combinazioni
- On line: <https://www.wmocloudatlas.org>

- agglomerato visibile di **acqua** e **pulviscolo atmosferico**
 - elementi concentrati nella fascia troposferica
 - non vi è meteorologia a quote superiori alla troposfera
- nubi troposferiche non rientranti nella definizione
 - incendi, eruzioni vulcaniche, attività industriali, ecc.
 - non meteorologiche, ma interessano le attività di volo
- nubi non troposferiche
 - **nubi madreperlacee** (stratosfera)
 - **nubi nottilucenti** (mesosfera)

homogenitus



flammagenitus



WORLD
METEOROLOGICAL
ORGANIZATION

NUBI MADREPERLACEE



NUBI NOTTILUCENTI



CLASSIFICAZIONE DELLE NUBI PER PROCESSI DI FORMAZIONE

- tre meccanismi principali per portare l'aria al **punto di rugiada** e avviare la condensazione del vapore acqueo
- **nubi frontali**
 - per innalzamento di masse aria 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 **stratiformi** da fronte caldo
 - aria calda scivola lentamente su aria fredda
 - dimensione orizzontale più elevata di quella verticale
- nubi di altezza decrescente fino al fronte caldo
 - **ALTE**: cirri, cirrostrati e cirrocumuli (ghiaccio)
 - **MEDIE**: altocumuli e altostrati (ghiaccio e acqua)
 - **BASSE**: strati, stratocumuli, nembostrati (acqua)
- precipitazioni deboli ma lunga durata
 - iniziano con altostrati e con possibile **virga**
 - **pioggia, neve, pioggia congelante** (con $T < 0^{\circ}\text{C}$)

- cirri, cirrostrati e cirrocumuli
- livelli superiori troposfera
- oltre 20.000 ft (6000 m circa)
- disposte secondo direzione vento in quota
 - tendenzialmente occidentali (seguono le *westerlies*)
- non portano precipitazioni
 - composte da ghiaccio
- velocità apparente bassa

- privi di uniformità, spesso sottili e a ciuffi con riccioli
- possono avere origine anche non frontale:
 - decadimento parte superiore cumulonembi
 - evoluzione delle **scie di condensazione**
- **scie di condensazione**
 - aeromobili in quota in aria molto fredda
 - immediata sublimazione vapore gas scarico
 - *cirrus homogenitus* con l'edizione 2017 del WMO Atlas









SCIE DI CONDENSAZIONE



www.skystef.be

- velo uniforme a coprire il cielo
- Sole o Luna danno effetto di alone
 - diffrazione luce dai cristalli ghiaccio della nube

CIRROSTRATI





CIRROCUMULI

- “celle” allineate come ondulazioni della sabbia
- moto ondoso o turbolenza in strati umidi alta troposfera

CIRROCUMULI



- altocumuli e altostrati
- strati troposferici intermedi
 - tra 6000 e 20.000 ft (tra 2000 e 6000 m circa)
- composte principalmente da gocce di acqua
 - anche cristalli ghiaccio se temperatura bassa

- struttura a bande o globulare, anche in strati successivi
- corrispondenti ai Cc nella media troposfera

ALTOCUMULI







www.skystef.be

ALTOCUMULI



- 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**)





- stratocumuli, strati e nembostrati
- base al di sotto dei 6000 ft (2000 m circa)
- composte principalmente da gocce di acqua
 - anche cristalli ghiaccio o neve se temperatura bassa

- versione a basso livello dei Cc e Ac
- spesso in strati multipli anche in combinazione con Ac
- struttura a bande o rotoli
- caratteristico effetto lento rotolamento attraverso il cielo
- continuo dissolvimento sottovento e formazione sopravvento

STRATOCUMULI



STRATOCUMULI



STRATOCUMULI



www.skystef.be



STRATI

- aspetto uniforme senza particolari caratteristiche
- base spesso in prossimità o a contatto con il suolo





STRATI (FRATTOSTRATI)



STRATI (NEBBIA)



- 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 non considerano il Ns stratiforme, ma una nube ad intenso sviluppo verticale
- alto contenuto di acqua
- severi fenomeni di icing su aeromobili



- nubi **cumuliformi** da fronte freddo
 - cumuli **congesti** o **torreggianti** (TCU in ambito aeronautico)
 - aria fredda sbalza violentemente aria calda verso l'alto
 - dimensione verticale più pronunciata di quella orizzontale
 - disposte lungo la linea del fronte
 - dimensioni verticali anche pari allo spessore troposfera
- precipitazioni intense ma di breve durata
 - **rovesci**, **temporali**



I CUMULONEMBI

- più imponenti tra nubi a sviluppo verticale
 - base a poche centinaia di metri,
 - altezza anche tutta la troposfera e oltre
 - acqua e ghiaccio nella parte bassa
 - cristalli di ghiaccio nella parte alta (*incus*, *incudine*)
- associati a fenomeni pericolosi per navigazione aerea
 - rovesci, temporali, grandine, colpi di vento, trombe aria
 - turbolenza forte, wind shear, icing
- forti correnti ascendenti interne e discendenti esterne
 - pericolo anche a distanza dalla nube
- segnalati in ambito aeronautico con la sigla **CB**

CUMULI TORREGGIANTI





CUMULI TORREGGIANTI





CUMULI TORREGGIANTI



www.skystef.be



CUMULI TORREGGIANTI E CUMULONEMBI





CUMULONEMBI CON PRECIPITAZIONI



CUMULONEMBI





CUMULONEMBI



CUMULONEMBI



CUMULONEMBI CON TROMBA D'ARIA



www.ufficiometeo.it



STABILITA' E INSTABILITA' ATMOSFERICA

- diverso riscaldamento al suolo origina bolle di aria calda
- le bolle prendono movimento ascensionale
- salendo si espandono, raffreddandosi **adiabaticamente**
 - senza scambio di calore con atmosfera circostante
 - il tasso di raffreddamento con la quota viene detto **gradiente termico adiabatico γ** e dipende dall'umidità interna della bolla

