

## Mezzi di trasporto aereo (online)

### 2.3 Caratteristiche funzionali e strutturali degli aerostati

Un aerostato essenzialmente è formato da un involucro di notevoli dimensioni a cui è opportunamente appeso un carico utile. Naturalmente l'involucro contiene un gas di peso specifico minore di quello dell'aria esterna, che può anche essere aria calda, mentre il carico utile consiste o può consistere in strumenti scientifici oppure in una cesta o navicella in cui sono alloggiati, oltre alle attrezzature di bordo, il pilota e i passeggeri.

Come già accennato, affinché un aerostato possa mantenersi in volo, secondo il principio di Archimede, il suo peso deve essere inferiore o uguale alla spinta aerostatica prodotta dal peso  $P_{va}$  del volume d'aria spostata, cioè  $P_w \geq Q + q$ , dove  $Q$  è il peso della struttura dell'aerostato e dell'eventuale carico trasportato e  $q$  il peso del gas contenuto nell'involucro.

Tenendo presente che il volume d'aria spostata è uguale al volume  $V$  dell'involucro e ricordando che  $P_{va} = \gamma V$  e  $q = \gamma_g V$ , dove  $\gamma$  e  $\gamma_g$  sono rispettivamente il peso specifico dell'aria e del gas, la relazione precedente può anche essere scritta nella forma  $\gamma V - \gamma_g V \geq Q$ . Pertanto, si definisce *portanza statica (static lift)* o *spinta aerostatica*  $S_a$  (fig. 2.2), il termine

$$S_a = V(\gamma - \gamma_g) \quad (2.1)$$

da cui si deduce che la sustentazione statica è possibile solo se l'involucro contiene un gas di peso specifico minore di quello dell'aria esterna ( $\gamma_g < \gamma$ ), quale l'idrogeno o l'elio.

L'idrogeno presenta la più bassa massa molecolare tra i gas esistenti, ma è infiammabile e ha un'elevata diffusività passando facilmente attraverso pareti semimpermeabili. L'elio, invece, è un gas inerte e con minore diffusività rispetto all'idrogeno; tuttavia, il suo unico inconveniente è il costo elevato dovuto alla scarsa produzione.

Oltre all'utilizzo di detti gas, vi è la possibilità dell'uso di un gas caldo: quando un gas viene riscaldato si dilata secondo la legge di Volta e, quindi, il suo peso specifico diminuisce. Ciò è stato fatto agli inizi dell'aerostatica e viene fatto ancora oggi utilizzando principalmente aria calda.



**Figura 2.2** – Forze agenti su un aerostato

Analizziamo adesso, trascurando gli approfondimenti fisico-matematici, il comportamento di un aerostato in ascensione, entro i limiti della troposfera, il cui involucro è stato riempito completamente di gas.

Durante la salita, si osserva che l'involucro assume sempre la stessa configurazione, cioè il suo volume rimane costante in quanto al diminuire della pressione esterna il gas fuoriesce da un'apposita valvola posta nell'involucro. L'uscita di una parte del gas è necessaria per mantenere la pressione interna dell'involucro allo stesso valore di quella esterna ed evitare così lacerazioni (ipotesi di omobarìa e di omotermia). In questo caso, la spinta aerostatica dipende solo dal peso specifico dell'aria  $e$ , pertanto, diminuisce all'aumentare della quota.

Quando si raggiunge la condizione di equilibrio tra peso e spinta, l'aerostato si trova alla cosiddetta *quota di tangenza*  $H_t$  o di *plafond*, che è la massima raggiungibile dal mezzo se non vincolato.

Per evitare che durante la salita l'aerostato subisca un'accelerazione ascensionale tale da raggiungere limiti non sopportabili per la struttura del mezzo, si imbarca a bordo una certa quantità di zavorra che può essere scaricata gradualmente al fine di far compiere al mezzo una lenta ascensione.

