

# **Teoria Generale Del Volo**

Di  
Giuseppe “ Grugno” Regano

## **Premessa**

Innanzitutto è d'obbligo una premessa: Questa guida non vuole essere affatto un documento che descriva in maniera esaustiva tutto ciò che c'è dietro la teoria del volo ne essere un punto fermo in cui sia possibile aprire e chiudere un argomento di così vaste dimensioni; questo documento vuole essere un punto di partenza che facendo leva sulla curiosità del lettore spinga lo stesso a compiere approfondimenti su ciò che in questa sede verrà trattato. Quindi ogni argomento trattato deve essere considerato solo il punto di partenza per un viaggio che potrà portare chi legge a scoprire più dettagliatamente ogni sfaccettatura dell'affascinante e poliedrico mondo del volo. Prima di andare in giro per il mondo a bombardare a destra e a manca è meglio imparare ciò che sta alla base del volo.

## **Come imparare**

Saper volare non vuol dire solo saper eseguire le manovre fondamentali del volo, significa saper prendere le decisioni giuste al momento giusto.

Per questo è indispensabile che il pilota accumuli tanta esperienza, per fare ciò è basilare che l'allievo all'inizio acquisisca tale esperienza dal proprio istruttore interrogandolo per chiarire il perché di ogni cosa e soprattutto per comprendere i processi logici che sono alla base di ogni procedura di volo. Compito dell'istruttore è appagare tale curiosità senza però saturare l'allievo di nozione che l'allievo non è ancora pronto a recepire.

## **L'atmosfera**

Per capire come funziona il meccanismo del volo è importante prima accennare a ciò che permette il volo, ovvero all'ambiente in cui l'aereo si muove e grazie al quale gli è permesso di essere una macchina volante.

Avreste mai pensato di muovervi sul fondo di un oceano profondo più di 11.000 metri?

Ebbene e' ciò che realmente succede: L'atmosfera e' costituita dalla massa d'aria che avvolge la terra. I fenomeni meteorologici hanno luogo nella parte più bassa di essa, spessa circa 11.000 metri ( appunto) chiamata **Troposfera**.

Tutto ciò che accade nella *troposfera* è da imputare alle tre grandezze fondamentali che caratterizzano l'atmosfera : Pressione, Temperatura, Umidità.

Siccome questi valori sono altamente variabili a seconda del luogo preso in esame e dell' altitudine dello stesso al fine di avere parametri costanti necessari come riferimento per la regolazione degli strumenti e' stato internazionalmente convenuto di istituire **l'atmosfera standard (ISA)**.

Essa e' considerata come *priva di umidità* e avente :

*Pressione* al livello del mare di 1.013 hpa ( hectopascal) o millibar (mb) decrescente con la quota in ragione di 1 hpa ogni 8 metri ( o 27 piedi).

*Temperatura* al livello del mare di +15° C decrescente con la quota in ragione di 0,65°C ogni 100 metri (o 2°C ogni 1.000 piedi).

### **La Pressione:**

e' la forza che il peso della colonna d'aria esercita sulla superficie terrestre( al livello del mare 1.013 hpa ovvero 1 Kg/cm<sup>2</sup> cioè 1 atmosfera).

La diminuzione di pressione che si verifica con l'alzarsi della quota e' detto **gradiente barico verticale**(1 hpa ogni 8 metri).

Indicativamente la pressione si dimezza verso i 5.000 metri.

Essendo la distribuzione della massa d'aria intorno alla terra non uniforme anche la pressione atmosferica presenta notevoli variazioni.

L'andamento della pressione atmosferica al livello del mare viene rappresentato tracciando delle linee che uniscono i punti di uguale pressione, tali linee sono chiamate **isobare(fig. 1)**.

La particolare conformazione di tali linee da luogo a diverse conformazioni bariche, le più note sono quelle ad andamento **ciclonico** o **anticiclonico** a seconda che al centro di esse ci siano rispettivamente zone di bassa o alta pressione.

La variazione di pressione lungo la superficie terrestre e' detta **gradiente barico orizzontale** ed e' la causa del *vento*(più vicine sono le isobare più forte sarà il vento)

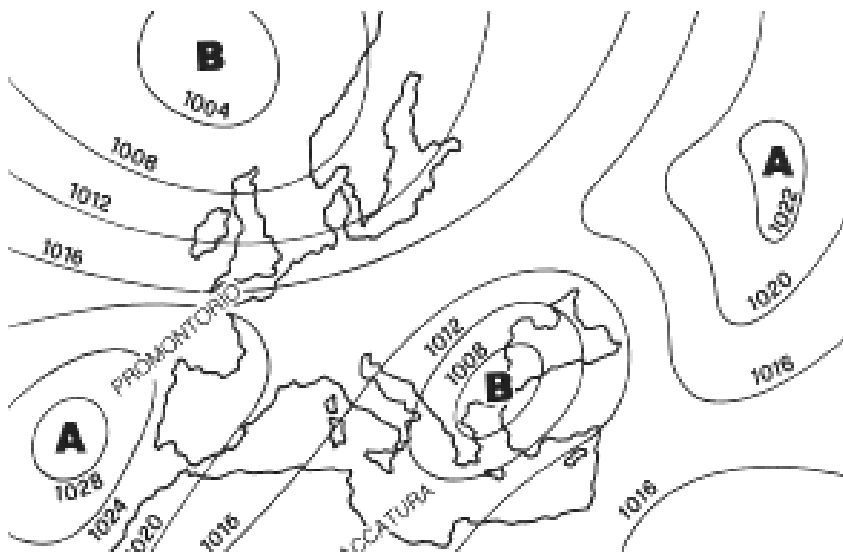


FIGURA 1

### La Temperatura:

I raggi del sole attraversano l'atmosfera senza scaldarla, ma scaldano la superficie terrestre che a sua volta cede più o meno calore agli strati di atmosfera sovrastanti. La superficie terrestre viene scaldata in modo molto vario a causa del diverso irraggiamento solare (giorno-notte, stagioni, nuvolosità etc.) e della diversa capacità termica de suolo terrestre ovvero alla capacità maggiore o minore che ha di trattenere il calore del Sole.

Perché quando faccio il bagno di mezzanotte l'acqua e' calda?

L'acqua ha una grossa capacità termica per questo quando e' raggiunta dai raggi solari accumula calore e ne cede pochissimo ( sembra fredda) diversamente quando l'attività solare non la interessa più cede calore ed e' capace di farlo anche per molto tempo ( sembra calda).

Altri materiali come la sabbia hanno bassissima capacità termica quindi trattengono percentuali bassissime di calore cedendolo immediatamente all'atmosfera riscaldandola ( e di estate i piedi sulla spiaggia si incendiano) viceversa quando non sono più colpiti dal Sole si raffreddano velocemente.

La diversa temperatura della superficie terrestre provoca anche un diverso riscaldamento dell'aria sovrastante dando luogo ai **moti convettivi(fig 2)**.

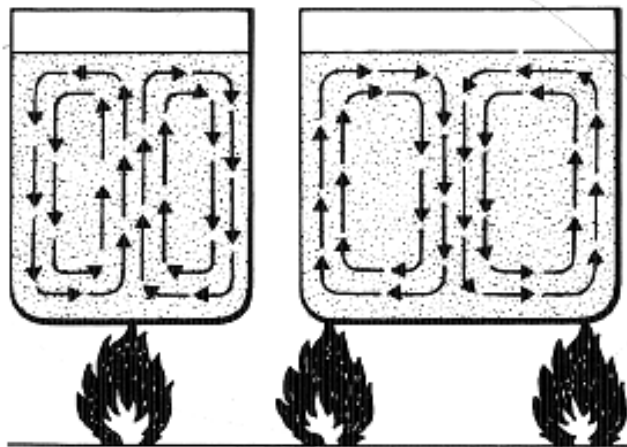


FIGURA 2

### L' Umidità:

e' la percentuale di vapore acqueo presente nell' aria.

Papà, di che sono fatte le nuvole? Di vapore.... SBAGLIATO:

E' importante sapere che il vapore acqueo e' una sostanza perfettamente trasparente alla luce, pertanto non commettiamo l'errore di dire che le nubi sono fatte di vapore , bensì si tratta di minutissime gocce di acqua già allo stato liquido e quindi visibili.

A seconda della pressione e della temperatura una massa d'aria e' capace di trattenere più o meno vapore acqueo.

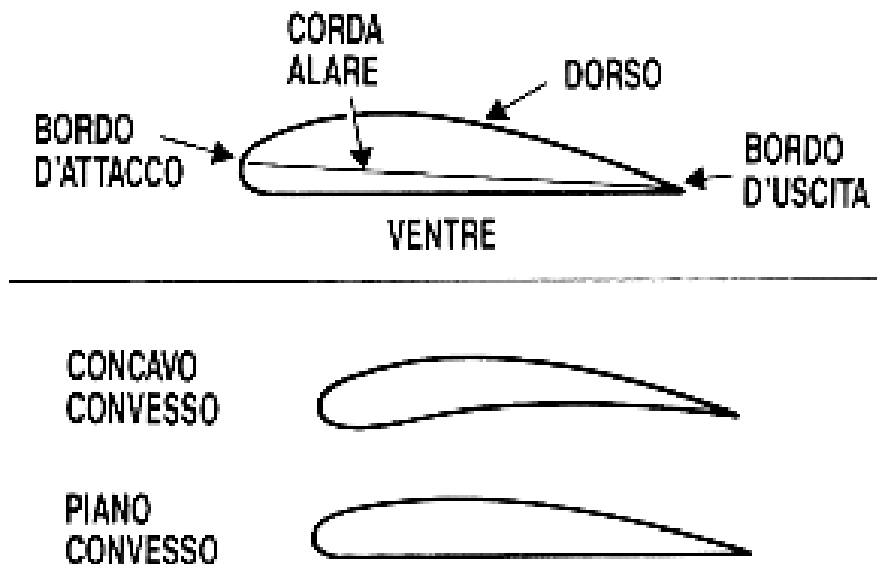
In generale più è alta la temperatura di una massa d'aria più vapore la stessa potrà contenere, più e' alta la pressione meno vapore potrà essere trattenuto.

