

# METEOROLOGIA AERONAUTICA

## Parte I

Origine e classificazione dei fenomeni di turbolenza: convettiva, meccanica, in aria chiara e di scia



ENAV *S.p.A.*

# METEOROLOGIA AERONAUTICA

La meteorologia aeronautica è la scienza che descrive i fenomeni meteorologici pericolosi per il volo.

Questi sono:

- la turbolenza (trattata nella parte I)
- il wind shear (trattato nella parte II)
- i temporali (trattati nella parte III)
- l'icing (o ghiacciamento, trattati nella parte III)
- la riduzione della visibilità (trattati nella parte III)

Nella parte IV di questo corso vengono descritti gli avvisi di sicurezza e le carte aeronautiche attraverso i quali tali fenomeni vengono segnalati all'utenza aeronautica.

# TURBOLENZA E WIND SHEAR

- Dal punto di vista aeronautico sono considerati due fenomeni distinti, ma sono in realtà l'una l'effetto e l'altro la causa dello stesso fenomeno: la deviazione indesiderata dell'aereo dalla propria traiettoria di volo con sobbalzi e scossoni (**turbolenza**), provocata da rapida variazione in direzione e/o intensità del vento (**wind shear**).
- Per consuetudine la turbolenza è considerata un fenomeno negativo in tutte le fasi di volo, il wind shear è considerato negativo solo a bassa quota (**LLWS, Low Level Wind Shear**).

# DEFINIZIONE ICAO DI TURBOLENZA

Insieme di scossoni cui è soggetto un aereo in volo quando incontra correnti ascendenti o discendenti o raffiche di vento.

La definizione ICAO è basata sulle sensazioni dell'equipaggio e dei passeggeri, dipende dal tipo e dallo stato dell'aereo e dalla reazione del pilota.

Esiste anche una classificazione ICAO della turbolenza, anch'essa basata sulle reazioni del velivolo.

# INTENSITA' DELLA TURBOLENZA (ICAO)

- **LEGGERA (LIGHT):** momentanee e leggere variazioni di assetto e di quota dell'aereo
- **MODERATA (MODERATE):** variazioni più intense ma aereo sotto controllo
- **FORTE (SEVERE):** variazioni ampie e repentine, aereo momentaneamente fuori controllo
- **ESTREMA (EXTREME):** aereo violentemente sbattuto e totalmente incontrollabile, possibili danni alla struttura dell'aereo

# TIPI DI TURBOLENZA

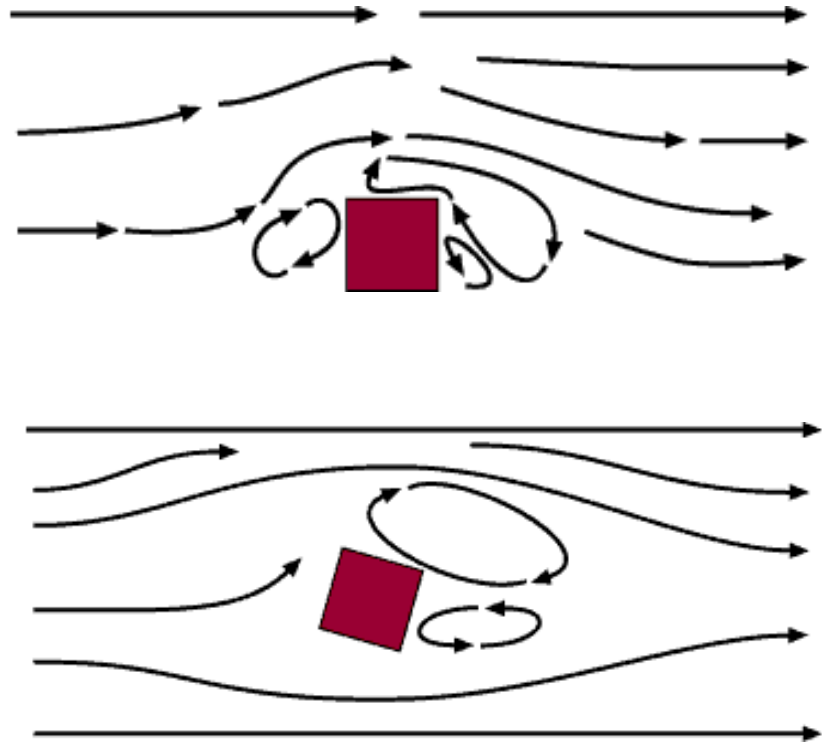
La turbolenza viene divisa in base ai fenomeni meteorologici che la producono.

- Convettiva
  - generata dai temporali
- Meccanica
  - provocata dall'attrito superficiale
  - provocata dalle onde di montagna (MTW)
- Turbolenza in aria chiara (CAT)
  - generata dall'energia del flusso dell'aria
- Turbolenza di scia
  - non è un fenomeno meteorologico, ma i suoi effetti sono analoghi a quelli della turbolenza meteo

Vediamo in dettaglio ciascuno di questi casi.

