

***IL  
TECNICO OPERATIVO  
AERONAUTICO***

***Appunti per gli studenti del laboratorio di  
simulazione dell'ufficio tecnico operativo  
di una compagnia aerea  
a cura di  
Giuseppe Maria Copparoni***

## IL TECNICO OPERATIVO

È una figura professionale molto importante e il responsabile dell'ufficio deve essere accettato da ENAC. Fino a qualche anno fa provvedeva alla preparazione tecnica una azienda pubblica di livello elevato che si chiamava

### ALITALIA – Linee Aeree Italiane

Oggi l'unica realtà che può consentire la giusta preparazione è la “scuola”, sia essa pubblica o privata, ma non esistono in Italia scuole o facoltà che preparino in modo adeguato all'esercizio di questa professione.

La prima che apre la porta è l'ITIT Leonardo da Vinci di Viterbo, con la creazione di un **laboratorio** nel quale si simulano tutte le operazioni di una vera compagnia aerea.

La possibilità di offrire agli operatori effettivi che ne fanno richiesta studi e soluzioni adeguate alle necessità reali rendono il laboratorio in grado di realizzare un insegnamento continuamente aggiornato e aderente agli sviluppi del trasporto aereo.

## UFFICIO TECNICO OPERATIVO

### Competenze

- Preparazione dei manuali per l'impiego dell'aereo e per l'addestramento del personale navigante di condotta e di cabina
- Studio e preparazione della documentazione necessaria per il caricamento e bilanciamento degli aeromobili
- Studio e realizzazione delle Tabelle di pista con analisi e sviluppo delle procedure di decollo con avaria motore
- Verifica della fattibilità di ogni tratta con avaria motore in decollo, crociera e atterraggio
- Preparazione del materiale per i flight dispatcher
- Verifica continua delle informazioni fornite da enti esterni e/o da elaborazioni elettroniche
- Studio di fattibilità ed analisi commerciale delle rotte
- Analisi dell'operabilità degli aeroporti
- Analisi dei problemi di rumore
- Analisi costi di sorvolo spazi aerei
- Studio dei regolamenti di navigazione aerea
- Valutazione delle prestazioni dei nuovi aeromobili
- Analisi incidenti
- Contatti con i costruttori ed enti nazionali ed internazionali di controllo

## PROGRAMMI PER IL PRIMO ANNO DI LAVORO

### Classe terza

#### PROBLEMATICHE RELATIVE AL CARICAMENTO E CENTRAGGIO (MASS AND BALANCE)

Riferimenti alle normative EASA  
Descrizione dell'aeroplano  
Documentazione ufficiale del costruttore  
Nozioni di bilanciamento  
Effetto della posizione del baricentro sulle prestazioni  
Descrizione dei pesi caratteristici dell'aereo  
Creazione del grafico di centraggio  
Limiti certificati e limiti operativi  
Verifica manuale del centraggio  
Verifica dei carichi massimi per zona e cumulativi  
Centraggio automatizzato  
Load sheet e Load message  
Esercitazioni di bilanciamento vari aeromobili

# *Conoscenza della macchina*

## *Studio e preparazione della documentazione necessaria per il caricamento e bilanciamento degli aeromobili*

Fermo restando che le conoscenze teoriche di come e perché vola un aereo siano già acquisite, il primo approccio alla gestione operativa di un aereo di linea è la conoscenza del mezzo. Per questo tutte le case costruttrici mettono a disposizione degli operatori dei manuali completi cui fare riferimento per tutte le necessità operative.

Tralasciamo, per il momento i manuali di manutenzione ai quali faremo riferimento solo quando entreranno nei dettagli di alcuni malfunzionamenti e partiamo dai manuali esplicativi e di uso normale, iniziando dalle norme che regolano questo aspetto del volo.

### NORMATIVE EASA

Gazzetta ufficiale dell'Unione europea 20.9.2008 CAPO J MASSA E BILANCIAMENTO OPS 1.605  
Disposizione generale (Cfr. l'appendice 1 della norma OPS 1.605)

a) **L'operatore** assicura che, durante qualsiasi fase operativa, il carico, la massa e il baricentro del velivolo siano conformi ai limiti specificati nel manuale di volo del velivolo approvato o nel manuale delle operazioni, se più restrittivo.

b) **L'operatore** deve stabilire la massa e il baricentro di ogni velivolo mediante pesatura prima di metterlo in servizio per la prima volta e in seguito ad intervalli di quattro anni se vengono usate le masse dei singoli velivoli e ad intervalli di nove anni se vengono usate per masse di flotta. Gli effetti cumulati delle modifiche e delle riparazioni sulla massa e sul bilanciamento devono essere considerati e documentati correttamente. Inoltre è necessario sottoporre i velivoli ad una nuova pesatura nel caso non si conosca con esattezza l'effetto delle modifiche sulla massa e sul bilanciamento.

c) **L'operatore** deve determinare la massa di tutte le dotazioni di impiego e dei membri d'equipaggio inclusi nella massa operativa, a vuoto, del velivolo mediante pesatura o mediante uso di masse standard. Deve essere determinato l'effetto della loro posizione sul baricentro del velivolo.

d) **L'operatore** deve stabilire la massa del carico pagante, inclusa la zavorra, mediante pesatura effettiva o deve determinare la massa del carico pagante in accordo ai valori di massa standard dei passeggeri e dei bagagli, specificati dalla norma OPS 1.620.

e) **L'operatore** deve determinare la massa del carico di combustibile in base alla densità reale o, se non è nota, alla densità calcolata in accordo a un metodo specificato nel manuale delle operazioni.

### Terminologia

a) **Massa operativa, a vuoto.** La massa totale del velivolo destinato a un tipo specifico d'impiego meno il combustibile consumabile e il carico pagante. Tale massa comprende:

- 1) equipaggio e bagaglio dell'equipaggio;
- 2) catering e attrezzature amovibili del servizio passeggeri; e
- 3) acqua potabile e prodotti chimici per le toilette.

b) **Massa massima zero combustibile.** La massa massima consentita per un velivolo senza combustibile consumabile. La massa del combustibile contenuto in particolari serbatoi deve essere inclusa nella massa zero combustibile se ciò è esplicitamente menzionato nelle limitazioni del manuale di volo del velivolo.

c) **Massa massima strutturale per l'atterraggio.** La massa massima totale del velivolo consentita all'atterraggio in condizioni normali.

d) **Massa massima strutturale per il decollo.** La massa massima totale del velivolo consentita all'inizio della corsa di decollo.

e) **Classificazione dei passeggeri:**

- 1) adulti, uomini e donne: persone di età pari o superiore a 12 anni;
- 2) bambini: persone di età pari o superiore a 2 anni e inferiore a 12 anni;
- 3) neonati: persone di età inferiore a 2 anni.

f) **Carico pagante.** La massa totale dei passeggeri, bagaglio e merci, compreso il carico delle merci della compagnia (non revenue load).

## Caricamento, massa e bilanciamento

L'operatore specifica, nel manuale delle operazioni, i principi ed i metodi usati per il caricamento e per il sistema di massa e bilanciamento rispondenti ai requisiti della norma OPS 1.605. Tale sistema deve coprire tutti i tipi di impiego previsti.

### Massa dei membri dell'equipaggio

a) L'operatore determina la massa operativa, a vuoto, utilizzando i seguenti valori:

- 1) **masse reali** comprendenti tutti i bagagli dell'equipaggio; o
- 2) **masse standard**, compreso il bagaglio a mano, di 85 kg per i membri dell'equipaggio di condotta e di 75 kg per i membri dell'equipaggio di cabina; o
- 3) **altre masse standard accettabili per l'autorità.**

b) L'operatore deve correggere la massa operativa, a vuoto, al fine di tenere conto di tutti i bagagli supplementari. La posizione dei bagagli supplementari deve essere presa in considerazione quando si determina il baricentro del velivolo.

### Masse standard speciali per il carico pagante.

Oltre alle masse standard dei passeggeri e dei bagagli registrati, l'operatore può sottoporre all'approvazione dell'autorità le masse standard per altri elementi di carico.

### Caricamento del velivolo

1) L'operatore deve assicurare che le operazioni di caricamento dei suoi velivoli siano eseguite sotto la sorveglianza di personale qualificato.

2) L'operatore deve assicurare che il caricamento delle merci sia compatibile con i dati usati per il calcolo della massa e del centraggio del velivolo.

3) L'operatore deve conformarsi ai limiti strutturali supplementari, quali la resistenza del pavimento, il carico massimo per metro lineare, la massa massima per compartimento di carico e/o il limite massimo di posti.

### Massa dei passeggeri e dei bagagli

a) L'operatore calcola la massa dei passeggeri e dei bagagli registrati usando la massa reale ottenuta dalla pesatura di ciascun passeggero e di ciascun bagaglio oppure usando i valori standard di massa riportati nelle seguenti tabelle da 1 a 3, salvo quando il numero dei posti passeggeri disponibili è inferiore a 10. In questo caso la massa dei passeggeri può essere stabilita in base ad una dichiarazione orale di ciascun passeggero, o di chi per lui, e aggiungendo una costante predeterminata per tenere conto del bagaglio a mano e degli abiti. La procedura che specifica quando scegliere le masse reali o standard e la procedura da seguire in caso di dichiarazione orale devono essere incluse nel manuale delle operazioni.

b) Se la massa reale dei passeggeri è determinata mediante pesatura, l'operatore deve assicurare che siano inclusi i loro effetti personali e bagagli a mano. Tale pesatura deve essere effettuata immediatamente prima dell'imbarco e in un luogo vicino.

c) Se la massa dei passeggeri è determinata in base alle masse standard, devono essere utilizzati i valori riportati nelle seguenti tabelle 1 e 2. Le masse standard comprendono il bagaglio a mano e la massa di tutti i neonati di età inferiore a 2 anni portati da un adulto sullo stesso sedile passeggeri. I neonati che occupino un sedile separato devono essere considerati bambini ai fini della presente lettera.

d) Valori di massa dei passeggeri — 20 posti o più

1) Se il numero totale di posti passeggeri disponibili sul velivolo è uguale o superiore a 20, si applicano le masse standard uomo e donna della tabella 1. Nel caso in cui il numero totale dei posti passeggeri disponibili sia uguale o superiore a 30, si applicano i valori di massa adulti della tabella 1.

2) Ai fini della tabella 1, per volo vacanze charter si intende un volo charter considerato unicamente come elemento di un pacchetto di viaggio vacanza. I valori di massa per i voli vacanze charter si applicano a condizione che non più del 5 % dei posti passeggeri installati nel velivolo sia utilizzato per il trasporto senza remunerazione di talune categorie di passeggeri.

e) Valori di massa dei passeggeri — 19 posti o meno

1) Se il numero totale di posti passeggeri disponibili sul velivolo è uguale o inferiore a 19, si applicano le masse standard della tabella 2.

Tabella 1

Posti passeggeri	20 e più		30 e più
	Uomo	Donna	Adulti
Tutti i voli eccetto i voli vacanze charter	88 kg	70 kg	84 kg
Voli vacanze charter	83 kg	69 kg	76 kg
Bambini	35 kg	35 kg	35 kg

Tabella 2

Posti passeggeri	1-5	6-9	10-19
Uomo	104 kg	96 kg	92 kg
Donna	86 kg	78 kg	74 kg
Bambino	35 kg	35 kg	35 kg



## CARICAMENTO E CENTRAGGIO (MASS AND BALANCE)

### Premessa

MASS (MASSA) si riferisce al processo di determinazione della massa totale dell'aereo per verificare che le limitazioni strutturali e di performance non siano state superate.

Per decenni si è usato il termine WEIGHT (PESO) al posto del più preciso MASSA perciò, sia perché ai fini del presente trattato la differenza fra Massa e Peso è praticamente ininfluente e, soprattutto, per evitare un eccessivo lavoro nell'aggiornamento di testi già scritti a cui faremo riferimento o che riporteremo anche nella lingua originale (americano/inglese) da questo punto in poi scriveremo solo di PESO (WEIGHT).

BALANCE (BILANCIAMENTO) si riferisce al processo che determina il centro di gravità dell'aereo e assicura che il baricentro non ecceda i limiti certificati di escursione in qualunque fase del volo.

### Generalità

La distribuzione del carico a bordo di un qualsiasi aereo è un problema da non sottovalutare in quanto da essa dipendono le sollecitazioni alla struttura, la posizione del centro di gravità, la stabilità di volo e la manovrabilità.

Tutto questo diviene particolarmente importante per gli aerei commerciali perché si trovano a dover trasportare carichi di natura diversa volo dopo volo, con la complicazione costituita dalla facoltà di ricevere nuova merce o passeggeri fino a pochi attimi prima della partenza.