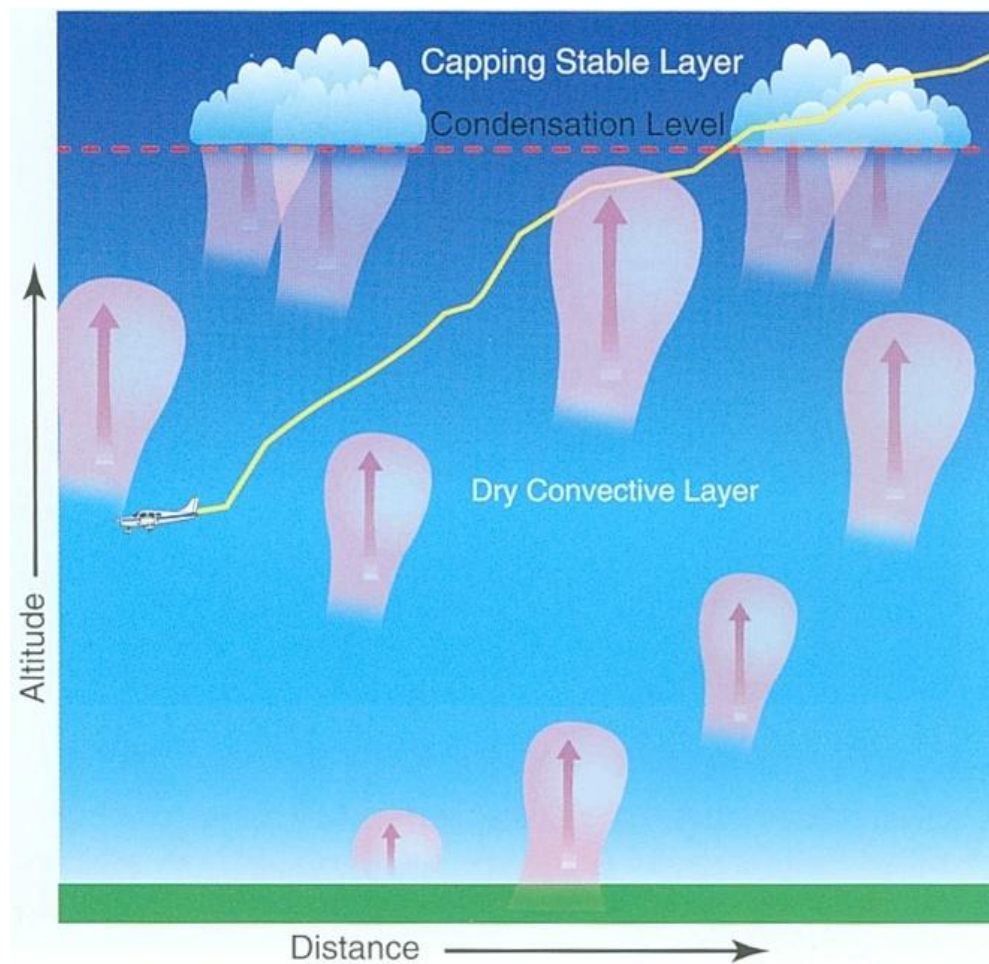
- TRASFORMAZIONI SECCHIE (UR<100%)
 - non considerati effetti di condensazione o evaporazione
 - temperatura varia di 1°C ogni 100 metri di quota
 - **gradiente adiabatico aria secca $\gamma_{\text{dry}} = 1^\circ\text{C} / 100 \text{ m}$**
- TRASFORMAZIONI UMIDE
 - con UR=100% avvio della condensazione
 - rallentamento processo di raffreddamento aria
 - in aria umida, gradiente adiabatico minore rispetto aria secca (**$\gamma_{\text{wet}} = 0,6^\circ\text{C} / 100 \text{ m}$ circa**)

- salendo, le bolle “secche” possono condensare
 - se favorevoli condizioni di instabilità atmosferica “secche”
 - confronto tra γ atmosferico e γ adiabatico secco
- condensando, il γ adiabatico passa da secco a umido
- la condensazione origina nubi **cumuliformi convettive**
 - base al livello di condensazione
 - altezza dipendente dall’instabilità atmosferica “umide”
 - diversamente da quelle frontali, sono più sparpagliate

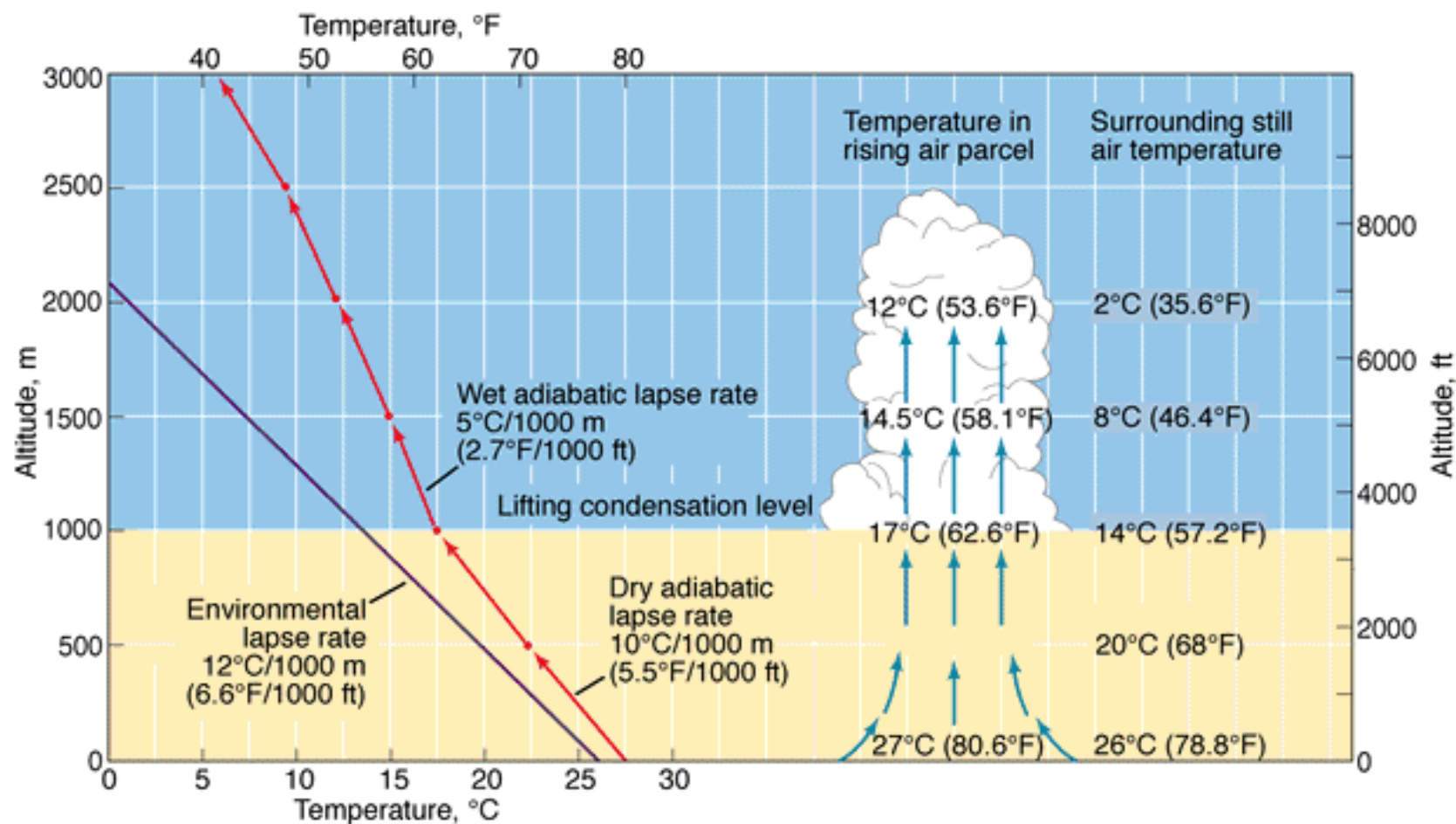
STABILITA' E INSTABILITA' ATMOSFERICA IN ARIA SECCA

