

NOTE DI TECNICA AERONAVALE

1. Limiti strutturali ed economici nelle dimensioni delle aeronavi.¹

In navigazione aerea con mezzi galleggianti, come in navigazione marina, vi è vantaggio a crescere le dimensioni, poiché la potenza necessaria ad imprimere una determinata velocità cresce in misura minore che non la totale forza di galleggiamento di cui si dispone. Per navi od aeronavi di forme simili la potenza varia all'incirca col quadrato delle dimensioni, mentre la totale forza di galleggiamento cresce col cubo: cosicché la potenza unitaria, cioè il rapporto tra la potenza totale e la forza di galleggiamento varia in *ragione inversa delle dimensioni*.

Ne segue che anche il peso del macchinario, riferito alla totale forza di galleggiamento, segue la stessa legge.

Contro questo vantaggio delle dimensioni sta un inconveniente; ed è che il peso della *struttura* cresce in misura maggiore della forza di galleggiamento. Ma non è possibile determinare una legge generale. Per formularne una che abbia il merito della semplicità, divideremo la struttura in due parti: una soggetta a cimenti di tensione o compressione varianti direttamente colle forze ascensionali; e un'altra soggetta a cimenti varianti in ragione delle superfici, o non soggetta a cimenti precisabili,

Il peso della prima parte varierà come il prodotto dei volumi per le lunghezze: cioè come la quarta potenza delle dimensioni: quello della seconda parte varierà come i prodotti delle superfici per le distanze, cioè, come il cubo delle dimensioni. E tale per ragioni prudenziali si soporrà la variazione del peso in quegli organi ove i cimenti non siano di natura precisabile.

Cosicché, eseguendo il rapporto tra questi pesi e la totale forza ascensionale, si avrà un termine crescente in ragione diretta delle dimensioni, ed un termine costante.

In conseguenza, la percentuale (o *frazione*) della forza di galleggiamento assorbita dal *peso morto* dell'aeronave, potrà scriversi sotto la forma seguente, nella quale si è

¹Comunicazione fatta alla R. Accademia dei Lincei nella seduta del 2 aprile 1922.

messo in evidenza il *diametro*, D , della sezione maestra;

$$\text{Percentuale peso morto} = k + \frac{D}{s} + \frac{m}{D}$$

I primi due termini concernono ciò che abbiamo chiamato, in una sola parola, *struttura*: e il terzo ciò che abbiamo chiamato *macchinario*.

Le considerazioni suddette conducono alla esistenza di *minimi*, che passiamo ad accennare. V è anzitutto un *minimo di peso morto* per quelle dimensioni per le quali si raggiunga la relazione:

$$D_1 = \sqrt{s * m}.$$

A questo minimo corrisponde l'aeronave unitariamente più leggera: e quindi quella che può sollevare il massimo *carico libero*; ed elevarsi perciò alla massima quota. Essa è anche l'aeronave più conveniente, se destinata a percorsi brevi, pei quali il peso di combustibile sia una frazione trascurabile del carico libero.

Se però il peso del combustibile diviene notevole, e cioè se l'aeronave è destinata a lunghi percorsi, si ritrova insistenza di un secondo minimo considerando anche il peso di combustibile necessario per un determinato percorso, o per una determinata durata di viaggio. Tale peso essendo proporzionale alla potenza del macchinario ed alla durata del viaggio, T , sarà della forma $\frac{cT}{D}$; e pertanto il *carico utile* residuo sarà fornito dalla espressione:

$$\text{carico utile} = 1 - k - \frac{D}{s} - \frac{m+cT}{D}$$

il cui valor massimo si avrà per il diametro

$$D_2 = \sqrt{s(m + cT)}$$

Se nella precedente espressione si pone eguale a *zero* il carico utile, si ricaverà la massima durata del viaggio:

$$T = \frac{1}{c} \left((1 - k)D - \frac{D_2}{s} - m \right)$$

che diviene *optima* per

$$D_3 = \frac{1}{2} (1 - k)s;$$

diametro limite corrispondente alla massima *autonomia* conseguibile.

Questo limite coincide con quello della migliore *efficienza economica*; cioè con quello che si ottiene ricercando il valor massimo del rapporto tra carico utile e combustibile.

Questo rapporto assume la forma

$$\text{efficienza} = \frac{(1-k) - \frac{D_2}{s} - m - cT}{cT}$$

ed è massimo precisamente per

$$D_4 = D_3 = \frac{1}{2}(l-k)s$$

Ad esemplificare le precedenti relazioni abbiamo considerato i valori numerici a noi personalmente risultanti da uno dei più recenti progetti di semirigido. Essi non hanno ancora la sanzione dei consuntivi, epperò li citiamo a solo titolo di esempio circa le cifre probabili che potranno venir raggiunte da una buona tecnica.

Noi abbiamo desunto, posto il diametro D in metri; e supposta una velocità di crociera di 100 Km, orari:

$$k=0.125;$$

$$s=325;$$

$$m=2.77;$$

$$c=0.0861;$$

da cui si ricavano i seguenti limiti, in cifre tonde:

(per il peso morto)

$$D_1 = 30$$

(per il carico utile)