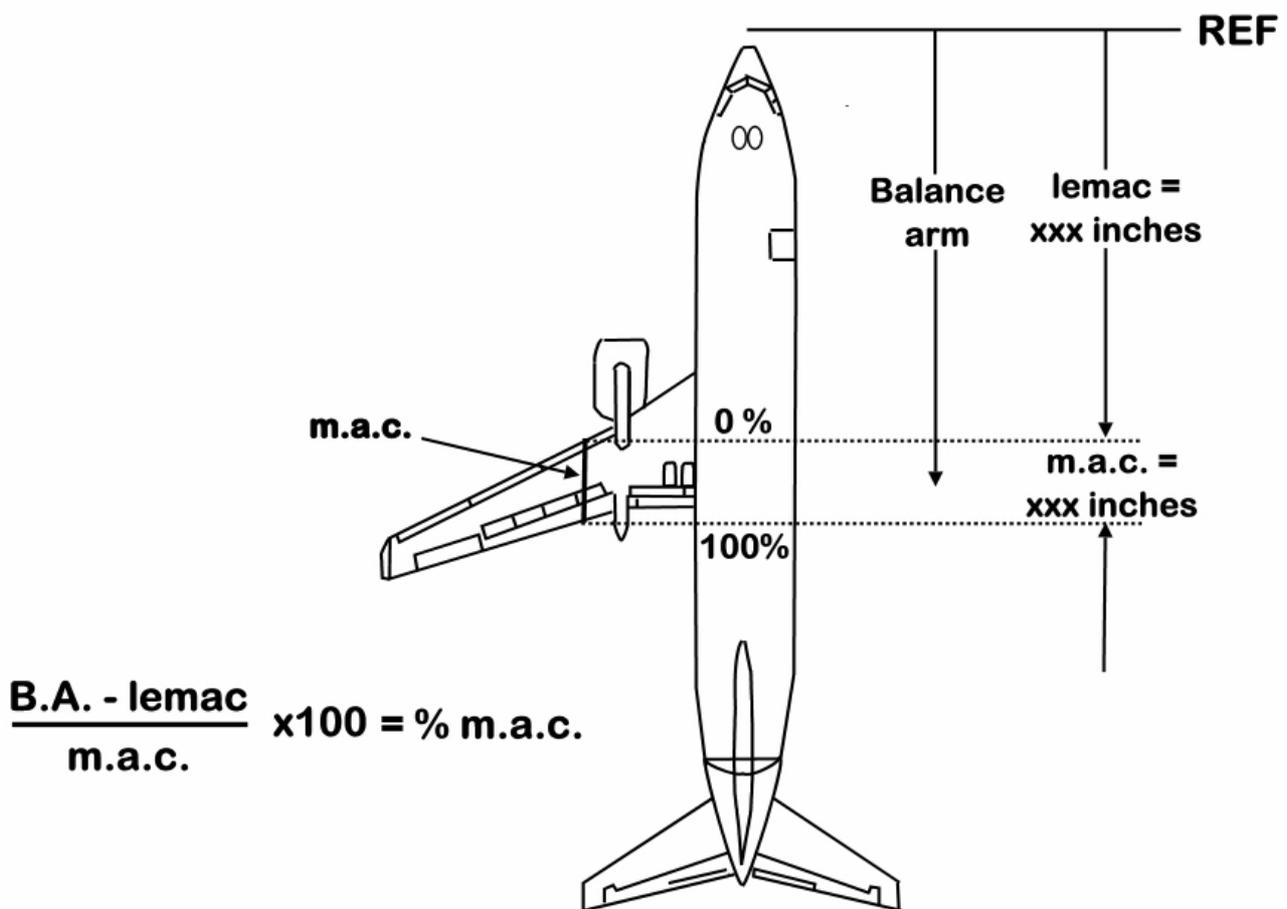
L'imbarco di merce o passeggeri e bagagli deve poi essere fatto in modo che le operazioni agli scali successivi siano le più veloci possibili, sempre nel rispetto dei limiti strutturali e di prestazioni. Basti considerare che la posizione del baricentro al decollo influenza in modo sostanziale il movimento di rotazione e per questo è importante che il pilota conosca la posizione esatta per effettuare correttamente la relativa manovra che diventa particolarmente delicata in caso di avaria motore.

Per snellire al massimo le operazioni di caricamento e centraggio sono stati adottati sistemi grafici che, sia pur sostituiti ormai da programmi elettronici, rimangono necessari per una rapida verifica da parte di chiunque voglia controllare l'esattezza del calcolo elettronico o della stessa distribuzione reale.

### Limiti di escursione del baricentro

Tutti i velivoli, in virtù delle loro caratteristiche di stabilità e manovrabilità, sono soggetti a limitazioni nell'escursione della posizione del baricentro. Essa può verificarsi lungo uno qualsiasi dei tre assi, ma quella più importante è quella che si verifica lungo l'asse longitudinale della fusoliera in quanto interessa in modo marcato la gestione del volo, mentre sull'asse verticale la variazione è limitata e sull'asse trasversale una sensibile variazione di posizione può verificarsi solo con una asimmetria molto accentuata della distribuzione del carburante nei serbatoi alari, oppure in caso di caricamento asimmetrico in aerei cargo a seguito di mancanza di agganci. In questo caso il carico verrà limitato principalmente per non gravare troppo su una gamba del carrello principale rispetto all'altra.

Tornando all'escursione longitudinale esaminiamo come vengono fissati i limiti di escursione del baricentro. Pur muovendosi in realtà lungo l'asse della fusoliera la posizione del baricentro viene proiettata sulla "corda media aerodinamica" dell'ala e misurata in valore percentuale della stessa.



#### **REF**

Reference point. Punto di riferimento di tutti i componenti dell'aereo. Viene fornito dal costruttore. Le distanze da questo punto di riferimento possono essere fornite in pollici oppure in metri, a seconda del costruttore.

#### **m.a.c. (Mean Aerodynamic Chord)**

corda media aerodinamica. La sua lunghezza viene fornita dal costruttore.

#### **lemac = xxx**

distanza del bordo di attacco della corda media aerodinamica dal REF.

#### **Balance arm (B.A.)**

Distanza dal punto di riferimento REF di un qualsiasi punto dell'aereo. Il costruttore fornisce in un apposito manuale le distanze di tutti i componenti dell'aereo rispetto al REF.

In questo caso Balance arm indica la posizione del baricentro rispetto al punto di riferimento generale.

Tramite la formula riportata è possibile determinare la posizione del baricentro in funzione del % della corda media aerodinamica.

$$\frac{\text{B.A.} - \text{lemac}}{\text{m.a.c.}} \times 100 = \% \text{ m.a.c.}$$

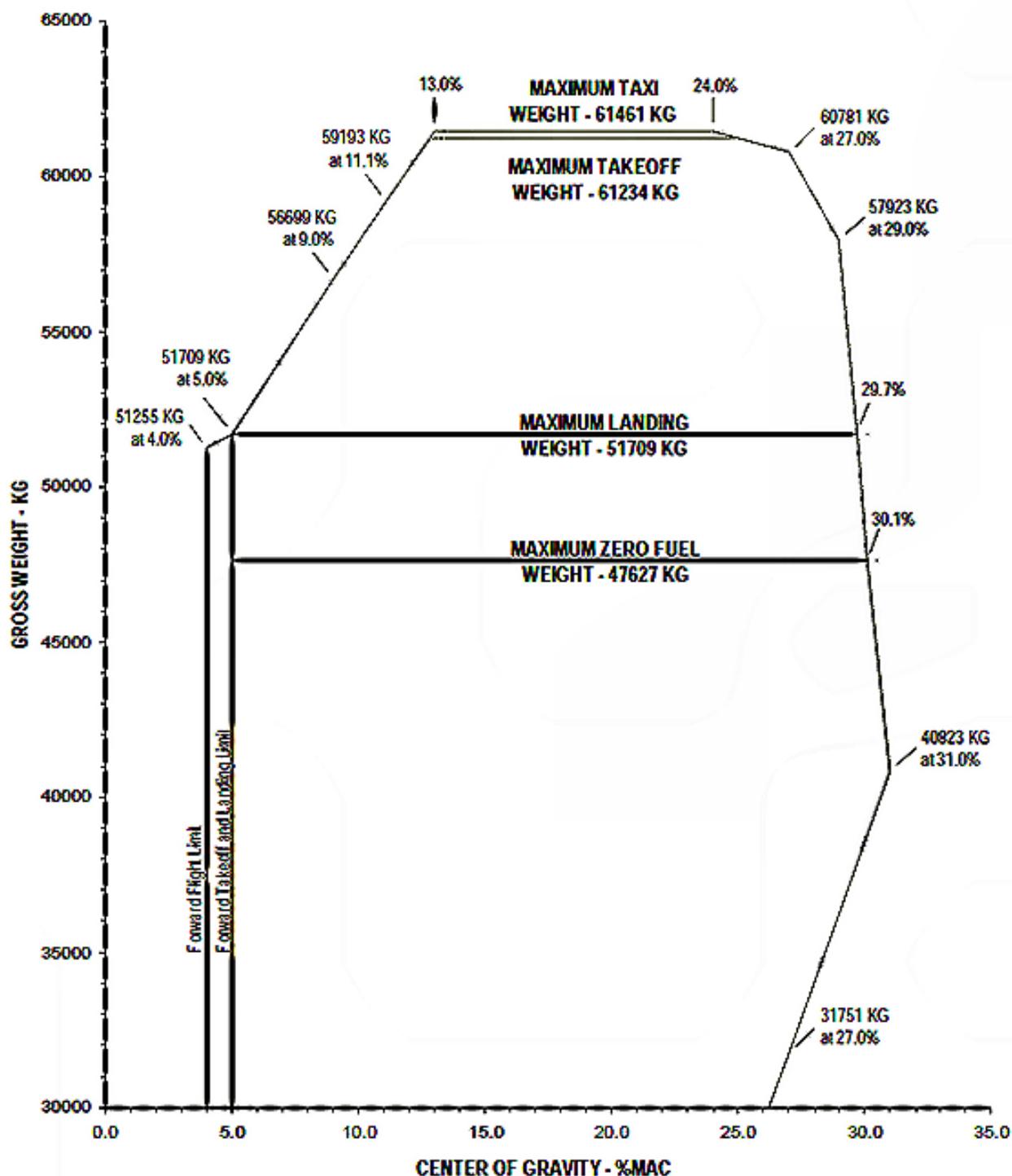
I valori limite sono forniti dal costruttore in funzione del % di m.a.c. e del peso.

Impiegare l'aereo con baricentro fuori dal campo consentito e certificato dalle autorità di controllo (FAA/EASA) significa infrangere una limitazione ufficiale di impiego e quindi far scadere il certificato di navigabilità.

## Esempio di presentazione dei limiti di centraggio

### C.G. LIMITS - MTW 61461 KG, MLW 51709 KG, MZFW 47627 KG

The following diagram represents the certified Center of Gravity Limits in Metric units:



## LIMITAZIONI DI PESO

Allo scopo di consentire il rispetto dei fattori di carico previsti per l'aereo, i manuali di volo riportano l'elenco delle limitazioni di peso e di velocità che è indispensabile rispettare durante il suo impiego

Le limitazioni di peso dipendono dalla struttura dell'aeromobile e dalla necessità che durante l'impiego l'aereo non subisca danni per tutto l'arco dei fattori di carico previsti. I valori massimi sono riportati nel manuale di volo AFM (Airplane Flight Manual) e rappresentano dei valori ufficiali, il superamento di uno di essi invalida il certificato di navigabilità dell'aeromobile.

Le condizioni che si prendono in esame nel dare i limiti di peso riguardano, in genere, il decollo, l'atterraggio e il volo ipotetico senza carburante a bordo.

### **MTW - Maximum Taxi Weight (Peso Massimo di Rullaggio)**

E' il peso massimo con il quale l'aereo può spostarsi dal parcheggio ed avviarsi verso la pista di decollo; esso consente all'aereo di presentarsi in pista con il suo peso massimo di decollo senza intaccare il carburante necessario al volo.

### **MTOW - Maximum Takeoff Weight (Peso Massimo di Decollo)**

E' il peso massimo con il quale l'aereo, allineato in pista, può togliere i freni ed iniziare la corsa di decollo.

### **MLW - Maximum Landing Weight (Peso Massimo di Atterraggio)**

E' il peso massimo con il quale l'aereo può rimettere le ruote sulla pista al termine del volo.

### **MZFW - Maximum Zero Fuel Weight (Peso Massimo a Zero carburante)**

E' il peso massimo complessivo dell'aereo oltre il quale si può imbarcare solo carburante nelle ali.

## PESI OPERATIVI

### **OEW/DOW – Operational Empty Weight/Dry Operating Weight (Peso Base operativo)**

Questo peso non deriva da motivi strutturali ma operativi, tuttavia il suo valore è essenziale per trovare la capacità di carico del velivolo. Questo peso si calcola sommando al peso a vuoto dell'aereo l'insieme degli equipaggiamenti normali e d'emergenza, i generi di conforto per i passeggeri, i pasti e l'equipaggio di condotta e di cabina. Poiché il Peso Base Operativo dipende dalla composizione dell'equipaggio, dal complesso delle dotazioni imbarcate e dalla versione di cabina dell'aereo, si pubblicano delle tabelle che forniscono i valori esatti per tutte le combinazioni di impiego.

## RIASSUMENDO WEIGHT AND BALANCE (Mass and Balance)

**Weight:** si riferisce al processo di determinazione del peso totale dell'aereo per verificare che le limitazioni strutturali e di performance non siano state superate.

**Balance:** si riferisce al processo che determina il centro di gravità dell'aereo e assicura che il baricentro non ecceda i limiti certificati di escursione in qualunque fase del volo.