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

ATMOSFERA ADIABATICA O SUBADIABATICA IN ARIA SECCA

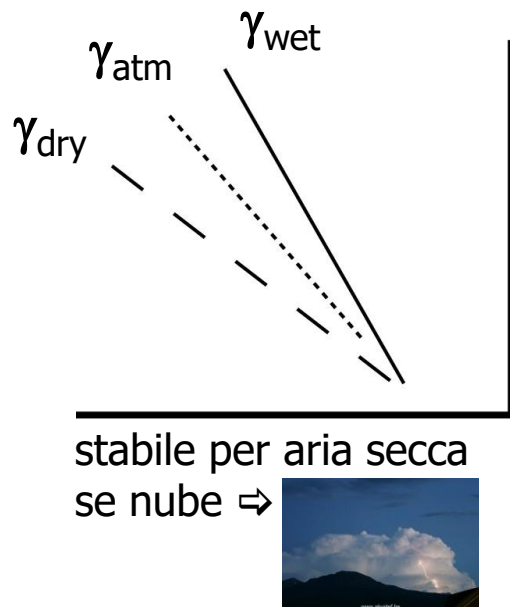
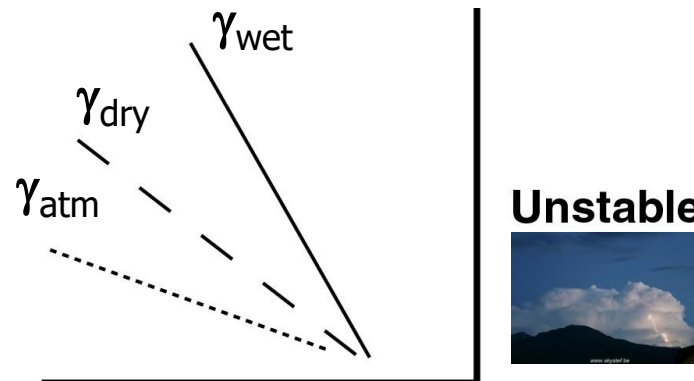
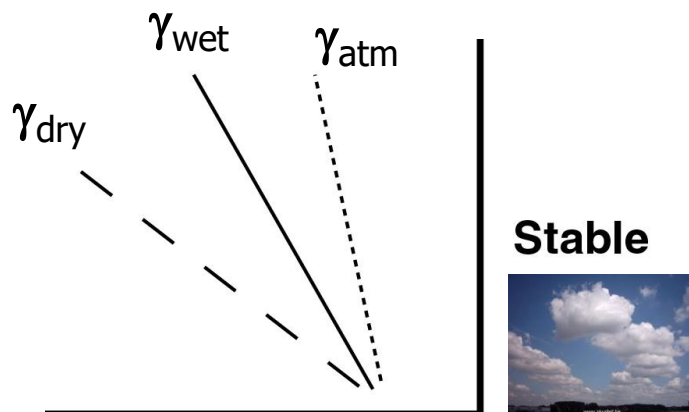


ATMOSFERA SUPERADIABATICA IN ARIA SECCA



© John Wiley & Sons, Inc.

STABILITA' E INSTABILITA' ATMOSFERICA IN ARIA UMIDA



$$\gamma_{\text{dry}} = 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$$

$$\gamma_{\text{wet}} = 0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$$

$$\gamma_{\text{atm}} = ?$$

CUMULI (CUMULI UMILI)



CUMULI (CUMULI UMILI)



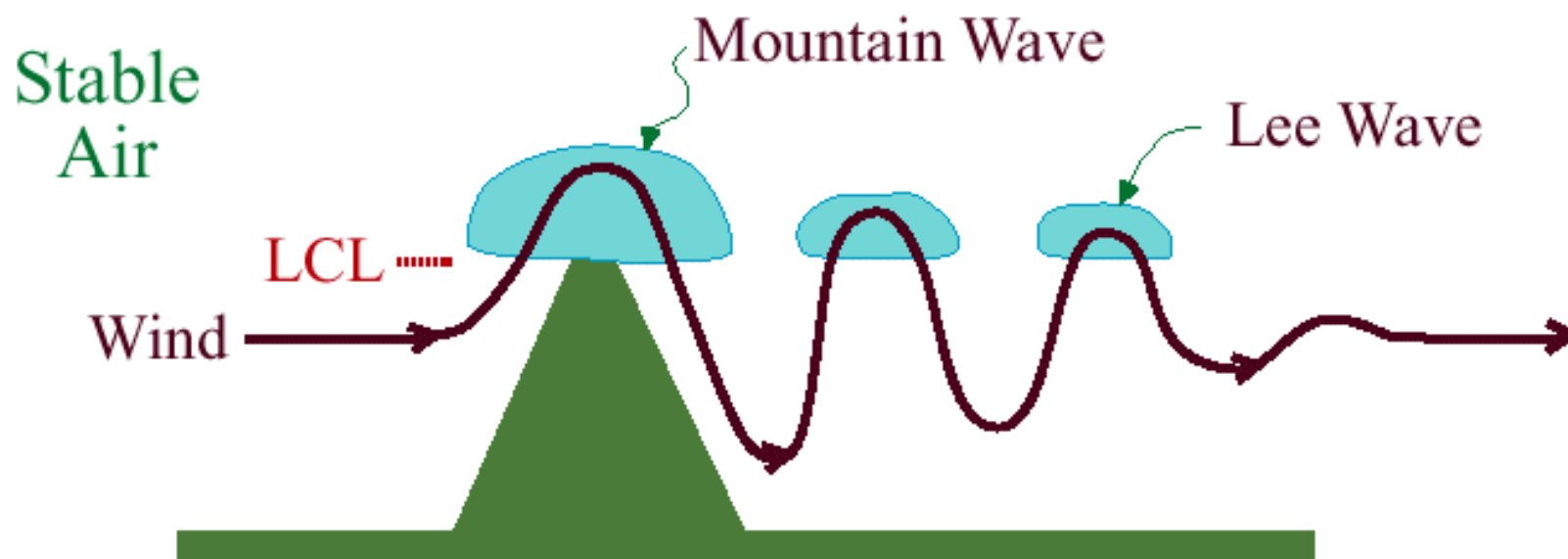


MOTI FORZATI

- 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 l'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 (**nubi orografiche**):
 - forma lenticolare (forma cresta onda)
 - sono stazionarie (in corrispondenza della cresta d'origine)
- quota media troposferica (**altocumuli**)

