

Il D.O.C. è la quantità d'energia che la società che gestisce l'aereo deve cacciare per fare un'unità di lavoro. Il concetto quel è: se noi siamo dei gerbei (quelli che usano gli aeroplani), in sostanza noi vogliamo lavorare e il nostro lavoro è il trasporto aereo.

Il nostro lavoro si può calcolare come carico pagante per la ricaba (peso x distanza). Per fare questo lavoro noi dobbiamo pagare qualche cosa, quindi, dobbiamo cacciare una certa quantità di denaro; il rapporto tra i soldi che dobbiamo mettere per fare questo lavoro si definisce costo diretto d'esercizio. Essendo un rapporto si può definire come la quantità di denaro necessario per una unità di lavoro.

Se per unità di lavoro si assume la tonnellata per Km noi diciamo che il D.O.C. è la quantità di energia che dobbiamo cacciare per fare un'unità di percorso cioè trasportare una tonnellata di carico pagante per 1 Km.

Dobbiamo specificare il perché si definisce "diretto": perché i costi che ha una società non sono solo quelli diretti ma anche quelli indiretti.

Il costo diretto è quella parte dei costi di gestione che riguarda solo l'aeroplano, quindi, non tiene conto, ad esempio, del magazzino, dei servizi a terra che pure entrano nei costi generali di un'azienda. Ci sono una serie di voci: voi dove ne comprate questo aeroplano, quindi, c'è l'ammortamento del capitale (se spendete 50 miliardi, dovete pensare che dopo un periodo di gestione del velivolo, sul quale voi siete d'accordo (10, 15, 20 anni), i soldi che abbiamo cacciato ce li dobbiamo ridare più tutti i soldi che abbiamo perso come interessi). Tutto questo è un costo che, andando a frangere sul lavoro che dobbiamo svolgere ha un'influenza notevole.

Poi ci sta l'assicurazione (obbligatoria anche se non vogliamo), c'è l'hangaraggio (anche se sta in struttura vostra o in quella di un capitale investito in precedenza); poi c'è l'equipaggio (se non voi non percepite l'indennità di volo ma comunque viene pagato per essere pronto al volo), la manutenzione (che si fa anche se l'aereo non vola per tenerlo pronto al volo). A differenza delle macchine che una volta comprate rimangono così come sono, quando vengono proposte per un velivolo delle modifiche, queste vengono fatte perché c'è in gioco la sicurezza. A tutti questi costi fissi devono essere aggiunte le tasse. Se poi l'aereo vola ci sono tutti altri costi variabili e non solo da aggiungere: check-list prima e dopo il decollo e tanti altri che però non ci interessano.

Poi c'è il consumo di carburante, le tasse di sbarco, tutto ciò che si consuma a bordo, mettendo insieme tutte queste cose avete quello che si definisce costo diretto d'esercizio. A qualcosa legato a quella specifica aeroplano.

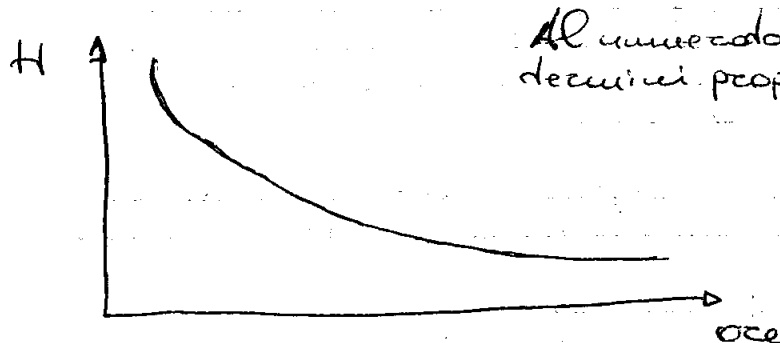
Nei costi totali questi rappresentano circa la metà poi che dopo ci sono anche i costi e degra: i servizi di promozione e quindi altro.

Questo D.O.C., essendo formato di una parte fissa e di una parte proporzionale al lavoro che voi fate, finisce per essere funzione del percorso che fate e, quindi, se fate un volo lungo cioè fate volare l'aereo molto tempo durante l'anno, le voci fisse avranno un'influenza minore.

Volevo abbassare un po' il costo.

$$H = \frac{\text{Costi}}{\text{ore di impiego}}$$

COSTO DIRETTO ORARIO



È lo stesso discorso delle macchine: più se ne producono più diminuisce il costo di un esemplare.

Come si calcola H?

Esistono vari metodi; per noi progettisti, l'ATA (air transport association) è il metodo proposto dagli americani; si ricorre di metodi statistici. Esiste poi il metodo BOEING. Tutti questi metodi per poter essere applicati devono partire da un presupposto: la vita economica del velivolo che è il periodo di tempo in cui la gestione del velivolo è economicamente vantaggiosa, è quel periodo di tempo e cui accennavamo prima in cui deve recuperare tutti i soldi spesi. Se la vita è breve i costi saranno elevati. Le compagnie si sono divise sull'assunzione di questo parametro. Questo è molto importante poiché porta i costi. Come si fa a prevedere questa vita economica?

Se voi avete una tecnologia in fase di evoluzione, evidente mente la vita economica è piccola perché anno per anno escono velivoli di tecnologia superiori e rendono i precedenti meno remunerativi. Anche se prima aveva valore economico più remunerativo su alcuni tratti e vengono spostati su tratti con voli meno frequenti e dove ci sono società disposte ad acquistare dei velivoli obsoleti.

Negli ultimi tempi la tecnologia aeronautica non ha fatto grandi passi e, quindi, volano anche aerei di 20-30 anni fa.

Si ricorre di piccole evoluzioni (vedi modelli BOEING) e, quindi, proprio la BOEING ha allungato la vita economica dei piccoli velivoli rispetto all'ATA. Quindi volendo paragonare due velivoli dobbiamo stare attenti a quale formula usare.

Il D.O.C. è quindi un elemento fondamentale e rientra nella specifica di progetto.

Per quanto riguarda la vita tecnica di un velivolo essa può essere anche infinita: voi sapete che un velivolo viene sottoposto, ~~dopo essere entrato~~ ad un ciclo di manutenzione in cui vengono ceduti gli interventi da effettuare (a 100 ore, 200 ore, 1000 ore).

In ogni intervento vengono sostituiti alcuni pezzi e, quindi, alla fine abbiamo un velivolo completamente nuovo. La vita tecnica durerà fino a quando ci saranno pezzi di ricambio.

Se esaminiamo, quindi, la vita economica dobbiamo anche dire per quanto tempo al giorno questo velivolo deve volare: si è stabilito d'accordo nel fissare tale valore in 50 ore.

Il D.O.C. può essere espresso come:

$$D.O.C. = \frac{H}{P \cdot V_b}$$

Costo diretto orario (denaro per ogni ora di volo)

$P \cdot V_b$ = potenza del trasporto

P : carico pagante

V_b : velocità del trasporto (block speed: velocità commerciale)

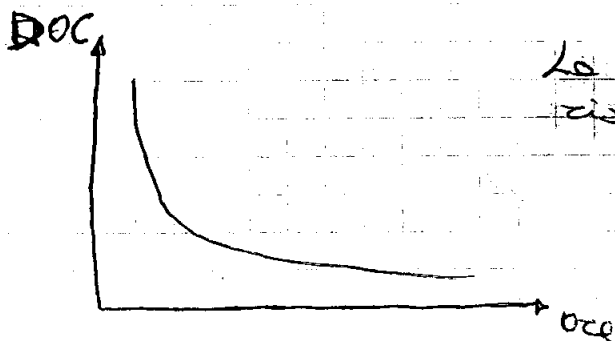
$$\text{potenza} = \frac{\text{lavoro}}{\text{tempo}} = \frac{P \cdot \text{distanza}}{\text{tempo}} = P \cdot V$$

Abbiamo adesso parlato di P e di V .

