

# VA Flying Friends



## TRAINING BOOK – 05 (TB-05)

**ELEMENTI DI  
METERELOGIA**

**A cura di VAF121 Marco**

# Meteorologia

## L'ATMOSFERA TERRESTRE

L'atmosfera terrestre è l'involucro di gas che riveste la Terra e partecipa alla sua rotazione attorno al proprio asse. Ha una struttura suddivisa in più strati chiamati sfere che partendo dal basso in ordine di altezza sono: **troposfera, stratosfera, mesosfera, termosfera, ionosfera ed esosfera**. Questa suddivisione è ricavata in base all'inversione del gradiente termico verticale. Tra due sfere dove ha luogo l'inversione del segno del gradiente si trova una superficie di discontinuità chiamata *pausa*.

La pressione e la densità diminuiscono esponenzialmente con la quota mentre la temperatura segue un profilo verticale in funzione dell'assorbimento della radiazione solare e terrestre.

In primo luogo si è soliti suddividere l'atmosfera in due distinte fasce:

1. **omosfera** compresa tra il suolo e i 100 km di quota;
2. **eterosfera** al di sopra dei 100 km di quota.

## Troposfera

È lo strato in cui si verificano quasi tutti i fenomeni meteorologici e contiene l'80% della massa gassosa totale e il 99% del vapore acqueo: l'aria della troposfera è riscaldata dalla superficie terrestre ed ha una temperatura che diminuisce con l'altitudine fino ai circa -55°C della tropopausa.

La troposfera ha uno spessore variabile a seconda della latitudine e ai poli è spessa circa 8 km mentre raggiunge uno spessore di circa 20 km all'equatore. La pressione atmosferica decresce con l'altitudine in maniera più o meno esponenziale; oltre i 7-8 km di quota la pressione è tanto bassa che non è più possibile respirare senza l'uso dell'ossigeno.

## Stratosfera

È lo strato atmosferico che sta al di sopra della troposfera ed arriva ad un'altezza di 50-60 km. Qui avviene un fenomeno chiamato inversione termica: mentre nella troposfera la temperatura diminuisce con l'altezza, nella stratosfera aumenta fino alla temperatura di 0°C. Questo fenomeno è dovuto alla presenza di uno strato di ozono (l'ozonosfera) che assorbe la maggior parte delle radiazioni solari ultraviolette. Nella stratosfera esistono ancora alcuni rari fenomeni meteorologici e certi particolari tipi di nubi (es. nubi madreperlacee).

## Mesosfera

In questa zona che va dai 60 agli 80 km di quota l'atmosfera non subisce più l'influsso della superficie terrestre ed è costante a tutte le latitudini. In questa parte dell'atmosfera la temperatura riprende a diminuire con l'altezza e raggiunge il valore minimo, variabile tra i  $-70$  ed i  $-90^{\circ}\text{C}$  intorno agli 80 km; a questa quota si possono osservare a volte le nubi nottilucenti, costituite probabilmente di cristalli di ghiaccio e minutissime polveri.

## Termosfera

La temperatura, dopo l'abbassamento avvenuto nella mesosfera, torna a crescere con la quota. Alcuni dati sperimentali affermano che ad un'altezza di circa 300 km la temperatura sarebbe di  $1000^{\circ}\text{C}$ .

## Ionosfera

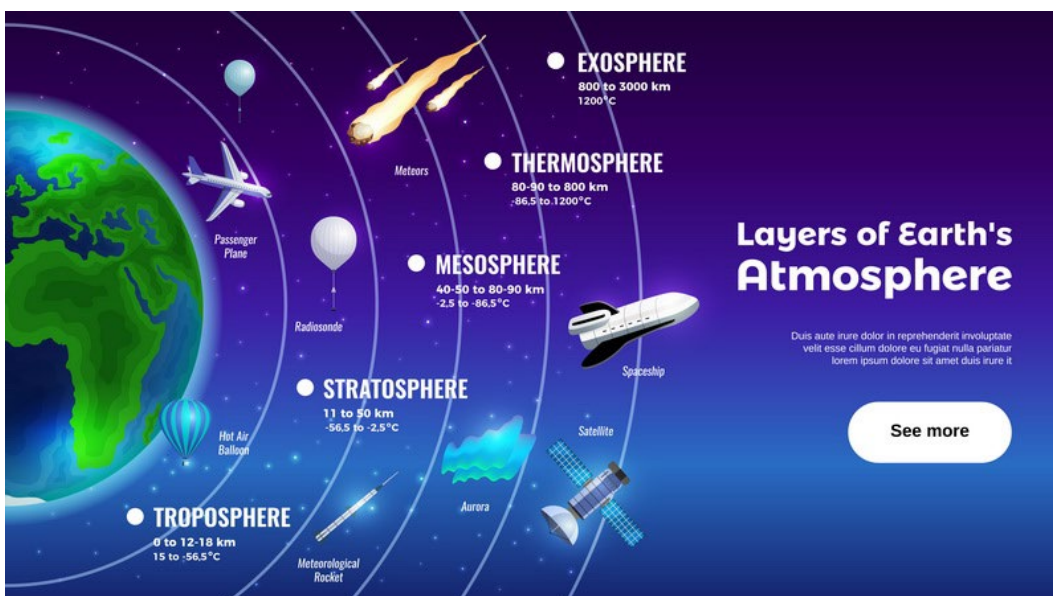
Contiene, nel suo insieme, una frazione minima della massa gassosa atmosferica, circa l'1% solamente (è estremamente rarefatta), ma ha uno spessore di alcune centinaia di chilometri e assorbe buona parte delle radiazioni ionizzanti provenienti dallo spazio. La temperatura in questo strato sale con l'altitudine, per l'irraggiamento solare, ed arriva ai  $1700^{\circ}\text{C}$  al suo limite esterno.