FORMAZIONE DI NUBI OROGRAFICHE IN ATMOSFERA STABILE



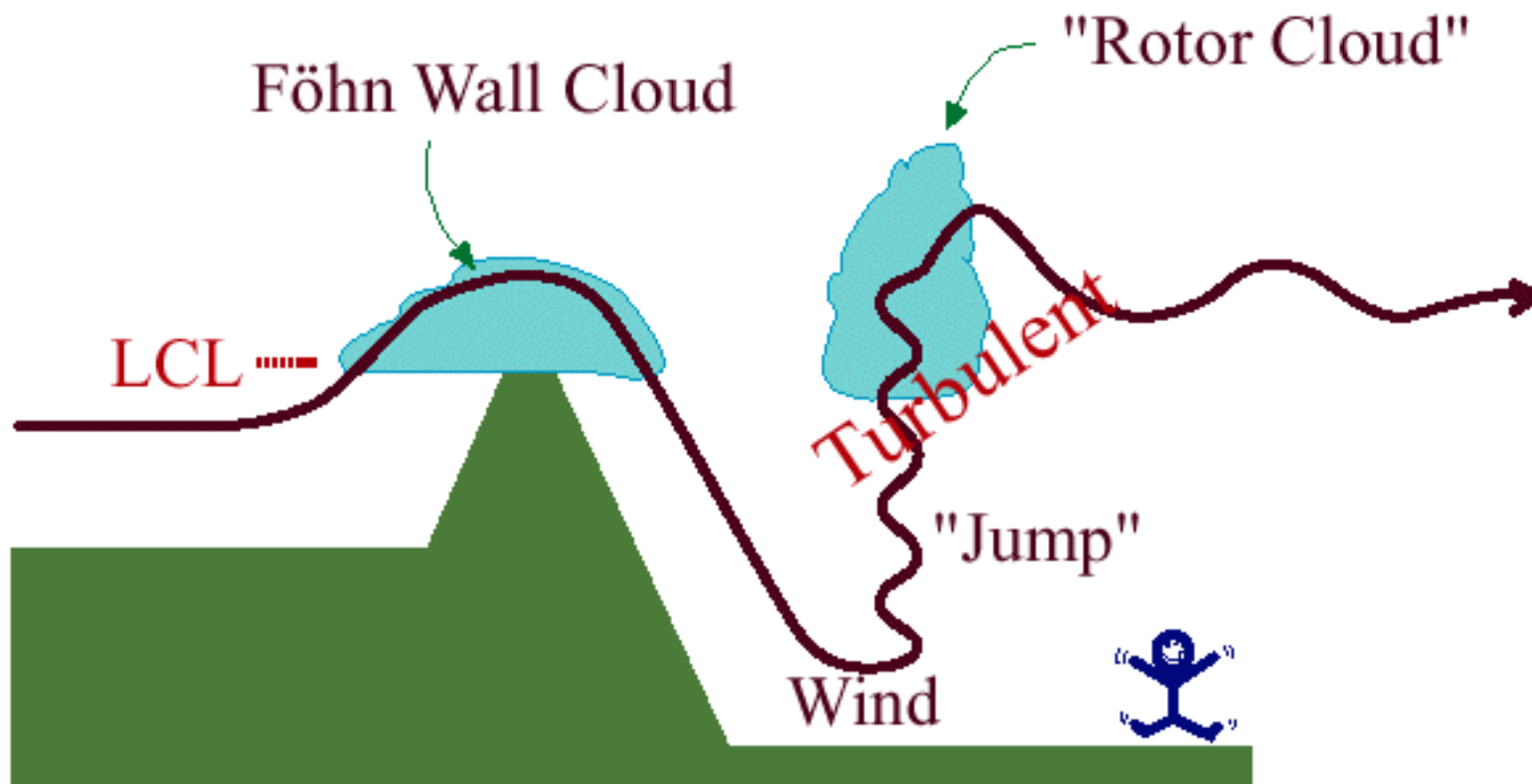
NUBI LENTICOLARI



NUBI LENTICOLARI



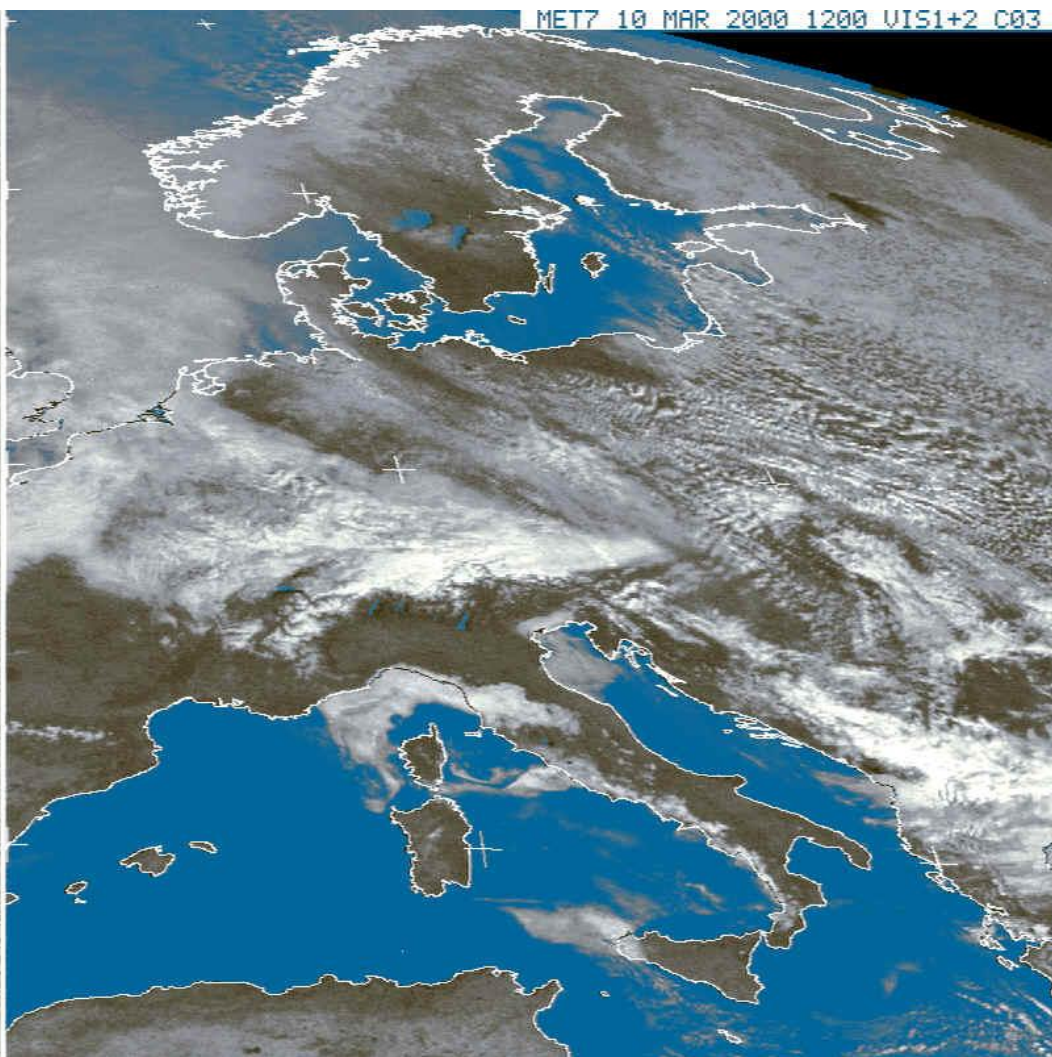
FORMAZIONE DI NUBI OROGRAFICHE IN ATMOSFERA INSTABILE



www.ufficiometeo.it

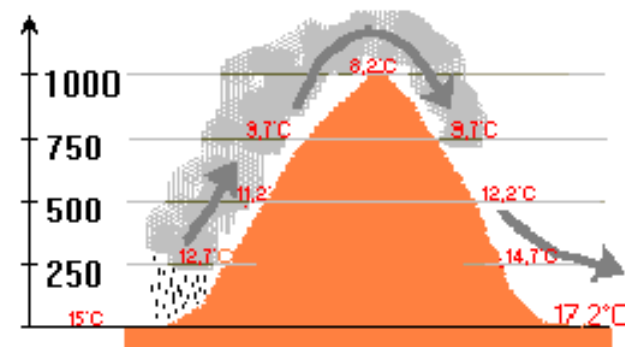


MET7 10 MAR 2000 1200 VIS1+2 C03



L'EFFETTO STAU-FOEHN

Una bella immagine di **foehn** ripresa dal satellite Meteosat, nel campo del visibile, il 10 Marzo 2000 alle ore 12.00 UTC