La zavorra è utilizzata anche per evitare le brusche accelerazioni discensionali dovute al ritorno dell'aerostato in condizioni normali, cioè dopo aver subito una maggior perdita di gas dalla valvola per il superamento della quota di tangenza dovuto a correnti ascensionali o all'involucro non in condizioni di omotermia per riscaldamento solare oppure semplicemente per proseguimento della salita per inerzia. La discesa voluta dal pilota è ottenuta, invece, con la fuoriuscita volontaria del gas dall'involucro attraverso un apposito pannello.

Da quanto detto, si comprende che in un aerostato, non munito di motori e superfici mobili di controllo della quota, il volo è possibile solo per effetto di una continua regolazione tra zavorra e quantità di gas utilizzato.

Se si fa decollare un aerostato con involucro completamente pieno di gas, si osserva che l'intensità della spinta diminuisce rapidamente con l'incremento della quota. Ciò è dovuto al fatto che il gas non può variare il suo peso specifico e la conseguenza è il raggiungimento di una bassa quota di tangenza.

Se si vogliono raggiungere quote più elevate e mantenere costante l'intensità della spinta aerostatica, occorre che al decollo l'involucro dell'aerostato sia riempito solo parzialmente o abbia una camera con diaframma mobile in modo tale che, durante la salita, il peso specifico del gas possa diminuire con la stessa legge con cui diminuisce quello dell'aria esterna. In questo modo, la salita del mezzo avverrà a quantità di gas costante e non, come si è analizzato sino ad ora, a volume costante.

Quando il gas avrà riempito tutto l'involucro e, quindi, non potrà più espandersi e diminuire il suo peso specifico, l'aerostato avrà raggiunto la cosiddetta *quota di pienezza*  $H_p$ . A questa quota, però, l'aerostato si trova ancora nella condizione in cui la spinta è maggiore del suo peso per cui è costretto a salire, a volume costante e con minor velocità, sino al raggiungimento della quota di tangenza (fig. 2.3).

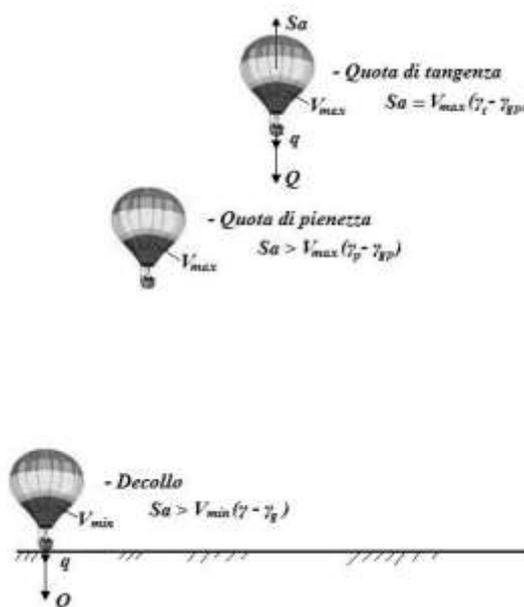


Figura 2.3 – Comportamento in volo dell'aerostato

Dopo aver esaminato in modo generale le caratteristiche funzionali degli aerostati, passiamo in rassegna ogni singolo gruppo elencato nella classificazione per meglio comprenderne la struttura.

### 2.3.1 Palloni liberi

Sono aerostati di forma sferica e non, privi di apparato motopropulsore e di governo e, pertanto, navigano trasportati dalle correnti aeree. Pur essendo i più antichi mezzi volanti, oggi sono costruiti con materiali innovativi di alto livello tecnologico e di grande affidabilità. La struttura, anche se presenta elementi comuni, è differente a seconda che si tratti di palloni ad aria calda, noti come mongolfiere, o di palloni a gas. In entrambi i casi, gli elementi che costituiscono il pallone sono l'involucro e la cesta o navicella.

L'*involucro (envelope)* è formato da spicchi di tessuto di nylon o poliestere cuciti insieme con nastri di carico verticali e orizzontali. Alla sommità dell'involucro i nastri verticali si congiungono in un "anello di coronamento" (fig. 2.4) avente, per il pallone ad aria calda, un'apertura che, dall'interno, è chiusa con un pannello di tessuto circolare di diametro maggiore tenuto e spinto in posizione di chiusura da nastri di velcro e dal gas di riempimento. Per sgonfiare il pallone e poter realizzare la manovra di discesa, è possibile aprire il suddetto pannello mediante un sistema di tiranti.