# TURBOLENZA MECCANICA

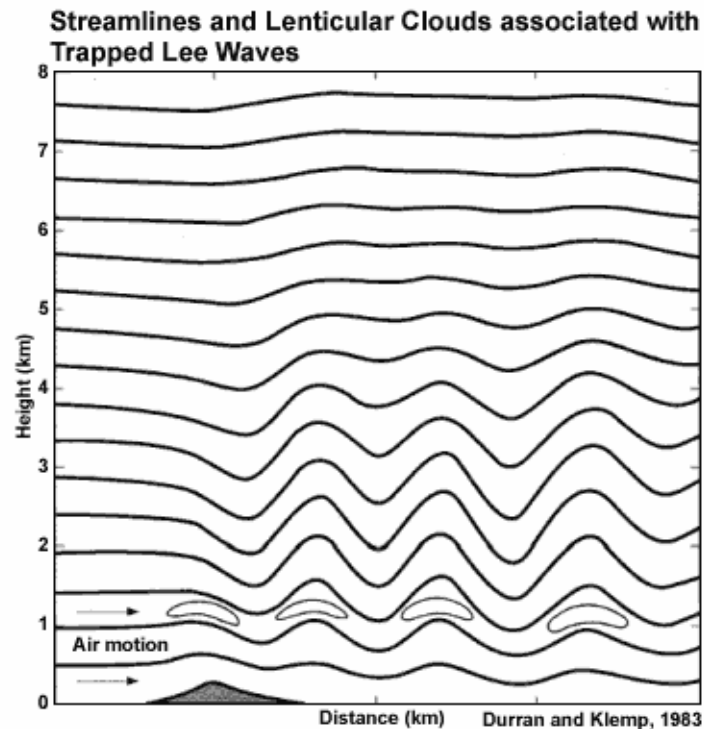
E' dovuta alla presenza di piccoli ostacoli nelle vicinanze per esempio dell'aerodromo. In questo caso, sottovento al flusso dell'aria, si possono formare dei vortici dovuti alla rottura del flusso laminare, i quali generano turbolenza.



# ONDE DI MONTAGNA (MTW)

Le onde di montagna (MTW, mountain waves) si formano quando il flusso del vento incontra una catena montuosa.

- Si formano più facilmente quando:
  - la direzione del vento è perpendicolare alla catena
  - lo strato di aria è stabile al livello della catena
  - la velocità del vento è di almeno 25 kt e in aumento con la quota
- Se l'aria è umida le onde di montagna sono rese visibili da caratteristiche nubi associate:
  - nubi lenticolari
  - nubi di rotore su creste di particolare ampiezza





# NUBI LENTICOLARI



# NUBI DI ROTORE



(c) Len Williams

# TURBOLENZA IN ARIA CHIARA (CAT, CLEAR AIR TURBULENCE)

- Si verifica prevalentemente in quota (ca. 6 km)
- Si presenta quasi sempre in aria priva di nubi
- I fenomeni meteorologici associati alla CAT sono:
  - la corrente a getto, o jet stream, una forte corrente in quota concentrata lungo un asse quasi orizzontale, caratterizzata da un forte gradiente del vento;
  - la tropopausa;
  - saccature e depressioni in quota;
  - le onde di montagna.

# LA CORRENTE A GETTO

Si definisce corrente a getto una corrente relativamente sottile concentrata lungo un asse quasi orizzontale, situata nella troposfera superiore e nella stratosfera, caratterizzata da un forte gradiente verticale e laterale dell'intensità del vento, che presenta uno o più massimi di velocità.

In genere la lunghezza di una corrente a getto è di diverse migliaia di km, la sua larghezza di qualche centinaia di km e la sua altezza di qualche km. La velocità del vento varia normalmente da 60 kt a 240 kt, il gradiente verticale è di 5 kt ogni 1000ft, quello orizzontale di 10 kt ogni 60 miglia.