Al confine fra mesopausa e ionosfera hanno luogo le aurore polari.

La ionosfera riveste una grande importanza nelle telecomunicazioni perché è in grado di riflettere le onde radio, aiutandole a propagarsi oltre la portata visibile.

## Esosfera

L'esosfera non ha un vero limite superiore sfumando progressivamente verso lo spazio interplanetario e arrivando a comprendere parte delle fasce di Van Allen.











## I FRONTI

Molto sommariamente il fronte è una linea che delimita due masse d'aria a temperatura e pressione diverse.

Ad esempio una invasione di aria calda in una regione occupata da aria fredda, separiamo virtualmente le due masse con una linea, ecco quello è un fronte caldo. Viceversa, la linea immaginaria che separa una massa d'aria fredda che avanzando invade una zona precedentemente occupata da aria calda, si definisce fronte freddo.

Quando un fronte freddo, raggiunge un fronte caldo che precede (il fronte freddo è sempre più veloce del fronte caldo), si genera un fronte occluso (zona con alte precipitazioni e fenomeni temporaleschi).

Ecco come li troviamo rappresentati:

1.	fronte freddo	
2.	fronte caldo	
3.	fronte stazionario	
4.	fronte occluso	
5.	superficie di attraversamento	
6.	linea di burrasca	
7.	linea di secco	
8.	onda tropicale	

## I TEMPORALI

I temporali sono tra i fenomeni meteorologici più pericolosi per il volo.

I fattori principali necessari alla formazione di un temporale sono una massa d'aria con tendenza all'instabilità, un contenuto di umidità relativamente alto e una forza in grado di sollevare la massa d'aria.

Quando aria umida e relativamente instabile viene spostata da una forza che la spinge verso l'alto diventa più calda dell'aria circostante. L'aria più calda continua a salire fino a quando non si raffredda alla temperatura dell'aria circostante.

Un contenuto di umidità relativamente alto è anche essenziale per la genesi di un temporale. Quando la massa d'aria è sollevata al punto in cui l'umidità condensa, il calore latente della

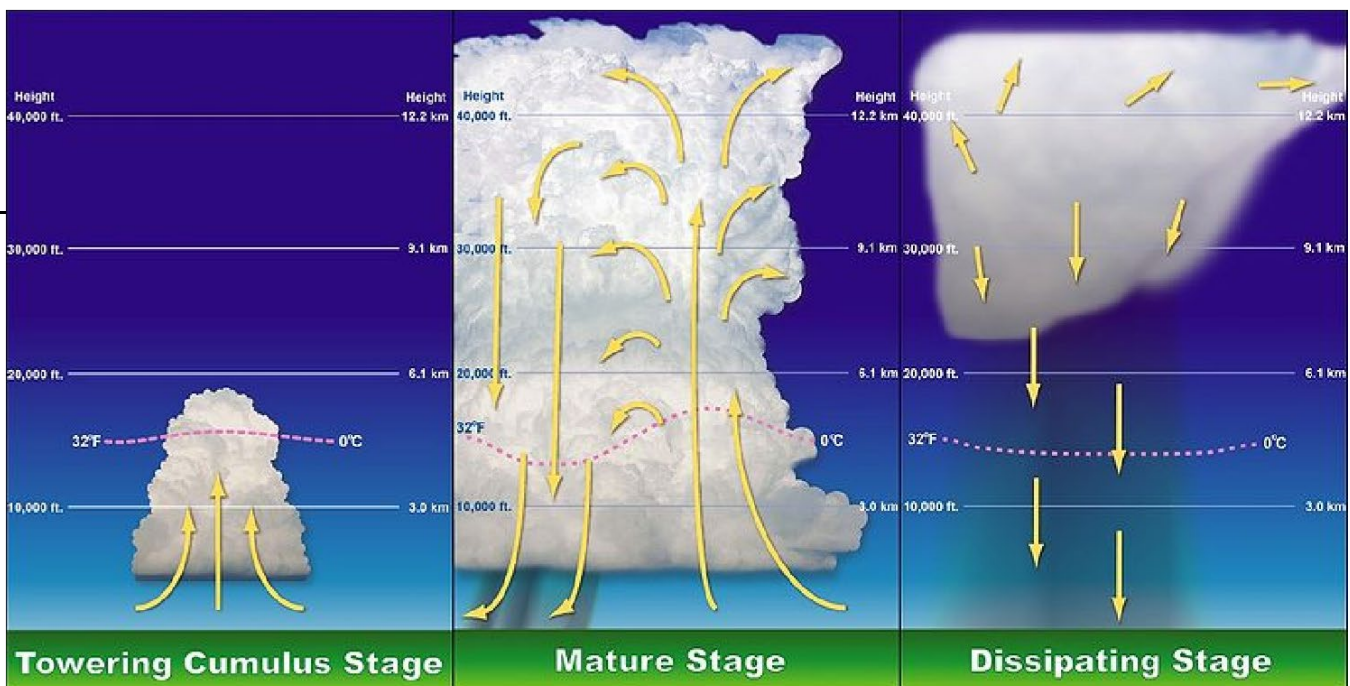
condensazione rilasciato all'interno della nube crea instabilità fornendo l'energia necessaria per conferire la forza convettiva.