$$D_2 = 48 \quad \text{per} \quad T = 50 \text{ ore}$$

$$D_2 = 61 \quad \text{per} \quad T = 100 \text{ ore}$$

$$D_2 = 71 \quad \text{per} \quad T = 150 \text{ ore}$$

$$D_2 = 86 \quad \text{per} \quad T = 200 \text{ ore}$$

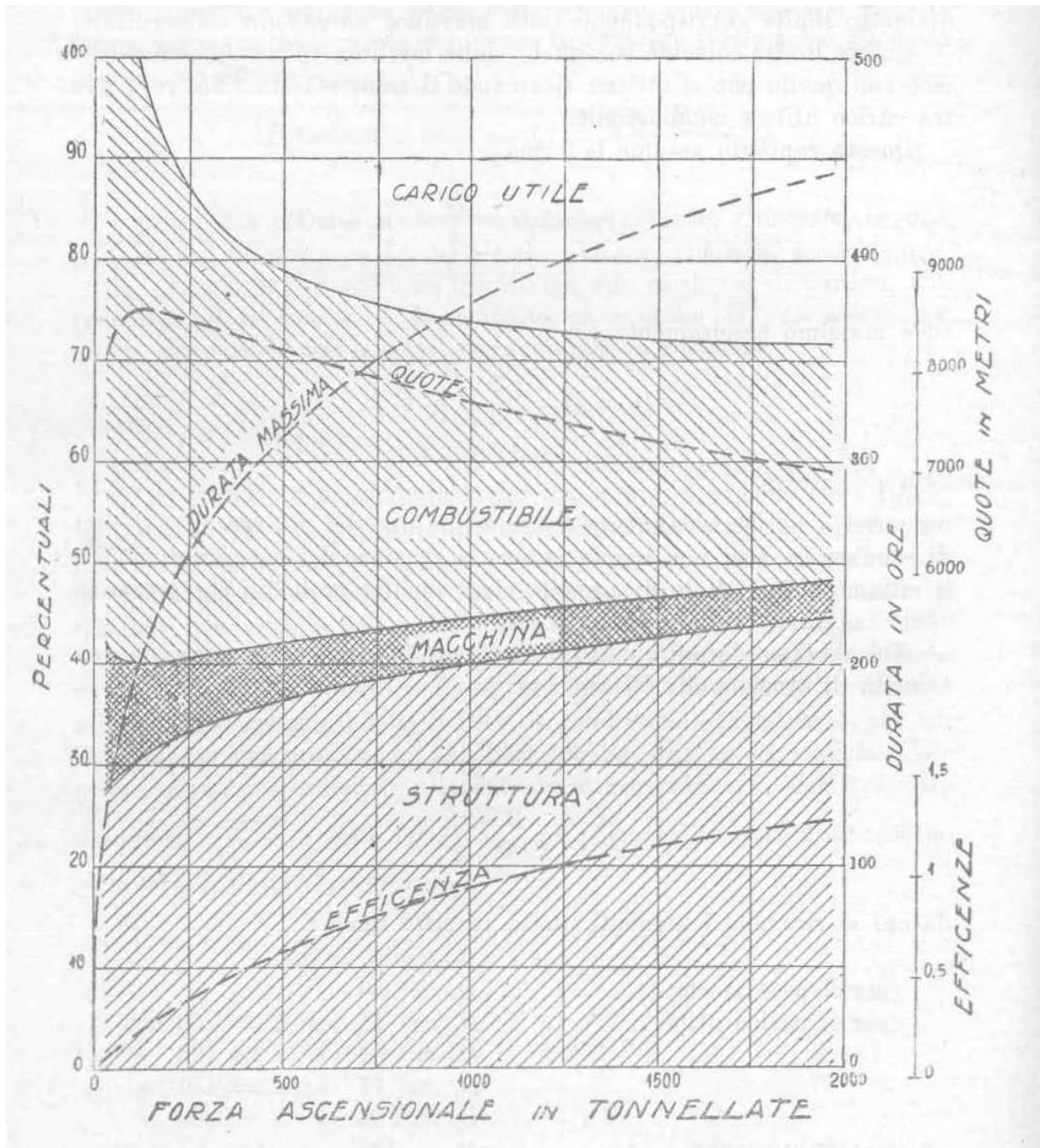
(per l'autonomia)

$$D_3 = 128$$

(per l'efficienza)

$$D_4 = 128$$

Questi limiti corrispondono a volumi rilevanti: onde vi è margine notevole nella tecnica delle aeronavi per lo sviluppo di perfezionamento. V'è soltanto da osservare che il guadagno di carico utile, di autonomia e di efficienza diviene sempre meno sensibile col crescere delle dimensioni, cosicché da un punto di vista pratico non è conveniente andare troppo oltre. Abbiamo perciò ritenuto di aggiungere un diagramma dei pesi morti, dei carichi utili, e delle efficienze; e lo abbiamo disegnato



per l'autonomia di 200 ore, riferendolo alle forze di galleggiamento totali, espresse in tonnellate. Si vede che l'utilità di aumentare le dimensioni è sensibile sino ad unità di circa 1000 tonnellate, corrispondenti al diametro di 60 metri.

2. Sull'influenza del rapporto tra volume e superficie nelle aeronavi. (2)

Nella Nota 1 abbiamo indicato l'influenza del rapporto tra volume e superficie nelle aeronavi per quanto ha tratto alla *potenza motrice* necessaria ad imprimere loro una data velocità ed ai *consumi* di combustibile necessari a navigare un dato numero di ore. Abbiamo anche mostrato come il conseguente guadagno in forza ascensionale, che si ottiene accrescendo le dimensioni, sia in parte assorbito da necessità strutturali; ma come entro certi limiti, che abbiamo precisato, rimanga anche in parte disponibile sotto forma di carico utile.

Ma il rapporto tra volume e superficie, e cioè le dimensioni, influiscono su altre caratteristiche secondarie delle aeronavi, che qui vogliamo succintamente indicare.

Anzitutto è da osservare che insieme col peso delle installazioni motrici variano i pesi di tutti i loro *servizi accessori* come ponti, sospensioni, ricambi, equipaggi; ed insieme col peso del combustibile variano le capacità occorrenti a contenerlo e rifornirlo, ed i consumi di gas leggero necessari ad ogni viaggio: in altri termini tutta la complessa organizzazione dei *rifornimenti* e relativi impianti fissi, occorrenti ad un regolare traffico di viaggiatori.

Variano anche nella stessa vantaggiosa misura quelle *installazioni di bordo* e fisse preconizzate per ridurre o sopprimere i detti rifornimenti di gas, e cioè per recuperare sotto forma di zavorra acqua il peso di combustibile consumato durante il viaggio, o per far variare termicamente la corrispondente forza ascensionale necessaria a sostenerlo, e ciò perché l'entità di entrambi questi dispositivi è proporzionale alla potenza motrice, e quindi la percentuale di peso occorrente diminuisce col crescere delle dimensioni sino a raggiungere aliquote praticamente realizzabili.

Altri guadagni dipendono direttamente dalla superficie dell'involucro, e si ripercuotono sia sul peso della struttura, sia sulla sua solidità locale, sia su fenomeni connessi.

Il peso degli involucri va infatti suddiviso in due parti: una dedicata alla resistenza, l'altra alla ermeticità. La prima cresce in misura maggiore che non i volumi e cagiona pertanto un maggiore assorbimento della forza ascensionale residua, segnalato nella nostra precedente Nota: la seconda potrebbe a rigore variare in ragione della superficie e costituire termine di compenso. Ciò noi avevamo supposto alcuni anni or sono; ma non abbiamo creduto, da un punto di vista pratico, di ammettere nella citata Nota; ove invece si è fatta l'ipotesi che la parte di peso di stoffa, gomma, *baumwolle* o vernice, riservata a trattenere il gas non rimanga unitariamente costante, ma cresca in ragione diretta delle dimensioni. Questa ipotesi conduce a una maggiore *robustezza locale* del tessuto, a una maggiore durata, ed a una minore *perdita osmotica* unitaria.

La perdita osmotica unitaria è da ritenere infatti connessa con la quantità di sostanza impermeabilizzante, nel senso che i tempi necessari a far passare attraverso l'unità di

2 Comunicazione fatta alla R. Accademia dei Lincei nella seduta, del 21 maggio 1922.

superficie un determinato volume di gas sono proporzionali alla quantità suddetta. Ne segue che considerando l'insieme della superficie di un dirigibile, costruito secondo la precedente ipotesi, le percentuali di lavaggio occorrenti giornalmente per mantenere una determinata purezza variano in ragione inversa del quadrato delle dimensioni. Così, ad esempio, in un dirigibile da 12 tonnellate di forza ascensionale l'idrogeno dovrebbe venire completamente rinnovato in poco più di un mese per mantenere la purezza di 19/20, mentre in un dirigibile da 120 tonnellate il rinnovamento si richiederebbe ogni cinque mesi circa. Ad una più grossa unità, per es. 5000 tonnellate, basterebbe un rinnovamento annuo. Per il gas elio i tempi di rinnovamento sono circa doppi.