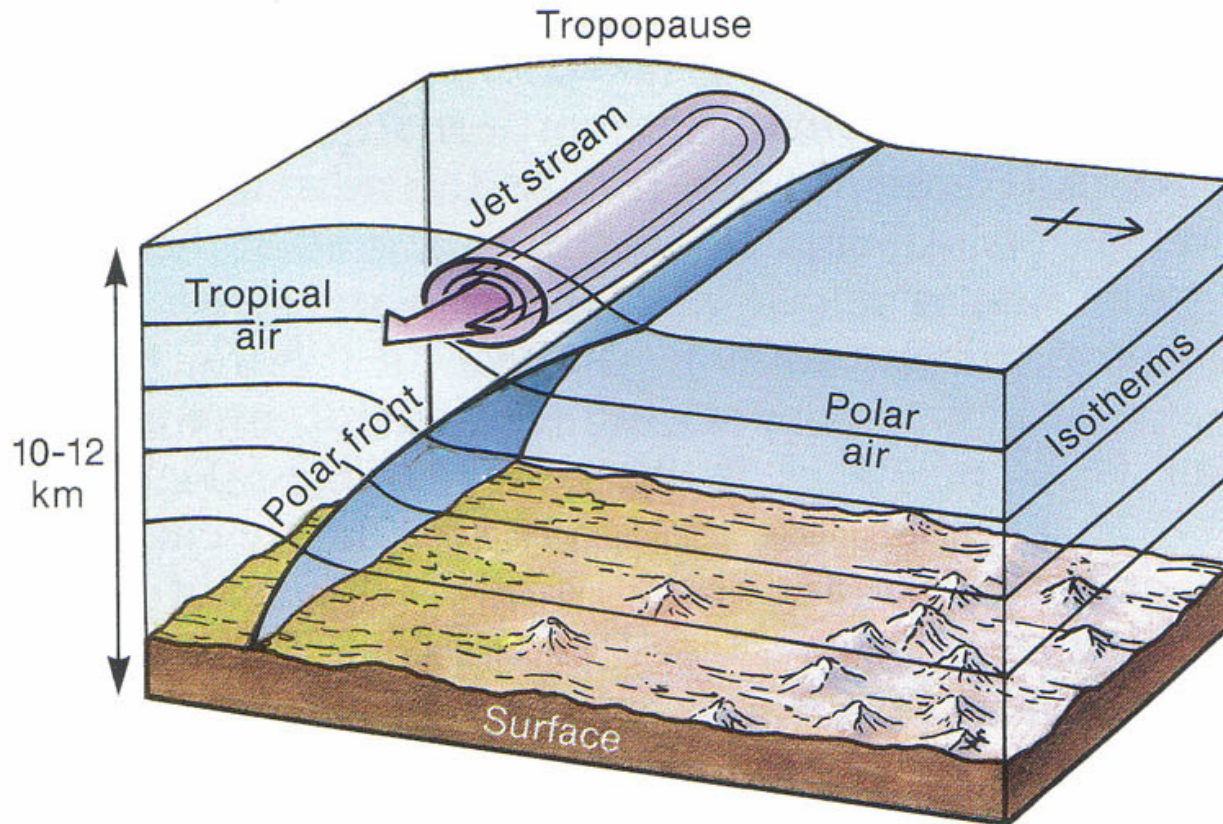
L'asse del getto si trova attorno ai 10 000 m.

Le principali correnti a getto sono il getto polare e quello subtropicale.

# CARATTERISTICHE DELLA CORRENTE A GETTO

- La corrente a getto può essere raffigurata come un fiume d'aria che scorre da ovest verso est nell'alta troposfera.
- Ha carattere circumpolare e nel suo percorso alterna dei massimi di velocità a regioni con velocità inferiori.
- Il getto polare è associato al fronte polare, è più intenso e posizionato a latitudini più basse in inverno, più debole e a latitudini più alte in estate.
- La sua presenza è evidenziata da una brusca variazione d'altezza della tropopausa, dovuta a una superficie frontale, detta fronte del getto. Dall'analisi della sezione verticale del getto si può evidenziare la presenza del fronte del getto e la distribuzione della velocità del vento. In particolare il getto presenta al centro un massimo di velocità, detto "core" del getto.

# SEZIONE VERTICALE DELLA CORRENTE A GETTO



# ALTRI FENOMENI ASSOCIATI ALLA CAT

- Tropopausa: si tratta del sottile strato di aria che separa la troposfera, che parte dal suolo e dove la temperatura decresce con la quota, dalla stratosfera, dove la temperatura cresce con la quota. La tropopausa è quindi una zona di inversione termica. La sua altitudine varia con la latitudine e con la stagione
  - l'inversione termica blocca l'ascesa delle correnti
  - le correnti sono costrette e deviare e a scorrere orizzontalmente
  - lo scorrimento genera moto ondulatorio dell'aria
- Le saccature e le depressioni sono strutture circolatorie che possono portare variazioni di vento ai loro bordi, e dunque turbolenza

# TURBOLENZA DI SCIA

- NON è un fenomeno meteorologico, ma gli effetti sui velivoli sono simili a quelli provocati dalla turbolenza meteorologica
- E' generata dai vortici controrotanti prodotti alle estremità alari, che si allargano con rotazione opposta
  - raggiungono diametri dell'ordine di grandezza dell'apertura alare
  - quando l'aereo è in moto, i vortici si distendono all'indietro (vengono detti trecce di Berenice)