L'azione di sollevamento della massa d'aria può essere causata da vari fattori: il calore (convezione), l'orografia del terreno ed in questo caso parliamo di "airmass thunderstorms". Se il sollevamento della massa d'aria è dovuto a sistemi frontali si parla di "frontal thunderstorms"

Quando si formano gli "airmass thunderstorms", solitamente interessano vaste aree. I "convective thunderstorms" sono generalmente causati dal riscaldamento solare del terreno che, per contro, riscalda l'aria con la conseguente formazione di termiche o correnti convettive. I temporali dovuti all'orografia del terreno si formano generalmente quando aria umida viene spinta su terreni montagnosi. Questi temporali sono spesso difficili da individuare quando ci si avvicina dal alto esposto al vento per il fatto che sono spesso nascosti da nubi stratiformi. I "frontal thunderstorms" si possono formare con qualunque tipo di fronte (freddo, caldo, stazionario od occluso). Questi temporali sono causati dal sollevamento di aria umida, calda ed instabile sulla superficie frontale.

## Struttura del temporale

L'unità base di un temporale è la cella convettiva (convective cell). Il diametro di una cella può variare da 5 a 30 sm. Le celle sono generalmente indipendenti l'una dall'altra all'interno di un singolo temporale. Un temporale può contenere una o più celle convettive a differenti stadi di sviluppo. La durata di un temporale dipende dal numero di celle che contiene e dal loro stadio di sviluppo e generalmente varia dai 20 minuti all'ora e mezza.



### Fase di cumulo o di formazione (Cumulus stage)

La fase iniziale di sviluppo di una nube temporalesca consiste in una singola cella detta nella fase cumuliforme “cumulus stage” di sviluppo. Sebbene in questa fase si parla di cumulo, va precisato che non necessariamente tutti i cumuli diventano dei temporali. Le correnti ascensionali (updrafts) caratterizzano questa fase e possono variare da pochi ft/sec fino anche a 100 ft/sec (6000 ft/min). Man mano che l'aria sale attraverso la cellula, si raffredda adiabaticamente ossia per effetto dell'espansione dell'aria in salita a causa della riduzione della pressione.

Quando raggiunge il punto di rugiada, si formano gocce di acqua e cristalli di ghiaccio mantenuti in sospensione nella nube dalle correnti stesse. Queste gocce aumentano sempre più le loro dimensioni fino a quando il loro peso supera la spinta verso l'alto della corrente ascendente per cui cominciano a precipitare dando luogo alla seconda fase.

### Mature stage

La fase matura (mature stage) è la più violenta: in un sistema di temporali associati ad un fronte, le celle spesso si estendono fino a 45.000 ft ed oltre. Quando le precipitazioni iniziano a cadere dalla base delle nubi significa che si sono formate le correnti discendenti (downdrafts) e la cella è entrata nella fase matura. La pioggia fredda nelle correnti discendenti rallenta il riscaldamento da compressione e il “downdraft” rimane più freddo dell'aria circostante. Di conseguenza la velocità discendente arriva fino a 2500 ft/min. I getti d'aria verso il basso divergono a contatto con il terreno generando forti venti di superficie a raffiche, una notevole diminuzione della temperatura ed un aumento della pressione. All'interno della cella i downdrafts and updrafts a stretto contatto tra loro generano un intenso “vertical shear”, particolarmente pericoloso per un aeromobile che vi ci si trovasse.