Quando ad una massa d'aria viene dato più vapore di quello che a quella data pressione e temperatura e' in grado di trattenere si dice che la massa d'aria e' **satura**, e tenderà a espellere il vapore sotto forma di acqua allo stato liquido. Va da se che variando pressione e/o temperatura una massa d'aria può saturarsi anche se prima non lo era. Quando una massa d'aria si satura la sua **umidità relativa** ( il rapporto espresso in percentuale fra la quantità di vapore contenuto in una massa d'aria e la quantità di vapore che la stessa massa può contenere a quella temperatura) e' al 100% La temperatura alla quale si verifica la saturazione si chiama **temperatura di rugiada**.

## Principi del Volo

### L'ala :

e' formata da due semiali. Sezionata trasversalmente un'ala se ne ottiene il profilo alare che può avere diverse forme ( le più comuni concavo-convesso o piano-convesso)



**FIGURA 3**

Sul bordo d'uscita dell' ala generalmente vengono montate le superfici di comando chiamate alettoni e i flap ( che vedremo più dettagliatamente in una prossima sezione).

### **L'impennaggio :**

detto anche coda e' costituito dall' insieme degli stabilizzatori e degli equilibratori. Generalmente e' costituito da un piano verticale (deriva + timone) e uno orizzontale ( stabilizzatore + equilibratore)

### **I canard:**

E' una seconda superficie aerodinamica , una seconda ala molto più piccola rispetto quella principale applicata avanti quest'ultima.

## **Le quattro forze che agiscono sull'aereo:**

### **Il peso:**

e' la forza con la quale un corpo e' attratto verso il centro della terra. Quindi e' una forza sempre rivolta verso il basso e perpendicolarmente alla superficie terrestre.

### **La Portanza:**

Perché un corpo possa staccarsi da terra e' necessario almeno che si applichi una forza uguale a quella del peso ma rivolta verso l'alto.

Questa forza per i corpi di un certo peso e' ottenuta sfruttando la differenza di pressione fra la porzione inferiore (intradosso) e la porzione superiore (estradosso) dell' ala.

La spiegazione di questo fenomeno e' legata al **principio di Bernoulli** : *la pressione esercitata da un fluido perpendicolarmente al suo moto e' inversamente proporzionale alla sua velocità.*

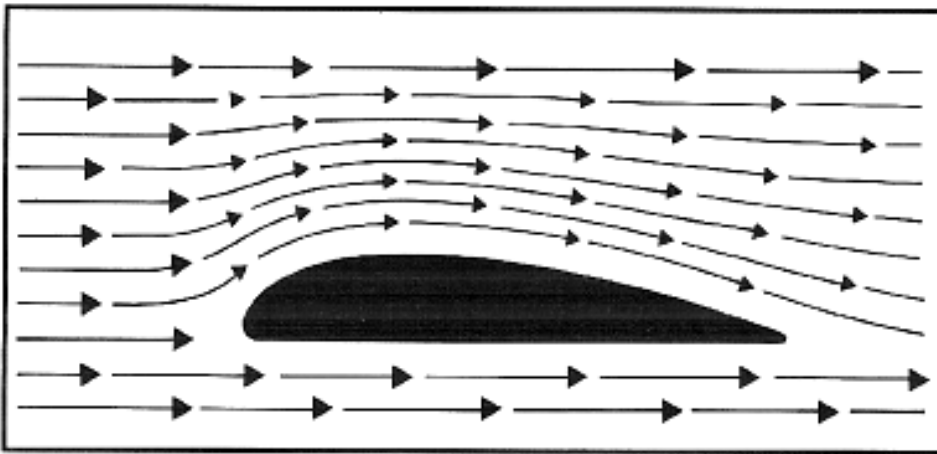


FIGURA 4

Come e' facile vedere(fig. 4) siccome la parte di fluido che passa sulla parte superiore dell' ala "fa più strada" rispetto a quello che passa nella parte inferiore (rispetto ovviamente all'unità di tempo) esso è più veloce. Per il principio di Bernoulli questo vuol dire che esercita una pressione minore sulla sua perpendicolare ( verso l'ala) al contrario della parte di fluido che passa nell' intradosso che essendo più lento esercita una pressione maggiore( sempre verso l'ala quindi verso l'alto). Tradotto vuol dire che la differenza di velocità dell'aria esistente tra la parte superiore dell'ala e quella inferiore si traduce in una differenza di pressione che spinge l'ala verso l'alto.

La portanza e' sempre perpendicolare al fluido che la genera (l'aria che investe l'ala).

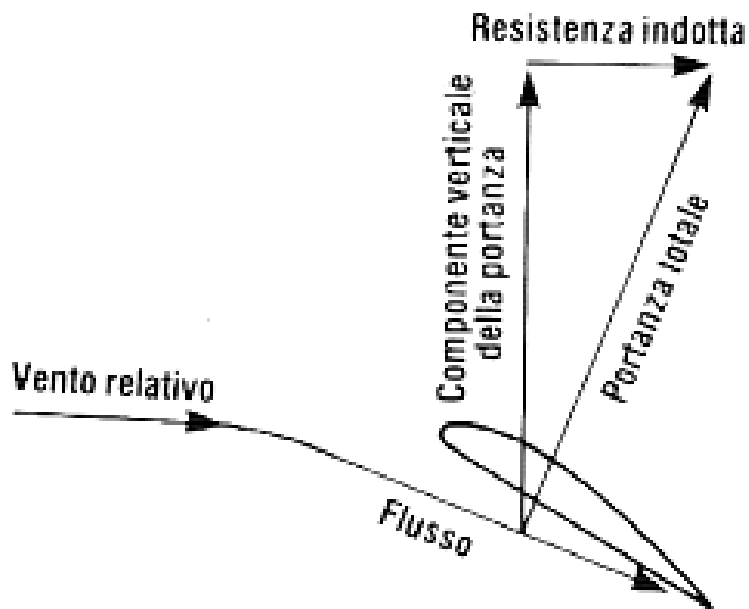
In realtà la portanza e' costituita da una somma di fattori che verranno spiegati meglio in seguito.

### **La resistenza :**

E' una forza che agisce sempre in direzione opposta a quella del moto dell'aereo ed e' la somma di due componenti principali:

La resistenza di profilo: e' data dall'attrito che l'aria genera lungo le superfici dell'aereo ( resistenza di attrito).

La resistenza indotta: si genera come componente secondaria della portanza



**FIGURA 5**

Come detto la portanza e' sempre perpendicolare al flusso che la genera (l'aria che investe l'ala). Poiché, come vedremo fra breve, l'ala deve sempre muoversi rispetto all'aria con un certo *angolo di incidenza* ovvero essere più o meno inclinata rispetto alla direzione del moto, altrettanto inclinato si trova ad essere il fluido aerodinamico e di conseguenza anche la portanza che a esso e' perpendicolare. Perciò la portanza si troverà ad essere più o meno inclinata all'indietro in funzione dell'angolo di incidenza dell'ala, quindi ammetterà una componente verticale che si oppone al peso, e una orizzontale che si oppone al moto che e' appunto **la resistenza indotta**. Questa seguendo le vicende dell'angolo di incidenza ( che vedremo tra poco) diminuisce con l'aumentare della velocità e viceversa... perciò e' massima alle basse velocità. Inoltre aumenta con l'aumentare della portanza... vedremo... vedremo..

### La Spinta/Trazione :

Fornita da un gruppo moto-elica per la trazione o da un motore a reazione per la spinta (secondo il ben noto 3° principio della dinamica generale) , consente all'aereo di muoversi nell'aria. Un parametro comune e' il rapporto spinta su peso: un rapporto maggiore di 1:1 vuol dire che un aereo e' capace di vincere la gravità.