FENOMENI PERICOLOSI PER IL VOLO



FENOMENI PERICOLOSI PER IL VOLO

I TEMPORALI



I TEMPORALI

- sono perturbazioni locali caratterizzate da:
 - non lunga durata
 - fenomeni elettrici (**lampi** accompagnati da **tuoni**)
 - forti raffiche vento
 - violente correnti verticali
 - forti rovesci pioggia (anche grandine)
- **FORTE PERICOLO PER IL VOLO**

- sono associati a cumulonembi (CB)
- attività convettiva (**temporali di massa**)
 - singoli CB ben visibili a distanza
- transito di fronte freddo (**temporali frontali**)
 - più nubi temporalesche distanziate da 1 a 3 km
 - fronte di nubi di un centinaio km

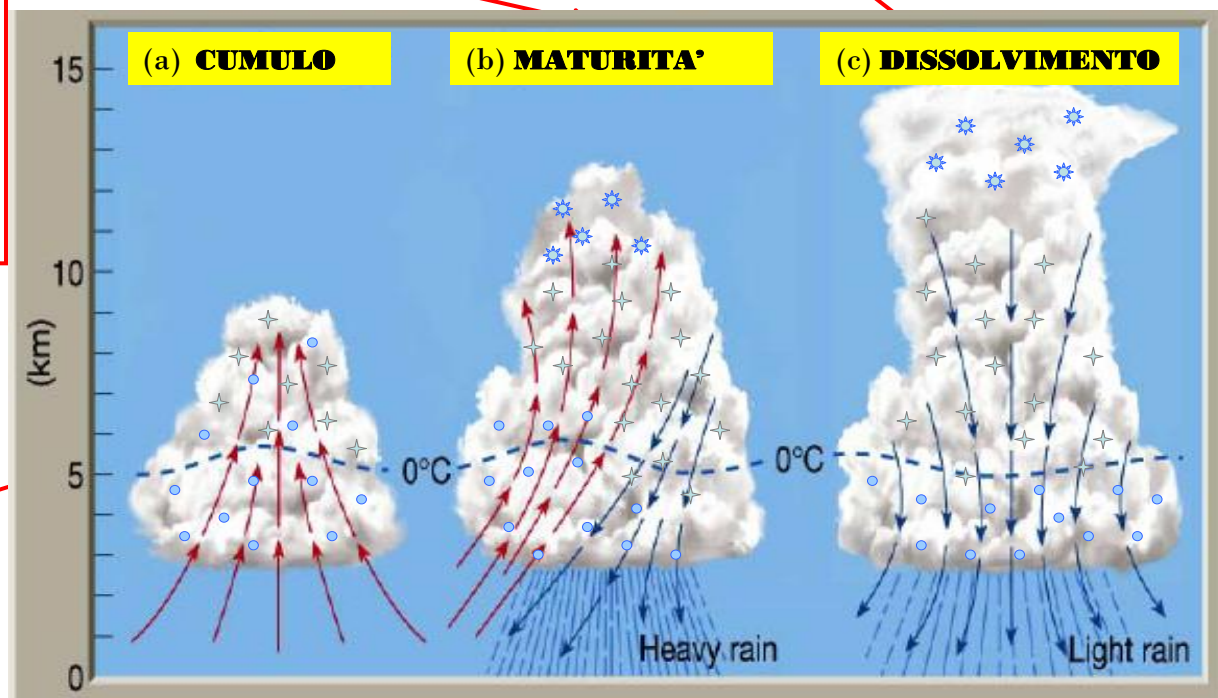
IL CICLO VITALE DI UN TEMPORALE: LE TRE FASI

Fase di maturità:
precipitazione,
fenomeni elettrici,
correnti ascendenti e
discendenti.

Fase più pericolosa
per il volo, anche a
distanza di qualche
km dall'evento.

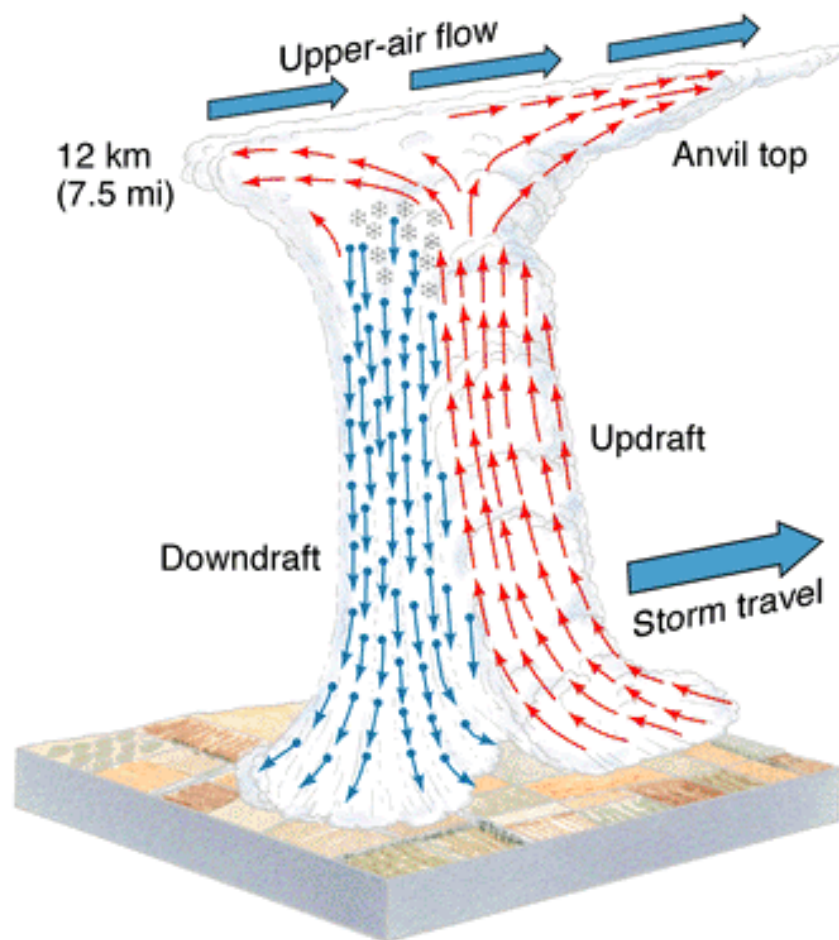
**Fase di formazione o
di cumulo:** prevalgono
le correnti ascendenti

Fase di dissolvimento:
prevalgono le correnti
discendenti



- nel CB, le precipitazioni trascinano verso il basso una colonna di aria fredda
- correnti fredde uscenti dalla base del CB (**downdraft** o **downburst**)
- classificate in **macroburst** o **microburst** a secondo delle dimensioni