### **WEIGHT AND BALANCE E' IMPORTANTE**

L'aereo deve sempre essere operato con il baricentro posizionato entro i limiti di escursione certificati perché i limiti certificati, abbinati ad un corretto calcolo delle prestazioni assicurano che l'equipaggio di condotta abbia i necessari margini di sicurezza per gestire una situazione di emergenza e cioè:

- Adeguata capacità di manovra: + 2.5 g to -1.0 g di escursione di fattore di carico.
- Adeguato margine sullo stallo
- Adeguate prestazioni di pista e di salita
- Accettabili capacità di manovra
- Margini previsti sulla coda durante la rotazione di decollo

## I PESI MASSIMI POSSONO ESSERE

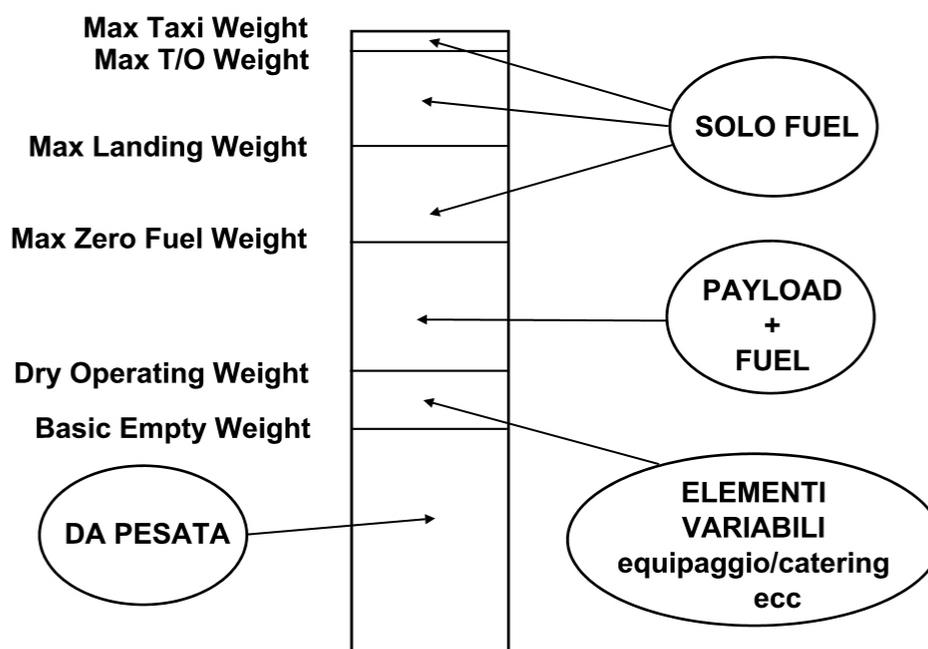
### STRUTTURALI

Basati sulla capacità strutturale dell'a/m definiscono i limiti di escursione del peso e del baricentro

### CERTIFICATI

Scelti dalla compagnia possono essere inferiori agli strutturali. Questa scelta deriva dalla necessità di pagare meno le tasse aeroportuali che sono calcolate sul peso massimo di decollo e, naturalmente, la società verifica che per le tratte effettuate e il carico pagante previsto il massimo strutturale non sia necessario.

## PESI CARATTERISTICHI



### BEW

Basic Empty Weight

=

Manufacturer's Empty Weight **MEW + standard items**

### MEW

Peso della struttura, motori, arredi, impianti e altri equipaggiamenti che sono parte integrante di una particolare configurazione, tipo. E' essenzialmente un "DRY WEIGHT" che comprende solo quei liquidi contenuti in sistemi chiusi.

### STANDARD ITEMS

Equipaggiamenti e fluidi che non sono considerati parte integrante di una particolare configurazione e che non sono compresi nel MEW ma che normalmente non cambiano. Possono includere, ma non sono limitati a:

- unusable fuel, oil, and engine injection fluids
- unusable drinking and washing water
- first aid kits, flashlights, megaphone, etc
- emergency oxygen equipment
- galley/bar structure, inserts, ovens, etc.
- electronic equipment required by the operator

**“Dry Operating Weight”**  
**DOW**

Molte compagnie possono chiamarlo

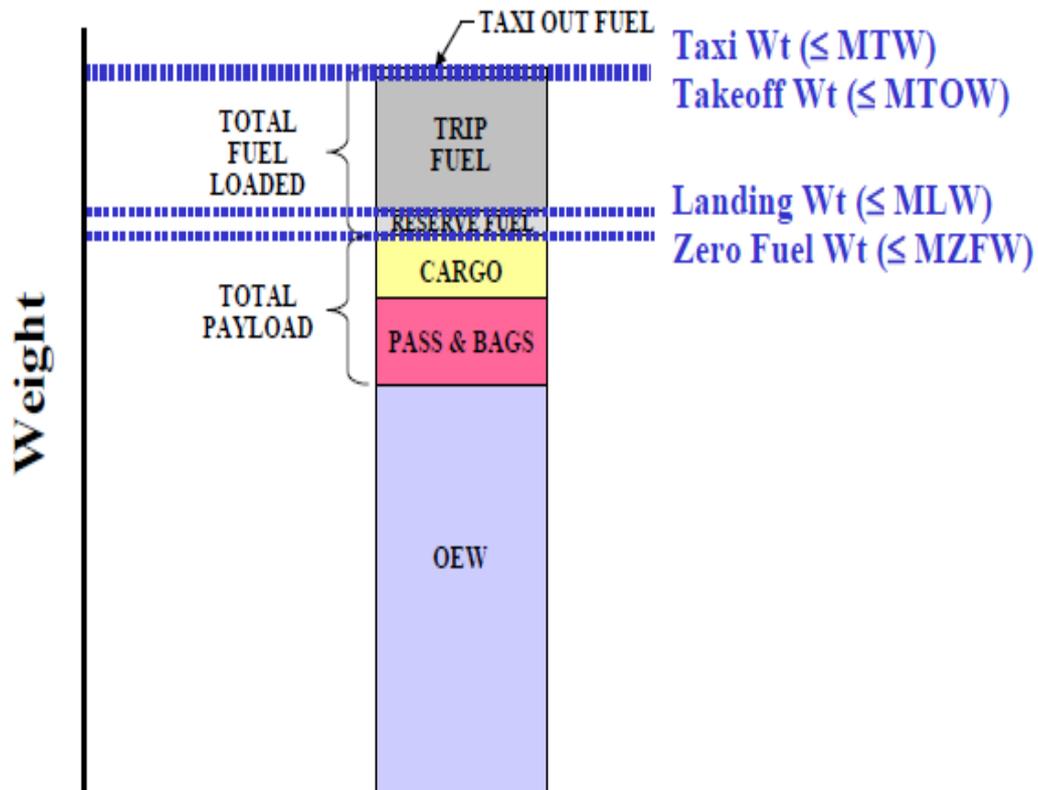
**“Operational Empty Weight” OEW** oppure, **“Basic Weight” BW**  
**Peso Base Operativo** in italiano

=

**BEW + Operational Items**

Personnel, equipment and supplies necessary for a particular operation but not included in the Basic Empty Weight. These items may vary for a particular aircraft and may include, but are not limited to:

- flight and cabin crew plus their baggage
- manuals and navigation equipment
- removable service equipment:
  - cabin (blankets, pillows, papers, etc.)
  - galley (food, beverages, etc.)
- usable drinking and washing water
- toilet fluid and chemical
- life rafts, life vests, emergency transmitters
- cargo containers, pallets, and/or cargo tiedown equipment if used.



# *CARICO COMMERCIALE IMBARCABILE PAYLOAD*

La quantità di carico che un aeromobile può ricevere a bordo viene limitata ad un valore massimo per quattro motivi principali e cioè:

- limitazione strutturale,
- limitazione dovuta al quantitativo di carburante necessario per il volo,
- limitazione dovuta al peso massimo ammesso al decollo,
- limitazione dovuta al peso massimo ammesso all'atterraggio.

La limitazione strutturale deriva dalla differenza fra il peso massimo strutturale senza carburante MZFW e il peso base operativo OEW. Questo valore rappresenta anche il massimo possibile di carico commerciale imbarcabile.

La limitazione dovuta al carburante necessario per il volo deriva dalla differenza fra il peso massimo strutturale di decollo e la quantità di carburante necessaria per il volo.

La limitazione dovuta al peso massimo di decollo o di atterraggio deriva dalla differenza fra il peso massimo consentito dalla pista di partenza e la quantità di carburante necessaria per il tratto oppure dalla differenza fra il peso massimo di atterraggio consentito dall'aeroporto di destinazione e il carburante di riserva a bordo per una eventuale attesa più una eventuale diversione ad un alternato.

Vedremo in seguito casi particolari che possono limitare il carico massimo imbarcabile.

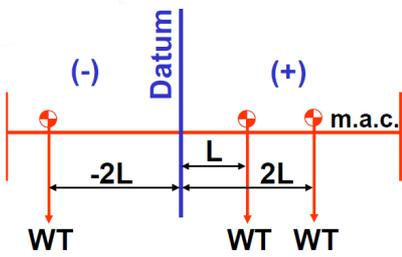
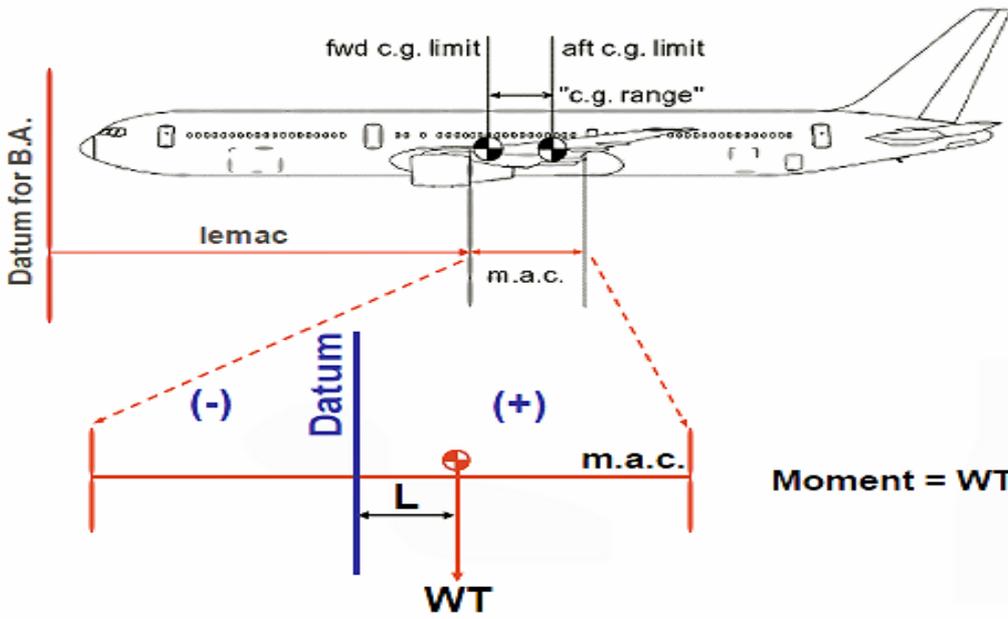
## *METODI DI CENTRAGGIO BALANCE CHART E INDICI DI MOMENTO*

Dopo aver controllato che il carico messo a disposizione dallo scalo di partenza sia compatibile con le varie limitazioni da rispettare c'è da risolvere il problema della sua distribuzione a bordo; in altre parole occorre effettuare il centraggio dell'aeromobile facendo in modo che il suo baricentro si trovi in posizione consentita, cioè entro i limiti di escursione anteriore e posteriore, per tutta la durata del volo.

Il problema si risolve per via grafica, il che consente, a scapito di una certa precisione, una notevole celerità di esecuzione.

Attualmente vengono usati anche metodi elettronici/informatici che facilitano il processo di caricamento, però il modello cartaceo rimane il migliore mezzo di verifica immediata, sia pure con i difetti di estrema precisione sopradetti, che consente al personale navigante una rapida accettazione e verifica del caricamento della macchina da parte degli addetti aeroportuali.

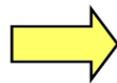
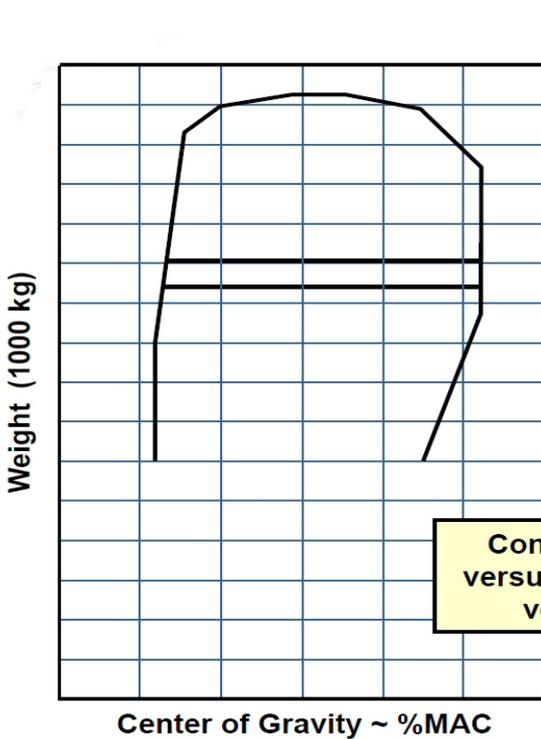
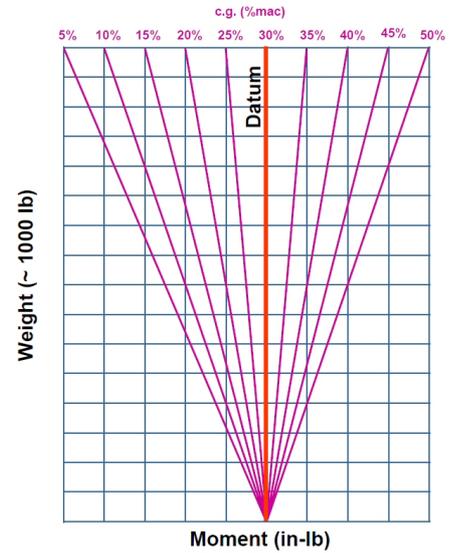
La presentazione grafica dei limiti di centraggio in funzione del % MAC non è facilmente utilizzabile, quindi si preferisce trasformare la presentazione in funzione dei momenti rispetto ad una ordinata di riferimento all'interno dei limiti di escursione. In tal modo si evidenzierà immediatamente l'effetto sul baricentro in funzione del peso totale in cui si verifica la variazione.