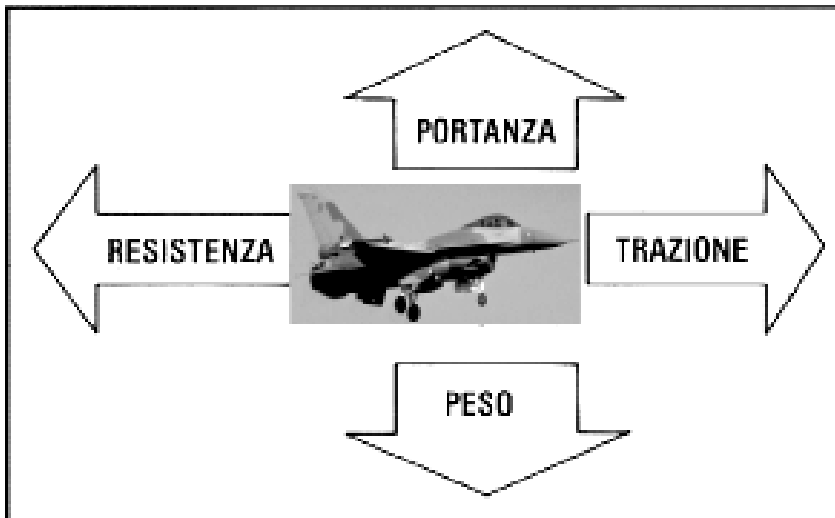


FIGURA 6

Da queste poche nozioni espresse si evince che perché un aereo rimanga in volo rettilineo a quota e velocità costanti le forze cui è soggetto devono essere in equilibrio fra di loro a coppie : peso-portanza e resistenza-spinta/trazione(fig. 6). Al variare di ognuna di queste forze consegue un comportamento specifico dell'aereo che esamineremo meglio tra non molto...

### Effetti sulla portanza

#### L'angolo di incidenza(AoA):

Il flusso d'aria che investe l'ala è chiamato **vento relativo**, tale flusso è sempre contrario alla traiettoria di volo e l'angolo che esso forma con la corda alare si chiama Angolo di incidenza (oppure angolo di attacco o AoA, in rosso nella fig. 7).

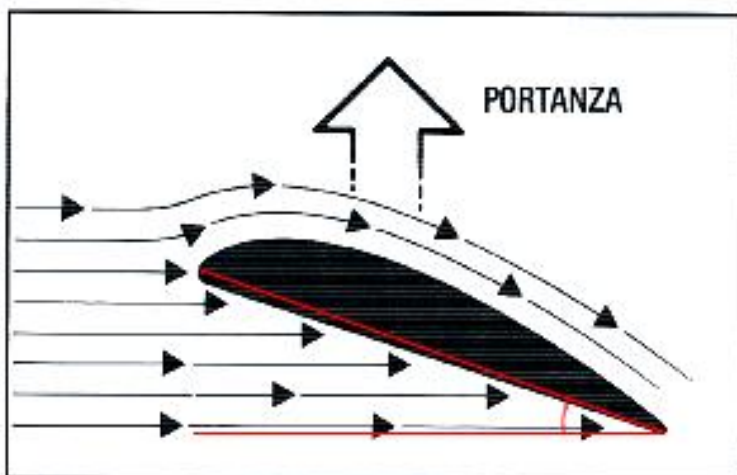


FIGURA 7



### **I parametri per modificare la portanza:**

I parametri che modificano la portanza sono essenzialmente due: L'angolo di incidenza e la velocità.

Generalizzando al massimo si può dire che la portanza è data dal prodotto dell'incidenza per la velocità.

Questo vuol dire che se durante il volo si desidera mantenere costante la portanza (in volo rettilineo significa mantenere costante la quota) ma si vuole volare a una maggiore velocità, bisogna si aumentare la spinta (dare ovviamente manetta) ma ridurre l'angolo di incidenza.

E' ovvio che viceversa se si desidera mantenere la stessa portanza ( quindi quota) e ridurre la velocità dovremmo aumentare l' AoA.

La portanza si regola utilizzando in avanti ed indietro la barra di comando (spero che questo almeno lo sappiate).

I valori minimi e massimi dell' angolo di incidenza dipendono dal tipo di ala utilizzata e dalla potenza che il motore e' in grado di erogare oltrechè dalla presenza di superfici mobili come i flap.

**La Velocità:** Esistono "due velocità" da tenere presente in un aereo, la **velocità vera** e la **velocità apparente** ( o indicata): la prima indica la velocità che un aereo ha rispetto al terreno, la seconda e' la velocità del fluido che investe la nostra ala ed è indicata dall'anemometro ( vedere capitolo strumenti) che essendo calcolata dal tubo di Pitot (vedere anemometro) è legata alla densità dell'aria quindi "diversa" a seconda della quota alla quale viene calcolata.

Esempio: se ci sono due aerei che viaggiano alla stessa velocità vera (rispetto al terreno) e con lo stesso angolo di AoA ma a quote diverse ( il primo a 2000 Ft e il secondo a 30000ft) l'anemometro darà diverse velocità indicate ma praticamente arriveranno nello stesso momento alla stessa destinazione.

## **I Comandi**

### **Gli assi di rotazione:**

Gli assi intorno ai quali un aereo può muoversi sono tre:

Asse trasversale , asse longitudinale e asse verticale.

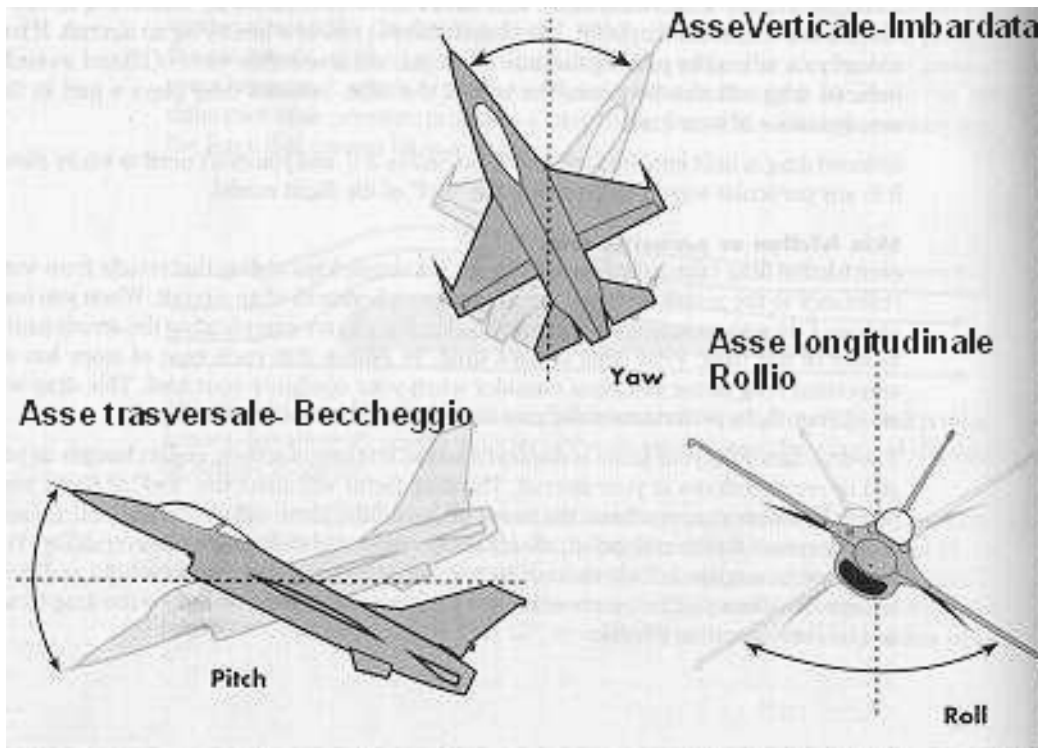


FIGURA 8

### Asse trasversale:

L'aereo si muove con un movimento chiamato beccheggio, (cabrata e picchiata). E' ottenuto mediante lo spostamento in avanti e indietro della barra di comando che agisce aumentando o diminuendo l'angolo di incidenza dell'ala.

Lo spostamento in avanti del muso della barra di comando fa ruotare verso il basso l'equilibratore (parte mobile orizzontale del piano di coda) facendo aumentare la portanza sulla coda e di conseguenza facendola alzare, quindi l'aereo picchia.. e viceversa.

Negli aerei dotati di canard lo spostamento in avanti della barra di comando provoca una diminuzione della portanza sui canard che quindi portano in giù il muso dell'aereo.

E' bene introdurre il concetto di stabilità e manovrabilità di un aereo, qualità in un certo senso contrastanti fra di loro:

**La manovrabilità** esprime la capacità che ha un aereo di muoversi più o meno facilmente intorno ai suoi tre assi;

**La stabilità** e' la qualità che consente all'aereo di tornare da solo al suo assetto originario una volta che sia stato spostato da una causa esterna qualunque (compreso l'agire sui comandi di volo).

Se un aereo deve essere più o meno stabile (oppure più o meno manovrabile) e' una scelta connaturata nella natura stessa dell'aereo. Un aereo da trasporto non dovendo sopportare virate strette sarà più stabile (quindi meno manovrabile) di un caccia, quest'ultimo grazie alla sua manovrabilità (e quindi a causa della sua

relativa instabilità) e' in grado di soddisfare speciali esigenze operative in quanto lo sforzo necessario per manovrarlo e' leggerissimo. Su un caccia la particolare disposizione dei punti di forza (baricentro, centro di portanza etc.) rende possibile quella che in genere si chiami *stabilità statica rilassata*.

La stabilità intorno l'asse trasversale e' ottenuto mediante il piano orizzontale di coda.

Chiariamo meglio: per dare stabilità all'aereo il baricentro deve trovarsi avanti il centro di pressione ( il centro di portanza) in modo che il peso (forza verso il basso) e la portanza (forza verso l'alto) diano luogo ad un momento picchiante(fig. 9).