{

$P = P(\text{table})$
 $V_b = V_b(\text{table})$

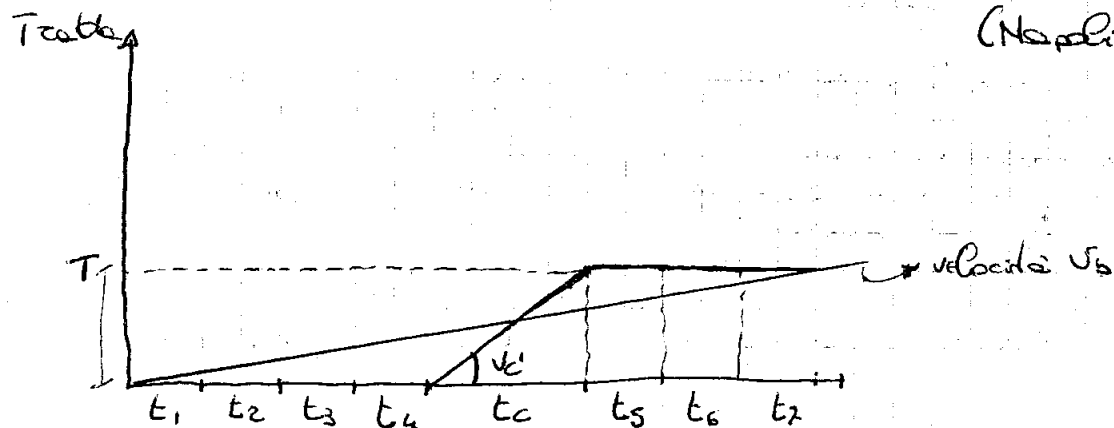
Essendo anche H dipendente dalla table si può dire che il D.O.C. dipende dalla table ed ha un andamento di questo tipo:



La pendente è più accentuata rispetto ad H

Supponiamo di dover effettuare una certa tratta:

(Napoli - Roma)



t_1 : tempo per andare dal centro della città all'aeroporto

t_2 : tempo per l'imbarco

t_3 : tempo di attesa al decollo

(negli aeroporti si cerca di minimizzare tale tempo)

t_4 : tempo impiegato dalla piazzola al momento in cui decolla

Durante tutti questi tempi non abbiamo compiuto alcuna tratta poiché siamo ancora a Napoli.

t_c : tempo di crociera con una certa veloc. media costante

(v_c : velocità corretta di tutti i tempi morti di volo e del ρ (dts))
~~che~~ (che c'è una salita effettuata ad una $v < v_c$).

t_5 : tempo di attesa all'atterraggio

(il pilota lo sa prima se deve atterrare e, quindi, eventual-
 mente rallenta oppure accelera per arrivare prima ed avere
 la precedenza; facendo così consuma un po' in più di com-
 bustibile ma risparmia in tempo e ciò è un fatto positivo
 poiché IL TEMPO È DENARO).

t_6 : tempo di attesa allo sbarco

t_7 : tempo per portarsi dall'aeroporto a destinazione

Per noi utenti (passaggeri) la velocità è soprattutto il tempo
 e, quindi, non mi interessa che il ρ (velocità) faccia $M=2$ e poi
 ci vada il doppio del tempo per l'imbarco, l'attesa, ecc.
 Perché è sulla v_b che io paragono più la velocità dell'aereo
 o del treno e ~~non della~~ ~~non~~ Essendo la tratta fissata vedo
 e paragono ~~la~~ i tempi.

Eol è per questo che, a parità di tratta Napoli - Roma, non
 prendiamo l'aereo ma andiamo con il treno poiché il tempo
 risparmiato è ~~per~~ inferiore (se non superiore) al
 tempo impiegato con il treno.

Avolidi come da possiamo scrivere:

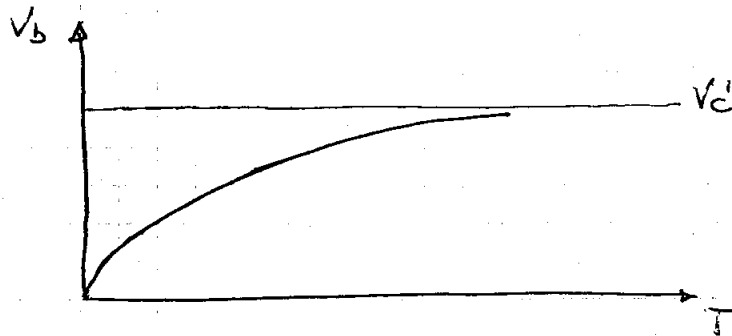
$$V_b = \frac{T}{a + t_c} = \frac{V_c'}{\frac{a}{t_c} + 1} =$$

$$= \frac{V_c'}{1 + a \cdot \frac{V_c'}{T}}$$

~~mechano~~

$$a = \sum t_i, i=1, \dots, 7$$

$$V_c' = T/t_c = \text{costante}$$



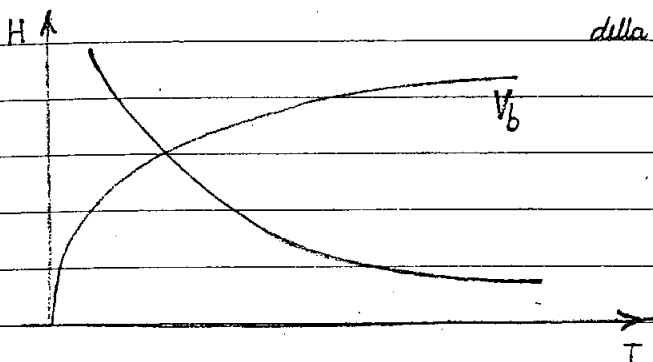
Da ciò si vede che all'aumentare della tratta la V_b tende asintoticamente alla V_c' e, quindi, all'aumentare della tratta aumenta la velocità di trasporto e, quindi, il tempo totale di trasporto - t_d e, quindi, spiega la convenienza dell'aereo per grandi distanze -

mar 11 mar 03 Giordani

Avremmo già visto

$$DOC = \frac{H}{P V_b}$$

e avremmo trovato l'aumento di H e V_b in funzione della tratta:



ora dobbiamo studiare l'aumento del carico pagante P in funzione della tratta per poter tracciare il diagramma completo di DOE.

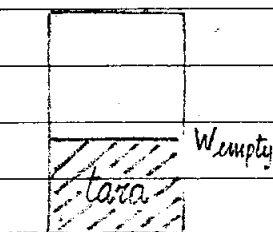
Il carico P in funzione della tratta è chiaramente legato alla q.tà di combustibile che possiamo tenere a bordo.

Passiamo a commentare il diagramma in fig. 5;

si parte dal "peso a vuoto operativo";

dobbiamo renderci conto di quali sono i pesi caratteristici del velivolo

In modo del tutto generico si può pensare il velivolo come un recipiente, un bidone; in esso una parte di peso rappresenta la tara; quello che resta è il CARICO DISPONIBILE

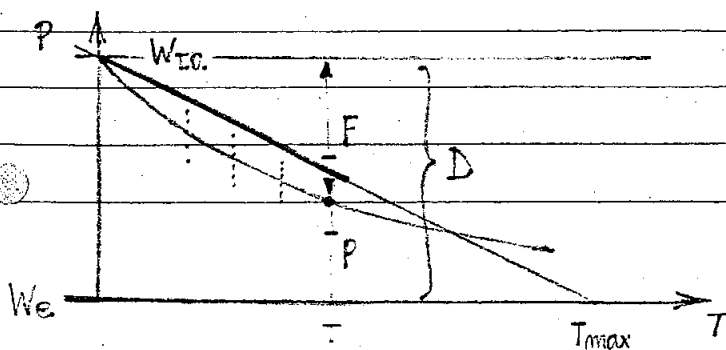


quindi abbiamo un peso a vuoto (senza specificare come...) e un carico disponibile: quello che deve portare. chiaramente esso comprende il CARICO PAGANTE + COMBUSTIBILE ed anche altre cariche accessorie quali servizi di bordo...

da prima suddivisione, quindi, è tra peso a vuoto e carico disponibile;

Se affermiamo che carico disponibile = carico pagante + carico combustibile: ($D = P + F$)

possiamo tracciare una prima curva nel piano $P-T$:



• il diagramma parte dal peso a vuoto W_c e sale fino a W_{EG} : peso max al decollo; È chiaro che se si vuole andare più lontano bisogna imbarcare più combustibile
ci sarà una certa linea →

se questa linea riproduce solo il percorso di crociera di una città tratta da A a B, tale linea sarebbe una logaritmica (formule Breguet);
ma in realtà per andare da un pto all'altro non facciamo solo crociera ma ci sono diverse fasi di volo: decolliamo, saliamo, percorso tortuoso, scendiamo, atterro, atterraggio per cui questa linea diventa quasi una retta considerando che era anche un andamento derivante da considerazioni statistiche.

