

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA NAZIONALE
DEI LINCEI

ANNO CCCXX

1923

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXXII.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1923

Meccanica. — *Sull'ormeggio delle navi aeree.* Nota del Corrispondente Col. G. A. CROCCO.

La presente 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 alle correnti, non presenta infatti difficoltà pratiche, sia perchè la nave di superficie ha libertà di muoversi soltanto nel piano orizzontale, sia perchè 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 ch'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. È 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 dei timoni orizzontali.

In particolari condizioni è così possibile ottenere una posizione d'equilibrio stabile attorno 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 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 attorno 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 col l'orientamento dell'asse del dirigibile; che la forza abbattente sia anch'essa della forma quadratica e cioè pressochè indipendente dall'orientamento dell'asse; ed infine che la coppia raddrizzante statica sia esattamente compensata da spostamenti di zavorra acquea, si ottiene una posizione di equilibrio del piano del triangolo d'ormeggio, determinata dall'orientamento dell'asse ed *indipendente dalla velocità e quindi dalle raffiche del vento.*

I movimenti attorno a questa posizione di equilibrio 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 (1).

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 laterali (2), 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

(1) Un simile tipo di ormeggio fu da noi ideato nel 1903, e realizzato nelle manovre del nostro dirigibile militare I bis a Vigna di Valle, come risulta dai giornali di bordo.

(2) Questo 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.

stabilizzata attorno a questo punto fisso: cosicchè il problema di tale stabilizzazione assume una importanza predominante nella determinazione dell'impennaggio.

*
*
*

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 1903 ⁽¹⁾, in relazione con le oscillazioni di beccheggio.

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

Noi completammo nel 1904 ⁽²⁾ 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 esperienze ⁽³⁾, 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* multiplani ⁽⁴⁾.

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 esperienze ⁽⁵⁾, 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:

$$C_0 = 0,077 V \alpha v^2$$

(1) Comptes rendus, 23 nov. 1903.

(2) G. A. Crocco, *Stabilità dei dirigibili*. Rendiconti Accademia Lincei, 20 novembre 1904.

(3) Crocco, *Dinamica dei dirigibili*. Bollettino Società Italiana, nn. 4 e 5, 1907; Revue du Génie Militaire, août octobre, 1907, traduction par I. Th. Sacconey.

(4) *Introduzione alla teoria dei timoni automatici*. Memoria presentata nel 1912 al concorso Cagnola dell'Istituto Lombardo di scienze e lettere.

(5) Esperienze compiute al gabinetto aerodinamico del nostro Istituto Sperimentale Aeronautico nel decorso anno.

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:

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

Ponendo per omogeneità il volume V , nel tipo accennato, sotto la forma

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

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

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

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

Tale coefficiente risulta di circa 0,08 (il Renard teneva 0,174 e noi per piani di forma quadrata e lontani dalla scia avevamo assunto 0,16); cosicchè 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 necessaria a stabilizzare un involucro del tipo accennato è circa la terza parte della sezione maestra.*

* * *

Cosicchè 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 all'influenza del suolo. Se l'involucro fosse troppo vicino al suolo, esso risentirebbe, per dissimmetria, una *forza sollevante* ad ogni raffica di vento. E 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, dovute 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 e manovre 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 1914 ⁽¹⁾.

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: giacchè, essendo il dirigibile frenato per la maggior parte della sua lunghezza, i risucchi dovuti alla dissimmetria del suolo nonchè 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 sibbene 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 connessioni 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 nu-

(¹) Brev. n. 138,061 del 19 nov. 1913 donato allo Stato ed oggi lasciato decadere.

mero degli appoggi, cioè perno centrale e carrelli d'estremità, in modo da consentire la scorrevolezza nella manovra (1).

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 consistano — 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 acquee dovuta alla condensazione del vapore di scappamento (2).

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 funicolamente, si farà appoggiare il dirigibile in corrispondenza dei punti d'ancoraggio su cavalletti mobili puntellatori. È quindi in ogni caso possibile realizzare una solida connessione.

* *

L'ormeggio frenato così descritto presenta un elevato grado di sicurezza e di praticità, giacchè 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 tamponature, verniciature, cambio d'involucri interni, sostituzioni 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 pericolo.

(1) Una elegante soluzione meccanica del problema era 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.

(2) Vedi questi Rendiconti, vol. XXXII, 1° sem., fasc. 3° del 4 febr. 1923.