Dipendono altresì dalla superficie dell'involucro gli appesantimenti eventuali dovuti durante il viaggio alle *vicissitudini meteorologiche*, come pioggia e neve. Il sopraccarico dovuto alla pioggia, che può ad esempio raggiungere il 16% in un tipo da 12 ton., discende a meno del 9 % in un tipo da 120 ton., e al 5% in un tipo da 500. Così dicasi delle variazioni di forza ascensionale dovute a *brusche variazioni di temperatura*. A parità di durata del fenomeno, esse comunicano alla massa del gas, attraverso la superficie dell'involucro, una quantità di calore proporzionale alla superficie, e quindi una variazione di temperatura, e conseguentemente di forza ascensionale, in ragione diretta del rapporto tra superficie e volume, cioè in ragione inversa delle dimensioni.

Un effetto analogo producono *le raffiche del vento* durante la marcia. A parità d'intensità e di durata, esse comunicano alla massa del dirigibile una quantità di moto proporzionale alla sezione maestra, e quindi una variazione di velocità in ragione inversa delle dimensioni. La sensibilità dell'aeronave alle perturbazioni esterne è perciò tanto minore quanto maggiore è il suo tonnellaggio. Contemporaneamente decresce nella stessa misura relativa la *sensibilità al governo dinamico*, e l'azione frenante dell'aria nell'arresto e nella discesa. Cосicché le grandi navi aeree sono necessariamente più lente nelle manovre; e la manovra dinamica cede sempre più posto a quella statica.

La variazione delle reazioni dell'aria proporzionalmente alle superfici conducendo a forze perturbatrici e di impennaggio varianti col quadrato delle dimensioni, ne segue che a parità di velocità i pesi degli organi di irrigidimento e di impennaggio variano come il cubo delle dimensioni; e perciò la loro percentuale rimane costante; ed i momenti di questi pesi variano come la quarta potenza ed esigono strutture più pesanti.

Ma per quanto concerne i *momenti delle forze perturbatrici stabilizzanti*, come per i momenti dovuti alle azioni dei timoni di quota e di evoluzione, risulta invece una variazione secondo il cubo delle dimensioni; onde il peso della parte delle strutture destinata a resistere a questi momenti varia anche esso come i cubi, e la sua percentuale si mantiene costante; secondo quanto abbiamo supposto nella nostra precedente Nota. Ne deriva anche che la *stabilità di marcia* migliora, poiché le coppie statiche variano in misura maggiore dei volumi: e il valore della «velocità critica v diviene sempre più elevato col crescere delle dimensioni.

Così anche i *tempi di oscillazione*, sempre a parità di velocità di marcia, variano in ragione diretta delle dimensioni.

Una singolare menzione meritano, per la vitalità e la pratica delle grandi aeronavi, le manovre di *atterraggio* e di *ormeggio*. Mentre infatti tali manovre sono affidate nelle piccole aeronavi al criterio dei comandanti e alla forza muscolare di allenate squadre, nelle grandi navi aeree esse si compiranno con metodi e dispositivi preparati e con forza meccanica. Ciò è reso possibile precisamente dal diminuito rapporto fra superficie e volume, sia per le maggiori disponibilità relative ed assolute, sia per quanto passiamo a chiarire. Venendo infatti a connettersi col suolo, dopo avere annullato la sua velocità di marcia relativamente ad esso, il dirigibile rimarrà soggetto a due forze antagoniste: da una parte quella del vento che tenta spingerlo nella sua direzione ed in direzioni ad essa normali, e d'altra parte quella delle connessioni, facenti capo alla struttura, ed opponendosi alla spinta del vento. La prima, a parità di assetto, varia come la superficie presentata; cosicché se le connessioni non generano momenti importanti, tutto il peso di esse e della parte resistente della struttura varia come la forza agente e guadagna in rapporto alla forza ascensionale disponibile.

Il vantaggio diviene ancor più evidente se - come è prevedibile - le connessioni stesse siano principalmente attivate da una determinata aliquota di forza ascensionale resa libera al momento opportuno.

In particolare nell'*atterraggio*, lanciato il cavo di manovra e lasciandolo fissare a punti predisposti del terreno, si creerà su di questo una tensione proporzionale alla forza del vento che consenta al dirigibile di assumere una stabile posizione di aerostato frenato e di venir richiamato a terra senza eventualità di abbattimenti o di urti. La robustezza del cavo sarà quindi proporzionale alla forza del vento e, a parità di lunghezza, anche il suo peso.

Così anche il peso dei verricelli di ricupero installati a bordo e degli organi motori relativi. Così anche il peso della *zavorra d'atterraggio* predisposta a prora in corrispondenza dell'attacco del cavo, e gettata a momento prestabilito per creare su di questo una forza ascensionale statica, in aggiunta alla eventuale dinamica.

Queste considerazioni sono per certo di natura teorica, giacché se la lunghezza del cavo fosse proporzionale alle dimensioni, il suo peso varierebbe per contro proporzionalmente ai volumi, e così l'ingombro dei verricelli e l'energia motrice totale necessaria a recuperarlo. Così anche se si generassero momenti di flessione importanti, questi attenuerebbero i benefici innanzi indicati. I quali, come in ogni altro ramo della meccanica, richiedono un'applicazione accorta e geniale.

Ad analoghe osservazioni dà luogo la manovra di *ormeggio*. Se non c'è ricovero, essa consiste nel connettere il dirigibile sul terreno in modo che possa liberamente orientarsi al vento. Il sistema più sicuro è quello di fissarlo per tutta la sua lunghezza a una piattaforma girevole, provvista di mezzi per orientarsi ³. Le connessioni con questa piattaforma a parità di vento seguono allora la legge delle superfici. Così anche

³Ideata nel 1913: Brev. n. 138061.

le forze *ascensionali d'ormeggio* eventualmente rese libere per attivare le connessioni suddette.

Se c'è ricovero, la piattaforma girevole, anziché presentarsi al vento, è destinata a disporsi secondo l'asse del ricovero per portarvi il dirigibile e questo può dunque venire investito di fianco. Anche in tal caso, e sempre a parità d'intensità di vento, le forze abbattenti sono proporzionali alla superficie: cosicché l'entità delle connessioni e le forze ascensionali d'ormeggio variano nella stessa misura. Così anche i sovraccarichi di cui debba eventualmente zavorrarsi la piattaforma.

Per quanto concerne i momenti flettenti generati nelle suddette manovre, esse seguono in generale la legge dei cubi, e perciò non appesantiscono le aliquote delle strutture che sono destinate ad assorbirne i tormenti.

Può quindi asserirsi, concludendo, che anche nella maggior parte delle questioni accessorie, ma vitali per la pratica delle aeronavi, l'aumento delle dimensioni si presenta vantaggioso: e, là dove non c'è vantaggio, esso non trova ostacoli di principio.

3. Sull'impiego dell'elio nelle aeronavi.⁴

La questione dell'elio può oggi porsi nel modo seguente.

Il censimento dei pozzi americani ha dato un gettito complessivo di questo gas pari a 30.000 metri cubi al giorno, di cui circa un terzo di agevole collezione mediante una spesa d'impianto di circa 70 milioni di dollari.

Ammortizzando tale spesa per la durata media dei pozzi, presunta in venti anni, e aggiungendovi le spese di produzione, si ottiene per l'elio compresso un costo minimo di circa due dollari per m^2 ; in relazione ad una probabile produzione annua di *tre* milioni di metri cubi.