I consumi per una città tratta non sono mai uguali a se stem; (condiz. meteorologiche, traffico aereo...) avranno diverse condizioni di carico e di consumo!

questo discorso lo si può ripetere anche su tratte diverse...

organizzando tutti questi punti si vede che, per tratte non molto lunghe, è più facile interpolare con una linea retta e non logaritmica;

quindi la LINEA DEL CONSUMO assume caratteristiche statistiche e diventa praticamente una retta; possiamo dire dunque che il consumo di combustibile è $F = KT$; parliamo quindi di consumo statistico.

la parte di crociera ovviamente è una logaritmica;

questo discorso è abbastanza vero per tratte $\approx$ metà della tratta max

ovviamente la tratta max è quella che faccio se carico tutto combustibile!

Quindi la curva È VERA: grosso modo per una metà.

oltre comincia a non essere più vera... il consumo chilometrico è dato dal fattore di autonomia diviso il peso; si riduce quando il peso si riduce (?)...

"l'ultima goccia di benzina del combustibile ha più efficacia!" ma viene confermata quando il peso è diventato min $\rightarrow$ per quella goccia facciamo + Km possibile;

in conclusione oltre la metà della tratta max l'approssimazione non è più vera.

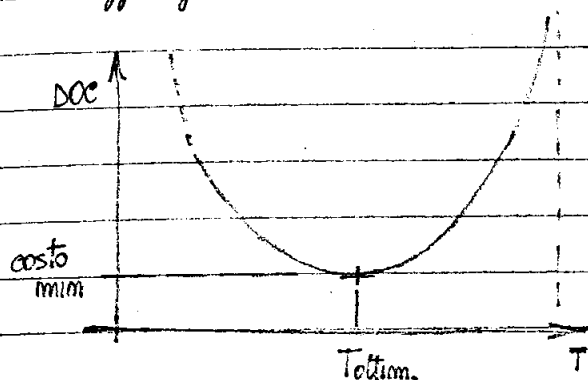
Per studiare inizialmente il prob. annunciamo che il carico pagante varia linearmente con la tratta; si riduce con la tratta.

Consideriamo dunque $DOC = \frac{H(T)}{P(T) V_b(T)}$: H si riduce, P si riduce, V_b cresce;

l'effetto di P è sempre lo stesso xché è lineare $\rightarrow$ ha la stessa influenza in termini di incidenza sulla derivata della funzione sia a piccoli T, sia a grandi T.

H e V_b sono invece variabili;

quindi si ottiene che il diagramma del DOC al variare di T prima decresce, poi raggiunge un minimo e poi cresce.



In una prima fase, H decresce e V_b cresce quando il DOC decresce; quando il loro rapporto si sarà asintotizzato ci sarà solo P che decresce e quindi il DOC aumenterà; e in particolare per $P \rightarrow 0$ il $DOC \rightarrow \infty$

la curva inizia da ∞ e va ad ∞ ; avrà un minimo!

la curva parte da ∞ perché se non si fa traffico il costo sale ad ∞ sulla tratta nulla. Individuiamo quindi un COSTO MINIMO ed una tratta ottimale!

quindi con un determinato aeroplano, in queste situazioni, si dovrebbe volare sempre con Tottim. o nel suo intorno;

ricordiamo che queste considerazioni sono relative al caso in cui ci sia una linea che varia linearmente: $P(T)$.

Possiamo considerare, sempre con la curva $P-T$, qual'è la situazione ottimale tra carico ed autonomia di distanza;

in alcune analisi si considera questa sorta di conflitto tra il carico pagante e l'autonomia nel senso che volando andare lontano bisogna rinunciare al carico pagante e se si vuole tanto carico pagante, bisogna andare vicino; quindi tratta ed autonomia sono contrastanti $\rightarrow$ discorso di compromesso;

in corrispondenza di $T_{m/2}$ si ottiene un certo P e si raggiunge ^{il max} l'ottimo del prodotto $P \cdot T$; cioè il lavoro max che posso fare ~~da~~ durante un volo si ottiene quando carico per metà carburante e per metà carico pagante.

la curva di P è una linea retta; il prodotto di una linea retta per una variabile è una parabola e si trova per essa il p.to di ottimo;

quando due parametri variano linearmente con uno che cresce e l'altro che decresce

il miglior compromesso lo si raggiunge in un pto medio tra i due;
questa situazione definisce un pto di riferimento ottimale già in sede di progetto quando
ancora non conosciamo il costo diretto, il costo orario;

Considerando ~~un~~ un velivolo con un certo diagramma P-T (linea statistica che si ottiene da
altri velivoli similari) posso individuare una tratta ottimale grosso modo intorno a $T_{max}/2$;
È chiaro poi che l'ottimo effettivo, quando vado a considerare i tempi, si può spostare leggermente
sopra a $T_{max}/2$; sappiamo già che si sposta un po' dopo...
perché andando + avanti con la tratta, la V aumenta progressivamente $\rightarrow$ valore ottimo + avanti.

Dobbiamo introdurre un altro concetto che fa cambiare un po' la situazione e la individua
meglio; - LIMITAZIONE AL CARICO PAGANTE - altrimenti detta
 $\rightarrow$ limitazione di zero combustibile

Vediamo cosa dobbiamo intendere:

se un velivolo può imbarcare carico pagante da zero fino al valore D, evidentemente le sue ali
devono resistere anche al carico pagante D! perché il carico pagante va messo in fusoliera.
È evidente che più carico pagante mette in fusoliera, più pesanti saranno le ali;
man mano che mette carico pagante in fusoliera cresce il peso delle ali $\rightarrow$ cresce anche il
peso dei carrelli ed altri organi ... anche per quanto riguarda il peso a vuoto, la T_{max} aumenta,
allora il carico D diminuisce $\rightarrow$ e quindi non posso mettere tanto P e tanto F.
Questo significa che quando i costruttori hanno voluto aumentare le tratte, i percorsi,
con certe disponibilità di motori, ci si è dovuto preoccupare di aumentare il carico di
combustibile (comunque dovendo portare un certo carico pagante); quindi il carico Disponibile
deve crescere all'aumentare della distanza;

per un velivolo di lunga tratta il carico D, in rapporto al peso totale deve crescere perché
deve comprendere il combustibile ed il P (ovvero P il solo non lo facciamo).

per un velivolo di breve tratta, invece, questo discorso è meno esasperato; non deve imbarcare
molto combustibile; il discorso del combustibile è che chiede + carico disponibile D.

Per i voli transoceanici il primo prob. è di F: quanto F ci serve e dove lo mettiamo?
aumentando F, aumenterà D; ma se il peso max al decollo è quello che è, in quanto non
possiamo avere peso maggiore perché i motori non ce la fanno (e di 4 motori non
possiamo metterli ...)

ovvero noi abbiamo una citta spinta installata $\rightarrow$ un peso max di decollo fisso;
anche il 2° fisso;

allora per andare lontano devo aumentare D e di conseguenza posso farlo solo riducendo la tara; l'ento di questo discorso logico è che la tara rispetto al peso max deve essere ridotta. (per velivoli che vanno lontano)

Quindi a mano a mano che aumenta la tratta del nostro aeroplano (T_{max}) il rapporto W_0/W_{10} deve decrescere;

F		
P		
tara		

Consideriamo due velivoli con pare peso massimo al decollo;
quale va più lontano?

ovviamente il 2°, senza aver ancora specificato la divisione tra P e F ; (non perché c'è + combustibile)

nel 1° potrei anche avere una grande fetta di F ma sarebbe un aereo sbagliato perché con una grande tara porta tutto combustibile e poco carico $\varnothing$.

Per andare lontano c'è questo primo aspetto: RIDURRE LA TARA.