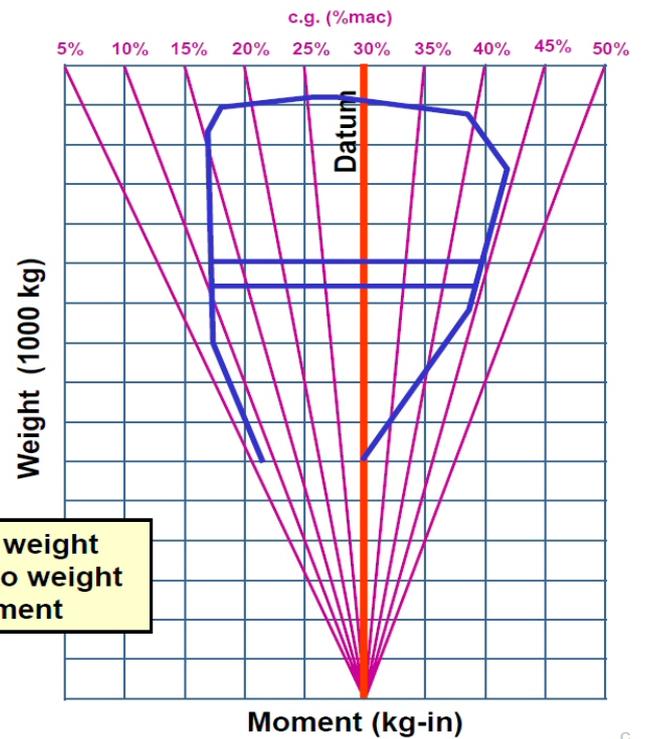
$Moment_1 = WT * L$

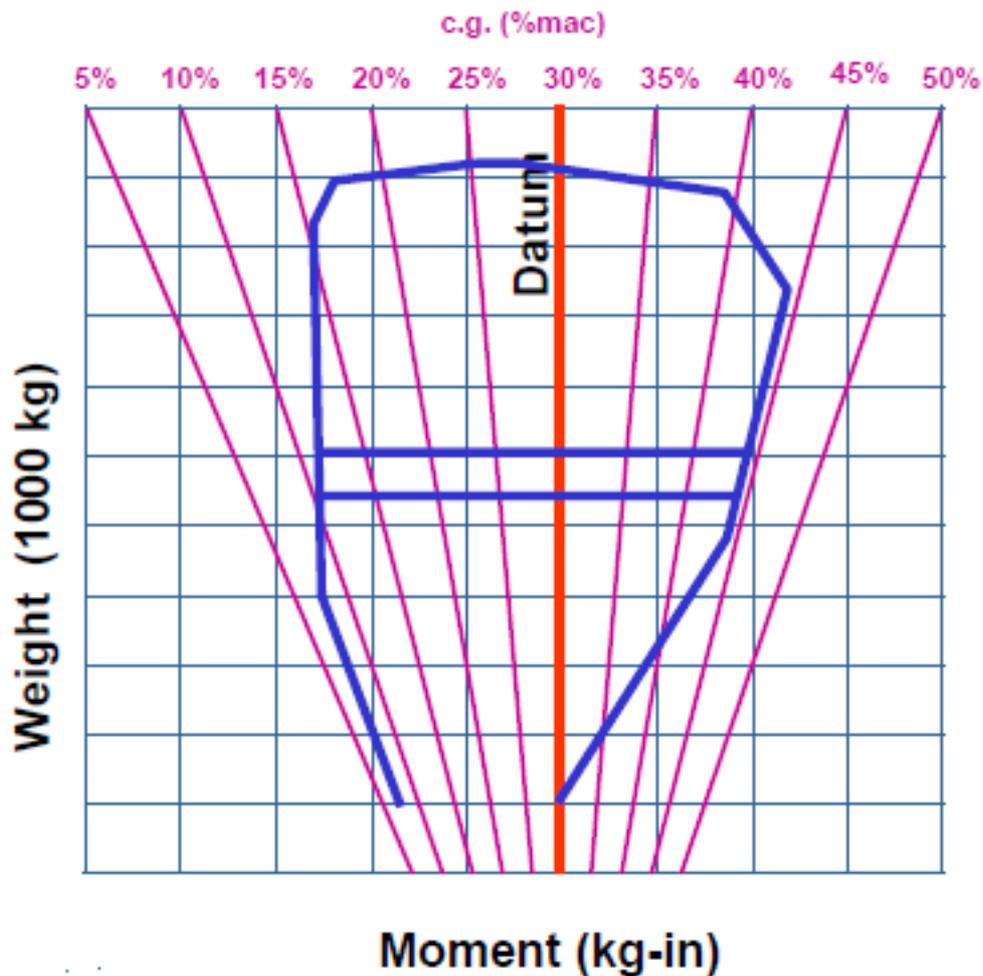
$Moment_2 = WT * 2L$

$Moment_3 = WT * (-2L)$



Convert from weight versus %MAC to weight versus moment





La formula tipica per passare da rappresentazione del baricentro in funzione della m.a.c. a quella in funzione dell'indice di momento è:

$$BA\%MAC = \frac{\%MAC \times LMAC}{100} + LEDGE \text{ MAC}$$

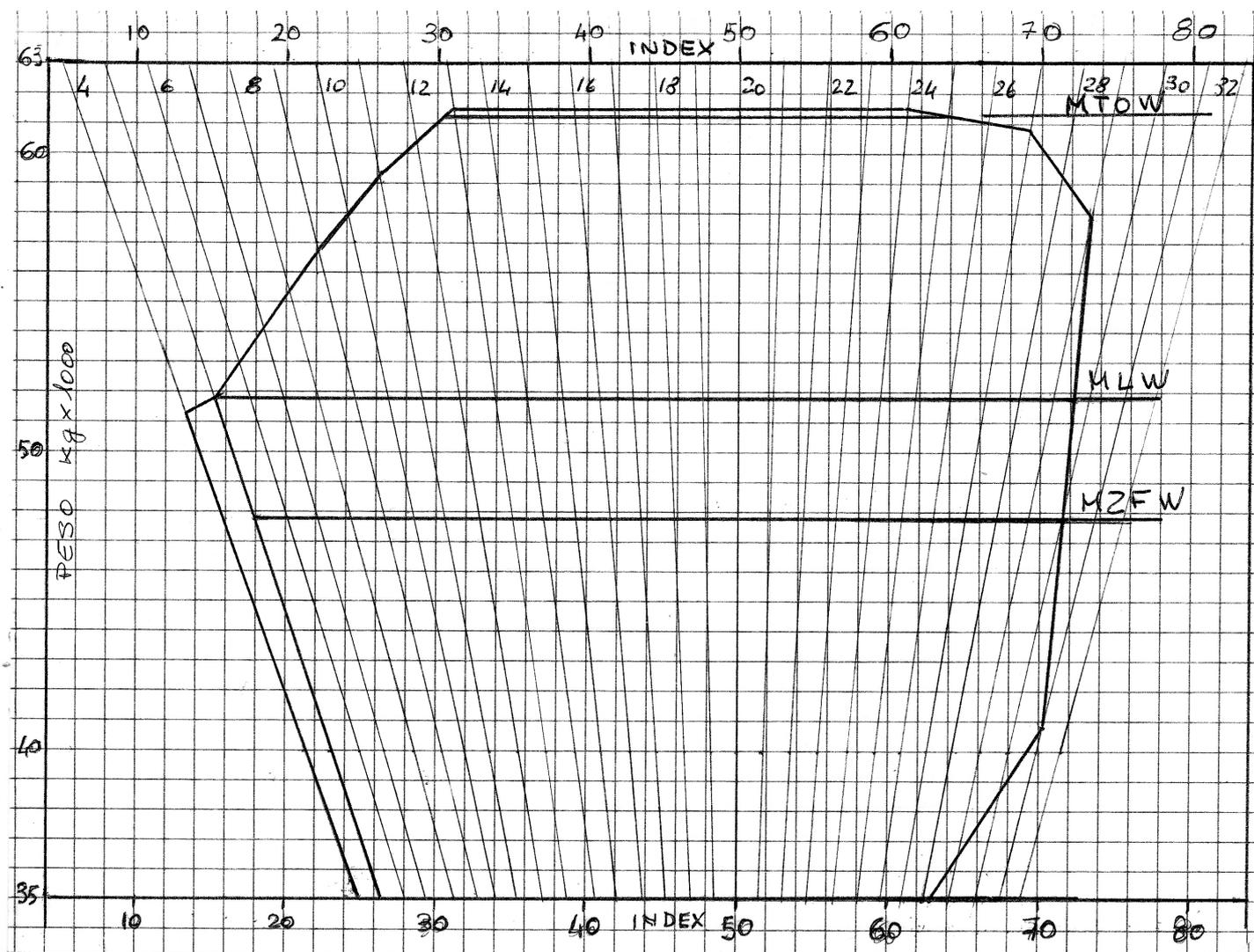
$$INDEX = \frac{Weight \times (B.A. \% m.a.c. - xxx)}{yyyyy} + 50$$

In questo caso l'ordinata di riferimento è relativa al 30% della m.a.c. Al 30% il momento sarà zero, mentre per valori di m.a.c. superiori al 30% saranno positivi e per valori di m.a.c. inferiori al 30% saranno negativi. Per facilitare l'uso del grafico occorre che tutti i valori siano positivi e per questo al risultato finale si aggiunge un valore tale da portare tutti gli indici di momento in positivo.

Il valore yyy serve a riportare un numero finale in una dimensione accettabile, xxx rappresenta il braccio relativo al % di m.a.c. riportato nel grafico come datum, quindi al 30% di m.a.c. il momento sarà zero e l'indice di momento 50.

L'esempio di grafico riportato nella pagina seguente rispecchia l'andamento del Boeing 737 studiato nel nostro laboratorio. Il valore di xxx è pari a 652,5 pollici e rappresenta il braccio relativo al 20% di m.a.c. il valore yyyyy è pari a 30000.

Andamento dei limiti certificati di escursione del baricentro in funzione del peso e del % di m.a.c. realizzato dagli studenti del terzo anno per un aeromobile Boeing 737



Le formule usate sono le seguenti

$$BA\%MAC = \frac{\%MAC \times 134,5}{100} + LEDGE MAC$$

$$INDEX = \frac{W(Kg) \times (BA\%MAC - 652,5)}{30000} + 50$$

**652,5 (inch)** rappresenta il braccio di riferimento (datum) del 20% di m.a.c.

Nel percorso gli studenti sono stati divisi in quattro gruppi che hanno seguito i seguenti aeromobili: B737/B767/MD80/A319

Le formule usate per le altre macchine sono le seguenti:

B767 (kgin)

$$\text{BA\%MAC} = \frac{\% \text{MAC} \times 237,5}{100} + 913,2$$

$$\text{INDEX} = \frac{W \text{ (kg)} \times (\text{BA\%MAC} - 960,7)}{200000} + 50$$

MD80 (kgin)

$$\text{BA\%MAC} = \frac{\% \text{MAC} \times 158,512}{100} + 885,5$$

$$\text{INDEX} = \frac{W \text{ (kg)} \times (\text{BA\%MAC} - 911,0)}{75000} + 50$$

A319 (kgm)

$$\text{BA\%MAC} = \frac{\% \text{MAC} \times 4,1935}{100} + 16,2016$$

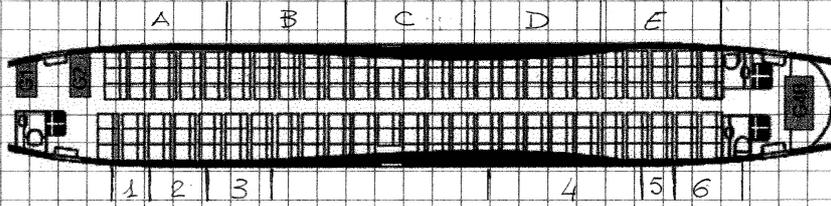
$$\text{INDEX} = \frac{W \text{ (kg)} \times (\text{BA\%MAC} - 17,250)}{1000} + 50$$