Vicino al suolo, repentini cambiamenti di direzione del vento e forti turbolenze (“lowlevel turbulence”) sono molto frequenti durante la fase matura.

### Dissipating stage

La fase terminale (dissipating stage) si ha quando all'interno della cella le correnti discendenti (downdrafts) sono ormai predominanti. In questa fase sempre più aria dagli strati alti viene distribuita dalle gocce di acqua in caduta. Di conseguenza le correnti discendenti cominciano a diffondersi per tutta la cella prendendo il posto delle correnti ascendenti che si stanno indebolendo sensibilmente. Con il progredire di questo fenomeno l'intera porzione inferiore della cella è caratterizzata esclusivamente da correnti discendenti e dato che è necessario avere aria spinta verso l'alto per avere condensazione e per il rilascio dell'energia del calore latente, l'intera cella inizia a dissiparsi.

A volte, all'inizio di questa fase, alla sommità del cumulonembo si forma l'incudine ( anvil) causata dai venti in quota che allontanano la parte superiore della nube dal cumulonembo stesso. I fenomeni associati ad un temporale, pericolosi per il volo sono la grandine, la turbolenza e i fulmini.

## IL GHIACCIO

Si definisce icing (contaminazione da ghiaccio) la formazione di un deposito di ghiaccio sulla struttura dell'aeromobile o sul motore e può avvenire nei seguenti due modi:

- Per congelamento di acqua sopraffusa
- Attraverso il processo di deposizione, nel quale il vapore d'acqua è trasformato in ghiaccio senza passare dallo stato liquido

e si può formare in volo nelle nubi, in volo in aria chiara o a terra.

I principali pericoli per il volo sono: aumento di peso e alterazione delle proprietà aerodinamiche dell'aereo. Nel motore può portare ad una perdita di potenza.

### Classificazione

**Tracce (traces):** Ghiaccio diventa percettibile. Tasso di accumulazione leggermente superiore alla frequenza di sublimazione. Non è pericoloso anche se sbrinamento e/o attrezzature antighiaccio non vengono utilizzate, a meno che si incontra per un lungo periodo di tempo - più di un'ora.

**Leggero (light):** Il tasso di accumulazione può creare un problema se il volo si prolunga in questo ambiente (oltre un'ora). Occasionalmente l'uso di attrezzature antighiaccio/anti-icing rimuove o impedisce l'accumulazione. Esso non rappresenta un problema se il sistema di sbrinamento è in uso.

**Moderato (moderate):** Il tasso di accumulazione è tale che anche brevi incontri diventano potenzialmente pericolosi e l'utilizzo di attrezzature di sbrinamento o antighiaccio sono necessarie.

**Severo (severe):** Il tasso di accumulazione è tale che i sistemi di sbrinamento o antiicing non riescono a ridurre o controllare il pericolo.

### Ghiaccio in volo in nube

I fattori che contribuiscono alla formazione del ghiaccio in volo in nube possono essere suddivisi in fattori meteorologici, causati cioè dalle condizioni meteorologiche, e fattori aerodinamici, che coinvolgono il velivolo.

I fattori meteorologici sono:

- Il contenuto di acqua sopraffusa
- Il contenuto di cristalli di ghiaccio
- La temperatura
- L'umidità
- La distribuzione delle gocce e dei cristalli

I fattori aerodinamici sono:

- L'efficienza di cattura delle gocce da parte del velivolo
- La velocità del velivolo
- La temperatura superficiale del velivolo

Perché si formi ghiaccio in nube sono necessarie due condizioni fondamentali:

- La presenza di gocce di acqua allo stato di sopraffusione. L'acqua sopraffusa è acqua liquida anche con temperature inferiori a  $0^{\circ}\text{C}$ , è frequente a temperature comprese tra  $0^{\circ}$  e  $-15^{\circ}\text{C}$  ed è uno stato di equilibrio critico facilmente perturbabile. Ogni perturbazione provoca l'immediato ghiacciamento delle gocce, quindi anche il contatto con un corpo solido (anche le superfici dell'aeromobile)
- Che la temperatura ambiente e/o delle superfici dell'aeromobile sia inferiore a  $0^{\circ}\text{C}$ ;

Possiamo concludere dicendo che l'icing in nube è pericoloso tra  $0^{\circ}\text{C}$  e  $-10^{\circ}\text{C}$ , ed è più frequente tra  $-4^{\circ}\text{C}$  e  $-10^{\circ}\text{C}$  e che:

- se le temperature sono inferiori a  $-10^{\circ}\text{C}$  si forma ghiaccio più friabile
- se le temperature sono inferiori a  $-40^{\circ}\text{C}$  il problema non esiste

Le nubi più pericolose per l'icing sono, nell'ordine:

#### - cumuli e cumulonembi

- hanno un alto contenuto di gocce
- contengono gocce di dimensioni maggiori

#### - nembostrati

- nella parte inferiore hanno una consistente densità di gocce d'acqua
- sotto la nube in presenza di precipitazioni congelatesi

#### - nubi stratiformi in generale

- in caso di lunga permanenza in nube
- con temperature molto basse

#### Ghiaccio in volo in aria chiara

In aria chiara (priva di nubi) si può formare ghiaccio al carburatore questo perché l'aria aspirata nel carburatore si espande raffreddandosi ed anche la benzina sottrae calore all'aria per evaporare; questa condizione fa sì che i depositi di ghiaccio diminuiscono la sezione di aspirazione diminuendo così la potenza del motore.

I possibili rimedi sono di avere installato a bordo un termometro per monitorare la temperatura del carburatore e avere altresì un dispositivo di riscaldamento del carburatore.

### Ghiaccio a terra

L'icing a terra si può formare per depositi di neve o precipitazioni congelatesi, ma anche da vapore che brina in funzione di:

- Temperatura esterna,
- Temperatura della superficie del velivolo (cold soaked)
- Umidità relativa
- Velocità e direzione del vento.

La neve da luogo in genere a formazioni granulose, meno pericolose.

Le precipitazioni congelantesi si formano generalmente sotto un'inversione termica (per es. da fronte caldo, in inverno)

- Le temperature sono più basse vicino al suolo
- E' presente acqua sopralfusa, dunque il pericolo di ghiaccio è elevato
- Le formazioni saranno compatte (ghiaccio vetrone)

### Principali tipi di ghiaccio

Ghiaccio brinoso, hoar frost:

- aspetto di cristalli di ghiaccio leggero, simile a brina
- si forma in aria chiara per sublimazione del vapore acqueo
- si forma a terra e in volo; fa da base per la formazione di altri tipi di ghiaccio Ghiaccio granuloso, rime ice:
- struttura opaca, porosa
- si forma per congelamento di piccole gocce di acqua sopralfusa
- si forma nelle nubi e nella pioviggine, tra -10°C e -20°C

Ghiaccio vetrone, clear ice:

- ghiaccio chiaro, compatto, trasparente, aderente
- si forma per congelamento di grosse gocce di acqua sopralfusa
- si forma nelle nubi tra 0°C e -10°C

## Effetti del ghiaccio sugli aeromobili

### **Alterazione del flusso aerodinamico**

- I profili aerodinamici vengono deformati dagli accumuli di ghiaccio
- Diminuzione della portanza e aumento della resistenza

### **Ostruzione delle prese d'aria di alimentazione**

- Diminuzione della potenza erogata dai motori

### **Mancanza di visibilità anteriore**

### **Ostruzione della presa dinamica**

### **Disturbi alle comunicazioni**

- Comunicazioni radio e ricezione segnali di radionavigazione
- Per accumulo di ghiaccio su antenne

## Lo zero termico

Lo zero termico è il dato meteorologico che indica una certa altitudine alla quale la temperatura atmosferica è di 0° C. Questo dato viene rilevato in un dato istante temporale.

Al di sopra di tale altitudine la temperatura va generalmente calando (eccetto in situazioni di inversione termica), dunque si porterà su valori inferiori allo 0 °C. Il dato altimetrico dello zero termico è rilevato in metri sul livello del mare.

## **WIND SHEAR**

Il “wind shear” è un improvvisa e drastica variazione della velocità e/o direzione del vento che può verificarsi sia sul piano verticale che sul piano orizzontale. L'aeromobile può essere soggetto a violenti “updrafts”, “downdrafts”, e/o violente componenti di vento orizzontale che possono causare perdita di portanza e repentini e a volte violenti cambiamenti della velocità verticale e dell'altitudine. Sebbene possa verificarsi a qualsiasi altitudine, il “wind shear” è frequente quando si attraversano zone frontali o in prossimità di temporali. Si può anche verificare durante inversioni termiche quando uno strato di aria fredda e calma sulla superficie e sovrastato da uno strato di aria più calda con venti di oltre 25 Kts.

Avvicinamenti e decolli dovrebbero sempre essere evitati in presenza di “wind shear”.