**Figura 2.4** – Involucro a spicchi e "anello di coronamento"

Alla base dell'involucro, i nastri verticali sono prolungati da cavi di acciaio che, a loro volta, sono fissati al carico utile e, per i palloni ad aria calda, al "quadro di carico" su cui è montato il bruciatore.

Per motivi di sicurezza, la trama del tessuto ha una struttura detta "*ripstop*" (fig. 2.4), cioè costituita da piccoli quadrati che impediscono ad un foro o ad uno

strappo di allargarsi ulteriormente. Inoltre, per ridurre la porosità e rendere il tessuto più resistente ai raggi del sole, l'involucro è trattato e ricoperto con poliuretano cui è aggiunto un inibitore ultravioletto.

Nei moderni palloni ad aria calda, la base dell'involucro è realizzata in norex, un materiale resistente al calore, mentre la restante parte è realizzata con hyperlast, stoffa a base di nylon trattata al silicone. I palloni liberi ad uso meteorologico hanno, invece, l'involucro costruito in lattice oppure in cloroprene.

Il *cesto* (*wicker basket*) per le mongolfiere o la *navicella* (*nacelle*) per i palloni a gas, è la parte inferiore del mezzo destinata al trasporto del pilota, dei passeggeri e della strumentazione di bordo ove prevista. Di varie forme e dimensioni, ancora oggi, come nei primi aerostati, viene utilizzato il vimini come materiale di costruzione per le sue doti di leggerezza, resistenza agli sbalzi di temperatura e capacità di assorbimento degli urti.

La struttura offre sicurezza e protezione all'equipaggio grazie ad un pavimento rinforzato da longheroni in legno e a tubi metallici imbottiti di gomma su cui sono agganciati i cavi d'acciaio dei nastri verticali oppure, per i palloni ad aria calda, sono connessi al "quadro di carico" sul quale, a sua volta, viene fissato il bruciatore. Esso ha lo scopo di riscaldare l'aria all'interno dell'involucro ed è generalmente doppio per motivi di sicurezza, nel caso avvenga un guasto in uno dei due o fosse necessario un riscaldamento rapido. È alimentato da gas propano liquido contenuto, sotto pressione, in appositi serbatoi di acciaio o di alluminio legati all'interno della cesta mediante cinghie e ricoperti da una imbottitura coibente che ha anche la funzione di proteggere gli arti dei passeggeri nei bruschi movimenti della cesta (fig. 2.5).



**Figura 2.5** – Cesta in vimini con "quadro di carico" e bruciatore

Aperto i rubinetti dei serbatoi il propano, tramite tubi flessibili, raggiunge una serpentina che ne permette il riscaldamento consentendo così la sua uscita allo stato gassoso da appositi ugelli, quindi mescolandosi all'aria viene incendiato da una fiamma pilota alimentata dagli stessi serbatoi e accesa da un piezo. Si ottiene così una fiamma che può raggiungere dai tre ai cinque metri di lunghezza e la cui intensità può essere regolata agendo sulle valvole del bruciatore.

I moderni palloni liberi sono forniti anche di una serie di attrezzature di bordo atte a rendere il volo più sicuro, quali l'estintore, il quick release ossia un gancio studiato per tenere il cesto a terra prima della partenza, la zavorra costituita da sacchetti pieni di sabbia, la fune di emergenza avente un estremo ancorato al cesto e l'altro libero per essere lanciato in caso di emergenza all'equipaggio a terra.

Dopo aver avuto molte applicazioni nel passato anche in campo militare, basti ricordare il bombardamento di Venezia del 1849 nella prima guerra di indipendenza, oggi i palloni liberi sono usati per lo più per missioni scientifiche di tipo meteorologico. L'utilizzo in meteorologia permette, come palloni pilota, di misurare velocità e direzione del vento, come palloni sonda e radiosonda, di portare in quota strumenti scientifici per raccogliere e inviare le misurazioni di pressione, umidità, temperatura e inquinamento dell'aria (fig. 2.6a). La mongolfiera, invece, ha un impiego esclusivamente sportivo e conta numerosi appassionati in possesso dell'apposito brevetto di pilotaggio (fig. 2.6b).