FIGURA 9

Se nulla contrastasse questo stato di cose l'aereo tenderebbe sempre a picchiare, ciò che si oppone all'abbassamento del muso dell'aereo e' una superficie piana orizzontale montata sulla coda dell'aereo chiamata appunto **stabilizzatore** che ha il compito di spingere la coda verso il basso così da creare un momento cabrante che si oppone (stabilizzando l'aereo appunto) al moto picchiante precedentemente descritto (fig. 10).



FIGURA 10

Però siccome, come visto in precedenza, il peso e la portanza possono variare continuamente ( di conseguenza anche il loro effetto sul momento picchiante),

sorge la necessità di riequilibrare continuamente le forze agendo sul momento cabrante.

Questa funzione è assolta dall' **equilibratore** (la parte mobile del piano orizzontale di coda) che mosso su o giù (tramite la barra di comando) fa rispettivamente diminuire (ottenendo una picchiata) o aumentare (ottenendo una cabrata) la portanza del piano di coda.

In sostanza il sistema *stabilizzatore-equilibratore* agisce come una leva ( Fig. 10 ,leva 2) che fa perno sul centro di portanza dell'aereo che agendo più o meno incisivamente rispetto al sistema leva *baricentro-centro di portanza*(Fig. 10,leva 1) fa picchiare o cabrare l'aereo. Tali manovre hanno l'effetto di aumentare o diminuire l'angolo di incidenza delle ali con le conseguenze che vedremo in seguito.

Una funzione basilare in questo sistema di cose lo ha il **Trim**.

Abbiamo detto che perché un aereo si possa muovere in assetto stabile intorno al suo asse trasversale (in pratica non picchi ne cabri ) è necessario che le due leve si equilibrino fra di loro. Ma cosa succede se ad esempio uno dei fattori chiave del sistema prima descritto cambia? Ad esempio se a causa di un fattore qualunque (es. aumento della velocità con conseguente aumento di portanza) il movimento picchiante aumenta? In questo caso il pilota dovrebbe agire sulla barra di comando per contrastare questo effetto tirandola un po' verso di se, questo farebbe alzare l'equilibratore (riportando l'aereo in volo livellato) ma l'equilibratore sotto la spinta aerodinamica tenderebbe a tornare al suo posto costringendo il pilota ad esercitare una forza (anche se piccola) continua e costante tenendo la barra tirata sempre verso di se, ciò renderebbe il volo difficoltoso. In questo ci viene in aiuto il trim, che altro non è che una piccola superficie mobile comandata da un sistema elettrico montata sia sul timone (verticale) sia sull'equilibratore (orizzontale) che va appunto a modificare i parametri aerodinamici di questi componenti generando nel caso sopra descritto più o meno portanza (quindi più o meno spinta sul piano orizzontale di coda) in questa maniera si può volare in volo livellato senza agire continuamente sull'equilibratore, alle correzioni di beccheggio in relazione alle diverse velocità di navigazione ci pensa il trim. Come detto aumentando o diminuendo la velocità cambia l'assetto dell'aereo, si rende necessario quindi al fine di tenere l'aereo livellato agire sui trim. La velocità alla quale l'aereo è in grado di volare livellato senza che il pilota agisca sulla barra è chiamata **velocità di trim**.

Su parecchi aerei militari il trim viene automaticamente settato da un sistema computerizzato di bordo il qual fa sì che l'aereo voli in assetto livellato equilibrando autonomamente l'angolo di beccheggio. ( ad esempio sull' F-15 tale sistema è chiamato Pitch Trim Compensator o PTC).

E' molto diffuso il concetto che tirare la barra sia sinonimo di salire (cabrata) e abbassare la barra sia sinonimo di discesa (picchiata). Concetto errato. In volo in condizioni normali ciò è esatto ma, specialmente per quanto riguarda la salita, bisogna essere consci che alzare il muso dell'aereo (aumentare l' AOA) senza un relativo aumento di velocità porta molte volte all'effetto contrario a quello desiderato ovvero ad una discesa e se il valore dell' AoA raggiunto è tale da raggiungere il valore critico dell' angolo di incidenza (vedremo cosa è nello stallo) può avvenire l'effetto per nulla desiderato dello stallo.

### La salita e la discesa

Per far passare un aereo da una situazione di volo orizzontale a uno in pendenza è necessario agire sulle forze che abbiamo visto lo tengono in equilibrio.. se vogliamo che passi in volo picchiato dovremo alterare l'equilibrio fra la forza portanza e la forza peso in favore di quest'ultima, se vogliamo che l'aereo salga di quota dovremo aumentare la portanza in modo tale da vincere, oltre che equilibrare, la forza peso.

Questo aumento o diminuzione della portanza, come visto in precedenza (ved. Effetti sulla portanza) possono essere indotti o tramite la variazione dell'assetto (dell'angolo di incidenza) o dalla variazione della velocità (potenza del motore) o ancora per effetto di entrambi i fattori contemporaneamente.

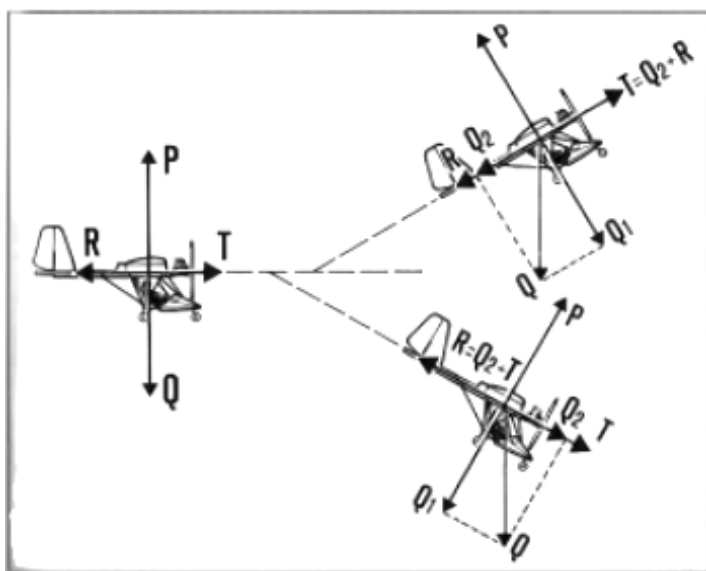


FIGURA 11

**La salita:** una volta che agendo sui comandi disponiamo l'aereo in una traiettoria inclinata in su accade che la forza peso (nell'immagine la lettera Q) si scompone in due forze:

- una perpendicolare alla traiettoria (Q1) che decresce all'aumentare dell'angolo di salita e deve essere equilibrata dalla portanza(P);

- una (Q2) parallela alla traiettoria di volo ma contraria al nostro moto, che aumenta con l'aumentare della pendenza. Questa componente peso si va a sommare alla resistenza(R) e deve essere equilibrata dalla spinta/trazione(T) del motore.

E' facile capire che se la pendenza fosse massima ovvero se l'aereo fosse fatto salire in verticale non ci sarebbe più bisogno della portanza generata dall'ala per equilibrare la forza peso a lei contraria (Q1) semplicemente perché quest'ultima forza sarebbe uguale a 0 , mentre il sostentamento dell'aereo ricadrebbe tutto sulla forza *spinta/trazione* chiamata ad equilibrare la forza *peso-resistenza* che tende a far cadere l'aereo. Ecco perché e' importante conoscere il già ricordato *rapporto spinta:peso* che se maggiore di 1:1 permette più o meno velocità di salita in assetto verticale. (ad esempio un F15E ha una spinta di circa 21.000 Kg , un f-16 ha generalmente 12.000 kg di spinta , dati da rapportare ovviamente al peso, compreso il carico, dei rispettivi aerei).

**La Discesa:** Come per la salita anche per la discesa la forza peso ammette due componenti :

- una perpendicolare alla traiettoria (Q1) che come prima diminuisce al crescere della pendenza e deve sempre esser equilibrata dalla portanza(P);
- una parallela alla traiettoria di volo(Q2) che aumenta con l'aumentare della pendenza, che questa volta si va a sommare alla spinta/trazione(T).

Nel caso in cui l'aereo venisse fatto scendere in verticale, l'ala non dovrebbe più generare portanza essendo nulla la componente peso (Q1) da equilibrare, mentre tutto il peso (Q2) si somma alla spinta/trazione(T). In questa situazione l'aereo continuerebbe ad accelerare fino a raggiungere la velocità alla quale la resistenza diventa uguale alla somma del peso e della spinta/trazione (oppure fino a quando non ti si staccano le ali dalla fusoliera **J** ).

Per la salita e la discesa esistono caratteristiche velocità che consentono di rendere massimi alcuni parametri:

**Velocità di salita rapida:** e' quella che consente il massimo guadagno di quota nell'unità di tempo.

**Velocità di salita ripida:** e' quella che consente il massimo guadagno di quota in rapporto allo spazio percorso.

**Velocità di massima efficienza:** e' quella che in volo planato, cioè a motore spento, consente di percorrere più spazio in funzione della quota persa. Questa velocità dipende da diversi fattori tra i quali il più importante e' la forma dell'ala. **L'efficienza** di un ala e' espressa da un numero ottenuto facendo generalmente il rapporto tra la distanza percorsa e la quota persa. Ad esempio se un ala ha una efficienza di 10:1 vuol dire che percorrerà in orizzontale 10 metri perdendo di quota 1 metro. L'ala può esprimere questo rapporto solo quando vola ad un determinato angolo di incidenza detto appunto *angolo di efficienza massima* che e' diverso ovviamente da aereo ad aereo.