BA = Balance Arm

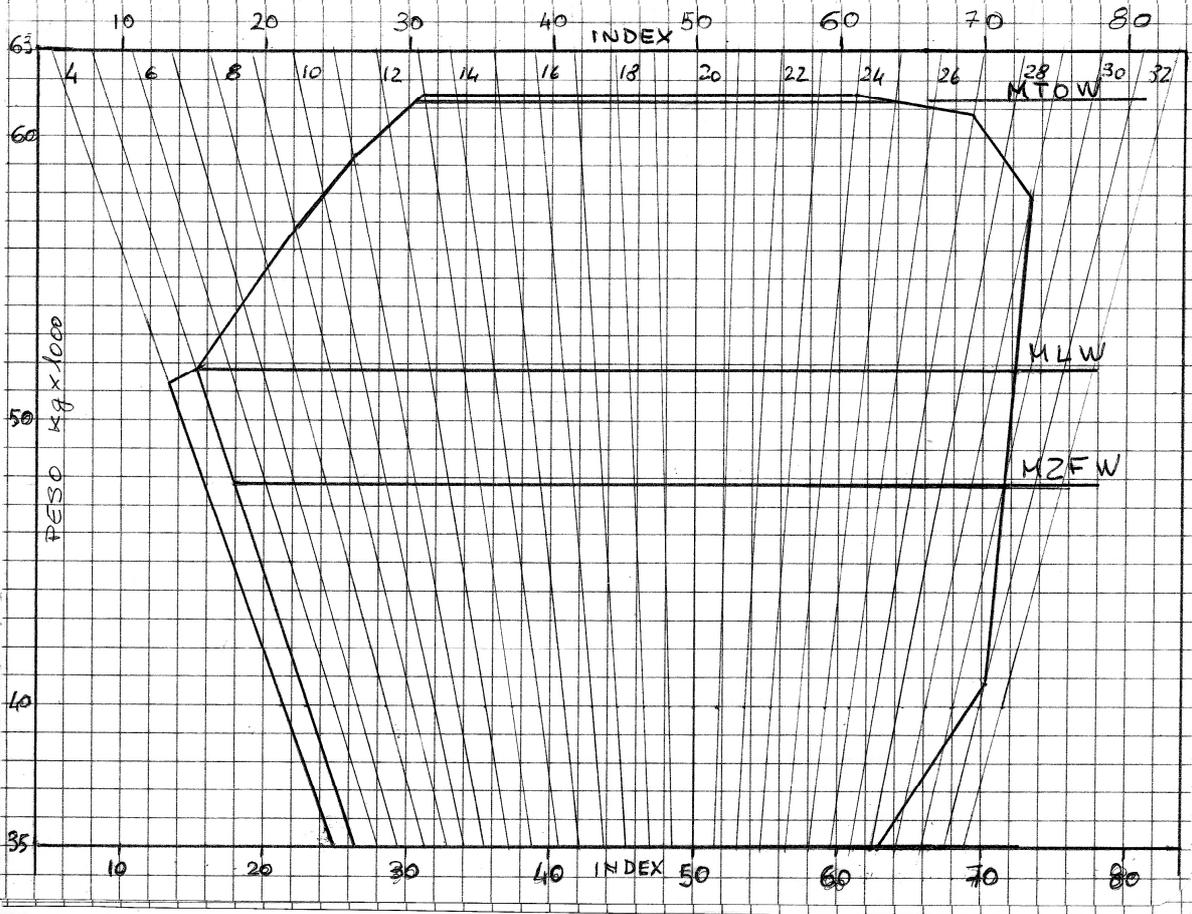
W = Weight

Le stesse formule usate per il calcolo dell'index, senza l'aggiunta del fattore di correzione finale 50, sono state usate per determinare le scale di variazione relative ai bagagliai e alle sezioni passeggeri inserendo al posto della BA%MAC il braccio medio dei bagagliai o delle cabine pax secondo la suddivisione scelta, al fine di determinare l'effetto del caricamento passeggeri e merci sul baricentro della macchina. Nell'esempio seguente una visione totale del foglio di bilanciamento.

# ESEMPIO DI BALANCE CHART



N°	WEIGHT Kg	INDEX						
		20	30	40	50	60	70	80
		BOW						
		1						
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		A						
		B						
		C						
		D						
		E						
		ZFW						
		TOF						
		TOW						



## Classe quarta

### PROBLEMATICHE RELATIVE ALL'INVOLO (TAKEOFF)

Riferimenti alle normative EASA  
Documentazione ufficiale del costruttore  
Analisi problematiche del decollo  
Analisi dati aeroportuali  
Calcolo delle limitazioni di decollo  
Limitazione pista  
Limitazione secondo segmento  
Limitazione ostacolo  
Velocità di decollo

Il Tecnico Operativo provvede allo studio e alla realizzazione delle Tabelle di pista con analisi e sviluppo delle procedure di decollo con avaria motore

## **PRESTAZIONI DEGLI AEROMOBILI DI LINEA**

*Il concetto informatore nella determinazione delle prestazioni di un aereo di linea è che queste debbano essere ottenute attraverso una capacità media di pilotaggio ed in modo tale che non sussistano rischi per equipaggi e passeggeri.*

*Allo scopo di far volare gli aerei con sufficienti garanzie di sicurezza gli enti preposti alla certificazione emanano una serie capillare di norme, costituenti una specie di codice da rispettare.*

*In esso sono specificati i requisiti che deve possedere ogni cosa inerente l'aviazione commerciale, dalle strisce segnate sulle piste alle caratteristiche di una luce di navigazione, dai tempi di reazione di un pilota medio alla quantità minima di uscite d'emergenza che un aereo deve possedere, dagli equipaggiamenti di emergenza di un battellino ai requisiti di una poltrona per passeggeri, dei bagagliai e così via.*

*L'ufficio tecnico operativo di una compagnia deve essere in grado di gestire ogni variabile, però, in questo caso specifico, per ora, ci limiteremo a parlare di quelle che più da vicino interessano la condotta di un aeromobile.*

*La principale norma attualmente in vigore nella determinazione delle prestazioni di un aeromobile commerciale è quella che impone di considerare in un momento qualsiasi dell'impiego, dal rilascio freni per il decollo fino all'atterraggio, l'arresto improvviso di un motore ed il completamento della successiva fase di volo in tutta sicurezza. Il motore da considerare in avaria dovrà essere quello che in caso di arresto determina gli effetti più sfavorevoli nel pilotaggio di un aereo.*

*Altri fattori che concorrono a determinare le prestazioni sono quelli meteorologici quali vento, temperatura, quota, oppure geometrici degli aeroporti come la lunghezza pista, la sua pendenza, la presenza di acqua, neve, la presenza di ostacoli nella traiettoria di salita iniziale e durante la crociera ecc.*

*Anche la posizione del baricentro dell'aereo influisce in modo determinante sulle prestazioni del volo e per questo è trattato in modo approfondito nella sezione WEIGHT and BALANCE.*

# ***Il decollo***

*La lunghezza di pista che l'aereo deve avere davanti a sé per il decollo deve essere almeno uguale alla maggiore delle tre distanze seguenti:*

- *distanza necessaria per raggiungere 35 ft di quota e la V2 e con tutti i motori operativi alla spinta di decollo, maggiorata del 15%.(\*)*
- *distanza necessaria per raggiungere 35 ft di quota e la V2, con tutti i motori operativi alla spinta di decollo fino alla V1 e con il motore critico in meno a partire dalla V1.*
- *distanza necessaria per accelerare fino alla V1 con tutti i motori operativi alla spinta di decollo e quindi arrestare completamente l'aeromobile coi mezzi consentiti.*

*(\*) Questa distanza non è mai limitante nei bimotori.*

*La determinazione delle prestazioni di decollo con avaria motore di un aereo commerciale avviene in due fasi:*

*il "decollo" vero e proprio, cioè la corsa sulla pista e un tratto di volo che termina alla quota di 35 ft rispetto al campo*

*la "traiettoria di salita iniziale" che inizia dai 35 ft e termina a 1500 ft rispetto al campo con l'aereo che ha già assunto la configurazione di crociera.*

*I parametri che vengono presi in considerazione nel calcolo del peso massimo di decollo sono:*

- 1. La lunghezza di pista disponibile e le sue condizioni (asciutta, bagnata, allagata, con neve ecc)*
- 2. La pendenza della pista espressa come valore percentuale*
- 3. Il 150% della componente in coda o il 50% della componente contraria del vento lungo la direzione della pista*
- 4. La quota pressione dell'aeroporto*
- 5. La temperatura dell'aria espressa in gradi centigradi*

## Velocità caratteristiche di decollo V1 – VR – V2

Per un aereo che si accinge al decollo è richiesta la determinazione di tre velocità caratteristiche, opportunamente calcolate in modo che il pilota possa effettuare la manovra di involo in condizioni di sicurezza anche in caso di avaria al motore critico.

**V1** E' la velocità alla quale il pilota, riconosciuta l'avaria motore, applica la prima azione frenante. Quella che una volta si chiamava "velocità di decisione" è stata rinominata "velocità di azione" in quanto la decisione di frenare o di proseguire deve già essere stata presa per rispettare la sequenza di interruzione di decollo. In sostanza se alla V1 non si è iniziato a frenare, si deve proseguire. Il punto di avaria motore viene definito come quello in cui si trova l'aereo in decollo al momento del verificarsi della improvvisa e completa avaria del motore critico. A partire da questo punto, considerando il tempo medio di riconoscimento e di reazione del pilota si determina lo spazio totale percorso e la velocità raggiunta al momento in cui il pilota inizia a frenare. Questa velocità è la V1. Pertanto, se l'avaria si riconosce prima del raggiungimento della V1 il pilota dovrà procedere all'arresto, se l'avaria si riconosce al, o dopo il, raggiungimento della V1 il pilota dovrà proseguire il decollo in quanto la pista residua non consente l'interruzione dello stesso. Le norme di certificazione si limitano, nel caso della V1, a chiarire il rispetto di questa sua caratteristica lasciando facoltà all'operatore di calcolare, caso per caso, il valore più opportuno con le sole limitazioni che non sia inferiore alla V<sub>mcg</sub> (velocità minima di controllo a terra), superiore alla V<sub>mbe</sub> (velocità massima di frenata) o superiore alla VR (velocità di rotazione).



### Velocità di rotazione VR

**VR** Se la V1 è estremamente importante in quanto individua la possibilità o meno di effettuare un decollo, la VR è fondamentale per il distacco del velivolo da terra e l'inizio del volo. E' infatti a questa velocità che il pilota inizia a cabrare l'aereo per portarlo all'incidenza più idonea per decollare, proseguire l'accelerazione nonostante l'eventuale avaria motore e per portarlo alle condizioni migliori per effettuare le successive manovre. E' importante evidenziare come un corretto centraggio dell'aeromobile ed un corretto settaggio del trim di decollo siano elementi importantissimi ai fini della corretta rotazione nei tempi e nei modi previsti dalla certificazione.

## Velocità minima di decollo V2

**V2** La velocità minima di decollo V2 consente all'aereo di percorrere la traiettoria iniziale di decollo con la pendenza di salita prescritta mantenendosi ad una certa distanza dalla velocità di stallo. Il valore che si può adottare non deve essere inferiore, attualmente, ai seguenti limiti:

1,20 della velocità di stallo Vs0 oppure 1.13 della velocità di stallo Vs1g

1.10 della velocità minima di controllo in aria Vmca

E' quindi possibile adottare velocità superiori a queste, se ciò è conveniente per aumentare i pesi massimi di decollo, specialmente durante il proseguimento del volo e in presenza di eventuali ostacoli, purché si mantengano i legami con la VR tra i quali importantissimo quello che obbliga il raggiungimento della V2 non al di sopra dei 35 ft sulla quota della pista.

**(La determinazione del peso massimo di decollo e delle relative velocità è compito dell'Ufficio Tecnico Operativo)**

### Le velocità caratteristiche "terrestri"

<b>Vmca:</b>	minima velocità di controllo a terra	(ground min control speed)
<b>Vmbe:</b>	massima velocità per energia frenante	(maximum brake energy)
<b>Vmts:</b>	massima velocità per gli pneumatici	(maximum tire speed)
<b>Vef:</b>	velocità di avaria motore	(engine failure speed)
<b>V1:</b>	massima velocità di inizio frenata	(action ex decision speed)

### Le velocità caratteristiche del "volo"

<b>V1:</b>	minima velocità per proseguire il volo	(minimum T/O speed)
<b>Vso/Vs1g:</b>	velocità di stallo	(stall speed)
<b>VR:</b>	velocità di rotazione	(rotation speed)
<b>Vmu:</b>	velocità di minimo unstick	(toccata tail skid)
<b>Vlo :</b>	velocità di distacco	(lift off speed)
<b>Vmca:</b>	velocità minima di controllo in aria	(minimum air control speed)
<b>V2:</b>	velocità minima di volo	(minimum climb speed)
<b>Vman:</b>	velocità minima di manovra	(minimum maneuvering speed)
<b>Vmo/Mmo:</b>	velocità massime operative in nodi e in mach	
<b>Vth:</b>	velocità minima in soglia pista	(minimum threshold speed)

### V1 – VR – V2

- La **V1** è un velocità che si riferisce a problemi di terra, però deve essere tale da consentire di raggiungere la **VR**, ruotare, iniziare a sollevarsi da terra e raggiungere la **V2** a 35 ft sulla pista con un motore in meno.
- La **VR** e la **V2** sono velocità che si riferiscono a problemi di volo e la **V2** non può essere inferiore alla velocità che mantiene un minimo rapporto sullo stallo.
- La **V2** non può essere inferiore a 1.2 della Vso oppure 1.13Vs1g

## DECOLLO/TAKEOFF

### Lunghezza di pista necessaria al decollo

#### NORMATIVE EASA

L'operatore assicura che la massa al decollo non sia superiore alla massa massima al decollo specificata nel manuale di volo del velivolo, tenuto conto dell'altitudine-pressione e della temperatura ambiente sull'aeroporto di decollo.