Ma cosa possiamo fare per ridurre la tara? avendo fisso il peso max?

chiaramente bisogna fare strutture più leggere $\rightarrow$ processi tecnologici nelle costruzioni/materiali tecniche costruttive - architetturali; ma anche aspetto progettuale per individuare delle configurazioni più leggere $\rightarrow$ allungamento alare più piccolo, ecc. ecc.

Ma c'è un elemento fondamentale che ha determinato lo sviluppo degli aeroplani: discorso sul carburante; dove lo mettiamo?

Serbatoi in fusoliera $\rightarrow$ gioco del carico pagante! Quindi il combustibile va meno nelle ali! dopo aver riempito le ali (che hanno un volume fisso) l'ulteriore F andrà messo per forza in fusoliera $\rightarrow$ ma ciò farà aumentare la tara.

Accommentiamo di mettere tutto nelle ali $\rightarrow$ è stato realizzato il SERBATOIO INTEGRALE:

si è sfruttata l'ala stessa come involucro (adatti materiali - sigillanti; molle elastiche per poter seguire le deformazioni delle ali; malleabilità e durata); riduzione della TARA

Elemento tecnologico determinante per il salto dei trasporti aerei.

Tuttavia le ali risentono sempre del peso in fusoliera; $\rightarrow$ partiamo da $D = P(T) + F(T)$

vogliamo considerarla in modo continuo; per qualunque T , $P(T) = D - F(T)$ ovvero $(F = D - P)$.

se voglio fare un volo che fa NAPOLI $\rightarrow$ ROMA e poi NAPOLI - NEW YORK

sulla tratta NA $\rightarrow$ ROMA posso imbarcare quasi tutto P e poco F e nello stesso tempo

sulla NA $\rightarrow$ NY poco P e molto F

evidentemente le due esigenze non sono conciliabili; è non conveniente

anche sulla NA $\rightarrow$ ROMA dov'è avere delle ali robuste perché ho molto P ; invece sulla

NA $\rightarrow$ NY. potrò avere delle ali + leggere $\rightarrow$ meno P

ma se faccio un aereo per NA $\rightarrow$ NY. perché dov'è impiegarlo per NA $\rightarrow$ ROMA?

Sarà improduttivo!

l'aereo per NA $\rightarrow$ NY farà aver una tara più piccola e (quindi D + grande) ~~converrà~~

potrò imbarcare a pari F più carico P ; convertire in carico P il guadagno di tara;

per andare da NA $\rightarrow$ ROMA ci sarà un altro aereo

da NA $\rightarrow$ NY. potrò non arrivare con un certo carico combustibile avendo frenato il carico P che effettivamente paga il volo.

Quindi un aereo per lunghe distanze è non convertibile su brevi distanze;

Da queste considerazioni è venuta fuori la LIMITAZIONE AL CARICO PAGANTE

in sede di costruzione/progettazione s'introduce una limitazione legale al carico pagante:

"questo aereo non potrà imbarcare più di tanto carico P ".

quindi anche se dovessi fare $\times$ occasione NA $\rightarrow$ ROMA, se sulla NA $\rightarrow$ NY. portavo 100 passeggeri,

non potrò imbarcare più di 100 passeggeri da NA $\rightarrow$ ROMA - si aggia scarico -

quindi scelta con peso minore rispetto a quello max consentito.

LE ALI e tutte le altre strutture, avendo progettate per un certo carico in fase di

evidentemente non potranno sopportare carico maggiore $\rightarrow$ limitazione al carico pagante

Quindi questa limitazione, volendo esprimerla con un numero si deve rapportare al peso max al decollo. di solito = $\frac{P_0}{W_{TO}}$ valore max del carico P

quindi la fetta del carico P rispetto a tutto il peso

ovvero $\frac{W_{ZF}}{W_{TO}} \sim W_{zero\ Fuel} \rightarrow$ quando non m'è ancora caricato F ;

quindi $\approx$ tara + max carico P rispetto a W_{TO}

In conclusione: LIMITAZIONE AL CARICO PAGANTE:

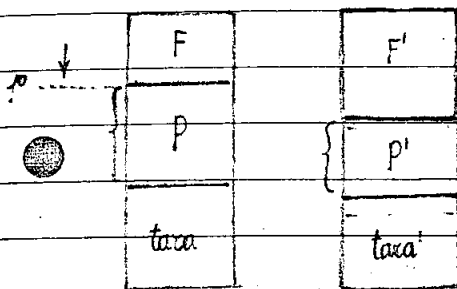
Limitazione legale dettata da ragioni di autonomia di distanza

domanda d'esame:

Perché la limitazione zero Fuel? essa è + precisamente una limitazione al carico P e non al combustibile! s'introduce per accrescere l'autonomia di distanza ← RISPOSTA!

Vedremo che questo viene fatto per ridurre i costi di esercizio.

Facciamo adesso un altro discorso di questo tipo: immaginiamo l'aereo come sui bidoni:



se qualcuno da una compressione sul 1° sesto per ridurre il carico P , l'effetto sarà anche una riduzione della tara;

ciò è tutto a vantaggio di F che è cresciuto di più di quanto è diminuito P

questo discorso è valido sempre che il carico di combustibile sia nuovo nelle ali;

il rapporto $\frac{W_{ZF}}{W_{TO}}$ non è fisso da nessuno ma dipende dal velivolo; ad esempio uno ha 0,7 e l'altro ha un valore 0,8; quale è più lontano? ovviamente 0,8; il velivolo ha una limitazione zero combustibile/carico pagante + fonte → limita il carico P per imbarcare più combustibile, per andare più lontano

Insistiamo comunque che F aumenta non perché P diminuisce ma perché è tutto D che aumenta!

In effetti limitando P posso ridurre il peso strutturale e delle ali (quindi la tara) sicché avrò un carico D maggiore che mi consente di accrescere ulteriormente il carico di combustibile. non dobbiamo usare la semplice relazione $D = P + F$ da cui $F = D - P$

Il confronto tra due velivoli va fatto a parità di W_{TO}

il discorso fondamentale è che la limitazione a carico P fa aumentare D

e quindi se tutto F avrà una autonomia + grande del caso precedente.

il combustibile max imbarcabile è $F_{max} = D$; se D cresce, F_{max} cresce e quindi

si può andare più lontano; ma quando D cresce? quando diminuisce T_{ara} ovvero quando si introduce la limitazione al carico P

Il nucleo del discorso è: limitazione al carico $P \rightarrow$ strutture più leggere $\rightarrow$ la tara diminuisce $\rightarrow$ aumenta il carico D ; se carico tutto F andrò + lontano

Ovviamente ma i passeggeri, ma i bagagli andranno alloggiati in fusoliera;

Inoltre se il peso complessivo eccede quello previsto, l'aereo non può decollare $\rightarrow$ l'aereo va fuori peso

Ovviamente che abbiamo parlato di WTO senza specificazioni ulteriori; esso è il peso al decollo che potrebbe essere anche inferiore al peso max al decollo;

tuttavia in questi contesti si vuole intendere il max peso al decollo;

* i due per non vanno confusi anche se ci preoccupiamo effettivamente di WTO_{max}

Ulteriori chiarimenti vanno fatti sul peso a vuoto perché ce ne sono tanti...

inoltre dovremo scrivere $DOC = \frac{H(T)}{F(T) V_L(T) (K)}$

$F(T) V_L(T) (K)$

↓
fattore di riempimento

ovvero introdotto come convenzione
su base annua al carico P

perché non vorremmo sempre in condizioni di carico pagante max P_0

quel fattore tiene conto di una riduzione di carico P e quindi di un aumento dei costi

Tali che si fanno con pochi passeggeri a bordo come voli obbligati di collegamento per la linea; bisogna considerare la linea aerea che precede il veicolo; linea composta da + tratte non tutte le tratte possono essere fatte con il max del carico P

Previsione: un eventuale carico di carburante posto in fusoliera rientra nel carico P ;
ai fini strutturali è come se avessi più carico pagante