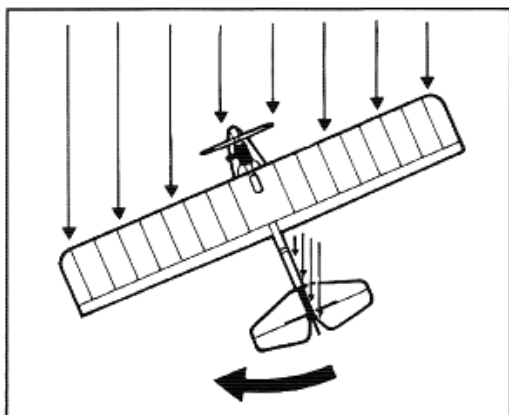
**Asse Verticale:**

è il movimento che l'aereo ha intorno al proprio asse verticale detto **imbardata** e' generato dallo spostamento del piano verticale di coda ottenuto mediante la pressione dei pedali.

Premendo ad esempio il pedale destro il timone si sposta verso destra così da costringere la coda a spostarsi verso sinistra di conseguenza il muso dell'aereo si sposterà verso destra, generando così un movimento dell'aereo intorno all'asse verticale.. semplice.

La stabilità intorno a questo asse e' dovuto ad un semplice effetto: se ad esempio l'aereo imbarda a sinistra il vento relativo investe il piano di coda in modo asimmetrico, e la spinta laterale che si genera tende a riportare l'aereo nella direzione del vento.

In parole semplici se premo pedale a sinistra il muso dell'aereo si sposta a sinistra, in conseguenza di ciò la coda si sposta a destra (rotazione intorno all'asse verticale) in questa maniera però il timone dell'aereo porge una maggiore superficie al vento relativo nella sua parte destra il che tende a far rientrare l'aereo nella posizione che aveva prima che venisse premuto il pedale (fig. 12).



**FIGURA 12**

Un effetto secondario importante dell'imbardata e' il così detto **rollio indotto**. Se si usa solo la pedaliera (quindi senza agire congiuntamente sulla barra per coordinare le virate) l'aereo imbardando sposta il muso dalla parte in cui e' stato premuto il pedale, in conseguenza di questa rotazione l'ala che e' interna all'imbardata (quella che si trova dalla parte del pedale premuto) decelera viceversa l'ala esterna all'imbardata accelera, si genera così una differenza di velocità fra le ali che come sappiamo e' direttamente legata alla portanza; quindi l'ala esterna andando più veloce dell'interna genera più portanza il che la fa sollevare generando un movimento di rollio (movimento sull'asse longitudinale) dalla parte in cui e' stato premuto il pedale. (es. se premi pedale a destra il muso si sposta a destra sull'asse verticale e l'aereo si inclina a destra sull'asse longitudinale).

### L'asse Longitudinale:

Intorno a questo asse si ha il movimento di **rollio**.

I dispositivi tradizionalmente usati per generare questo movimento sono gli **alettoni**, ovvero due superfici mobili poste sul bordo d'uscita dell'ala comandati tramite il movimento laterale della barra.

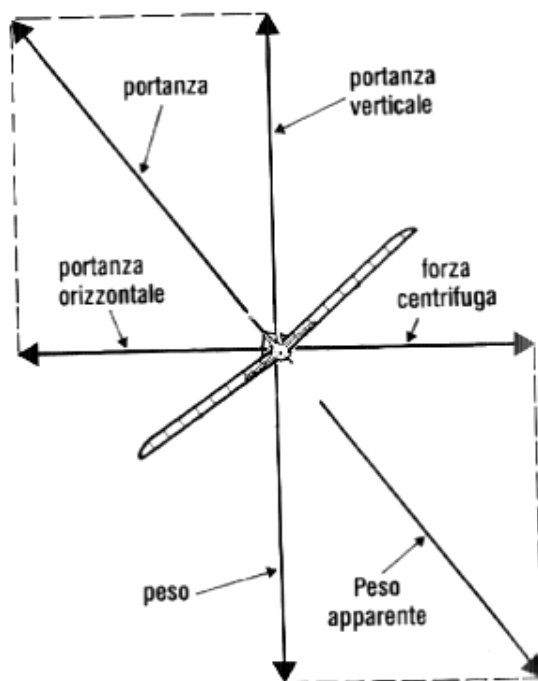
Queste due superfici (uno posto su ogni semiala) si muovono in senso inverso l'uno all'altro. Se si muove la barra a destra, ad esempio, l'alettone destro si alza facendo diminuire l'angolo di incidenza della corrispondente semiala (quindi la portanza), mentre viceversa l'alettone sinistro si abbassa aumentando l'angolo di incidenza e quindi portanza della semiala sinistra.

Questo genera un'innalzamento della semiala sinistra e un abbassamento della destra quindi un movimento lungo l'asse longitudinale.

Lo scopo che ci porta a far ruotare l'aereo lungo l'asse longitudinale è generalmente quello di farlo virare.

### La Virata

Abbiamo visto che per virare abbiamo bisogno di far rollare l'aereo dalla parte della virata.



**FIGURA 13**

Come è visibile dalla figura 13 inclinando l'ala si inclina anche la portanza la quale si scomporrà in due componenti: una verticale e una orizzontale.

**La componente verticale** se vogliamo che la quota sia mantenuta deve essere ovviamente almeno uguale e contraria al peso dell'aereo, quindi entrando in virata bisogna provvedere ad aumentare la portanza in modo che componendosi la sua sola componente verticale si mantenga uguale al peso.



Ciò si ottiene come visto o aumentando leggermente l'incidenza (tirando la barra verso di se) oppure aumentando la velocità o ancora le due cose insieme. E' interessante notare che ad esempio quando l'ala e' inclinata di  $60^\circ$  essa deve generare una portanza **doppia** rispetto a che l'aereo andasse in volo orizzontale. Sotto l'azione della seconda **componente** della portanza, quella **orizzontale**, l'aereo inizia a virare ovvero abbandona la sua rotta rettilinea per entrare in una traiettoria curva. Quando questo accade però nasce una nuova forza, ovvero la **forza centrifuga** che tende ad equilibrare la portanza orizzontale (forza centripeta).

La forza centrifuga sommandosi alla forza peso da luogo ad una forza chiamata **peso apparente**.

Quando l'inclinazione dell'ala e' modesto (diciamo  $30^\circ$ ) l'aumento della portanza può essere ottenuto mediante un modesto aumento di angolo di incidenza (AoA) ovvero tirando leggermente la barra a se, quando invece l'angolo di inclinazione dell'ala e' più marcato e' necessario aumentare anche di parecchio l'angolo di incidenza (AoA) nel fare questo noi andiamo ad aumentare anche quella forza contraria al nostro moto chiamata **resistenza** (che abbiamo già visto) che tenderebbe a rallentare la velocità dell'aereo e quindi a far diminuire anziché aumentare la portanza. Quindi e' necessario contrastare la resistenza dando più manetta.

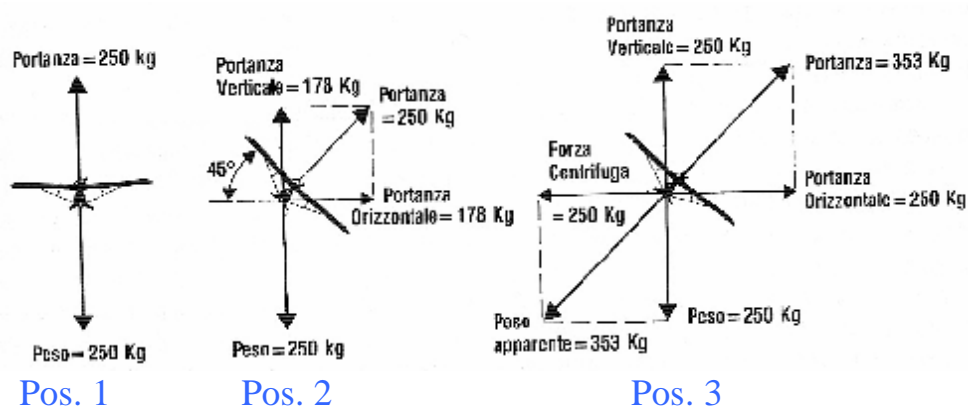


Figura 14

La **Figura 14** mostra la direzione e l'intensità delle forze fin qui prese in esame applicate ad un ipotetico aereo di peso di 250Kg.

In **posizione 1** l'aereo e' in volo rettilineo quindi la portanza e' uguale e contraria al peso (250 Kg).

In **posizione 2** l'inclinazione dell'ala e' uguale a  $45^\circ$  e la portanza di 250 kg si scompone nelle due forze che abbiamo visto precedentemente: una forza verticale che ora e' di soli 178 kg, e una forza orizzontale (centripeta) che e' di altri 178 kg. E' facile intuire che siccome l'aereo ora ha solo 178kg di spinta verso l'alto contro i 250kg iniziali esso immancabilmente tenda a scendere.