Prescindendo dalle applicazioni militari, i cui bisogni non dipendono da valutazioni economiche, è conveniente nelle applicazioni civili sostituire l'elio all'idrogeno, il cui costo è 15 volte minore e la cui disponibilità è indefinita?

Valutiamo perciò il consumo annuo di una aeronave: e in conseguenza il totale tonnellaggio di aeronavi che con la limitata disponibilità americana può tenersi in esercizio.

Il consumo di gas di un'aeronave è dovuto: *a)* alla diffusione osmotica; *b)* ai lavaggi necessari per mantenere una determinata purezza; *c)* ai consumi di navigazione.

Di queste tre cause, nell'attuale stato della tecnica e della pratica, la più importante è la terza: che assumerebbe poi valori relevantissimi in un regolare traffico commerciale.

Consumi di navigazione. — Nel fatto un'aeronave non interamente piena che si mantenga sempre in equilibrio termico con l'aria ambiente, conserva a qualsiasi quota inalterata la sua forza sustentatrice, e perciò si alleggerisce nel suo cammino di tanto quanto è il peso del combustibile consumato.

Essa è quindi *teoricamente* obbligata a perdere durante il viaggio tanto gas quanto corrisponde a tale alleggerimento: ossia, in cifra tonda, un metro cubo di gas per ogni chilo di combustibile bruciato.

*Franca*mente intervengono vari fattori, prevedibili e non prevedibili, ad alterare la semplicità di questa regola: e cioè squilibri alla partenza, variazioni di temperatura tra aria e gas dovute a variazioni dell'irradiazione solare, depositi estranei sull'involucro, sustentamento dinamico, squilibri all'arrivo: tanto che un abile pilota, scegliendo opportunamente i tempi e le manovre, e sapendo sfruttare le circostanze meteorologiche, può compiere eccezionali viaggi senza il minimo spreco di gas. Ma queste abilità personali nulla tolgono alla generalità della regola suddetta, soprattutto in servizio commerciale regolare ad orario itinerario e quota di navigazione mediamente determinate.

Ora se appunto si calcolano i consumi, in base alla regola del metro cubo per chilo,

⁴Comunicazione fatto alla R. Accademia dei Lincei nella seduta del 3 giugno 1922.

per lunghi viaggi e traffico annuo intensivo (p. es. quattromila ore), si trova che un'aeronave di media cubatura intorno ai 100.000 m³, provvista di circa 3600 HP e navigante a ½ forza con consumo orario medio di Kg. 500, consumerebbe in un anno 2.000.000 m³ di gas: ossia *venti* volte il suo volume. Cosicché quasi tutta la produzione di elio americano sarebbe assorbita dai rifornimenti di una sola elionave: e il suo costo si eleverebbe a cifre proibitive.

Del resto anche adoperando idrogeno questi consumi sarebbero eccessivi: e d'altra parte una pratica autonomia dei dirigibili non si potrà mai avere, finché non si eliminerà il vincolo dei rifornimenti di gas, mediante la integrale compensazione dei consumi di combustibile in navigazione.

Per buona ventura questa compensazione può dirsi risolta in principio nella generalità dei casi probabili in pratica, come esponiamo nella Nota 5: onde delle tre cause alle quali si deve il rifornimento di gas di un'aeronave la più grave deve ritenersi eliminabile totalmente.

Rimangono le altre due, che passiamo ad esaminare.

Diffusione osmotica. — Sebbene non si abbiano ancora numerosi dati sulla perdita osmotica dell'elio nei vari tessuti aeronautici, gli esperimenti sin qui compiuti hanno riscontrato a parità di strato impermeabile una diffusione di poco più che la *metà* di quella dell'idrogeno. Esperienze compiute all' Istituto Sperimentale Aeronautico di Roma⁵ su stoffe gommate italiane con peso *p* di gomma tra 80 e 160 grammi per metro quadrato darebbero, con molta approssimazione, a temperatura ordinaria, una media perdita pari a 520/*p* litri nelle ventiquattro ore (le stesse esperienze darebbero per l'idrogeno una media perdita di 1000/*p* litri nelle ventiquattro ore).

Esperienze americane anteriori ⁶ sull'idrogeno non sembrano verificare la legge della proporzionalità inversa al peso *p*; e rivelano inoltre un elevato fattore di temperatura. Ma esse dimostrano per contro la possibilità di perdite assai minori, anche per elevate temperature, con impermeabilizzazioni di tipo speciale.

Cosicché non appare esagerato ammettere per ora una perdita in ragione di *tre* litri per metro quadrato nelle 24 ore, relativa ai tessuti di prevedibile impiego per un involucro della capacità innanzi considerata, anche nella ipotesi che colla necessità si affinerà di molto la tecnica della impermeabilizzazione dei tessuti.

Con questa cifra il dirigibile sovrastato la cui superficie disperdente ascende a 18.000 m², perderebbe annualmente per osmosi 19440 m^a di gas ossia meno del 20% del suo volume.

E per volumi maggiori si avrebbero perdite relative anche minori a causa non solo del minor rapporto tra superficie e volume ⁷, ma anche pel maggior peso unitario di sostanza impermeabilizzante.

Rifornimento di lavaggio. — Attualmente i rinnovamenti di gas dovuti ai consumi

⁵Gallo, *L'elio in aeronautica*, «Rend dell'ISA», n. 1, 1 febbraio 1921.

⁶Nat. Adv. Comm, f. A. del 1915. Report n. 6.

⁷Vedi Nota 2

di navigazione sono sufficienti a mantenere nell'involucro una sufficiente purezza. Ma, soppressi questi rinnovamenti, il *lavaggio* del gas diviene una necessità giornaliera di maggiore importanza della perdita osmotica. Nel fatto per ogni metro cubo di elio uscente per osmosi penetrano nell' involucro circa 400 litri di aria, che bisogna togliere se si vuol mantenere un grado di purezza costante. Se α è questo grado medio di purezza e ω la perdita osmotica percentuale nell'unità di tempo, per togliere la corrispondente quantità d'aria, $0,4 \omega$, occorrerà sostituire nell' unità di tempo un volume percentuale d' elio impuro pari a $\frac{0,4\omega}{1-\alpha}$ con altrettanto d'elio puro.

Così ad esempio volendo mantenere una purezza α del 96% con la perdita osmotica annua del 20% anzi calcolata, occorrerà un lavaggio annuo pari al *doppio* del volume del dirigibile.

Per buona ventura anche questa notevole causa di consumo si può totalmente eliminare, mediante la rigenerazione o ri-purificazione dell'elio; estraendo cioè l'aria, che lo inquina, mediante raffreddamento e conseguente liquefazione. In America son già in servizio impianti purificatori montati su carri ferroviari. Ma in navigazione civile basteranno impianti fissi di potenzialità oraria limitata, integrati da un doppio serbatoio di rifornimento. Il lavaggio si compie allora, periodicamente, coll'elio già purificato, mentre quello impuro che si estrae viene poi purificato nell'intervallo di tempo.

Riassumendo delle tre cause di rifornimento dell'elio che abbiamo esaminate e cioè consumi di navigazione, lavaggio e perdita osmotica, le quali stanno tra loro nei rapporti 100, 10, 1, soltanto la perdita osmotica rimane ineluttabile, in ragione media annua del 20% del volume di rifornimento. Ciò ha due conseguenze fondamentali.