Il progettista cerca di non mettere mai combustibile in fusoliera $\rightarrow$ ciò comporta un aumento di tara e quindi una riduzione del carico P

mar 12 mar 03 Giordano

La scorsa lezione abbiamo visto l'aumento di P con la tratta e

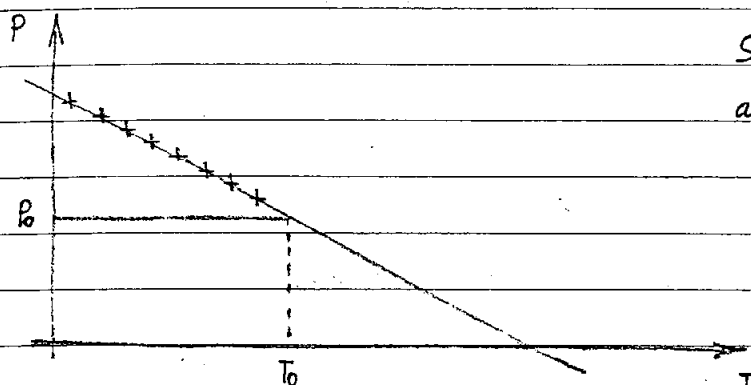
la LIMITAZIONE AL CARICO PAGANTE $\rightarrow$ argomento centrale nella progettazione.

scopo: aumentare l'autonomia di distanza

inoltre c'è lo scopo commerciale: ridurre i costi diretti d'esercizio $\rightarrow$ vediamo come....

ricordiamo che per un dato peso max, si riduce la tara e quindi aumenta il carico D

abbiamo definito $D = P + F$; se limitiamo P possiamo imbarcare più F .



Se non avessimo la limitazione zero combustibile avremmo la curva (linea retta) già vista $P-T$

se introduciamo la limitazione dicendo che non possiamo avere $P > P_0$ allora la parte superiore della curva non ha senso.

Per una tratta inferiore a T_0 , non posso caricare il corrispettivo P perché le ali si romperebbero: la struttura è stata progettata - realizzata ed omologata per un carico max P_0 pagante.

Chiarisco anche W_e : peso a vuoto;

si distingue peso a vuoto di fabbrica: cioè il peso con cui il velivolo esce fuori dalla ditta senza considerare nemmeno l'olio; quindi peso a secco e con equipaggiamenti minimi.

Poi bisogna aggiungere equipaggiamenti di vario genere, optional, ecc. poi i liquidi idraulici che al motore, anche la q.tà di combustibile inutilizzabile (q.tà fuel che le pompe non riescono a pescare dai serbatoi) essendo il serbatoio alare a svariate diverse dimensioni e quindi il combustibile resta in parte inutilizzabile; in aggiunta ci sono altri fattori quali freccia, angolo diedro, f.e. anello, per cui le pompe non possono pescare fino alla fine.

Aeroplani militari: precedi hanno un portello sotto al serbatoio in una porzione + bassa per recuperare combustibile inutilizzabile $\rightarrow$ prova di volo a fonti asciutti ed in discesa

la prova si effettua fuori dallo spegnimento del motore e quindi si valuta la q.tà combustibile non utilizzabile

quel combustibile quindi va considerato nel peso a vuoto.

osserviamo che il volume del portello + quello dell'intero impianto va calcolato facendo in modo che il motore non aspiri mai aria nemmeno nelle condizioni di manovra più spinte che del resto durano poco.

Ovviamente per un aeroplano di dimensioni ragguardevoli ci sarà più di una pompa → progetto più complesso.

Si può definire anche un peso a vuoto equipaggiato cioè che tenga in conto anche l'equipaggio peso a vuoto banco operativo comprendendo anche le vivande, le riviste e tutto ciò che l'aeroplano deve avere per poter fare il volo....

per adesso diciamo che il peso a vuoto non è univocamente definito; lo diventa quando aggiungiamo un aggettivo (di fabbrica, equipaggiato, operativo....)

comunque, tralasciando queste precisazioni, consideriamo il peso a vuoto operativo, indicato con BOW: base-operating-weight;

è chiaro che in questo caso il carico disponibile è minore poiché a partire dalla tara abbiamo aggiunto altri carichi/pesi (strumentare + pesanti, sedili + grandi ecc...) tutto ciò che fa parte dell'allestimento della cabina può far variare il peso a vuoto....

nel nostro discorso consideriamo il peso a vuoto operativo: abbiamo cioè caricato tutto ciò che occorre per il volo, escluso carico P e carico combustibile F;

s'introduce, allora, un'altra definizione: il CARICO UTILE = $P + F$

allora la differenza tra D ed U sta in tutte quelle cose che dobbiamo tenere a bordo per il volo (vivande, riviste, gadget, attrezzature di bordo....)

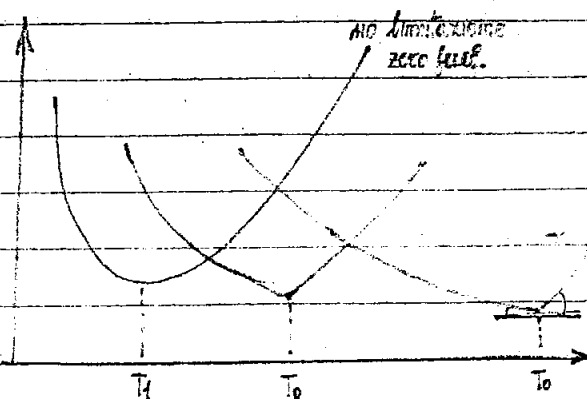
qualcuno discute anche della quantità di combustibile da portare dietro come riserva;

si calcola la riserva con vari metodi; in realtà c'è bisogno di "tot" litri di carburante in più per poter atterrare su un aeroporto diverso da quello previsto.

questa riserva, quindi, è qualcosa che io non prevedo di usare in volo e quindi logicamente non entra nel carico utile, tuttavia bisogna portarlo × sicurezza ed è come se fosse una zavorra.

In conclusione, il carico utile al volo è quello che mi serve per volare: quindi c'è bisogno del combustibile effettivam. × volare e di chi paga cioè del carico P; non c'è chi paga

non si vola!



q.tà molto piccola ma consento che H e V_b si annullino cioè raggiungano realmente un rapporto minimo. riconduciamo l'aumento di H e V_b ;
se non limitiamo il carico P vien fuori che il valore T_2 è piuttosto basso cioè siamo a valori per i quali il costo orario H non si è ridotto molto e la velocità commerciale non si è accresciuta molto; per cui pur riducendo il carico P consentirò alle due curve di annullarsi in modo tale che il loro rapporto H/V_b scende notevolmente anche raggiungo un valore effettivamente annullotico se effettivamente riesco a percorrere quella tratta relativa ad un aumento annullotico (Tasim.); cioè ho bisogno di imbarcare una q.tà di combustibile notevole cosa che posso fare solo se limito il carico P .

Cioè per andare in una zona dove di tratto che fanno ridurre il rapporto H/V_b fino al p.to da avere quan cost. e minimo devo lavorare su grandi tratte e quindi ho bisogno di grande F per fare ciò devo limitare carico P in modo che venga aumentato il carico D (riduzione peso strutturale)

In base a questo discorso ottenevamo le 3 curve del diagramma precedente:

la 1^a curva non ha limitazione; la 3^a ha una limitazione al carico P più forte della 2^a e ciò comporta una maggiore distanza delle tangenti a sx e a dx del p.to angolare in T_0 osserviamo che nella 3^a il costo minimo è minore di quello relativo alla 2^a

la differenza tra le due tangenti a sx e a dx si esalta a mano a mano che riduco il carico P

osserviamo anche un altro aspetto; per tratte relativamente piccole i costi delle curve più a sx nella figura precedente sono più grandi: ciò perché non si può fare un discorso sulle tratte se non cambia l'aeroplano;

è evidente che con un certo aeroplano, se cambia la limitazione, carico P , cambia la curva del DOC ad esempio una limitazione più forte sposta la curva verso dx e il p.to minimo più giù.

tuttavia quando si paragonano aeroplani che hanno diverse limitazioni al carico P , sono aeroplani di concezione diversa, specifiche di progetto diverse — e quindi non sono direttamente paragonabili; si può solo vedere come vanno i costi rispettivi; ognuno ha una sua specifica di progetto nella quale si può individuare la tratta T_0 : quell'aeroplano avrà proprio T_0 come tratta tipica. Se la tratta è molto piccola, evidentemente la limitazione di zero combustibile non si pone → aeroplani piccoli non hanno limitazione di zero combustibile; siamo in una condizione in cui quel discorso dell'annullotizzazione / riduzione al minimo di H/V_b non c'è...

quindi un velivolo che presenta un diagramma del DCC = 1° diagramma in figura
è un velivolo che non ha limitazione zero combustibile (cintamente) e in pratica è un
velivolo ad elica (i velivoli a getto sono quelli che vanno un po' più lontano).