In **posizione 3** vediamo che le forze si sono ristabilite mediante un opportuno intervento sulla barra e sulla potenza del motore: e' stato necessario questo intervento per contrastare quello che prima abbiamo chiamato peso apparente ovvero la risultante delle forze peso e forza centrifuga. In questo caso tale peso apparente e' di 353 kg. Anche la portanza totale ottenuta come noterete e' ora di 353 Kg forza questa (scomposta nelle due forze vite prima) necessaria ad avere una portanza verticale di 250 Kg ( il peso reale dell'aereo, quindi esso rimane in quota) e altri 250 kg disponibili per la portanza orizzontale necessaria ad equilibrare la forza centrifuga.

Quindi riassumendo per avere una virata coordinata (attenzione e' cosa diversa rispetto ad una virata ad alto numeri di G) dovremo spostare dapprima la barra dalla parte in cui vogliamo virare ( rolliamo) una volta raggiunto l'angolo di inclinazione dell'ala desiderato (esempio 45°) riporteremo la barra al centro per mantenere costante tale inclinazione. Inoltre useremo la barra tirandola un po' verso di noi per aumentare l'angolo di attacco e quindi la portanza e dunque la quota, se necessario (a seconda dell' angolo di inclinazione scelto) aumentare anche la spinta del motore per contrastare l'aumento di resistenza.

La pedaliera va anche utilizzata per vincere quella che viene chiamata **imbardata inversa**: Il movimento asimmetrico degli alettoni fa infatti aumentare la portanza su una semiala e diminuirla sull'altra. E poiché un aumento di portanza e', come abbiamo visto, sempre accompagnato da un aumento di *resistenza indotta* ecco che la semiala che si alza (+ portanza) viene frenata di più di quella che si abbassa (-portanza), il che tende a far ruotare l'aereo dalla parte esterna alla virata (esempio in una virata a destra il muso dell'aereo tenderà a imbardare a sinistra). Questo effetto indesiderato e' più o meno marcato a seconda delle scelte costruttive dei progettisti dell'aereo. Il computer di bordo di molti aerei militari tende a compensare automaticamente questo effetto dando timone .

Dovesse realizzarsi questo effetto indesiderato il modo per neutralizzarlo consiste ovviamente in una controimbardata da dare con la pedaliera.

E' possibile introdurre fino da ora il concetto di virata coordinata:

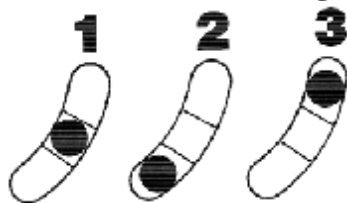
Abbiamo visto le quattro forze che entrano in azione durante una virata (peso-portanza verticale, forza centrifuga-portanza orizzontale), per ottenere una virata che tenda ad una traiettoria circolare e' necessario che le due forze orizzontali (forza centrifuga-portanza orizzontale) siano equilibrate fra di loro, per fare ciò e' necessario il più delle volte agire sul timone di coda (pedaliera) per calibrare le due forze.

Se in un aereo la forza centrifuga e' maggiore della centripeta si dice che la virata e' **derapata** (l'aereo tende ad uscire dal cerchio perché generalmente l'inclinazione dell'ala e' inferiore rispetto al raggio di virata) se la forza centripeta e' maggiore della centrifuga si dice che la virata e' **scivolata** (l'aereo

scivola letteralmente all'interno del cerchio di solito perché l'inclinazione dell'ala è superiore rispetto al raggio di virata).

Come facciamo ad accorgerci se stiamo derapando o scivolando ?

In questo ci viene in aiuto un utilissimo quanto semplice strumento chiamato **virobandometro**(fig. 15).



**FIGURA 15**

Se la pallina è all'interno della virata(2) allora stiamo scivolando se è esterna(3) alla virata allora stiamo derapando.

Un buon metodo mnemonico per imparare a coordinare la virata sta nel detto **“piede scaccia pallina”** ovvero dare piede (quindi timone) dalla parte in cui è la pallina per “scacciarla” appunto verso il centro(1) ed ottenere in tal modo una virata coordinata. Un metodo logico per contrastare una derapata o una scivolata sta nel dare la giusta inclinazione di rollio all'ala rispetto al raggio di virata ( esempio se stiamo derapando in una virata a destra inclinare di più l'angolo di rollio a destra).

Quando un aereo vira esso tende a descrivere un cerchio , le dimensioni di tale cerchi sono definite dal **raggio di virata**.

Le grandezze che influenzano il raggio di virata ( quindi la grandezza del cerchi e il tempo che ci si mette a percorrerlo) sono due: la velocità e l'angolo di inclinazione dell'ala.

**La velocità** influenza il raggio di virata in funzione diretta del proprio valore al quadrato: cioè se la velocità si raddoppia il raggio di virata si quadruplica e viceversa.

**L'angolo di inclinazione dell'ala** influenza il raggio di virata in funzione inversa col valore della propria tangente: ciò vuol dire che quando non abbiamo inclinazione , quindi inclinazione dell'ala = 0 , allora il valore del raggio di virata è infinito(in pratica non c'è raggio di virata e quindi si va in volo rettilineo) diminuisce progressivamente fino a avere il valore minimo ad un'inclinazione di 90° ( quindi **teoricamente** il raggio di virata sarebbe il più stretto possibile quando l'aereo è inclinato di 90°).

La performance di una virata è misurata quindi in termini di velocità di virata e di raggio di virata:

**La velocità di virata** è il numero di gradi al secondo ai quali un dato aereo può virare. Velocità più alte e minori angoli di inclinazione dell'ala rallentano la velocità di virata e viceversa.

**Il raggio di virata** e' la distanza radiale richiesta per completare una virata, questo ad esempio aumenta con la velocità e diminuisce con angoli di inclinazione maggiori.

Va da se il fatto che raggi di virata minori percorsi a velocità di virata maggiori producono la performance migliore.

I fattori che più direttamente influiscono sul raggio e la velocità di virata oltre che la quota sono la forza G applicata (ovvero di quanto tendiamo a chiudere la virata) e la velocità rispetto all'aria (ecco perché e' importante la quota). Tutti gli aerei possono essere sottoposti ad accelerazioni ( forza G) fino ad un certo limite oltre il quale potrebbero esserci rotture strutturali o problemi al pilota (esempio cecità). Esiste dunque un intervallo di velocità (rispetto all'aria quindi di velocità indicata) entro il quali si possono ottenere virate più strette e veloci .

**La Velocità d'angolo:** Per ogni data quota la velocità alla quale si ha la massima portanza senza danneggiare la struttura del velivolo durante una virata e' conosciuta con il nome di velocità d'angolo o **corner speed** .

Essa fornisce le migliori performance di virata ovvero la maggiore velocità di virata e il minor raggio di virata possibile.

Abbiamo detto che tale velocità e' diversa a seconda della quota alla quale la virata ha luogo, questo perché la differenza di densità dell'aria produce diverse performance. Ad esempio per un F-16 che vola ad una quota di circa 15.000 piedi tale velocità e' di 430 nodi (sul manuale di Falcon e' riportato 330 nodi.. in pratica nel simulatore e' meglio andare a 250 **J** ), andando a tale velocità la densità dell'aria a quella altitudine permette di far passare sulle ali una quantità sufficiente di aria a poter "tirare " il nostro aereo alla massima forza G applicabile (limite strutturale dell'aereo) ovvero 9 G. Se andassimo più lenti la quantità d'aria non sarebbe sufficiente a sostenere una virata a 9 G.

Tale relazione tra quota e corner speed e' espressa in genere in tabelle che sono ovviamente diverse da aereo ad aereo.

In tali tabelle la quota espressa prende in considerazione i parametri della atmosfera standard (ISA).Ma come già detto i parametri fondamentali dell'atmosfera non sono uniformi su tutta la superficie terrestre ma cambiano anche di parecchio.

Questo vuol dire che ad esempio se per un F-16 a 16.000 piedi (a tale quota ad esempio la pressione atmosferica e' di 549 Hpa e la temperatura di -16,7 C° ISA ) tale velocità come detto e' di 430 nodi se per vari eventi atmosferici dovessimo avere a quell'altitudine una pressione di 750 Hpa e una temperatura vicina allo 0 (corrispondente grosso modo a una altitudine di atmosfera standard di 8.000 piedi) vuol dire che la migliore corner speed non sarà 430 nodi ma quella che nella tabella corrisponde alla quota di 8.000 piedi.

Allora si parlerà di **Altitudine di densità** che è la quota alla quale, in atmosfera standard, si incontrerebbe l'aria di densità pari a quella posseduta dell'aria che

si sta esaminando. Quindi nell'esempio sopra descritto e' come se l' F-16 si trovasse ad operare ad una quota di 8.000 piedi e non di 16.000.

## EFFETTI INDESIDERATI

### Lo Stallo:

Come già accennato volando ad una quota costante e riducendo via via la spinta , la velocità diminuisce e per mantenere lo stesso valore di portanza bisogna aumentare l'altro dei due parametri che modificano la portanza ovvero l'angolo di incidenza (AoA). L'angolo di incidenza però ha un valore massimo al quale può essere portato che si chiama **angolo di incidenza critica** .

Cosa succede quando tale valore viene superato?

Il flusso d'aria che lambisce il dorso dell'ala (la parte superiore o estradosso) non e' più capace di seguire una così ampia variazione di direzione per mantenersi aderente alla superficie superiore dell'ala. Per cui si stacca e oltretutto genera vortici turbolenti. Quindi dove il fluido dell'aria si stacca non si genera più la depressione dovuta all'effetto fisico descritto dal teorema di Bernoulli, e in più i vortici che così si creano ricadono sull'ala generando addirittura una pressione verso il basso( il che non e' molto salutare per un oggetto pesante che vuole rimanere in aria) per cui la portanza praticamente si annulla!!!.