**Figura 2.6** – a) Pallone sonda; b) mongolfiera

### 2.3.2 Palloni frenati

Noti anche come *draken ballons*, termine tedesco che ha il duplice significato di palloni drago o aquilone, sono costruttivamente simili ai palloni liberi e si distinguono da questi solo per il fatto di essere vincolati al suolo mediante uno o più cavi. Essendo vincolati hanno notevoli problemi di controllo della quota per cui, talvolta, sono dotati di superfici in grado di generare forze di sustentazione; dette superfici sono generalmente formate da sacche piene d'aria o di gas disposte come impennaggi.



**Figura 2.7** – Aerophare posta nel centro commerciale O'Parinor in Aulnay sous Bois (Francia)

In passato hanno avuto un impiego prevalentemente militare come palloni da osservazione, portando ad una certa quota un osservatore, e come palloni da sbarramento antiaereo. Oggi l'uso è per scopi pubblicitari e in ambito ludico consentendo alla gente di provare in sicurezza le sensazioni di un volo aerostatico (fig. 2.7). Pertanto, anche se elencati nella classificazione, non sono più ritenuti mezzi di trasporto aereo.

### 2.3.3 Dirigibili

Sono aerostati di forma non sferica muniti di sistemi di guida e apparato motopropulsore che consentono di controllarne il volo e, quindi, la traiettoria in seno all'atmosfera.

Noti anche con la denominazione di aeronavi per la notevole dimensione della maggior parte di essi, i dirigibili hanno subito notevoli interventi costruttivi nel tempo tali da renderli oggi ancora più leggeri e sicuri rispetto ai loro antenati.

L'incremento tecnologico, infatti, ha interessato l'intera struttura delle moderne aeronavi, i cui elementi essenziali rimangono ancora l'involucro e una o più gondole, oltre all'apparato propulsore e ai sistemi di guida (fig. 2.8).



**Figura 2.8** – Dirigibile

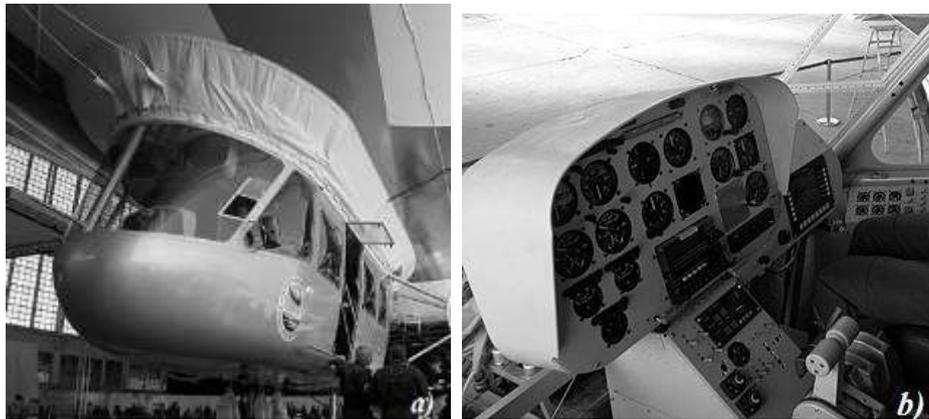
L'*involucro* (*envelope*), fusiforme con sagoma ellissoidale per favorire la penetrazione nell'aria e ridurre la resistenza in volo, è la struttura primaria suddivisa, al suo interno, in camere o compartimenti stagni, conosciuti anche come "celle" o *ballonets*, contenenti il gas, l'elio nei dirigibili più recenti, che assicura la sostentazione. Tali camere servono a regolare la pressione interna dell'involucro e a mantenere l'assetto del mezzo: mediante apposite valvole viene regolata sia la pressione delle camere a gas, disposte generalmente sulla parte dorsale dell'involucro, sia la quantità di aria delle camere di compensazione, collocate a poppa e a prua, in modo da variare la densità complessiva dell'involucro e favorire o meno la spinta aerostatica durante il volo.