- Ritornando un attimo indietro, diciamo che: la limitazione di zero combustibile si fa per aumentare la distanza di volo (scopo principale - è mata così x andare più lontano...)
questo fatto inoltre ha avuto anche effetto sui costi: consentendoci di aumentare la tratta,
consente l'abbattimento del rapporto H/V_0 e quindi di avere una zona in cui H/V_0 ha raggiunto
quasi il suo minimo; allora conviene limitare P;
comunque il carico era limitato per poter facilmente effettuare quella tratta
in conclusione: la limitazione di zero fuel si fa per andare più lontano e per ridurre i costi esercizio.

Comunque il velivolo verrà impiegato sempre per effettuare una tratta $\approx T_0$ (costi minimi)
studiamo l'intono di T_0 e il discorso sulle tangenti: è un aspetto molto importante;
anche determinata una tratta tipica, nella realtà non la si fa quasi mai...
se il velivolo dovesse collegare solo il centro di A con il centro B avendo un semplice percorso
di andata e ritorno e sempre lo stesso allora chiaramente questa tratta dovrebbe essere T_0 ;
ma un velivolo soffatto sarebbe un velivolo poco "flessibile" e nella progettazione, il concetto
di flessibilità è un concetto fondamentale per la vita del velivolo!

bisogna progettare un aereo il più flessibile possibile limitatamente alla specifica di progetto.

se l'aereo deve effettuare una linea di collegamenti non avrà tappe tutte uguali
e quindi nasce una certa analisi di impiego che per un velivolo di linea era fatta già a
monte rispetto al progetto individuando quella che è la tratta tipica T_0 che può anche non
esistere nella realtà ma che è di riferimento; tratte diverse ma vicine ad essa.

Se ho un velivolo già realizzato, con un diagramma dei costi pari a quello centrale in figura,
allora lo impiegherò per tratte T_0 o a sx di $T_0 \rightarrow$ il costo cresce meno che a dx di T_0 .
allora andrò a vedere quali sono le tappe più vicine a T_0 e se c'è una tratta che si
allontana molto, non la faccio a meno che non mi obbligato a passare perché non-
ci sono centri intermedi da collegare; in questo caso dovrò x forza fare una tappa
nella quale il costo cresce.

potrei avere una tappa nella quale addirittura non trovo carico pagante per cui dobbiamo introdurre un coefficiente K , coefficiente di riempimento, il quale non è funzione della tratta come funzione analitica, ma lo viene ad essere in quanto è funzione del tipo di centro che vado a collegare; e una volta inserito il centro nella linea aerea posso trovare più o meno passeggeri (a seconda della fascia oraria).

Il progetto della linea aerea si fa considerando i centri da collegare ed il loro spettro di traffico. naturalmente non potrò mai prendere tutte le punte di traffico; nelle ore intermedie cercherò di collegare i centri che sono più trafficati....

quindi la linea aerea nasce da un compromesso tra gli spettri di traffico e le possibilità operative del velivolo. (quando il velivolo già esiste!)

Se invece dobbiamo progettare, dall'analisi degli spettri di traffico e delle linee che può fare, vengono fuori certe tratte T ; alla fine viene data una qual'è la tratta di riferimento, cosiddetta tipica, che può anche non essere quella che effettivamente viene percorsa chiaramente per ottimizzare le cose si cercherà di far volare il velivolo con tappe più o meno uguali ad essa. quindi la tratta tipica viene inserita esplicitamente nella specifica di progetto; senza questo dato il progetto non può proprio partire: se non sappiamo la tratta tipica non possiamo ricavare $T_0 \rightarrow P_0$: elemento centrale che determina le strutture.

Nel caso di aerei la cui minime è l'attesa o l'annullamento il discorso è un po' diverso:

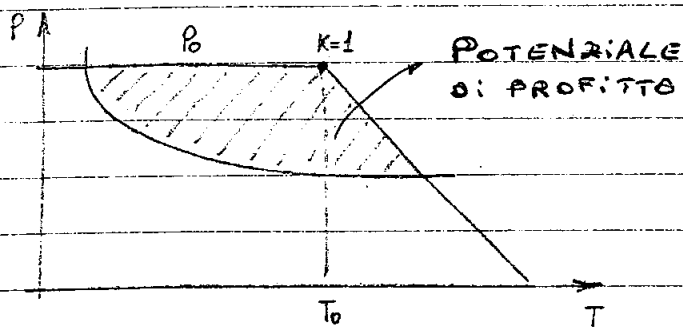
la minime è la perdita di tempo; dobbiamo fare una crociera di lunga durata $\rightarrow$ l'obiettivo non è quello di rendere il costo minimo ma è quello di arrivare; il costo non quello che si paga per abbassare il costo di un velivolo infatti dobbiamo agire sul costo della macchina: non abbiamo più in gioco il parametro tratta; avremo il parametro tempo: aumentando il tempo di volo diminuisce il costo orario $\rightarrow$ aumentando il tempo di impiego si riducono i costi (questo discorso vale x qualunque macchina, anche per l'automobile)

Queste considerazioni sono sviluppate nei tre fogli che riguardano il D.O.C.

In particolare, nel foglio 3 c'è il diagramma in alto a dx in cui c'è un'area tratteggiata che indica la zona nella quale bisogna cadere affinché ci sia guadagno: se abbiamo un carico su quella zona avremo un guadagno; il guadagno max si ha proprio in corrispondenza di T_0 ; cioè in qualche misura la linea curva "somiglia" alla curva del D.O.C.;

costruendo questa linea il gestore sa dove deve cadere e quanto guadagna; intorno delle tratte al di sotto o al di sopra delle quali non c'è guadagno e quindi non conviene fare il volo.

Ovviamente ciò è vero considerando il diagramma a pieno carico; se invece considerassimo il fattore di riempimento le cose possono cambiare; per esempio



per facendo la tratta T_0 , se imbarco un carico per il quale non rientro nell'area tratteggiata, non conviene fare il volo;

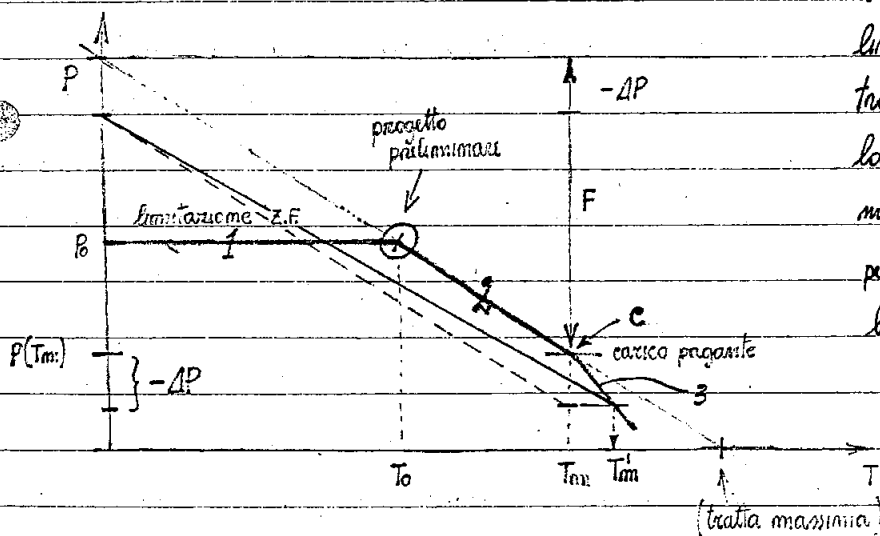
nel p.to spigoloso $K=1$ fatt. riempimento scendendo, K è + piccolo

nell'espressione del DOC devo mettere un K che non è mai 1 perché non

volato mai pieno per tutte le tappe; quindi il costo va aumentato di quel fattore K nel computo progettuale, comunque, considereremo sempre $K=1$.