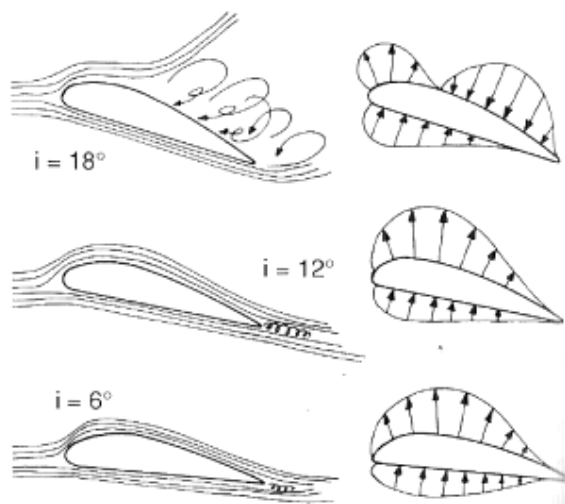


FIGURA 16

La FIGURA 16 mostra il comportamento del fluido a diversi angoli di incidenza fino all'angolo di incidenza critica (qui preso a  $18^\circ$ , ma può essere diverso a seconda del tipo di aereo preso in considerazione).

Cosa importante da sottolineare e' che **lo stallo non e' indotto dalla bassa velocità ma dal raggiungimento dell' angolo di incidenza critica**, il che vuol dire che praticamente lo stallo può verificarsi a qualunque velocità!

**Lo Stallo di avvicinamento** e' quello che si verifica mentre il motore è al minimo e l'aereo è in volo livellato o in discesa, e' chiamato così perché sorprende spesso i piloti durante la fase di avvicinamento alla pista. Inutile dire che e' mooolto pericoloso.

**Lo Stallo di decollo** è quello che avviene appunto durante la fase di decollo, in condizione di motore a massimo regime. Mooolto pericoloso anche questo!

### **La velocità di stallo:**

E' la velocità minima alla quale il velivolo si può sostenere, ovvero sotto quella velocità il fluido che investe l'ala non e' in grado di creare abbastanza portanza per sostenere l'aereo in volo , quindi quest'ultimo inizia a cadere (e' estremamente legato al carico alare e al peso effettivo di un aereo). Viene determinata con il velivolo a pieno carico e in linea di volo, varia a seconda del peso del carico di un aereo.

### **Carico Alare:**

Tra gli elementi che determinano le prestazioni di un aeroplano vi è il carico alare, cioè il rapporto tra il peso totale e la superficie alare( in pratica Il carico alare è semplicemente il **numero di Kg che ogni metro quadrato** di ala deve portare in volo , Kg/Mq).In linea di massima si può dire che il carico alare influisce su velocità ascensionale, quota di tangenza, manovrabilità, efficienza (o rapporto di planata), stabilità in volo a bassa quota in aria turbolenta e "gust response", cioè risposta alle raffiche di vento. Il comportamento nelle prime quattro condizioni di volo che abbiamo elencato, è tanto migliore quanto minore è il carico alare. Nelle altre due situazioni avviene esattamente il contrario. Ne consegue che, nel campo degli aerei da combattimento dove questi comportamenti sono determinanti, è importante scegliere un'ala di superficie appropriata.

In generale un carico alare piuttosto basso sarà desiderabile nel caso di aerei da caccia che abbiano come vocazione il "dogfight" (combattimento manovrato) o la superiorità aerea, mentre sarà desiderabile un carico alare superiore nel caso di un aereo da attacco al suolo che deve costituire una piattaforma di tiro stabile e deve essere quanto più possibile insensibile alle condizioni atmosferiche tipiche che si incontrano nel volo a bassa quota, alla quale si svolge la parte cruciale delle missioni dei caccia-bombardieri. Nel caso di un volo con profilo interamente "lo-lo-lo" (dove "lo" sta per low altitude) l'equipaggio subirà un fattore di "discomfort", misurato in sobbalzi (bumps) al minuto, tanto più alto quanto più basso sarà il carico alare. Ciò influisce negativamente non solo sulle condizioni fisiche dell'equipaggio, ma anche sul comportamento del mezzo, che deve offrire una piattaforma di tiro stabile per un accurato puntamento delle armi, e per avere la massima precisione nell' uso delle stesse.

### **Rapporto tra carico e velocità di stallo:**

Supponiamo che un'ala possa volare (sia pur pericolosamente vicina allo stallo) con un angolo di incidenza pari a 27 gradi. Tale angolo non varia al variare del carico alare (ovvero al carico che l'ala deve sopportare, tale carico è in un caccia ovviamente molto variabile, pensate alla differenza tra un caccia con montati solo 2 sidewinder e uno a pieno carico AG), ma **varia invece la velocità** alla quale il mezzo vola con questo angolo di incidenza: quando l'ala è poco caricata volerà (tenendo l'incidenza a 27 gradi) ad esempio a 300 Km/h; invece, con carico massimo (taniche + armamento vario), pur mantenendo la stessa incidenza (27 gradi), la velocità sarà di 350-400 Km/h. In nessun caso è possibile rallentare ulteriormente (cioè superare i 27 gradi di incidenza); indipendentemente dalla velocità di volo, lo stallo ci attende, sicuro come poche altre cose al mondo. Ecco perchè si afferma che, **umentando il carico alare aumenta la velocità di stallo**.

### La Vite:

Si verifica quando ad andare in stallo è una sola delle due semiali. In tali condizioni l'aereo è soggetto ad un forte aumento del rollio (movimento sull'asse longitudinale, in pratica la semiala interna la virata "precipita"), questo aumento di rollio porta l'aereo ad "avvitarsi" appunto sul proprio asse longitudinale, inoltre poiché l'aereo non può sostenersi, dopo il primo mezzo giro (180°) abbassa il muso e continua il suo avvitamento lungo una traiettoria pressoché verticale (verso il basso). Lo stallo di una sola delle due semiali può avvenire in conseguenza a diverse situazioni, prima fra tutte una imbardata (fig 17) cui l'aereo viene sottoposto quando la sua ala è vicina all'angolo di incidenza critica: la semiala esterna alla imbardata (ad esempio per una imbardata a sinistra si tratta della semiala destra) percorrendo una traiettoria in termini di spazio maggiori rispetto alla semiala interna (ovviamente nella stessa unità di tempo) viaggia ad una velocità maggiore. Come abbondantemente spiegato prima più velocità vuol anche dire più portanza quindi la semiala esterna tende ad alzarsi (viceversa quella interna avendo una minore velocità ha anche una diminuzione di portanza e conseguentemente si abbassa) provocando in tal modo il già descritto effetto secondario dell'imbardata noto come *rollio indotto*. In conseguenza a tale rollio l'incidenza della semiala esterna diminuisce e quella della semiala interna aumenta. Essendo già prima della manovra vicini all'angolo di incidenza critica questo non fa altro che far andare la semiala interna oltre tale valore quindi in stallo prima della esterna con le conseguenze sopra descritte. Per uscire dalla vite bisogna innanzitutto tentare di abbassare il muso dell'aereo (in modo da aumentare la velocità e diminuire l' AoA ) poi dare pedale dalla parte opposta al movimento di rotazione che la vite ha provocato per fermare l'avvitamento.

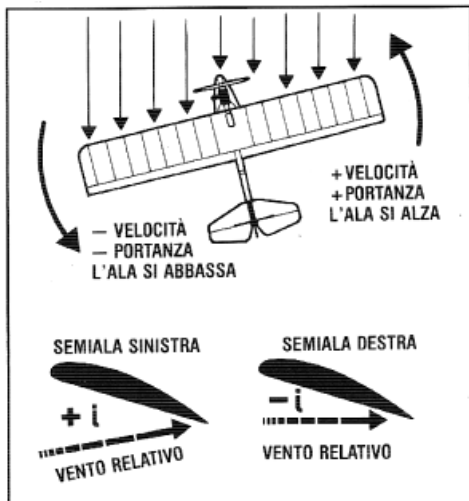


FIGURA 17

**Autorollio:** E' un rollio prolungato ( movimento lungo l'asse longitudinale) che continua anche dopo aver posizionato la barra di volo al centro. E' un moto normalmente causato dall'aver iniziato un rollio usando il timone mentre l' AoA e' alto e la velocità tra i 200 e i 300 nodi. Per evitarla ovviamente non bisogna inclinare l'aereo quando si hanno AoA molto alti.

## LA NAVIGAZIONE , LE MISURE E GLI STRUMENTI FONDAMENTALI.

I sistemi di navigazione (spostamento da un punto all'altro della superficie terrestre) sono molteplici. Alla base di tutti c'è senza dubbio il sistema chiamato "navigazione stimata". Questo modo di spostarsi sfrutta il banale principio che partendo da un punto noto e mantenendo una certa direzione e una certa velocità, per determinate posizioni occupate via via che la navigazione procede, basta tenere conto del tempo trascorso dalla partenza per sapere dove approssimativamente ci si trova. Questo metodo ci da quindi posizioni non certe ma appunto "stimate".