**The take-off mass shall not exceed the maximum take-off mass specified in the AFM for the pressure altitude and the ambient temperature at the aerodrome of departure.**

L'operatore deve rispettare i seguenti requisiti per determinare la massa massima autorizzata al decollo:

- 1) la distanza di accelerazione-arresto non deve essere maggiore della distanza disponibile per accelerazione-arresto;
- 2) la distanza di decollo non deve essere maggiore della distanza disponibile per il decollo, con un prolungamento libero da ostacoli non superiore alla metà della lunghezza disponibile per la corsa di decollo;
- 3) la corsa di decollo non deve essere superiore alla lunghezza disponibile per la corsa di decollo;
- 4) la conformità alla presente norma deve essere dimostrata utilizzando un solo valore di V1 in caso d'interruzione e di continuazione del decollo; e
- 5) su pista bagnata o contaminata la massa al decollo non deve essere superiore a quella autorizzata per un decollo su pista asciutta effettuato nelle medesime condizioni.

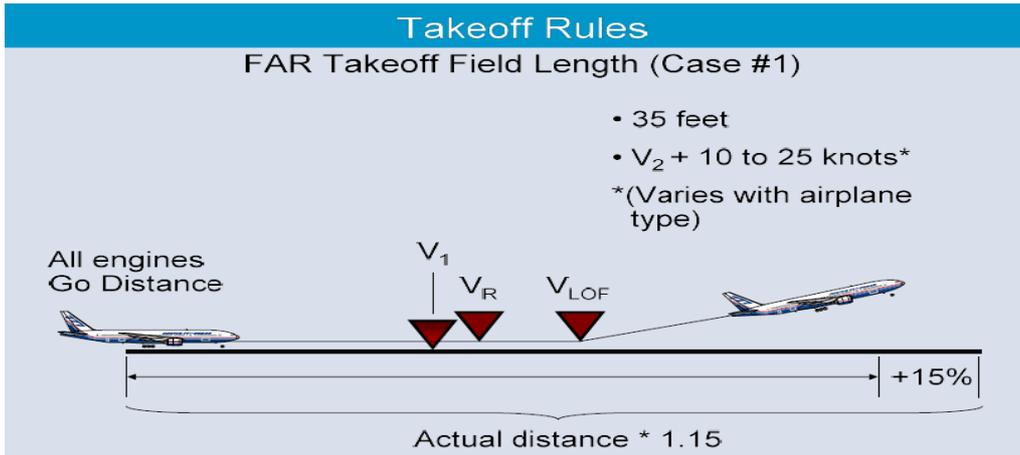
**The following requirements shall be met when determining the maximum permitted take-off mass:**

- (1) the accelerate-stop distance shall not exceed the accelerate-stop distance available (ASDA);**
- (2) the take-off distance shall not exceed the take-off distance available, with a clearway distance not exceeding half of the take-off run available (TORA);**
- (3) the take-off run shall not exceed the TORA;**
- (4) a single value of V1 shall be used for the rejected and continued take-off; and**
- (5) on a wet or contaminated runway, the take-off mass shall not exceed that permitted for a take-off on a dry runway under the same conditions.**

Nel dimostrare la conformità alle disposizioni, l'operatore deve tenere conto dei seguenti elementi:

- 1) l'altitudine di pressione sull'aeroporto;
- 2) la temperatura ambiente sull'aeroporto;
- 3) lo stato e il tipo della superficie della pista;
- 4) la pendenza della pista nel senso del decollo;
- 5) non più del 50 % della componente di vento in prua riportata o non meno del 150 % della componente di vento in coda riportata; e
- 6) la diminuzione, se del caso, della lunghezza di pista dovuta all'allineamento del velivolo prima del decollo.

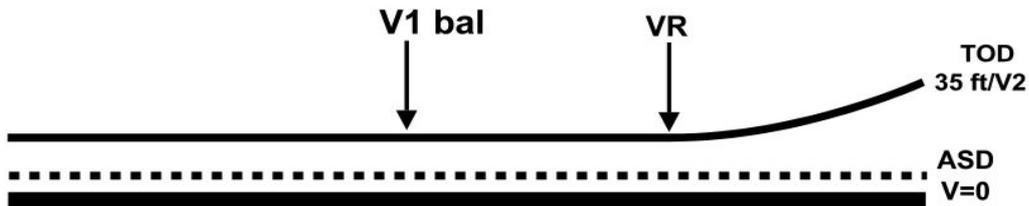
## Decollo senza avaria motore



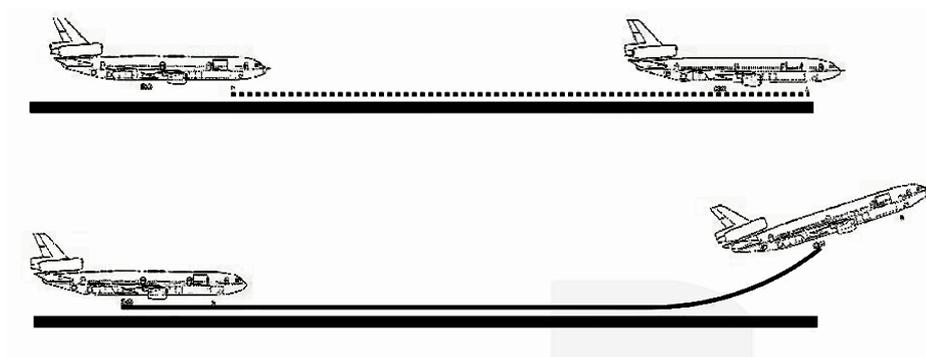
## DECOLLO CON AVARIA MOTORE

### RWY LIMITED TAKEOFF

Il massimo peso al decollo consentito dalla lunghezza pista è realizzabile con la  $V_1$  bilanciata



Nel calcolo del peso massimo di decollo occorre tener presente sia la pista persa durante l'entrata e l'allineamento, sia della differenza fra il carrello principale e il carrello anteriore, in quanto i 35ft vengono misurati dal carrello principale mentre l'arresto in pista deve essere conteggiato sul carrello anteriore. Le informazioni relative a questi problemi sono fornite dai costruttori negli appropriati Weight and Balance Manual.



*E' ammesso l'uso di spazi situati sul prolungamento della pista detti "clearway" e "stopway". La stopway è uno spazio libero da ostacoli in grado di sopportare il peso dell'aereo e viene considerato nel calcolo dell'accelerazione arresto.*

*La clearway è uno spazio libero da ostacoli e di natura non definita (acqua, prato ecc) sotto il controllo dell'autorità aeroportuale e può essere sorvolato durante la fase dalla  $V_R$  ai 35 ft. Però lo spazio utilizzabile non può superare la metà del percorso dal punto di distacco ai 35ft, perciò è un valore che dipende dal tipo di aereo e deve essere fornito dal costruttore.*

# CLIMB LIMITED WEIGHT

(peso limitato dal secondo segmento di salita)

Per quanto possa essere lunga la pista, il peso massimo al decollo non potrà **mai** essere superiore al peso in grado di sviluppare un gradiente minimo del **2.4%** nel punto in cui il carrello è completamente retratto considerando il peso più alto al GU (gear up/carrello retratto) e la spinta più bassa fra quella al GU e quella a 400 ft (quota minima per iniziare l'accelerazione)

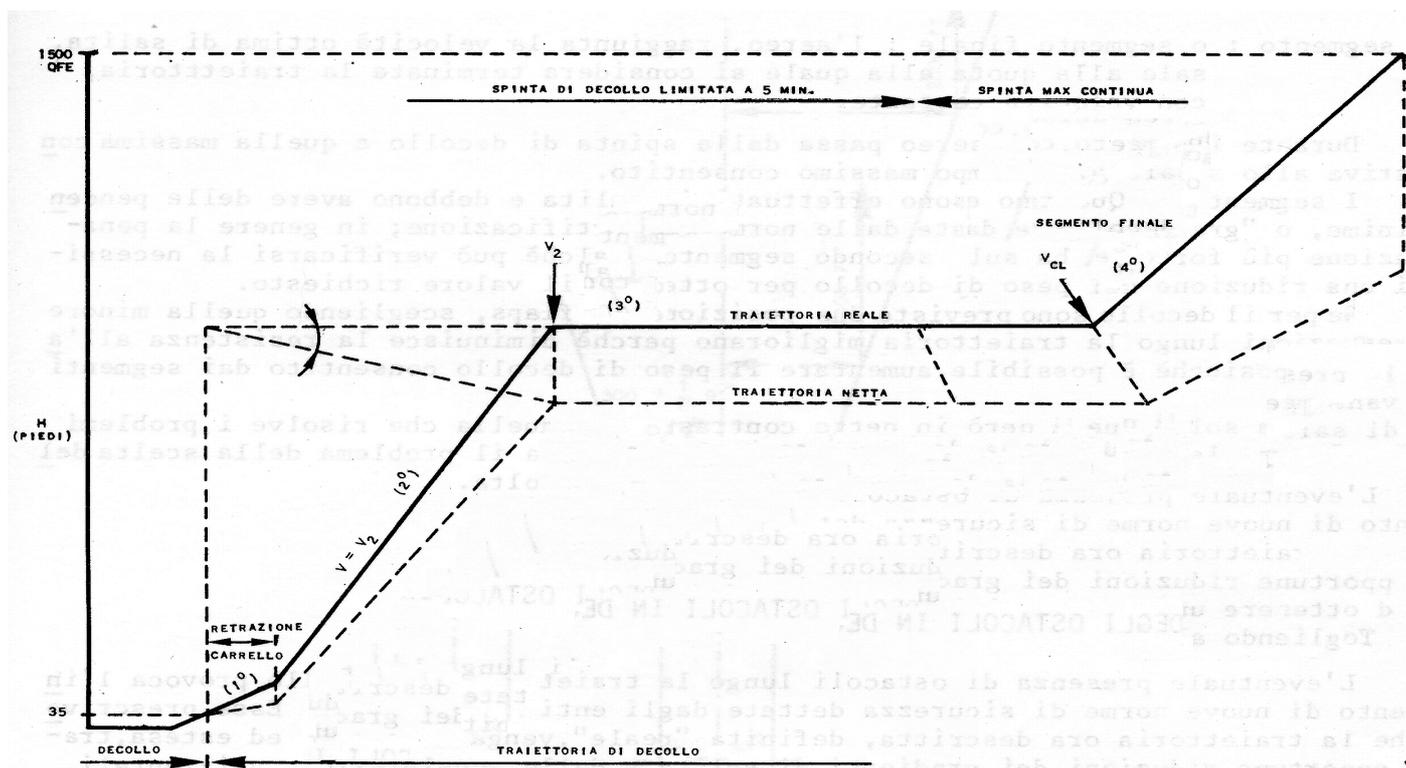
Nota: **2.4%** = valore riferito ai bimotori    Trimotori = **2.7%**    Quadrimotori = **3%**

**Per meglio comprendere questa limitazione introduciamo la traiettoria di decollo iniziale.**

Si tratta del percorso che l'aereo effettua dal termine del decollo, 35ft di altezza sulla pista fino al raggiungimento dei 1500 ft sul campo, dove si ritiene che la fase di decollo sia terminata a meno che non ci siano ancora ostacoli da verificare. La traiettoria di decollo iniziale è suddivisa in segmenti. Per tutta la traiettoria di salita deve essere disponibile un gradiente di salita minimo che consenta sia la salita che l'accelerazione alle velocità di retrazione flaps e slats fino a raggiungere la velocità di salita finale. La necessità di avere questi gradienti minimi condiziona molto la traiettoria di salita iniziale al punto che questi possono anche arrivare a limitare il peso massimo di decollo. I due gradienti che penalizzano di più sono quello relativo all'inizio del secondo segmento e quello relativo all'inizio del segmento finale che termina 1500 ft sull'aeroporto.

Il gradiente all'inizio del segmento finale va verificato con l'aeromobile in condizioni aerodinamiche cosiddette pulite e cioè con i flaps e gli slats retratti, con la velocità minima prevista per la salita finale e con la spinta di decollo ridotta alla massima continuativa, il che avviene, di base, dopo 5 minuti di impiego della spinta di decollo massima. Questo gradiente condiziona la quota di accelerazione.

La traiettoria di salita detta "reale" o "gross" viene trasformata in una traiettoria fittizia più bassa riducendo i gradienti di salita di una quantità standard 0.8% per i bimotori, 0.9% per i trimotori e 1% per i quadrimotori. Tutti gli ostacoli interessati dalla traiettoria di accelerazione devono essere sorvolati con un margine di 35ft dalla quota netta.