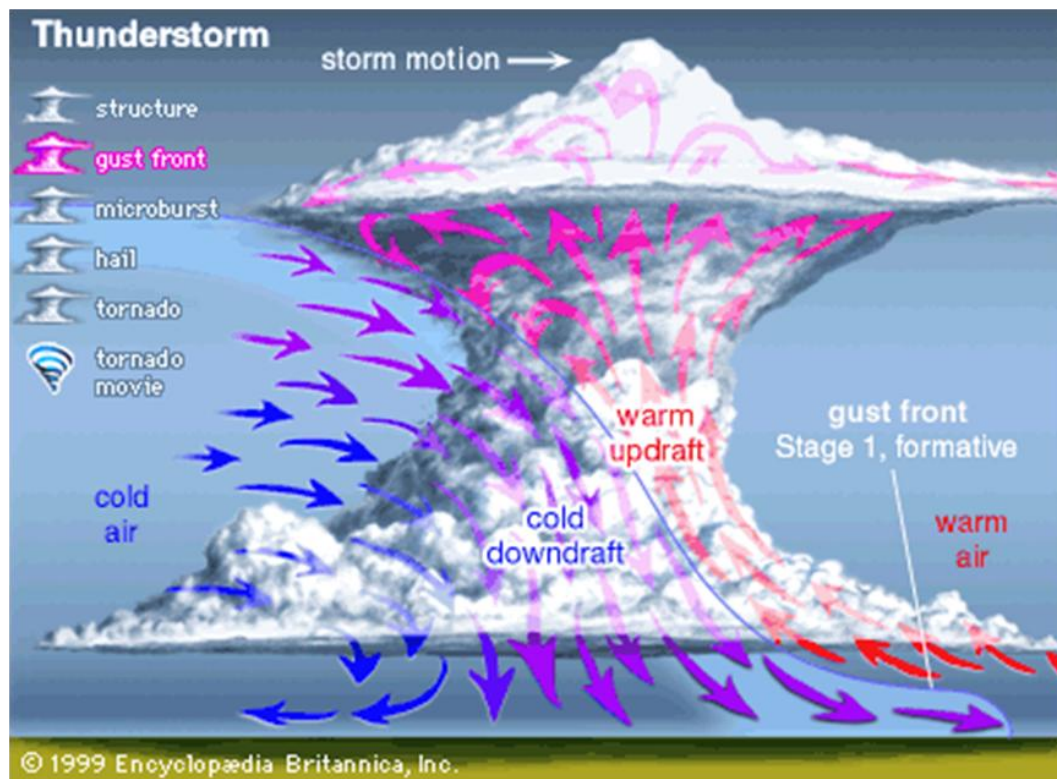
DOWNDRAFT E FRONTE DELLE RAFFICHE



© John Wiley & Sons, Inc.

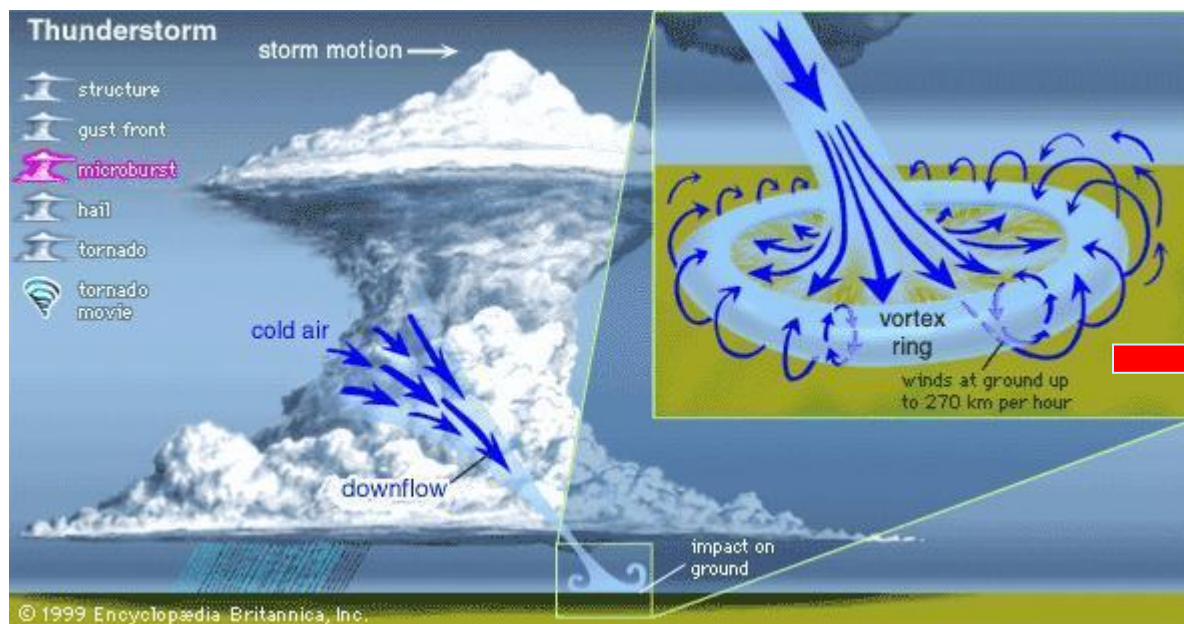
DOWNDRAFT E FRONTE DELLE RAFFICHE

- l'aria fredda impatta il suolo, espandendosi nel **fronte delle raffiche** (**gust front**)
- incuneandosi sotto l'aria calda richiamata dal CB, il fronte crea una linea di rotazione del vento (**wind shear**)



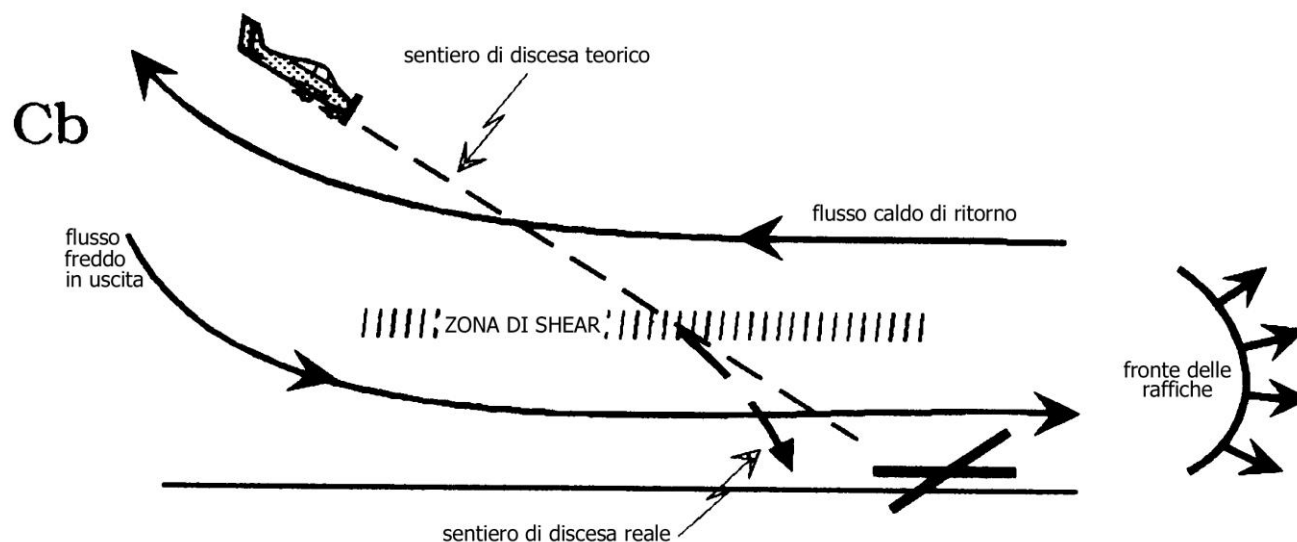
FRONTE DELLE RAFFICHE E WIND SHEAR

il fronte delle raffiche si espande in tutte le direzioni, formando un anello vorticoso (**vortex ring**), sede di **wind shear** e percepibile anche a notevole distanza dalla nube