Per trasformare le stime in certezze sono necessarie ulteriori informazioni usufruibili attraverso vari strumenti , per esempio l'utilizzo di carte nautiche ( ci si può avvalere degli elementi fisici del terreno osservabili e riconoscibili da bordo, in questo caso si parla di navigazione osservata) o meglio attraverso l'uso di un sistema di segnali radioelettrici inviati da apposite stazioni emittenti ( esempio il sistema TACAN). Meglio ancora attraverso l'uso del nuovo e rivoluzionario sistema GPS.

### Le unità di misura



**Distanza** : L'unità di misura comunemente usata è il **miglio nautico** (NM= Nautical mile) uguale alla lunghezza dell'arco di un primo di grado misurato all'equatore = 1.852 metri.

Oltre al miglio nautico si usa anche il miglio statuario o **miglio terrestre** (SM= statute mile) che contrariamente a quanto normalmente creduto non è di origine anglosassone ma latina: è la distanza ritenuta percorribile con mille passi di una legione romana = 1.480 metri.

**Velocità**: L'unità di misura impiegata comunemente è il **nodo** ovvero il miglio/orario. Quando la velocità viene espressa in miglio statuario/ora si parla di **MPH** (miles per hour).

**L'orientamento**: è l'angolo che la direzione da seguire (cioè la rotta) forma con la direzione del Nord. Questo angolo è perciò chiamato **angolo di rotta**(fig 18).

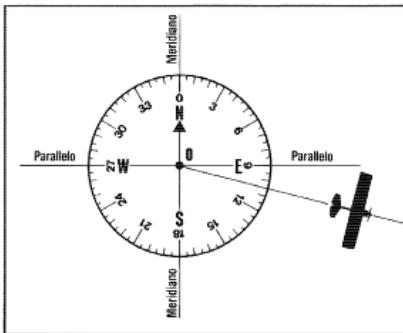


FIGURA 18

## Strumentazione base

### **La percezione**

La percezione ha luogo attraverso gli organi di senso, i quali trasformano stimoli esterni in impulsi nervosi che il cervello decodifica. Questo vuol dire che ciò che noi percepiamo è il frutto di una ricostruzione mentale, che come tale può essere ovviamente soggetta ad errori.

Il pilota deve acquisire perciò familiarità con quegli strumenti che fungono da fonti di informazione supplementari e come tali coadiuvano l'attività di volo. È importantissimo perciò sapere a cosa servono e come funzionano tali strumenti.

### **Gli strumenti a capsula**

Appartengono a questa categoria l'anemometro, il variometro e l'altimetro.

Gli strumenti a capsula sono così chiamati perchè il loro organo principale è una capsula metallica dalle pareti sottilissime che ha la proprietà di espandersi e contrarsi quando sottoposta a differenze di pressione fra l'interno e l'esterno. I movimenti della capsula vengono poi trasmessi all'indice dello strumento.

E' necessario per far funzionare tali strumenti far giungere loro quelle pressioni la cui differenza di valore costituisce l'indice della grandezza da misurare.

A tutti bisogna far giungere la **pressione statica** ovvero la pressione dell'aria che e' intorno all'aereo non perturbata, all'anemometro bisogna che arrivi la **pressione dinamica** ovvero la pressione esercitata dal moto dell'aereo nei confronti dell'aria. Per prelevare la pressione statica e la pressione dinamica lo strumento più noto e' il **tubo di Pitot**(fig. 19)

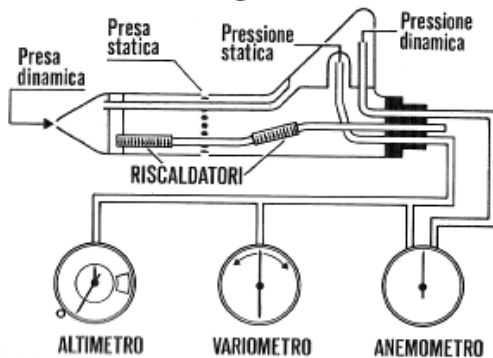


FIGURA 19

## Il Variometro:

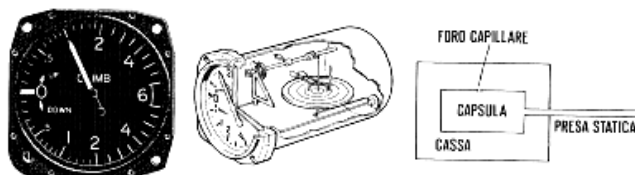


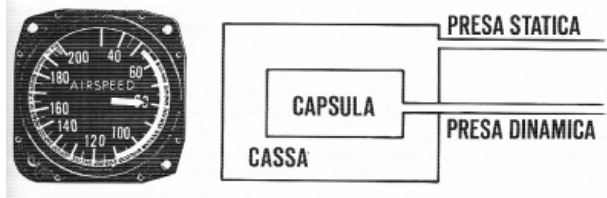
FIGURA 20

Misura la velocità verticale dell'aereo (rateo di salita/discesa) misurando il rateo di variazione della pressione statica. La capsula metallica e' contenuta in una cassa a tenuta stagna ed e' in collegamento con l'esterno attraverso la presa statica e comunica con la cassa attraverso un foro di diametro capillare.

Quando l'aereo e' a una quota costante la pressione esistente all'interno della capsula e' la pressione atmosferica esistente fuori dallo strumento portata dalla presa statica ed e' uguale a quella esistente nella cassa stagna, la capsula quindi e' in posizione di riposo e l'indice segna zero.

Quando l'aereo comincia a variare di quota, ad esempio a salire, la pressione statica all'interno della capsula diminuisce istantaneamente (attraverso la presa statica) mentre la pressione all'interno della cassa diminuisce più lentamente essendo in comunicazione con l'ambiente esterno attraverso il piccolo foro di diametro capillare. In conseguenza la pressione all'esterno della capsula (dentro la cassa) avrà un valore maggiore di quella interna fino a quando dura la salita. E' evidente che la differenza di pressione e' tanto maggiore quanto più rapidamente l'aereo scende o sale (ovvero quanto più rapidamente la pressione esterna aumenta o diminuisce) questa differenza e' usata dallo strumento per calcolare il rateo di salita o di discesa.

## L'anemometro



**FIGURA 21**

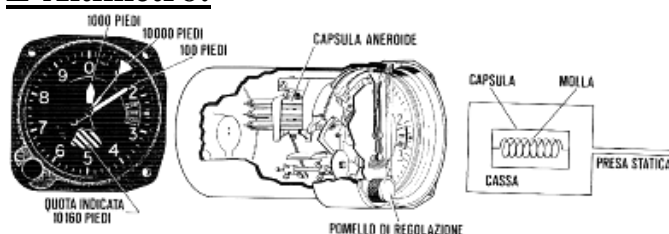
Misura la velocità indicata (rispetto al vento).

E' in comunicazione con l'esterno tramite la presa statica, mentre la presa dinamica e' in comunicazione diretta con la capsula.

Quando l'aereo e' fermo sia dalla presa statica che da quella dinamica entrerà la pressione statica per cui la capsula rimane a riposo e l'indice segna zero.

Quando l'aereo si muove da entrambe le prese continua a ad entrare pressione statica però dalla presa dinamica entra anche la pressione dinamica dovuta al moto (l'aria spostata dal moto entra nella presa generando più pressione) per cui all'interno della capsula si genera una differenza di pressione (all'interno della cassa c'è solo la pressione statica, all'interno della capsula c'è la pressione statica + la pressione dovuta all'impatto dell'aria generato dal moto dell'aereo). La differenza di pressione fa dilatare la capsula che usa tale dilatazione per segnare la velocità, infatti tanto maggiore e' la velocità tanto maggiore risulterà la pressione da impatto e quindi maggiore sarà la differenza di pressione fra la cassa e la capsula. E' da sottolineare che questo strumento misura la velocità del fluido che investe il nostro aereo e non la velocità reale dell'aereo rispetto al suolo. Quindi potremmo avere velocità maggiori quando andiamo controvento o a basse quote (essendo legata anche alla densità dell'aria) e viceversa velocità minori a favore di vento o ad alte quote (bassa densità dell'aria).

## L'Altimetro:



**FIGURA 22**

Misura l'altitudine (rispetto al livello del mare)

E' in collegamento con l'esterno tramite la presa statica. La capsula, a tenuta stagna, racchiude all'interno una depressione di circa mezza atmosfera. All'interno della capsula si trova anche una molla che spinge contro le pareti per tenerla in posizione di riposo. La forza della molla e' regolata in modo che la capsula sia a riposo quando e' al livello del mare. Quando lo strumento e' portato in quota la pressione della cassa

diminuisce quindi la capsula si dilata, e viceversa. I movimenti della capsula ( quindi le variazioni di pressione avvertite dallo strumento) vengono trasmessi agli indici . Lo strumento viene dotato di un regolatore che serve a regolare la potenza della molla. Infatti come detto la pressione sulla superficie terrestre e' molto variabile, quindi potrebbe essere necessario variare la tensione della molla per tenere a riposo la capsula al livello del mare relativamente alla pressione atmosferica presente in quel dato luogo in quel momento. Questo strumento e' in grado di dare l'**altitudine** ovvero l'altezza del proprio velivolo rispetto al livello del mare ( MSL) cosa diversa dall'altezza riferita rispetto al livello del terreno (AGL).