Se si incontra un improvviso “wind shear” durante l'avvicinamento, può essere difficile se non impossibile mantenere il corretto sentiero di discesa. Quando il vento cambia da frontale a vento in coda o a vento calmo l'assetto dell'aeromobile si modifica (l'aereo ha una tendenza a picchiare) e la velocità indicata diminuisce e di conseguenza l'aereo tenderà a scendere al di sotto del corretto sentiero di discesa; sarà necessario incrementare la potenza, sia per ri-aumentare la velocità sia per risalire sul corretto sentiero di discesa. Quando le condizioni si stabilizzano, la

potenza va nuovamente ridotta. Quando il vento cambia da vento in coda a vento frontale o a vento calmo, l'aeromobile avrà una tendenza a cabrare e la velocità indicata anche andrà ad aumentare e di conseguenza l'aereo tenderà a salire al disopra del corretto sentiero. Sarà quindi necessario ridurre la potenza per riportare la velocità al valore corretto e riguadagnare il sentiero di discesa per poi ri-aumentarla quando le condizioni si sono stabilizzate. Un go-around o un'interruzione del decollo va sempre presa in considerazione poiché il "wind shear" può superare le capacità prestazionali del velivolo.

In molti aeroporti è stato implementato il **LLWAS (Low-Level Wind shear Alert System)** che fornisce avvisi di wind shear vicino alla superficie. Tale sistema tuttavia non sempre è in grado di avvisare della eventuale gravità dei fenomeni

## LE NUVOLE

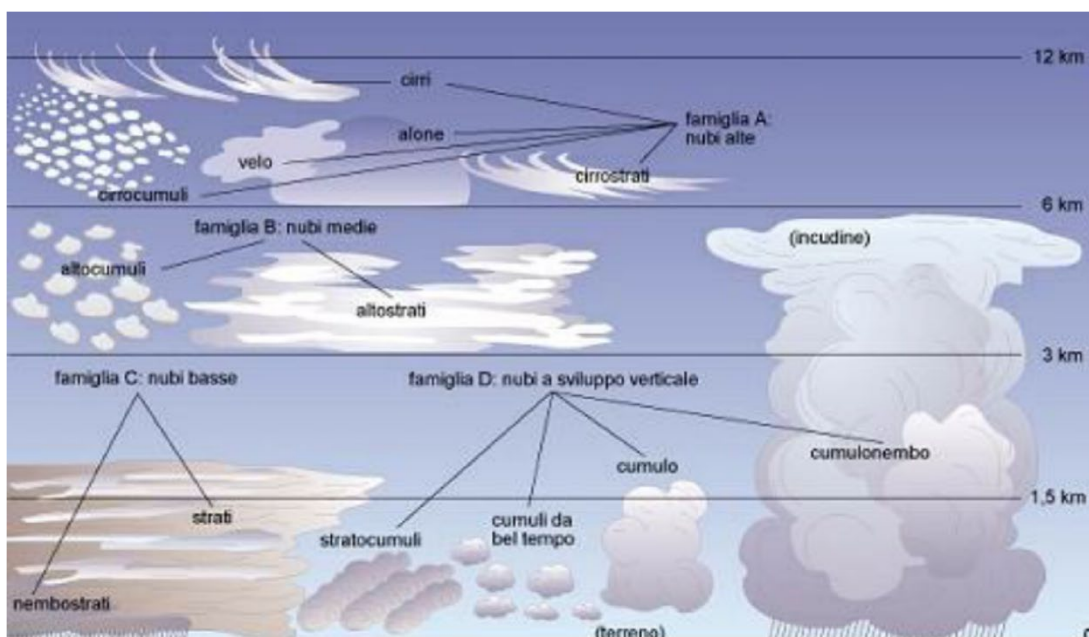
### **Definizione**

Una nuvola, o nube, è una massa visibile di piccole goccioline o cristalli di ghiaccio sospesi nell'atmosfera, sopra la superficie terrestre o di un altro corpo planetario o un satellite ad altezza variabile, di varie forme e spessore.

### **Classificazione**

Le nubi sono classificate in base a due criteri, che sono:

- in base alla loro conformazione, vengono distinte in stratiformi e stratificate quando si sviluppano con un andamento prevalentemente orizzontale e cumuliformi quando si sviluppano maggiormente in altezza;
- in base alla quota, si dividono in quattro famiglie e dieci generi.



## Nubi Alte

Sono le nubi che si formano nella Regione Superiore (da 5 a 8 Km sulle calotte polari, da 5 a 13 Km sulle zone temperate e da 6 a 18 Km sulle zone tropicali) e ne fanno parte:

- **Cirri (Ci)** – Sono le nubi più alte, somiglianti a sfilacciate di cotone spesso terminanti ad uncino. Se appaiono da sole sono indice di bel tempo mentre se appaiono accompagnate da Cirrostrati e Altostrati preannunciano l'avvicinarsi di una perturbazione.
- **Cirrostrati (Cs)** – Si presentano come un velo sottile e trasparente che spesso ricopre tutto il cielo. Producono spesso un alone intorno al sole o alla luna e precedono quasi sempre una perturbazione.
- **Cirrocumuli (Cc)** – Si presentano in banchi di piccoli fiocchi bianchi che danno luogo al “cielo a pecorelle”. Siccome derivano dai cirrostrati, preannunciano l'arrivo del cattivo tempo.