Naturalmente le valvole sono manovrate dal pilota non solo per consentire al mezzo di eseguire la salita o la discesa, ma anche per mantenere l'involucro in sovrappressione equilibrando le eventuali variazioni di volume del gas causati dai cambiamenti di temperatura e di pressione con la quota. Senza sovrappressione sufficiente, il dirigibile perderebbe la sua capacità di essere guidato e la velocità massima diminuirebbe drasticamente. Per salire rapidamente di quota, il pilota può utilizzare anche dei dispositivi che sganciano zavorra costituita, come per i palloni liberi, da sacchetti di sabbia.

Le principali caratteristiche dell'involucro sono la leggerezza e la resistenza alle sollecitazioni meccaniche e all'azione dei raggi ultravioletti; pertanto, i materiali più usati sono stati in passato i tessuti gommati, mentre oggi si ricorre a più strati di materiali sintetici come dacron, poliestere, mylar e tedlar legati con hytrel. I vantaggi dei nuovi materiali non si limitano solo al minor peso, ma

comprendono maggiore durata, bassa permeabilità del gas e minore necessità di manutenzione.

La *gondola (nacelle)*, nota anche come navicella, è l'abitacolo appeso o applicato al ventre del dirigibile con dei cavi attaccati alle fasce interne e ai lati esterni dell'involucro (fig. 2.9a). Contiene la cabina di pilotaggio, i compartimenti motori e i locali per l'equipaggio, i passeggeri e il carico. In alcuni dirigibili, oltre alla gondola principale così descritta, ve ne sono altre più piccole destinate a contenere esclusivamente gli apparati propulsori e, pertanto, denominate “gondole motori”. Le odierne cabine di pilotaggio (fig. 2.9b) sono dotate di moderne apparecchiature per la navigazione, apparati di comunicazione, comandi dei sistemi di guida e pannelli di controllo motori e della pressione dell'involucro.



**Fig. 2.9** – a) Gondola applicata al ventre del dirigibile; b) cabina di pilotaggio

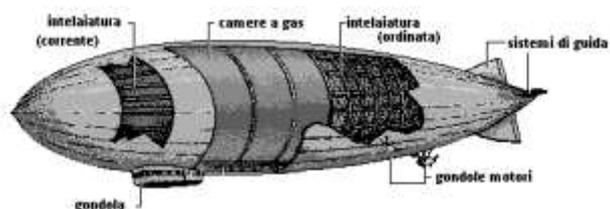
L'*apparato motopropulsore (propulsion system)* è costituito da uno o più motori ad elica che facilitano il decollo, l'atterraggio e lo stazionamento in aria. Nei moderni dirigibili le eliche sono basculabili a passo variabile e reversibile per assicurare una maggiore manovrabilità del mezzo e facilitare, in particolare, la manovra a terra riducendo il fabbisogno di personale di supporto.

I *sistemi di guida (control systems)*, noti anche come impennaggi, sono superfici alari poste a poppa che permettono il governo del mezzo producendo forze aerodinamiche apprezzabili. Ciascun piano alare è suddiviso in una parte fissa, stabilizzante, e una mobile, di governo, cui compete solo una piccola frazione della superficie totale. La forma più comune è quella cruciforme, a X o a Y diritto o rovescio.

I sistemi di guida e l'apparato propulsore ad eliche orientabili assicurano la stabilità dinamica e direzionalità del mezzo.

Nella classificazione degli aerostati i dirigibili sono stati distinti in rigido, semirigido e floscio; ciò dipende dal tipo di struttura interna all'involucro, tutte realizzate con materiali leggeri quali leghe di alluminio, titanio e nei modelli più recenti fibre di carbonio.