La prima che, ridotto a questa unica causa la necessità del rifornimento, la disponibilità dell'elio americano diviene capace di intrattenere, non già una sola, ma 150 aeronavi della cubatura media indicata, e cioè un tonnellaggio complessivo di 15 milioni di metri cubi, sufficiente a una flotta aerea civile mondiale.

La seconda che il costo dell'elio diviene accessibile all'economia della navigazione, poiché oltre al volume occorrente al gonfiamento basta un rifornimento annuo nella massima misura del 20%: o in altri termini che il gas originario di gonfiamento si esaurisca in un tempo minimo di cinque anni.

L'elio, così inteso, non è più un materiale di consumo, ma un materiale da costruzione il cui *capitale di impianto è ammortizzabile in cinque anni*: e perciò la sua sostituzione all'idrogeno nelle imprese civili diviene possibile e conveniente.

4. La compensazione (dei consumi di navigazione nelle aeronavi)⁸.

Nella Nota 3 abbiamo dimostrato come i consumi di navigazione in un traffico intensivo di aeronavi possano assorbire aliquote di rifornimento *cento* volte maggiore che i consumi osmotici: e come pertanto la navigazione aerea civile, non solo con l'elio ma anche con l'idrogeno, non possa entrare in una fase pratica se non eliminandoli totalmente.

E' appena necessario osservare che il problema dei consumi assume importanza solo per i grandi percorsi: giacché fino a quando il peso di combustibile consumato durante un viaggio è una limitata aliquota della totale forza sustentatrice, è possibile compensarne dinamicamente l'eccesso azionando i timoni di profondità. Quando però - come avviene nelle aeronavi a grande autonomia - il combustibile mediamente consumato in un percorso senza scalo ascende a rilevanti aliquote della forza ascensionale, la sustentazione dinamica non è più possibile.

Occorre perciò provvedere con altri sistemi, che si riducono principalmente a due tipi: e cioè la *condensazione dell'acqua di combustione* dei motori e la *sostentazione termica*. Accenneremo al primo tipo, in questa Nota, riservandoci di esaminare il secondo in una Nota successiva.

Condensazione dell'acqua di combustione. I combustibili leggeri impiegati nelle aeronavi contengono una elevata percentuale di idrogeno: e pertanto nella loro combustione si forma una notevole quantità di vapor d'acqua. Posto in media che 1000 grammi di combustibile contengano 150 grammi di idrogeno essi producono in corrispondenza 1350 grammi di vapor d'acqua: e quindi, in principio è possibile condensarne 1000, cioè tanto quanto è il peso di combustibile bruciato. Le difficoltà di questa condensazione sono legate alle circostanze ambientali di temperatura e stato igrometrico dell'aria: e si acquisiscono per aria calda e secca, mentre si affievoliscono per aria fredda e umida.

In particolare se l'aria di combustione entrasse nel motore satura di umidità, sarebbe possibile far depositare i 1000 grammi richiesti, qualsiasi la temperatura d'ingresso: e, viceversa, alle basse temperature invernali ciò diviene possibile qualunque sia lo stato igrometrico dell'aria. Ma nella pratica navigazione, soprattutto intercontinentale, non si ha sempre l'aria abbastanza fredda ed abbastanza umida, cosicché il sistema potrebbe presentare irregolarità di applicazione, senza il principio teorico che passiamo ad illustrare.

Supponiamo perciò che sia P il peso d'aria necessario alla combustione di 1000 grammi di benzina, e che esso abbia inizialmente la temperatura t_0 , lo stato igrometrico φ_0 , e la pressione H_0 . Se F_0 la tensione di saturazione corrispondente alla temperatura, il volume in aria corrispondente al peso P sarà dato da

⁸Comunicazione fatta alla R. Accademia dei Lincei nella seduta del 4 febbraio 1923.

$$V = \frac{P(1+\alpha t_0)}{1.7(H_0 - 0.377\varphi_0 F_0)}$$

Ed il peso p_0 di vapore contenuto in detto volume risulterà da

$$p_0 = 1.06 \frac{\varphi_0 F_0}{1+\alpha t_0} V = \frac{0.623P}{\frac{H_0}{\varphi_0 F_0} - 0.377};$$

onde con sufficiente approssimazione si potrà scrivere:

$$(1) \quad p_0 = 0.623P \frac{\varphi_0 F_0}{H_0}$$

A questo peso si aggiungono durante la combustione 1350 grammi di vapor d'acqua; cosicché raffreddando i gas di scappamento sino ad una temperatura e pressione t, H , questi usciranno saturi di vapor d'acqua alla corrispondente tensione F di saturazione, trasportando seco un peso di vapore pari all'incirca a $0.623P \frac{F}{H}$, e avendo depositato durante il raffreddamento un peso d'acqua

$$(2) \quad q = 1.350 - 0.623 \left(\frac{PF}{H} - \frac{P_0 \varphi_0 F_0}{H_0} \right)$$

ove pei calcoli pratici potremo porre con sufficiente approssimazione $P = P_0$.

Perché dunque si depositi un peso q di 1000 grammi è sufficiente che si verifichi la condizione approssimata:

$$(3) \quad \frac{F}{H} = \frac{\varphi_0 F_0}{H_0} + \frac{0.56}{P_0}$$

La quale ci permette di enunciare il seguente principio teorico;

Qualunque sia la temperatura iniziale e lo stato igrometrico iniziale dell'aria esiste sempre un rapporto tra la pressione dei gas combusti e la loro tensione di saturazione che risolve il problema di far previamente depositare altrettanta acqua quanto è il peso del combustibile bruciato.

Occorre ora provare che nei limiti meteorologici usuali questo rapporto è praticamente realizzabile,

Osserveremo appena che la temperatura d'uscita dei gas combusti deve risultare la più bassa possibile. Ma, se nessun altro provvedimento si adotta per abbassare questa temperatura all'infuori di quello di sottrarre calore per mezzo dell'aria esterna, il limite più basso della temperatura dei gas sarà dato dalla temperatura dell'aria esterna, cosicché praticamente occorrerà fermarsi alcuni gradi più in su. Porremo perciò $t = t_0 + \tau$.

L'influenza di τ si deduce dal quadro seguente, ove abbiamo assunto $P_0 = 22 \text{ Kg}$ e $\varphi_0 = 0.50$, e riportato, per varie temperature, i valori, espressi in metri d'acqua, della sovrappressione necessaria ad ottenere $q = 1000$:

Temperatura dell'aria entrante $t_0 =$	Valori delle sovrappressioni In metri d'acqua per $\varphi_0 = 0.50$ e per			
	$\tau = 2^0$	$\tau = 4^0$	$\tau = 6^0$	$\tau = 8^0$
20°	0	0	0	0.120
25°	0	0	0.730	1.980
30°	0.470	1.720	3.110	4.620

Da questi valori si desume come non sia conveniente superare per τ il valore di 5^0 , che terremo come media nei calcoli seguenti. In pratica la determinazione di τ è connessa coll'entità e con la natura delle superfici di raffreddamento, come ci riserbiamo di accennare in ulteriore comunicazione.