Analizziamo adesso il diagramma in fig 5;

limitiamoci peso massimo al zero combustibile, P_0



il tratto 2 per un rilievo abbastanza limitato è abbastanza piccolo; è un tratto di quasi logaritmica; (sarebbe curva logaritm. se avessimo solo volo in crociera; ma abbiamo anche salita, discesa ...) per rilievi che stanno molto lontano la linea può essere leggerm. curva ma solitamente è quasi sempre una retta.

Per quanto riguarda la tratta massima, in realtà non esiste: significherebbe destinare tutto il carico utile al carico di combustibile → capacità dei serbatoi enorme: di solito non c'è spazio

Vedremo che una delle condizioni di progetto dell'ala è che l'ala deve avere un volume sufficiente ad imbarcare il combustibile necessario; un'ala piccola potrebbe essere accorciata proprio per questo motivo (altrimenti serbatoi supplementari...)

Quindi, facendo la tratta massima non si guadagna niente: allora non la facciamo; di conseguenza non facciamo i serbatoi tanto grandi per ospitare tutto il combustibile mi limite, come in questo caso, alla tratta T_m (oltre non guadagno niente!)

decidiamo che sia $T_m = T_{max}$, la tratta max che si ottiene imbarcando carico P pari a $P(T_m)$ e tutto il resto combustibile; tutto il segmento verticale, infatti, rappresenta il carico utile.

se però imbarco meno carico P , $- \Delta P$, quale sarà la tratta che posso fare?

evidentemente, non più T_m , ma una T più a dx; come si calcola?

sappiamo che il peso di decollo in questo caso si è ridotto, di ΔP ; quindi decollo non più al peso max decollo ma a un peso inferiore $\rightarrow$ il fattore di autonomia cresce,

il consumo specifico cresce $\rightarrow$ quindi la linea di consumo non è più la stessa quindi non è parallela alla precedente; ^{mi porterebbe nello stesso punto.} K per K altro una linea meno inclinata; all'intersezione con il valore del carico P determinerò la nuova T_m .

In altri termini si corregge la linea di consumo in relazione alla variazione di peso $\rightarrow$ si ottiene una linea meno inclinata (si moltiplica per $W_{attuale}/W_{TO} \leftarrow \text{numero} < 1$)

La conseguenza di questo discorso è che si costruisce un tratto di linea successivo anch'esso praticamente rettilineo (tratto 3) $\rightarrow$ tratto di curva meno inclinata = la facciamo "sposare" con il tratto di curva che già abbiamo ottenendo così una curva che sul diagramma va fino a zero; non sempre questa linea arriva fino a zero perché comunque per arrivare poi a quella tratta ci vuole il combustibile necessario.

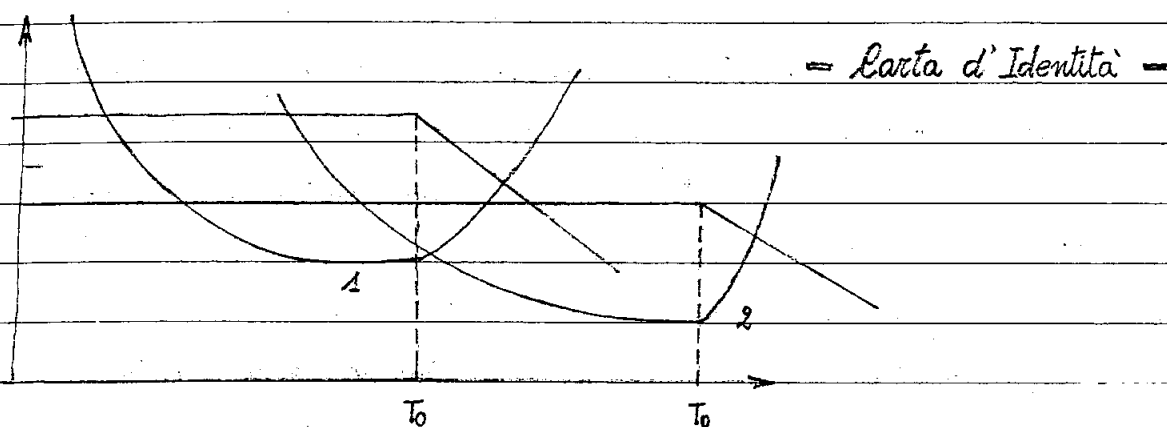
decidiamo che questa linea dal p.to di vista operativo non serve!

il diagramma verrà utilizzato fino al p.to C, cioè ipotizzando che il velocità decolla sempre al peso max $\rightarrow$ al fine del progetto è la condizione di riferimento

la linea di progetto è la curva 1-2 e per il progetto preliminare si riduce al p.to evidenziato sul diagramma.

I due diagrammi D.O.C. (T) e P(T) sono i due diagrammi fondamentali del velivolo;

Rappresentano la CARTA D'IDENTITÀ del velivolo: da cui si può desumere il tipo di velivolo, anche la qualità del velivolo, per es. l'efficienza di volo del velivolo semplicemente osservando l'inclinazione della retta consumo $\rightarrow$ inclinazione = consumo chilometrico $\rightarrow$ efficienza di volo



il velivolo 2 è un velivolo da maggior distanza e con un po' d'esperienza se T_{02} è dell'ordine di 6000 Km si può pensare ad un quadrimotore.

Per valutare la bontà di un progetto andiamo a guardare il minimo dei costi rapportandolo ai valori tipici dei velivoli preesistenti.

il p.to di riferimento dal p.to di vista gestionale di un aeroplano è il D.O.C.; a chi gestisce l'aeroplano interessa il valore minimo del D.O.C.

Domanda: la tratta max comprende anche la possibilità di un atterraggio mancato o altre cose del genere?

Risposta: la T_m è semplicemente la tratta max programmata secondo quanto che partiamo dal peso a vuoto operativo nel quale comprendiamo anche la riserva.

Ritorniamo al diagramma di fig 5:

retta inclinata a dx: limitazione capacità dei subatoi nel senso che effettivamente abbiamo limitato la capacità dei subatoi a quella che ci serve

linea PESO MAX ATTERRAGGIO $\rightarrow$ discorso fondamentale nel progetto; di solito il peso max all'atterraggio $\neq$ peso max al decollo (per un discorso sempre di tara)

se il rapporto peso atterraggio rispetto al peso al decollo è basso allora la tara diminuisce perché l'energia che i carrelli devono assorbire dipende proprio dal peso e non in maniera non lineare: l'energia ^{impatto} è data dal peso per la velocità impatto al quadrato la velocità d'impatto, per regolamento, viene assunta proporzionale alla $\sqrt{W}$ quindi l'energia è proporzionale a $W^{3/2}$; cresce molto con il W (+ che lineare) quest'energia dovrà essere assorbita dagli organi di atterraggio (ammortizzatori - ruote - ...) maggiori è l'energia + grandi saranno questi organi e quindi più pesanti in particolare gli ammortizzatori saranno più lunghi, per resistere ad un fattore di carico maggiore avranno una corsa maggiore per evitare di raggiungere un elevato fattore di carico e quindi sollecitazioni più elevate sulle strutture.

Ciò comporta che il carrello sia + alto e ci saranno maggiori forze longitudinali che lo flittano e quindi il carrello dovrà essere ancora più pesante.

In conclusione gli organi di atterraggio e le strutture ad essi connesse crescono in dimensioni e peso al crescere dell'energia cinetica e quindi al crescere del peso all'atterraggio dunque CONVIENE che il peso all'atterraggio sia minore di quello al decollo.

un aereo che fa 6000 km avrà all'atterraggio un peso molto minore di quello al decollo (avrà consumato combustibile) e quindi gli organi d'atterraggio saranno dimensionati opportunamente. ^{ad esempio per una avaria.}

sua se il velivolo dovrà atterrare prima? Scarico rapido del combustibile in eccesso ce sono delle pompe che portano via il combustibile in breve tempo; chiaramente queste pompe con il loro impianto avranno un certo peso.

c'è una procedura ben definita per effettuare questa operazione di scarico per quanto riguarda il peso, quindi, c'è un peso aggiuntivo che va nella tara per avere un peso di atterraggio minore di quello max; la riduzione di peso derivante dalla limitazione all'atterraggio è tanto forte ~~che~~ ^{che} giustifica l'installazione di altre pompe e del relativo impianto che comunque hanno un loro peso aggiuntivo → c'è una riduzione del peso strutturale molto maggiore dell'incremento di peso dovuto alle pompe.