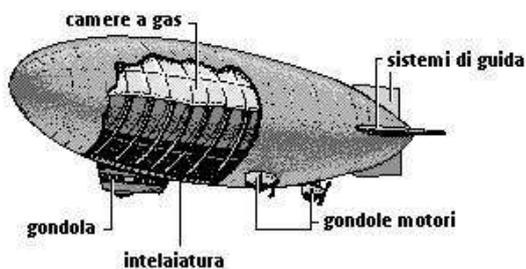
I *dirigibili rigidi* hanno una stabilità di forma assicurata da un'intelaiatura completa, da prua a poppa, su cui è teso l'involucro. L'intelaiatura è una gabbia di tralicci composta da irrigidimenti longitudinali (correnti) e trasversali (ordinate). All'interno di tale struttura sono distribuite le numerose celle e al traliccio che corre lungo il ventre del dirigibile, noto come trave di chiglia, sono collegate le gondole, tra cui quelle contenenti i motori, e i sistemi di guida (fig. 2.10).



**Figura 2.10** – Struttura del dirigibile rigido

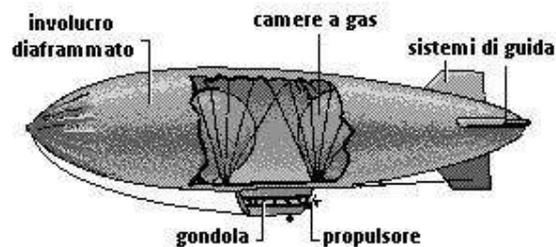
Rispetto agli altri tipi, la struttura rigida consente di raggiungere le massime dimensioni (sino a 200.000 m<sup>3</sup> di volume e 250 m di lunghezza dell'involucro) e velocità (sino a 140 km/h), oltre a rendere possibile una migliore distribuzione dei carichi e una più idonea posizione degli organi motopropulsori.

I *dirigibili semirigidi* hanno un involucro che in parte è mantenuto teso dalla pressione del gas contenuto nei vari scomparti e in parte dalla trave di chiglia alla quale si collegano le gondole, le "gondole motori" e un irrigidimento ad ombrello che a prua serve per controbilanciare l'effetto della resistenza aerodinamica durante il moto, e a poppa per agevolare l'attacco dei sistemi di guida (fig. 2.11).



**Figura 2.11** – Struttura del dirigibile semirigido

I *dirigibili flosci*, noti anche come “non rigidi” o “blimp”, sono privi di qualunque tipo di intelaiatura e la forma dell’involucro è assicurata da una modesta sovrappressione interna ottenuta in parte con le celle contenente il gas, e in parte con le camere di compensazione in cui l’aria è mantenuta a pressione leggermente superiore di quella esterna. Con lo stesso scopo esplicitato per i dirigibili semirigidi, l’involucro presenta un irrigidimento ad ombrello a prua e a poppa ed è diaframmato in un certo numero di camere al fine di rendere meno gravi le conseguenze dovute ad un’eventuale lacerazione. In questo tipo di dirigibile la gondola principale deve supportare anche gli apparati propulsori (fig. 2.12).



**Figura 2.12** – Struttura del dirigibile floscio

Per più di mezzo secolo i dirigibili sono stati utilizzati per il servizio commerciale e solo in seguito ad alcuni gravi incidenti avvenuti verso il 1930 è cessato il loro impiego per il trasporto di passeggeri e merci, mentre oggi in grande sviluppo è l’uso in campo pubblicitario, turistico e nel settore delle telecomunicazioni mediante la ripresa da un punto fermo di eventi e manifestazioni sportive, o per il controllo del territorio in caso di catastrofi, inondazioni e calamità naturali.

Negli Stati Uniti sono stati impiegati anche grandi dirigibili, del tipo floscio di circa  $41.000 \text{ m}^3$ , contenenti antenne radar per la localizzazione di aerei o navigli a grandi distanze. Inoltre, potendo il dirigibile sostenere grandi carichi e avendo un basso costo d’esercizio, in questi ultimi tempi alcuni imprenditori hanno ripreso in considerazione il loro impiego per il trasporto commerciale in ambito regionale di container.