Facendo ora variare l'umidità dell'aria, si ottengono i risultati indicati nel quadro seguente:

Temperatura dell'aria entrante $t_0 =$	Valori delle sovrappressioni In metri d'acqua per $\tau = 5^0$ e per			
	$\varphi_0 = 0.25$	$\varphi_0 = 0.50$	$\varphi_0 = 0.75$	
20°	0.05	0	0	
25°	2.59	0.19	0	
30°	5.33	1.87	0.83	

dal quale si desume che i valori della sovrappressione non sono del tutto trascurabili quando l'aria ingrediente sia troppo calda e poco umida.

Per buona fortuna condizioni di aria calda e secca sono rare.

Un accurato esame delle condizioni meteorologiche in vari punti del globo ⁹ ci ha dimostrato che come regola quasi generale l'umidità assoluta dell'aria cresce di pari passo con la temperatura; e cioè φ_0 subisce poche ed eccezionali variazioni. Abbiamo

⁹Indicateci con ricchezza di dati dal prof. Eredia del R. Ufficio Centrale di Meteorologia.

riscontrato nei nostri climi una umidità relativa che poco si discosta in media dal 60 %, con un minimo di 50 e un massimo di 80; alle Azzorre tra 68 e 84%; a Rio de Janeiro tra 70 e 85; mentre solo su lande aride si riscontrano talvolta umidità relative sino al 33%, accoppiate a temperature superiori a 30°.

Si può pertanto ritenere che eccezionalmente si avrà da fare con temperature superiori a 30° e con umidità relative inferiori a 50%.

Occorre inoltre osservare che elevandosi in quota l'umidità assoluta diminuisce, ma la temperatura diminuisce anch'essa in modo compensatore, sicché in via generale la quota alta è vantaggiosa per la condensazione del vapore d'acqua di scappamento. E perciò che abbiamo limitato i calcoli ad $H_0 = 760$.

Infine è da notare che le maggiori temperature si riscontrano soltanto per una frazione del giorno e per una frazione dell'anno: e che, in navigazione aerea di carattere intensivo, ciò che importa è l'economia annuale dei consumi. Cosicché cifre che possono apparire rilevanti considerate per un breve tratto di viaggio, diventano irrisorie nel complesso del traffico annuale.

Per questi motivi, e per quest'ultimo soprattutto, sono da ritenere accettabili anche dal punto di vista pratico dispositivi che, destinati a funzionare parzialmente, hanno una ripercussione poco sensibile sui consumi annui, mentre d'altra parte consentono di assicurare *in ogni caso* il ricupero integrale del peso del combustibile consumato.

Indichiamo tuttavia come si possa ulteriormente ridurre la sovrappressione occorrente; e ciò allo scopo di completare il principio teorico in tutta la sua portata.

E necessario, perciò, procedere oltre nel raffreddamento dei gas di scappamento, valendosi della sovrappressione stessa, mediante espansione adiabatica con eventuale ricupero di potenza. Gli abbassamenti di temperatura che si possono ottenere in tal caso vengono utilizzati, con opportuno scambio di temperatura, all'ulteriore raffreddamento dei gas ed alla conseguente condensazione dell'acqua; cosicché sarà sufficiente, in definitiva, una sovrappressione minore di quella indicata dalle precedenti tabelle.

Per indicare approssimativamente l'ordine di grandezza di questa nuova sovrappressione, ammetteremo che sia completo lo scambio di calore tra gas raffreddati e gas da raffreddare; e perciò, chiamando con Δt l'abbassamento di temperatura dovuto alla espansione; con t , la nuova temperatura minima dei gas, prima della espansione; con t_2 la temperatura finale di uscita; con c il loro calorico specifico; avremo l'eguaglianza:

$$606,5(1 + q) + cP_0(t_0 + \tau - t_1) = cP_0(t_2(t_1 - \Delta t));$$

ove q è dato dalla (2), supposti i nuovi valori di F ed H .

Questa eguaglianza si semplifica se supponiamo, come è ammissibile, $t_2 = t_0$; e diviene

$$cP_0(\Delta t - \tau) = 606.5(1 - q);$$

che si può risolvere graficamente, prendendo come ascisse le sovrappressioni $H-H_0$ e

come ordinate le quantità di calore corrispondenti agli abbassamenti di temperatura $\Delta t - \tau$, da una parte; ed alle condensazioni dei pesi di vapore $1-q$ dall'altra.

Le sovrappressioni ridotte, che si ottengono sono accennate nell'annesso specchietto, che fa riscontro al precedente:

Temperatura dell'aria entrante $t_0 =$	Valori della sovrappressione, in m. d'acqua, con il metodo della espansione, per	
	$\varphi = 0,25$	$\varphi = 0,50$
25.00	1.74	0
30.00	3.15	1.45

Per decidere della pratica convenienza del metodo della espansione occorre ora determinare la potenza assorbita dalla sovrappressione.

Questa può ottenersi in due modi: o strozzando i gas di scappamento alla loro finale uscita, cosicché si forma una *contropressione* nel motore: oppure comprimendo i gas con compressore separato, dopo il loro raffreddamento.

Il primo metodo è seducente per la sua semplicità d'impianto, giacche non richiede organi meccanici, ma solo un sistema di riduzione delle luci di egresso: per contro consuma maggior potenza.

Il secondo metodo è seducente per la bontà del suo principio teorico, ammettendo esso la compensazione tra il lavoro di compressione e quello di espansione: il che si traduce in pratica con minor dispendio di potenza.

Questa compensazione si può ottenere accoppiando su uno stesso asse un turbo compressore ed un turbo motore. Il turbo compressore riceve i gas già raffreddati, e li comprime, inviandoli ad espandersi nel turbomotore dopo raffreddamento, mediato o immediato, con l'aria esterna e successivamente con i gas che hanno già subito il raffreddamento adiabatico. Cosicché ammettendo un rendimento di circa 60% per entrambe le macchine, il lavoro *pratico* di compressione si riduce a quello *teorico*.

Le potenze richieste dalla sovracompressione risultano allora come segue:

Sovracomprensione in m. d'acqua	Sovrapotenza richiesta in <i>per cento</i> col.	
	Metodo della contropressione	Metodo della compressione separata
1.00	2.87	1.5
2.00	5.75	3
3.00	8.60	4.3
4.00	11.90	5.5

Occorre appena tornare ad «osservare che le maggiori sovrappotenze necessitano per brevi tratti del viaggio e per un numero limitato di giorni all'anno: cosicché le *percentuali annue* di maggior consumo raramente supereranno *l'uno* per cento.

Ciò fa preferire - tranne casi di climi specialmente caldi e secchi - il metodo della contropressione nel motore che non presenta complicazioni meccaniche.

5. Sull'ormeggio delle aeronavi ¹⁰,

Questa Nota ha lo scopo di riassumere lo stato attuale della questione. L'ormeggio delle navi marine, ottenuto ancorando la prua e lasciando la nave libera di orientarsi sulle correnti, non presenta infatti difficoltà pratiche, sia perché la nave di superficie ha libertà di muoversi soltanto nel piano orizzontale, sia perché l'entità delle correnti marine è relativamente poco importante. Basta perciò che la nave dia fondo a due ancore divaricate per creare un punto sufficientemente fisso attorno al quale possa orientarsi, anche approssimativamente, in modo da prendere il mare di prua.