È evidente che aeroplani relativamente piccoli non hanno questa limitazione → fanno tante brevi e non consumano molto carburante; la differenza di peso tra decollo ed atterraggio non è rilevante.

Sul diagramma fig 5 è riportato anche il combustibile di riserva che dipende dai regolamenti e quindi in questa sede lo trascuriamo.

Rispetto al peso max di decollo c'è da fare una considerazione; si può introdurre il peso max di manovella: cioè il velivolo può avere un peso max $>$ peso di decollo però solo quando sta a terra; quindi a rigore il peso max di decollo è il peso max del velivolo in aria quindi dal momento in cui stacca le ruote da terra; in quel preciso istante il peso del velivolo non deve superare W_{TO} .

in effetti, quando si devono effettuare tratte pari a quelle limiti cioè possibili, si imbarca una q.tà di combustibile maggiore da destinare al consumo legato alla manovra in moto del motore - attesa al decollo (1/2-1 ora) oppure a regimi bassi e un quantitativo non trascurabile; ecco che in questa fase l'aereo può avere un peso $>$ W_{TO} .

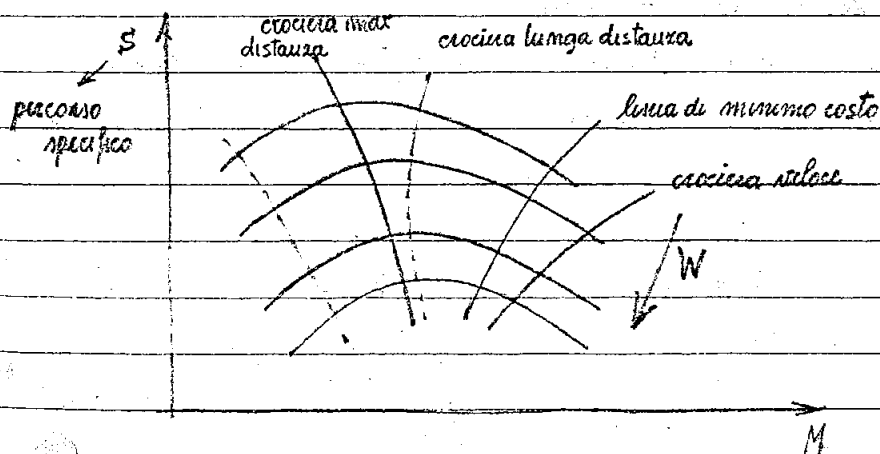
Quindi possiamo dire di aver individuato quelle caratteristiche di trasporto che sono il COSTO e il CARICO P; dal p.to di vista del trasporto potremmo parlare delle tariffe $\rightarrow$ stabilite dai consorzi in linea teorica anche la tariffa dovrebbe essere funzione della tratta ed in particolare una funzione crescente della tratta;

ad esempio da NA $\rightarrow$ ROMA non può avere una tariffa alta; le persone prendono il treno! ricordiamo che l'aereo vuole trasporto "VELOCE" poiché la velocità che noi maliziamo V_k è funzione della tratta accade che la tariffa su una tratta maggiore deve essere più elevata.

Esauriti questi argomenti dovremmo parlare dell'atterraggio;

avevamo già visto le fasi di crociera e adesso dovremmo studiare le fasi di discesa ed atterraggio.

A proposito della crociera, ricordiamo il relativo diagramma:

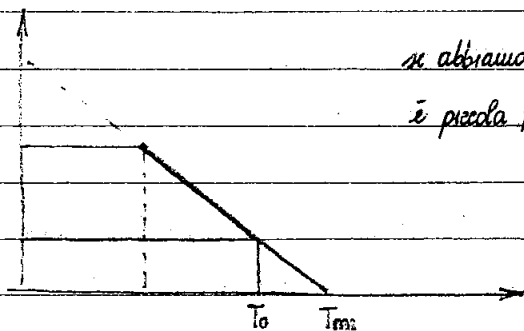


a sx: crociera di lunga durata/di perdita di tempo
velivoli reattori

questi velivoli si metteranno ovviamente in condizioni di spinta/potenza minima

man mano che si riduce il W la curva pende maggiormente verso sx

fixata la T_0 cercheremo di "fare" la LONG RANGE come volo di crociera che valga proprio T_0



se abbiamo un velivolo da lunga autonomia, la differenza tra T_m e T_0 è piccola; allora la long range intendiamo T_0 !

se invece il velivolo è da breve-media tratta allora la long-range non è $+ T_0$ ma è una tratta minore che sarà la tratta max per quel velivolo

In pratica, però, per velivoli che non hanno distanze così grandi, diciamo brevi o medie, questa long-range non viene mai fatta: si vola + veloci; si vola con una linea + a destra e rappresenta la linea di MINIMO COSTO;

minimo costo riferito alla tratta: il costo sulla singola tratta, infatti, è: $C = F + Ht$

costo orario
↑
combustibile consumato tempo impiegato

possiamo esprimere $t = \frac{T}{V_b}$

il secondo termine non è minimo in corrispondenza del pto di minimo consumo specifico e quindi bisognerà ottimizzare C nel complesso andando + veloci $\rightarrow$ questo riduce il 2° termine

la linea di minimo costo, volge a dx e quindi man mano che il peso diminuisce il velivolo andrà più veloce

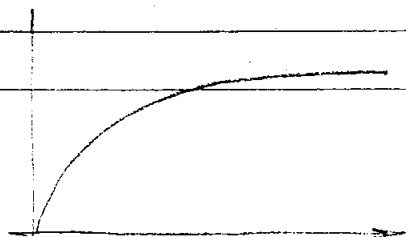
man mano che si riduce il peso, si riduce la resistenza indotta, cioè si riduce F ;

però sfruttare questa riduzione in parte per andare + veloci

questo comporta un aumento di F però si riduce il 2° termine; in sostanza nel compromesso aumenta la velocità di volo e quindi $M \rightarrow$ in conclusione al diminuire di W , M aumenta ecco che la curva va a dx.

Questo significa che si impiega il velivolo su tratte piccole o invece piccole rispetto alle sue potenzialità, dov'è andare veloce; questo contrasta però con il fatto che la RESA in termini di velocità commerciale è piccola:

ricordiamo



$$\eta = \frac{V_b}{V_c} \rightarrow \begin{array}{l} \text{velocità commerciale} \\ \text{velocità crociera} \end{array}$$

più piccola è la V_c più poco raggiungeremo una velocità commerciale $\approx$ velocità crociera.

● quindi impiegare un aereo veloce sulla NA $\rightarrow$ ROMA è sprecato!

tuttavia accade che proprio sulla NA $\rightarrow$ ROMA bisogna impiegare un aereo veloce:

quella tratta è inserita in una linea aerea $\rightarrow$ potrebbe essere necessario trovarsi su un determinato aeroporto ad una certa ora

discorso di "matching" dei diagrammi di traffico

Esiste quindi un'altra linea aerea + a dx $\rightarrow$ CROCIERA VELOCE

possiamo anche lavorare con rudimenti minori purché il guadagno finale sia maggiore!

molto c'è il discorso di voler far trovare l'aereo allo stesso p.to di partenza a valle del percorso aereo che dovrà percorrere in una giornata; preferiamo che torni sempre allo

● stesso aeroporto (questo anche per motivi di manutenzione)

non posso avere un aereo che ripete il suo percorso con regolarità e questo non è un bene; quindi conviene andare un po' + veloci

spesso conviene andare veloci anche per poter fare un collegamento in più $\rightarrow$ prendere altro carico $\rightarrow$ aumentare il coefficiente K di riempimento annuo che abbatta i costi d'esercizio.

Quindi in Europa bisogna volare veloci anche su tappe di 500 $\div$ 600 Km

bisogna fare un calcolo complessivo e mediato su tutta la linea aerea.

Se tappe relativamente brevi ma molto popolate bisogna andare veloci.