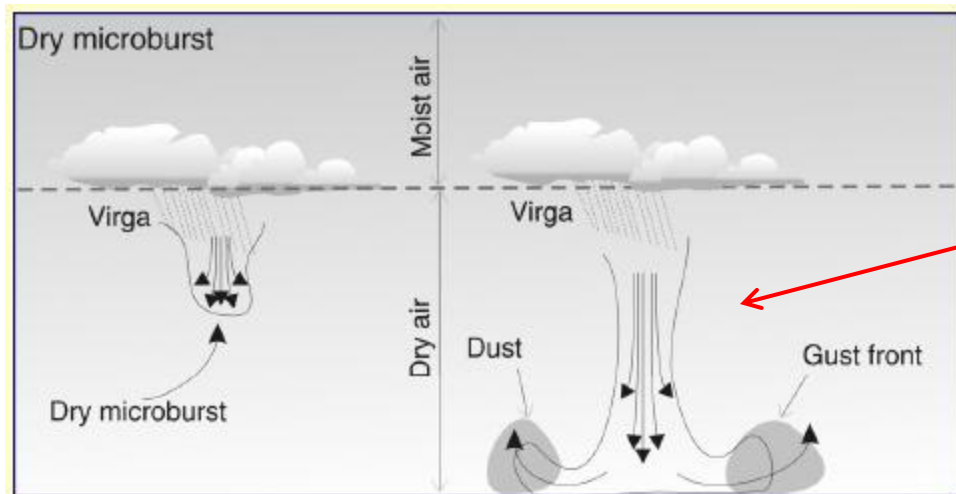
- il **wind shear** è la variazione della velocità del vento in intensità o direzione (incluse le correnti ascendenti o discendenti) in un certo intervallo spaziale
- in presenza di *wind shear*, un aereo può assumere una traiettoria diversa da quella prevista
- gli effetti assumono tanta più importanza quanto più si verificano in prossimità del suolo (**low level wind shear**)

FRONTE DELLE RAFFICHE E WIND SHEAR



anche a notevole distanza dal CB, attraversando la zona di *wind shear* provocata dalla *downdraft*, l'aereo percepisce una rotazione di 180° nella direzione del vento orizzontale, con conseguente rischio di un prematuro contatto con il suolo

DOWNDRAFT SECCA



Downdraft secca: la colonna di aria fredda raggiunge comunque il suolo, anche se la precipitazione evapora. Sollevamento di polvere o sabbia, se presente.



www.ufficiometeo.it





LA NEBBIA

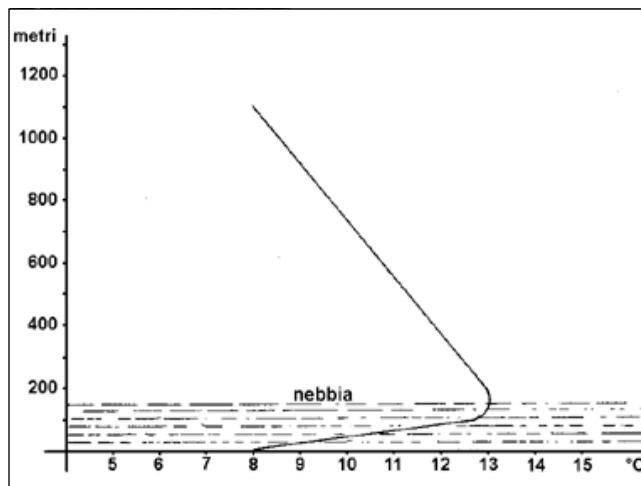
- fenomeno di riduzione della visibilità sotto al km
- per la sua formazione sono necessari:
 - aria umida con presenza di nuclei di condensazione
 - forte raffreddamento della massa d'aria nei bassi strati
 - condensazione umidità contenuta nell'aria
- umidità descritta in termini di **grandezze igrometriche**
 - **umidità specifica**: grammi di vapore per chilogrammo di aria
 - **umidità assoluta**: grammi di vapore per metro cubo di aria
 - **umidità relativa**: rapporto tra la quantità di vapore presente nella massa d'aria e la quantità massima di vapore che, a parità di temperatura, la massa d'aria può contenere



- classificazione in base al processo di formazione
- nebbie da raffreddamento
 - nebbia da irraggiamento
 - nebbie da avvezione e da trasporto
 - nebbie da sollevamento o scorrimento ascendente
- nebbie da evaporazione
 - nebbie frontali
 - nebbie di vapore
- nebbie da mescolanza

- prevalentemente durante la notte o all'alba
 - spessore sottile (ordine del centinaio di metri)
 - spesso in forma di **banchi**
- in presenza di cielo sereno con aria umida e calma
- condizioni favorevoli per **inversione termica al suolo**
 - di notte il suolo irradia calore nello spazio, non compensato da radiazione solare diretta
 - forte abbassamento temperatura del suolo: la temperatura è inferiore rispetto a quella in quota
 - la bassa temperatura provoca saturazione