## Nubi Medie

Sono le nubi che si formano nella Regione Media (da 2 a 4 Km sulle calotte polari, da 2 a 7 Km sulle zone temperate e da 2 a 8 Km sulle zone tropicali) e ne fanno parte :

- **Altostrati (As)** – Formano distese uniformi di nubi grigie o bluastre il cui spessore non consente, di solito, il passaggio di luce solare; il loro spessore si aggira di solito tra i 2000 e i 3000 piedi.
- **Altostrati (As)** – Formano distese uniformi di nubi grigie o bluastre il cui spessore non consente, di solito, il passaggio di luce solare; il loro spessore si aggira di solito tra i 2000 e i 3000 piedi.

## Nubi Basse

Si formano nella Regione Inferiore (dai 2000 mt al suolo) e ne fanno parte:

- **Nembostrati (Ns)** – Formano distese uniformi dense e scure ed i contorni della loro base sono spesso non ben definiti a causa delle abbondanti precipitazioni che discendono da queste nubi; il loro spessore varia notevolmente: la base si può trovare al di sotto dei 3000 piedi mentre la sommità può superare i 25000 piedi.
- **Stratocumuli (Sc)** – Si presentano come distese di grandi massi rocciosi o lastroni con protuberanze sottostanti di colore grigio scuro; il loro spessore varia tra i 2000 e i 4000 piedi.
- **Strati (St)** – Formano distese basse, uniformi e nebbiose che a volte scendono fino a toccare il suolo; il loro spessore è in genere di 1000-1500 piedi.

## Nubi a sviluppo verticale

Le nubi a sviluppo verticale si estendono principalmente in altezza.

- **Cumuli (Cu)** – Sono formati da una colonna d'aria sufficientemente umida che viene spinta verso l'alto e nella fase iniziale della loro formazione non riescono a coprire completamente il cielo ma lasciano ampi squarci tra l'uno e l'altro; lo spazio di cielo libero è occupato dalle correnti discendenti.
- **Cumulonembi (Cb)** – sono le nubi temporalesche la cui sommità raggiunge spesso la tropopausa; quando il moto ascensionale che genera il cumulonembo non viene fermato da un'inversione termica a quota più bassa, esso raggiunge la tropopausa ancora dotato di alta velocità, in questo caso la nube può penetrare la tropopausa per alcune migliaia di piedi.

### **Le nubi e il volo**

La nuvolosità, o copertura del cielo, rappresenta la frazione della volta celeste coperta da nubi, il rapporto cioè tra la parte di cielo coperta e la superficie totale del cielo. Si hanno due tipi di nuvolosità, quella totale e quella parziale: la prima valuta complessivamente la presenza di qualsiasi genere di nubi mentre la seconda si riferisce solamente ad un determinato genere di nubi. La copertura del cielo viene valutata a vista durante le osservazioni da terra effettuate dalle stazioni meteorologiche e la frazione che la rappresenta viene espressa in ottavi, da 0 a 8.

Quando il cielo è coperto per più della metà da nubi con la base sotto i 20.000 piedi si dice che le nubi formano un soffitto (ceiling). Ne deriva quindi che le uniche coperture che possono determinare un ceiling sono **broken** e **overcast**.

Quando non esistono nubi si dice che il cielo è sereno (**SKC**).

Quando non ci sono nubi al di sotto dei 5000ft (1.500 mt) e non c'è presenza di TCU e di CB viene utilizzata la definizione No Significant Cloud (**NSC**).

- Copertura tra 1 e 2 ottavi – poche nubi (**FEW**);
- Copertura tra 3 e 4 ottavi – nubi sparse (**SCATTERED**);
- Copertura tra 5 e 7 ottavi – copertura con squarci (**BROKEN**);
- Copertura totale 8 ottavi – il cielo è **OVERCAST**;

Quando la presenza di nebbia o di altri fenomeni oscuranti al suolo impedisce l'osservazione della nuvolosità, viene riportato cielo invisibile.

La conoscenza dell'altezza delle nubi è essenziale per la scelta delle quote che consentono di mantenere condizioni VMC sotto o sopra le nubi, nonché di evitare l'incontro con turbolenza, precipitazioni e formazioni di ghiaccio.

## INVERSIONI TERMICHE

La temperatura dell'aria varia con la quota, partendo dal suolo.

Questo avviene perché più ci si allontana dal terreno e più il calore disperso dalla terra viene dissipato in atmosfera e il riscaldamento solare non riesce a scaldare l'aria in maniera efficace. La diminuzione di temperatura e la differenza tra suolo e alta quota viene detta **Gradiente Termico**.

### Gradiente termico verticale

L'andamento della temperatura stessa nella troposfera è decrescente, questa diminuzione cessa in un punto definito **tropopausa**.