Lo stesso non può dirsi della nave aerea e per i maggiori gradi di libertà che essa possiede nello spazio e per la violenza relativa delle correnti aeree che possono cimentarla ed infine per la loro incostanza di intensità e di direzione.

Il caso più complesso è l'ormeggio su di un sol cavo, con quattro gradi di libertà, che ci riserviamo in avvenire di approfondire per la sua importanza come stadio di passaggio fra la navigazione libera e l'ormeggio definitivo. E il caso del *pallone frenato*: il quale, adottando particolari dispositivi, può rendersi praticamente stabile.

Questi dispositivi hanno principalmente per iscopo di mantenere un'inclinazione permanente dell'asse longitudinale capace di generare una forza sostentatrice, come nel cervo volante; che, aggiungendosi a quella ascensionale propria dell'aerostato, provoca nel cavo una tensione rilevante e contrasta con le forze abbattenti del vento.

Anche nel caso di un dirigibile è necessario ottenere sul cavo una notevole tensione, in parte con gettito iniziale di zavorra, in parte con eventuale spostamento longitudinale di acqua, in parte provocando una forza ascensionale dinamica per mezzo di timoni orizzontali.

In particolari condizioni è così possibile ottenere una posizione di equilibrio stabile intorno alla quale l'aeronave oscilla in tutti i sensi; mentre il timoniere agendo su entrambi i timoni, può moderare le oscillazioni e modificare occorrendo la posizione di equilibrio.

Il fenomeno è meno complesso se si impediscono i movimenti laterali disponendo di due cavi divaricati come nell'ancoraggio delle navi. Si viene allora a creare un triangolo il cui vertice è la prua del dirigibile o un punto assai vicino ad essa; e la cui

¹⁰Comunicazione fatta alla R. Accademia dei Lincei nella seduta del 9 maggio 1923.

base, a terra, diviene asse di oscillazione. Se in tal caso l'aeronave è sufficientemente stabilizzata attorno alla prua o al punto prodiero che forma vertice del triangolo d'ormeggio, le oscillazioni nel piano orizzontale risultano praticamente trascurabili e i movimenti si limitano a rotazioni intorno alla base del triangolo d'ormeggio, intrattenute dalle raffiche del vento e dalle conseguenti oscillazioni dell'asse dell'aeronave attorno al vertice del triangolo.

Supponendo che la tensione del cavo sia provocata soltanto da forza ascensionale dinamica variabile col quadrato della velocità del vento e coll'orientamento dell'asse del dirigibile; che la forza abbattente sia anch'essa della forma quadratica e cioè pressoché indipendente dall'orientamento dell'asse; ed infine che la coppia raddrizzante statica sia esattamente compensata da spostamenti di zavorra acqua, si ottiene una posizione di equilibrio del piano del triangolo d'ormeggio, determinata dall'orientamento ed *indipendente dalla velocità e quindi dalle raffiche del vento*.

I movimenti attorno a questa posizione dipendono allora essenzialmente dalle variazioni di *direzione* del vento; e la loro ampiezza e durata è connessa alle particolari caratteristiche dell'aeronave in relazione colla lunghezza dei cavi d'ormeggio.

L'adozione di un terzo cavo che venga coi due precedenti a costituire una piramide funicolare d'ormeggio, consente di frenare qualsiasi movimento oscillatorio del vertice, dentro i limiti della tensione dei cavi e della loro apertura angolare. Questo ormeggio presenta una notevole stabilità sempre che l'aeronave sia stabile attorno al punto di prua ove si trova il vertice della piramide ¹¹.

Esso è il precursore dell'ormeggio a *pilone*; nel quale al vertice della piramide funicolare viene a sostituirsi l'estremità di un pilone rigido, trattenuto da venti laterali¹², o incastrato al suolo.

L'ormeggio a *pilone*, oggi in voga in Inghilterra ed in America, sopprime la necessità della forza ascensionale tensoria dei sistemi funicolari, e crea un punto di rotazione *fisso* attorno al quale si orienta l'aeronave.

Esso richiede tuttavia, al pari dei sistemi funicolari, che l'aeronave sia stabilizzata attorno a questo punto fisso: cosicché il problema di tale stabilizzazione assume una importanza predominante nella determinazione dell'impennaggio.

¹¹Un simile tipo di ormeggio fu da noi ideato nel 1908, e realizzato nelle manovre del nostro dirigibile militare 1 *bis* a Vigna di Valle, come risulta dai giornali di bordo.

¹²Questo tipo d'ormeggio fu da noi realizzato durante la guerra nel 1916 e costruito all'Istituto Sperimentale Aeronautico. Non risulta che sia stato sperimentato in alcuno dei cantieri che lo ebbero in regolare dotazione.

Giova ricordare che la necessità di questa stabilizzazione proviene dalla esistenza di una *coppia perturbatrice* dell'orientamento degli involucri allungati, messa in evidenza da Renard nel 1903¹³, in relazione con le oscillazioni di beccheggio.

Renard dedusse i valori della quantità che egli chiamò *velocità critica* ed *impennaggio stretto*.

Noi completammo nel 1904¹⁴ la teoria del Renard introducendo, sempre per il dirigibile in libero moto, il *movimento verticale* del baricentro e le *coppie di smorzamento*; ed ottenendo così un valore dell'impennaggio stretto, in navigazione, più piccolo di quello indicato dal Renard.

Fu soltanto nel 1907, sviluppando la teoria e corredandola di esperienze¹⁵, che noi sottolineammo la questione della stabilità del *dirigibile frenato*: questione che poi, specialmente a seguito dell'incidente toccato al *Patrie*, ci guidò nelle determinazioni pratiche dell'impennaggio, e ci condusse alla concezione dei *timoni automatici* multiplani¹⁶.

Oggi le elevate velocità raggiunte dai dirigibili hanno obbligato ad affinarne le linee e a preferire impennaggi monoplani, senza ventature, disposte in croce sull'estrema poppa: e con timoni in prosecuzione di chiglie molto allungate. Ciò porta a superficie stabilizzanti più grandi, ma in compenso assai più penetranti.

Riporteremo pertanto i risultati delle più recenti esperienze¹⁷, relative a un modello del tipo Zeppelin L. 49.

Indicando con α l'angolo d'orientamento al vento, con v la velocità di questo e con V il volume dell'involucro, la *coppia rovesciante* riferita al baricentro risulta, per i piccoli angoli:

$$Co=0,077 V\alpha v^2$$

mentre la coppia riferita al punto d'ormeggio, supposto sull'estrema prua ha il valore:

$$C = 0,035 V\alpha v^2$$

che è circa la metà del precedente.

Se d'altra parte sono σ e λ la superficie e la media distanza dell'impennaggio dall'estrema prua, questo fornisce una coppia raddrizzante $k\sigma\lambda\alpha v^2$, per i piccoli angoli; e quindi deve aversi:

¹³Comptesrendus, 23 novembre 1903

¹⁴G. A. Crocco, *Stabilità dei dirigibili*. Rendiconti Accademia Lincei, 20 novembre 1904.