NEBBIA DI FONDO VALLE



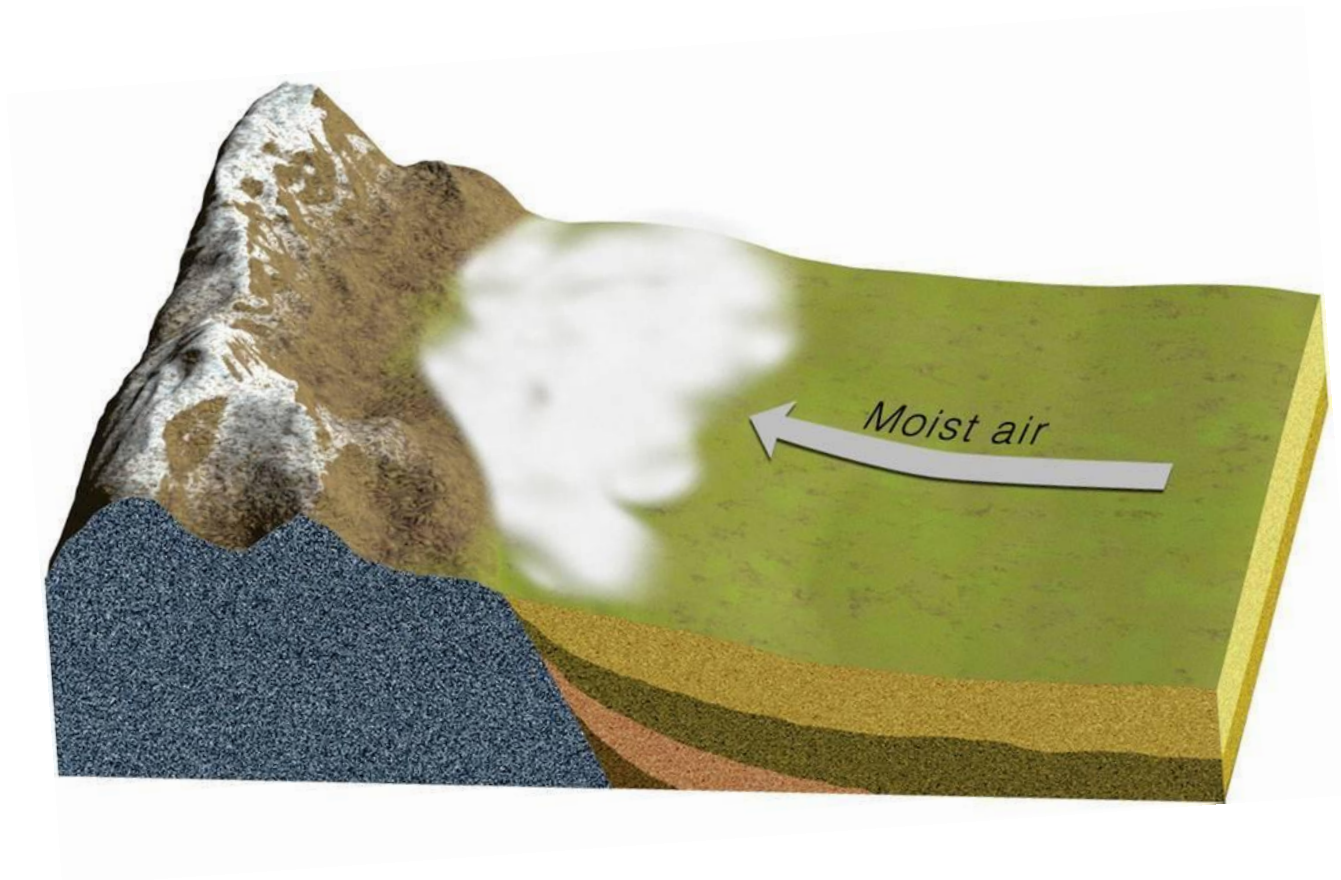
- **avvezione** indica spostamento orizzontale dell'aria
 - necessaria presenza di vento
- aria calda e umida si sposta su superficie fredda
- la bassa temperatura provoca saturazione dell'aria
 - nebbia con spessore fino a qualche centinaio di metri
 - maggiore persistenza rispetto a irraggiamento
- due specie di nebbie da avvezione
 - **nebbie marittime**: aria da zona calda di terra verso zona fredda di mare aperto (nebbie oceaniche)
 - **nebbie costiere**: aria da zona calda marittima verso terraferma fredda (nebbie lacustri)



ALTRE NEBBIE DA RAFFREDDAMENTO

- **nebbia da trasporto**
 - si forma in zone propizie ed è poi trasportata dal vento
- **nebbia da sollevamento**
 - anche detta di pendio o scorrimento ascendente
 - aria umida in risalita lungo un pendio
 - aria si raffredda adiabaticamente al punto di rugiada
 - condensazione provoca formazione di Strati
 - Strati toccano il suolo in un punto del pendio
 - oltre il punto il pendio è interessato da nebbia
 - con pendenze poco accentuate, nebbia anche molto estesa

NEBBIE DA PENDIO



NEBBIE DA PENDIO



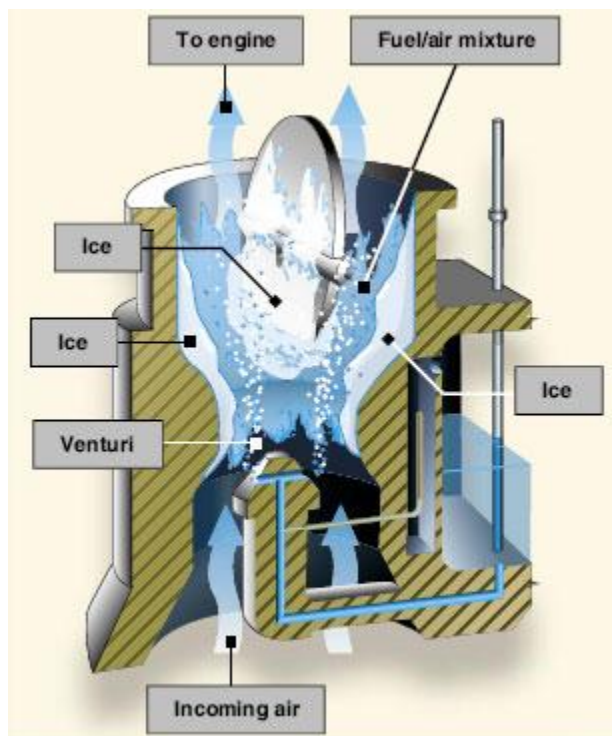
- **nebbia frontale**
 - associata al passaggio di un fronte caldo
 - evaporazione precipitazioni in sottostante aria fredda
 - aggiunta di vapore provoca saturazione dell'aria fredda
 - formazione di nebbia pre-frontale
 - può interessare zone molto estese per lungo tempo
- **nebbia di vapore**
 - aria fredda si sposta su superficie di acqua più calda
 - il vapore condensa nell'aria fredda sovrastante
 - effetto di "mare fumante"
 - durata e persistenza inferiore alle nebbie da avvezione

ICING



ICING

CONTAMINAZIONE DA GHIACCIO: ICING IN ARIA CHIARA



- formazione di **ghiaccio al carburatore**
- aria aspirata si espande raffreddandosi
- benzina evapora e sottrae calore all'aria
- formazione di **ghiaccio brinoso** se aria scende al punto di brina del vapore
- ghiaccio diminuisce sezione di aspirazione
 - diminuzione potenza del motore
 - aumento del ghiaccio in caso di pioggia
- rimedi:
 - termometro per temperatura carburatore
 - dispositivo riscaldamento del carburatore
 - inserirlo comunque in prossimità di 0°C

ICING IN ARIA CHIARA: GHIACCIO AL CARBURATORE





IL NOSTRO PERCORSO

- **NELLA PRIMA PARTE ABBIAMO PARLATO DI:**
 - proprietà dell'atmosfera
 - altimetria
 - cenni di circolazione generale atmosferica
 - circolazione extratropicale: i fronti
- **IN QUESTA SECONDA PARTE ABBIAMO PARLATO DI:**
 - origine e classificazione delle nubi
 - stabilità e instabilità atmosferica
 - fenomeni pericolosi per il volo
- **NELLA TERZA PARTE PARLEREMO DI:**
 - Il briefing meteo VDS



...SE NON CI SONO DOMANDE...



...GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

FINE PARTE 2