# Il peso massimo di decollo

Un aereo è autorizzato a partire con un peso che deve essere, al massimo, uguale al minore dei pesi seguenti:

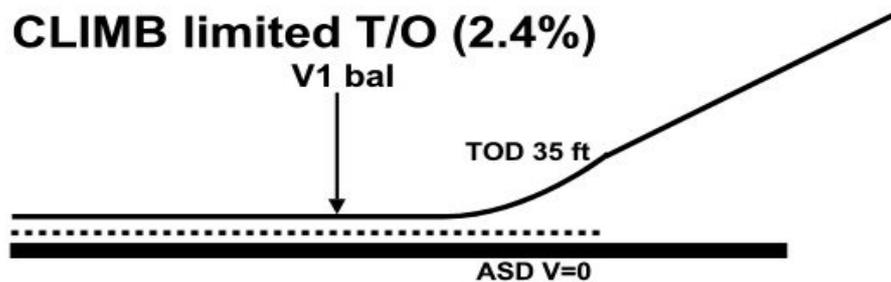
Peso massimo strutturale di decollo

Peso massimo consentito dalla pista

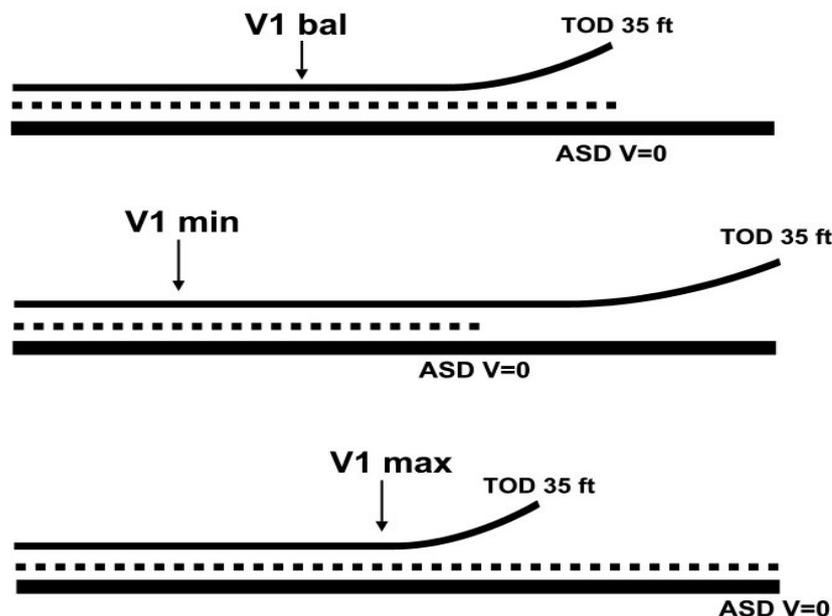
Peso massimo consentito dai gradienti minimi della traiettoria di decollo (normalmente quello del secondo segmento)

Peso massimo consentito dal sorvolo degli ostacoli posti lungo la traiettoria di decollo.

Se il peso è più basso del massimo consentito dalla lunghezza pista, con la  $V_1$  bilanciata avanza pista



## $W < RWY LIMITED$

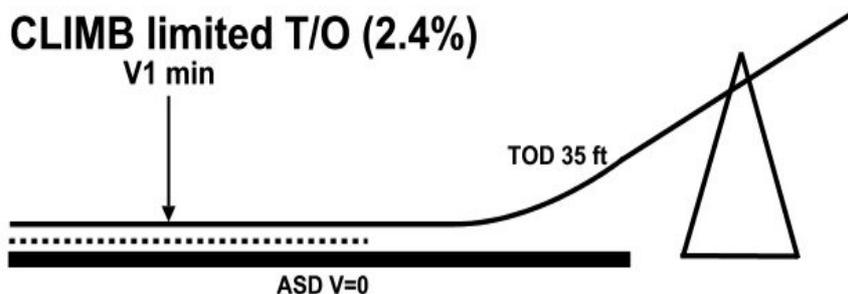


In questo caso esiste la possibilità di scegliere diverse  $V_1$  e cioè, una  $V_1$  più bassa fino a quella che consente di raggiungere i 35 ft a fine pista lasciando nel contempo ampi margini per la frenata  **$V_1 min$** , oppure una velocità  $V_1$  più elevata, fino ad eguagliare la  $V_R$ ,  **$V_1 max$**  fino a sfruttare tutta la pista per la frenata ma allontanando l'inizio salita dagli eventuali ostacoli ed evitando di ridurre troppo il peso massimo di decollo a causa degli stessi.

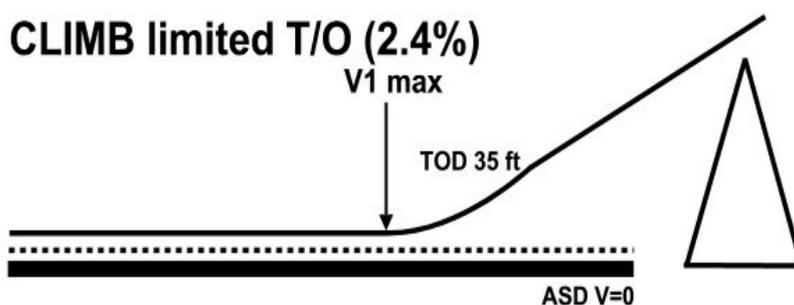
La scelta della maggior parte delle compagnie aeree è di operare, ogniqualvolta sia possibile, con la  **$V_1 minima$**  in modo da favorire l'eventuale interruzione di decollo.

## Però

Se questa scelta dovesse penalizzare il **MAX TOW** a causa di ostacoli non sorvolabili



allora, per non ridurre, il peso si può usare una  $V1$  più alta, anche fino alla massima ( $V1=VR$ )



In questo caso si supera l'ostacolo senza ridurre il peso

In questo primo corso si sono analizzate, con gli studenti, le limitazioni legate alle caratteristiche della pista, alle limitazioni relative al 2.4% e a quelle relative al sorvolo di un ostacolo.

Per far questo si è utilizzato un modello che consente di elaborare sia i pesi limitati dalla pista, che quelli limitati dal secondo segmento che quelli limitati dagli ostacoli. Un grafico finale evidenzia tutte queste limitazioni e fornisce un quadro complessivo della pista analizzata.

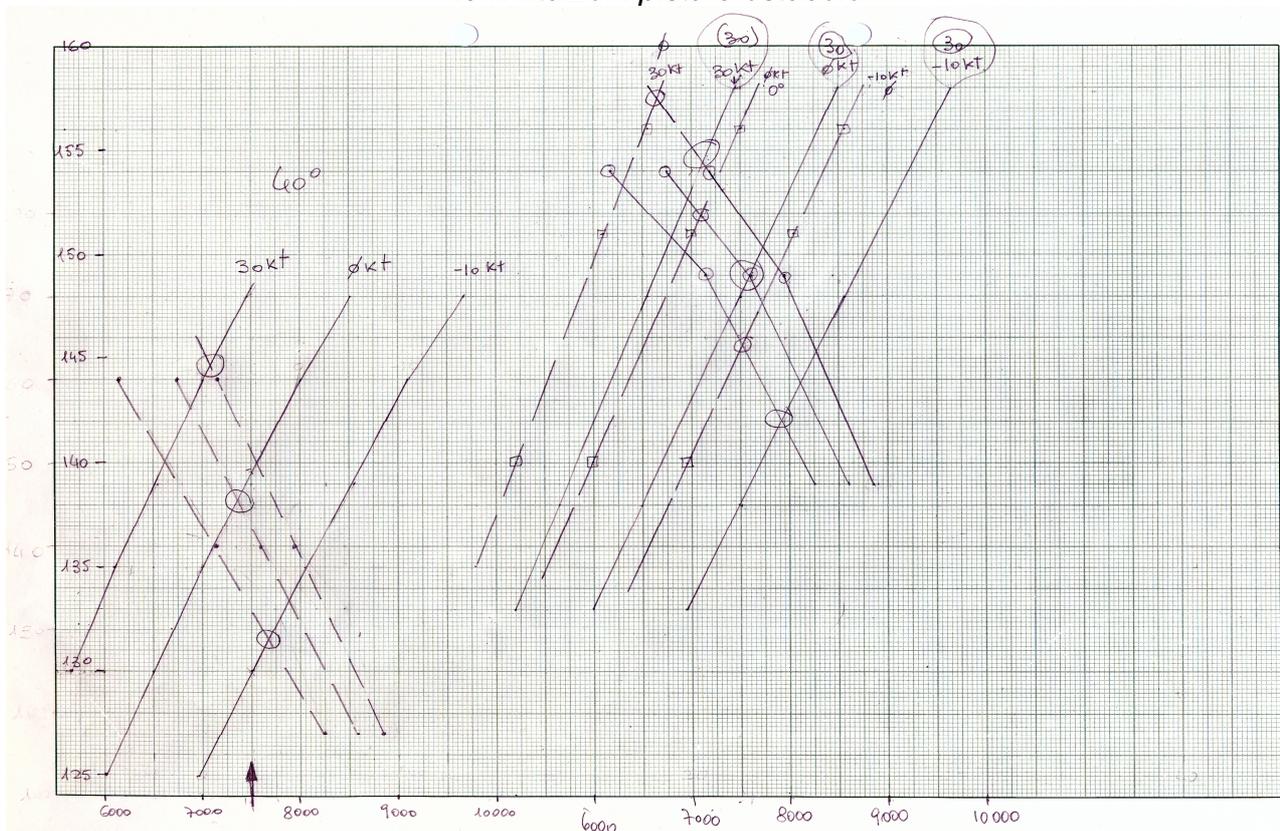
L'aeromobile preso in considerazione è stato l'MD80 in quanto la sua certificazione è basata sulla  $V1$  bilanciata quindi, pur avendo esplicitato il concetto della  $V1$  ottimizzata, si è ritenuto maggiormente importante semplificare il metodo di calcolo. Successivamente, una volta presa dimestichezza con il metodo più semplice, passeremo ad analizzare il Boeing 737 che è stato certificato con la possibilità di variare la  $V1$  per poi passare all'Airbus che consente di ottimizzare, oltre alla  $V1$ , anche la  $V2$ .

# L'esercitazione

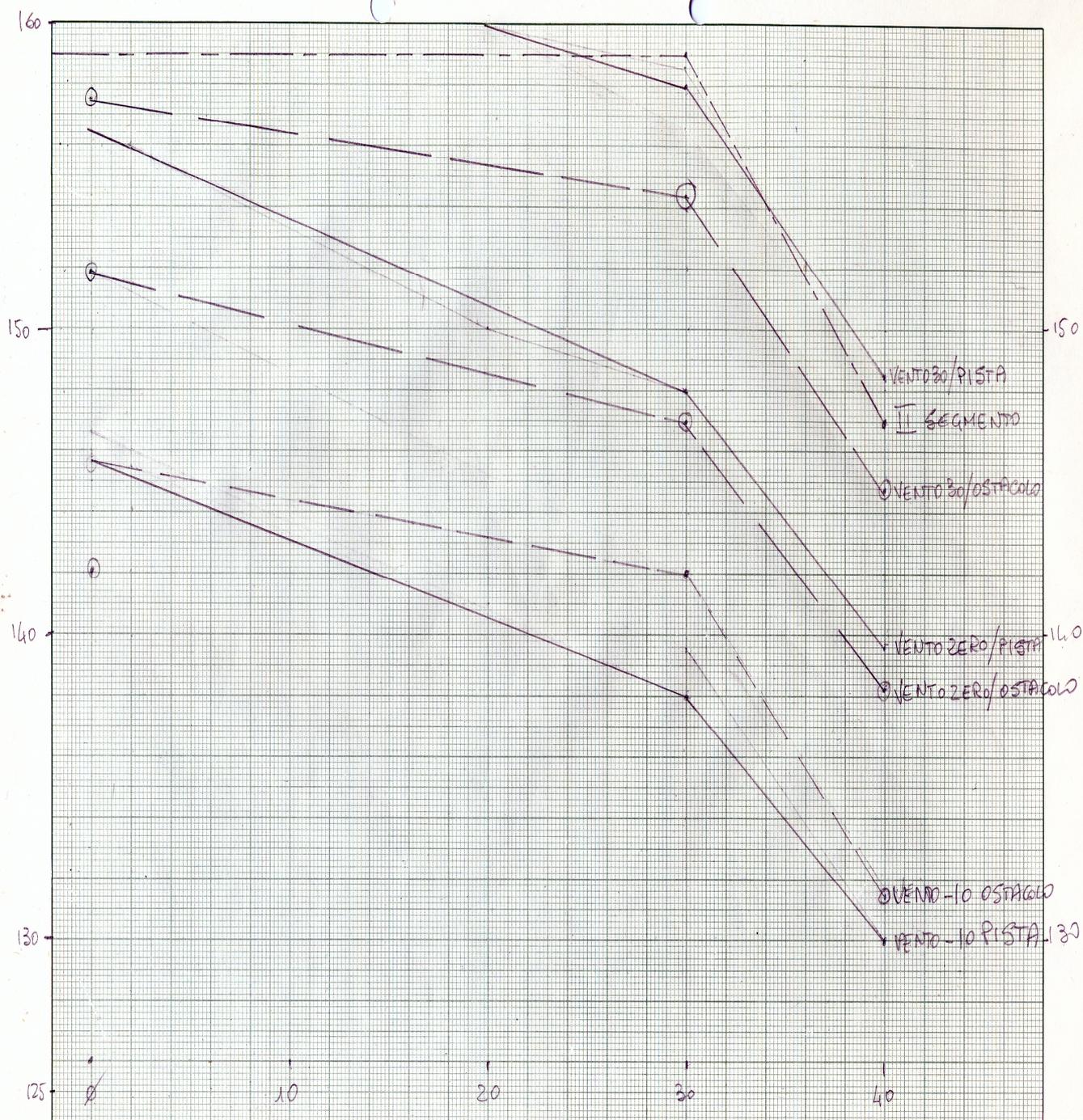
Gli studenti sono stati divisi in 6 gruppi ed ogni gruppo ha riempito lo stampato. Il risultato finale è stato discusso tutti insieme per chiarire il metodo di calcolo, l'uso dei grafici del flight manual del costruttore e i risultati raggiunti