¹⁵G. A. Crocco, *Dinamica dei dirigibili*. Bollettino Società Italiana, n. 4 e 5, 1907; Revue du Genie Militaire, août-octobre, 1907, traduction par I. TheSacconey.

¹⁶G. A. Crocco, *Introduzione alla teoria dei timoni automatici*. Memoria presentatanel 1912 al Concorso

¹⁷Esperienze compiute, al gabinetto aerodinamico del nostro Istituto Sperimentale Aeronautico nel 1922.

$$k\sigma\lambda \approx 0,035 V.$$

Ponendo per omogeneità il volume V nel tipo accennato sotto forma

$$V = 0,78 S\lambda$$

dove S è la *sezione maestra* del dirigibile, ai ottiene la relazione di sufficienza:

$$k\sigma = 0,0273S$$

nella quale il coefficiente k deve dedursi sperimentalmente per chiglie di forma allungata e disposte nella scia dell'involucro.

Tale coefficiente risulta di circa 0,8 (il Renard teneva 0,174 e noi per piani di forma quadrata e lontani dalla scia avevamo assunto 0,16); cosicché si ottiene: $\sigma = 0,34 S$; e si può enunciare la seguente proposizione generale circa l'ordine di grandezza dell'impennaggio: *la superficie di chiglie necessarie a stabilizzare un involucro del tipo accennato è circa la terza parte della sezione maestra.*

Cosicché adottando un impennaggio alquanto superiore a quello indicato, è possibile rendere stabile l'orientamento dei dirigibili ormeggiati al pilone.

Intervengono tuttavia difficoltà per quanto concerne l'equilibrio orizzontale.

È anzitutto da osservare che il pilone *deve essere alto*, per sottrarre l'involucro dall'influenza del suolo. Se l'involucro fosse troppo vicino al suolo, esso risentirebbe per dissimmetria una *forza sollevante* ad ogni raffica di vento. È ciò che rende difficile trattenere i dirigibili in prossimità del terreno. L'altezza del pilone porta seco inconvenienti nella accessibilità e nel rifornimento.

In secondo luogo è difficile mantenere l'asse orizzontale, a causa delle variazioni di forza ascensionale statica, dovuta alle manovre di carico e rifornimento ed alle variazioni della radiazione solare. La non orizzontalità dell'asse origina da parte del vento forze dinamiche sollevanti od abbattenti e tiene il dirigibile in stato *permanente di oscillazione* nel piano verticale.

Le variazioni del vento, infine, danno origine a oscillazioni continue anche nel piano orizzontale, intrattenute dall'inerzia.

Ciò conduce a tormenti gravi sia nel punto d'attacco, sia lungo l'armatura: e rende impossibile accedere dall'esterno e compiere operazioni di importanza.

Tali difficoltà fanno delineare preferibile, in confronto con l'ormeggio *libero* al

pilone, un tipo di ormeggio *frenato*, da noi indicato sin dal 1914¹⁸.

Esso consiste nel connettere il dirigibile per tutta la sua lunghezza, o per una sufficiente parte centrale, ad una invasatura o piattaforma reticolare, disposta orizzontalmente sul terreno e capace di rotare attorno ad un perno verticale poggiando su guide circolari. Questa piattaforma è tenuta mediamente orientata al vento per mezzo di sistemi meccanici.

Il criterio fondamentale di un simile *ormeggio* è quello di immobilizzare il dirigibile sulla piattaforma, in modo da impedirgli qualsiasi movimento proprio sia orizzontale che verticale; e far concorrere, nella resistenza ai cimenti del vento, il peso e la robustezza propria dell'invasatura.

Si ovvia così alle principali difficoltà dell'ormeggio; giacché, essendo il dirigibile frenato per la maggior parte della sua lunghezza, i risucchi dovuti alla dissimmetria del suolo nonché le variazioni di forza ascensionale, e quelli di direzione ed intensità del vento non provocano più imprecisabili oscillazioni e sollecitazioni dinamiche, ma soltanto forze interne nelle connessioni, entro limiti prevedibili.

Basta pertanto che l'insieme sia staticamente capace di resistere a queste forze, tenendo conto che esse generano non soltanto risultanti verticali, ma sebbene anche momenti longitudinali e laterali.

Infatti, anzitutto, le raffiche del vento e le variazioni della sua direzione si risentono sul lungo corpo del dirigibile gradatamente da poppa a prora; in secondo luogo la dissimmetria dovuta alla presenza del suolo e della piattaforma crea risucchi verticali concentrati soprattutto verso prora; ed infine l'orientazione meccanica secondo una direzione media, fra le direzioni istantanee, lascia esposto l'involucro entro certi limiti *al vento obliquo*, ed ai relativi cimenti di fianco.

Precisate queste azioni, si determinerà dunque il *peso proprio* della piattaforma, integrato da zavorramenti eventuali e da connessioneamenti scorrevoli sulle rotaie, in vista soprattutto delle forze abbattenti laterali; e si calcoleranno insieme i momenti flettenti ai quali deve resistere la sua struttura reticolare. S'intende che il peso proprio dovrà risultare compatibile col numero degli appoggi, cioè perno centrale e carrelli d'estremità, in modo da consentire la scorrevolezza della manovra¹⁹.

I calcoli anzidetti consentiranno altresì di fissare la natura e la entità delle connessioni fra dirigibile e piattaforma, che hanno precipua importanza. Si suppone che tali connessioni consistono - nella loro più semplice realizzazione - in ancoraggi funicolari di punti opportunamente scelti lungo il dirigibile. Questi ancoraggi entrano in tensione col provocare ordinariamente nell'involucro *una forza ascensionale d'ormeggio*; quale risulta ad esempio, in un'aeronave da trasporto civile, dallo sbarco dei passeggeri; e in generale dal rifornimento di gas, o dallo scarico della zavorra

¹⁸Brev. n. 138,061 del 19 novembre 1913 donato allo Stato ed oggi lasciato decadere.

¹⁹Una elegante soluzione meccanica del problema ora stata data dalla ditta Savigliano di Torino nello studio di una *piattaforma*, che prima della guerra, era destinata a corredare il nostro Cantiere Militare di Ciampino

acqua dovuta alla condensazione del vapore di scappamento ²⁰.

Ove non sia disponibile una simile forza ascensionale, si provocherà la tensione dei cavi utilizzando il peso delle navicelle; ed infine se queste non fossero sospese funicularmente, si farà appoggiare il dirigibile in corrispondenza dei punti d'ancoraggio su cavalletti mobili puntellatori. E quindi in ogni caso possibile realizzare una solida connessione.

L'ormeggio frenato così descritto presenta un elevato grado di sicurezza e di praticità, giacché non solo permette di resistere a eccezionali cimenti di prua, e dentro certi limiti anche a venti di fianco; ma raggiunge tale scopo lasciando al dirigibile una delle caratteristiche più importanti dal punto di vista pratico: l'*accessibilità*. Tutte le manovre diventano così possibili all'aperto: carico e scarico, rifornimenti, pesatura; e sono altresì possibili le principali riparazioni, quali tamponatura, verniciature, cambio d'involucro interni, sostituzione di motori o di navicelle.

L'ingombro sul terreno risulta infine minore che non nell'ormeggio libero; e l'atterraggio più agevole e scevro di pericoli.

²⁰Vedi Nota 4.