Abbiamo anche visto che la temperatura al suolo è condizionata da diversi fattori, tra cui l'inclinazione della superficie rispetto ai raggi del sole infatti vi sono punti della terra che ricevono un maggior contributo di calore dai raggi solari, e altri che ne ricevono in minor misura, in relazione alla loro latitudine questo perché i raggi solari giungono maggiormente inclinati in prossimità dei poli terrestri, mentre all'equatore i raggi solari giungono diretti.

Un altro fattore importante è rappresentato dalla capacità termica dei diversi corpi: terra, roccia, acqua, terreno erboso, sabbia, ecc. ognuno di questi materiali si comporta diversamente rispetto all'energia ricevuta dal sole infatti se immaginiamo una superficie, per metà costituita da terra e per metà costituita da acqua, noteremo che benché colpiti dalla medesima quantità di energia solare, il calore viene incamerato con modalità differenti. La terra si riscalda molto più rapidamente dell'acqua ma, di contro, si raffredda anche molto più rapidamente.

Da questo diverso comportamento rispetto al calore, deriva un diverso riscaldamento delle masse d'aria che giacciono su ciascuna di quelle superfici, poiché, come abbiamo già detto, il riscaldamento dell'atmosfera avviene soprattutto dal basso.

La variazione di temperatura con la quota prende il nome di **gradiente termico verticale**. Il valore (medio) è stato fissato in 0,65 gradi per ogni 100 metri di elevazione (oppure 2 gradi ogni 1000 piedi).

Un altro fattore che entra in gioco nel riscaldamento delle superfici terrestri è costituito dalla copertura nuvolosa del cielo. Se il cielo è sereno, tutta l'energia irradiata dal suolo si disperde, determinando un forte raffreddamento del suolo stesso mentre se invece il cielo è molto nuvoloso o coperto, una parte dell'energia irradiata verso l'alto sarà riflessa verso il suolo, che pertanto si raffredderà molto meno. Fissati questi aspetti possiamo considerare il concetto di inversione termica.

## Inversioni termiche

L'inversione termica rappresenta un andamento anomalo della temperatura con la quota infatti normalmente la temperatura dovrebbe decrescere mentre si verifica talvolta, che invece di diminuire, la temperatura aumenti; siamo di fronte ad una inversione termica.

Possiamo distinguere due tipi di inversione:

- in quota
- al suolo

### L'inversione termica al suolo

L'inversione al suolo si verifica quando, partendo dalla superficie terrestre, la temperatura anziché diminuire aumenta fino ad una certa quota in cui tale fenomeno cessa e la temperatura riprende a comportarsi normalmente. Questa quota prende il nome di **marginale superiore dell'inversione**.

Una delle cause va ricercata nel rapido raffreddamento notturno degli strati atmosferici più vicini al suolo che perde calore con la stessa velocità con cui lo ha acquistato durante il giorno (**irraggiamento notturno**). Per questo motivo l'aria vicina al suolo, risentendo del raffreddamento dello stesso, finisce per essere più fredda di quella posta negli strati superiori. Con cielo sereno ed assenza di vento, la possibilità che si verifichi, di notte, una inversione diventa molto elevata poiché l'assenza di nubi contribuisce alla dispersione del calore verso lo spazio.

Sapete come si può osservare una inversione termica? Innanzitutto, è più facile osservarla sul mare o sulla terraferma?

Visto che abbiamo legato il fenomeno dell'inversione al rapido raffreddamento della superficie su cui sosta l'aria il luogo deputato a rapide variazioni di temperatura non sarà il mare, dove le variazioni di temperatura esistono ma sono molto lente e graduali e quindi l'inversione, il più delle volte, si verifica sulla terraferma.

Un semplice sistema per visualizzare un'inversione termica è quello di osservare i fumi emessi dai camini delle fabbriche o delle case (naturalmente in assenza di vento) vedremo che questo fumo anziché fluire verso l'alto avrà un andamento molto inclinato e sembrerà quasi bloccarsi ad una determinata quota; ecco la nostra inversione termica e la quota a cui il fumo sembra fermarsi rappresenta il margine superiore dell'inversione.

### Inversione in quota

L'inversione in quota è caratterizzata da una variazione del normale andamento della temperatura che si verifica ad una quota intermedia della troposfera.

Partendo dal suolo, la temperatura comincia a decrescere con il suo solito andamento e giunti ad una determinata altezza si verifica l'anomalia: la temperatura, improvvisamente, comincia ad

aumentare dando inizio all'inversione termica in quota. Questa quota dove inizia il fenomeno, si chiama **marginie inferiore dell'inversione**.

La causa dell'inversione, in questo caso, è da ricercarsi nel riscaldamento specifico di quello strato d'aria (dovuta, ad esempio, alla subsidenza ovvero alla discesa di aria da quote superiori che si riscalda per compressione).