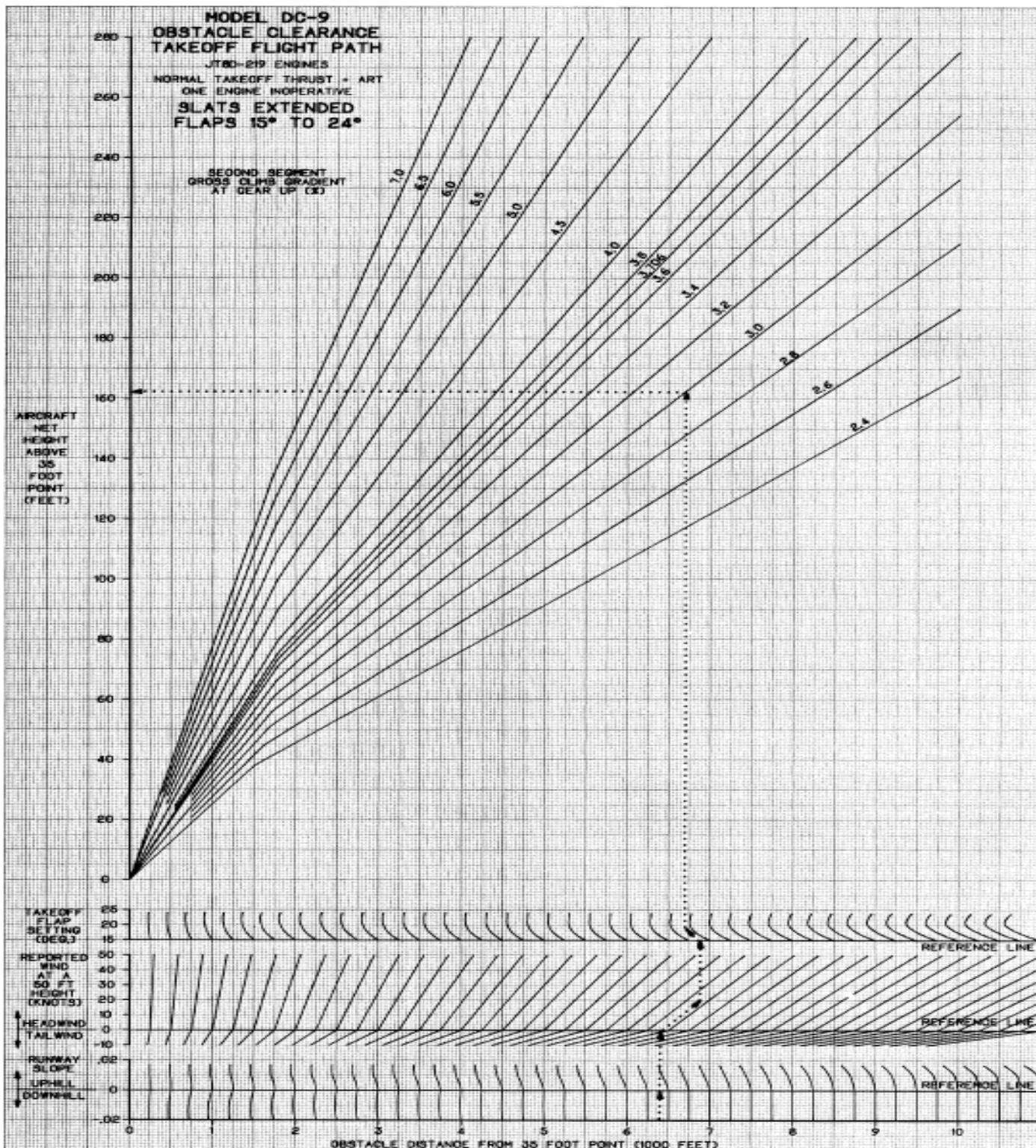
  		A.S. 2016/17 - 1 <sup>^</sup> CORSO "Tecnico Operativo" ESERCITAZIONE DI <u>PESO MASSIMO AL DECOLLO</u>												
Cognome Nome		Data		Classe										
Aeroporto <u>ESEMPIO</u>		Pista <u>12</u>		Ostacolo n.										
Elevazione <u>SL</u>		Lunghezza <u>7500 FT</u>		Altezza sulla soglia finale <u>30</u> ft. <u>100</u>										
Flaps <u>15</u>		Pendenza <u>ZERO</u>		Resistenza <u>OK</u>										
Condizioni Pista <u>DRY</u>		Elevazione Soglia Finale <u>SL (ZERO FT)</u>		Distanza dalla soglia Iniziale (D) <u>11000</u>										
<u>AEROMOBILE MD 80</u>														
L (ft)	L corretta per vento e pendenza			LIMITAZIONE PISTA										
	-10	0	30	3500 temp 40°	3450 temp 30°	3350 temp 20°	3250 temp 10°	3150 temp 0°	3050 temp -10°	temp	temp	temp	temp	temp
9000	10200	9000	7900	152										
8500	9650	8500	7450	148	158	160								
8000	9100	8000	7000	144	153	156	158	161						
7500	8550	7500	6550	139	148	150	154	156	160					
7000	8050	7000	6100	135	143	146	148	151	154					
6500	7500	6500	5650	130	138	141	143	146	148					
6000	6950	6000	5200	125	133	135	137	140	142					
GRAD														
		-10		0		30		LIMITAZIONI OSTACOLO						
		d	D-d	d	D-d	d	D-d	40°	30°	20°	10°	0°	-10°	
2.8		4850	6150	4250	6750	3830	7170	144	154					
3.2		3970	7130	3400	7600	3050	7950	136	149					
4.0		2750	8250	2420	8580	2170	8830	127	139					

Dalla compilazione del modulo si è passati alla realizzazione dei grafici successivi per identificare le limitazioni pista e ostacolo



Il grafico finale mette in relazione la limitazione pista, ostacolo e secondo segmento in funzione delle temperature e vento, realizzando, in pratica, una tabella di pista. Naturalmente si tratta solo di una prima approssimazione che identifica comunque l'andamento dei vari parametri. Il risultato finale sarà, a tempo debito, una tabella come quella presentata e realizzata tramite elaborazione elettronica ma che non avrà segreti per chi sarà stato capace di elaborarla a mano.





DC-9  
MOC 38490  
DATE 12-1-86  
FAA APPROVED  
SECTION 4D PAGE 66  
PERFORMANCE  
JTBD-219 ENGINE

Esempio di grafico del flight manual usato nel calcolo della limitazione ostacolo

DC9-80 OPERATIONS MANUAL	Elev : 138 ft	Runway	Airport
	Length: 8530 ft (2600 m)	30	FAC-SIMILE-B
	Slope : 0.00 %		

JT8D-217A  
A/C OFF/ON  
A/I OFF or ENG A/I ON

PTOW (ton) ; V1 (KIAS)  
LIMIT CODE ; VR (KIAS)  
PITCH (deg) ; V2 (KIAS)

15 OCT 91

VMCG VRMIN V2MIN	FLAP 15					DRY				OPTIMUM FLAP			
	OAT °C	WIND (kt)				OAT °C	WIND (kt)						
		-10	-5	0	10		-10	-5	0	10			
115	27	65.4 139	67.7	68.2	68.2	-10	67.0	68.3	69.9	70.6			
117		F 144	F	S	S		S	S	S	S			
126	(NA)	13.0 151											
115	29	65.2 138	67.4	68.2	68.2	-5	67.0	68.3	69.9	70.6			
117		F 143	F	S	S		S	S	S	S			
126	(NA)	13.0 151											
114	31	64.6 138	66.8 142	67.4 143	67.4 143	0	67.0	68.2	69.8	70.6			
117		F 143	F 146	S 146	S 146		S	S	S	S			
125	(NA)	13.0 150	12.5 152	12.5 153	12.5 153								
113	33	64.0 137	66.2 141	66.5 142	66.5 142	5	67.0	68.2	69.8	70.5			
116		F 142	F 145	S 145	S 145		S	S	S	S			
124	(NA)	12.5 149	12.5 152	12.5 152	12.5 152								
112	35	63.4 137	65.5 141	65.6 141	65.6 141	10	67.0	68.1	69.8	70.5			
115		F 142	F 144	S 144	S 144		S	S	S	S			
124	(NA)	12.5 148	12.5 151	12.5 151	12.5 151								
112	37	62.7 136	64.7 140	64.7 140	64.7 140	15	66.9	68.1	69.7	70.5			
115		F 141	S 143	S 143	S 143		S	S	S	S			
123	(30)	12.5 148	12.5 150	12.5 150	12.5 150								
111	39	62.0 136	63.8 139	63.8 139	63.8 139	20	66.9 139	68.1	69.7	70.4			
114		F 140	S 142	S 142	S 142		S 143	S	S	S			
122	(32)	12.5 147	12.5 149	12.5 149	12.5 149		13.0 150						
110	41	61.3 135	62.9 138	62.9 138	62.9 138	25	66.5 138	67.9	69.6	70.4			
113		F 139	S 141	S 141	S 141		F 143	F	S	S			
121	(34)	12.5 146	12.5 148	12.5 148	12.5 148		13.0 150						
109	43	60.5 134	62.1 137	62.1 137	62.1 138	27	66.3 138	67.7	69.5	70.3			
112		F 138	S 140	S 140	S 140		F 142	F	F	F			
121	(35)	12.5 145	12.5 147	12.5 147	12.5 147		13.0 149						
108	45	59.8 133	61.2 136	61.2 136	61.2 137	29	66.1 138	67.4	69.2	70.1			
112		F 138	S 139	S 139	S 139		F 142	F	F	F			
120	(37)	12.5 144	12.5 146	12.5 146	12.5 146		13.0 149						
107	47	59.1 133	60.2 135	60.2 135	60.2 136	31	65.5 137	66.8 140	68.5	69.4			
111		F 137	S 138	S 138	S 138		F 142	F 145	F	F			
119	(39)	12.5 143	12.5 145	12.5 145	12.5 145		13.0 148	13.5 152					
107	49	58.5 132	59.2 134	59.2 134	59.2 134	33	64.9 137	66.0 140	67.8	68.5			
110		F 136	S 137	S 137	S 137		F 141	F 144	S	S			
118	(41)	12.5 143	12.5 143	12.5 143	12.5 143		13.0 148	13.5 151					
	49	58.0 131	59.0 133	59.0 133	59.0 134	35	64.2 136	65.3 139	66.8 143	67.5			
		136	137	137	137		F 140	S 143	S 147	S			
		12.5 142	12.5 143	12.5 143	12.5 143		13.0 147	13.5 150	13.5 154				
	49	56.0 128	57.0 130	57.0 130	57.0 131		64.0 136	65.0 138	66.0 142	67.0 145			
		133	134	134	134		140	143	146	148			
		13.0 139	13.0 141	13.0 141	13.0 141		13.0 147	13.5 150	13.5 153	13.5 156			
	49	54.0 125	55.0 127	55.0 127	55.0 127		62.0 133	63.0 136	64.0 139	65.0 142			
		130	132	132	132		137	140	144	146			
		13.0 137	13.0 138	13.0 138	13.0 138		13.0 144	13.5 147	13.5 151	13.5 153			
	49	52.0 122	53.0 123	53.0 124	53.0 124		60.0 129	61.0 133	62.0 136	63.0 139			
		127	129	129	129		135	138	141	144			
		13.5 134	13.5 135	13.5 135	13.5 135		13.5 142	14.0 145	14.0 148	14.0 151			
	49	50.0 118	51.0 120	51.0 120	51.0 121		58.0 126	59.0 130	60.0 133	61.0 136			
		125	126	126	126		132	135	139	141			
		14.0 131	13.5 133	13.5 133	13.5 133		13.5 140	14.0 142	14.0 146	14.0 148			
	49	48.0 115	49.0 117	49.0 117	49.0 117		56.0 123	57.0 127	58.0 130	59.0 133			
		122	123	123	123		130	133	136	138			
		14.0 129	14.0 130	14.0 130	14.0 130		14.0 137	14.5 140	14.5 143	14.5 146			
	49	46.0 111CK	47.0 113CK	47.0 114CK	47.0 114CK		54.0 120	55.0 124	56.0 127	57.0 130			
		119	120	120	120		127	130	133	136			
		14.5 126CK	14.5 127	14.5 127	14.5 127		14.0 135	14.5 137	14.5 141	14.5 143			
	49	44.0 108CK	45.0 110CK	45.0 110CK	45.0 111CK		52.0 117	53.0 120	54.0 124	55.0 127			
		115CK	117CK	117CK	117CK		124	127	131	133			
		15.0 123CK	14.5 124CK	14.5 124CK	14.5 124CK		14.5 132	15.0 135	15.0 138	15.0 141			
	49	42.0 104CK	43.0 106CK	43.0 107CK	43.0 107CK		50.0 115	51.0 117	52.0 121	53.0 124			
		112CK	114CK	114CK	114CK		121	125	128	130			
		15.5 120CK	15.0 122CK	15.0 122CK	15.0 122CK		15.0 129	15.5 132	15.5 135	15.5 138			

LIMITATION CODES: F=Field Length S=2nd Segment \*=Obstacles T=Time speed B=Brake energy C=Approach & climb  
BLANK=No limitations