Cartografia aeronautica

Per la realizzazione delle carte aeronautiche è utile assegnare alla Terra la forma sferica. L'ideale, per ridurre al minimo le deformazioni, è rappresentare la sfera terrestre con una sfera di dimensioni più piccole ottenendo una rappresentazione fedele sebbene di proporzioni ridotte.

In questo modo le direzioni e le coordinate geografiche dei punti restano inalterate anche se le distanze subiscono una riduzione secondo un fattore costante dato dal rapporto tra il raggio della sfera terrestre rappresentativa r ed il raggio della sfera terrestre reale R. Tale rapporto prende il nome di scala del globo σ_g che si preferisce indicare come rapporto tra l'unità e un numero intero. $\sigma_g = \frac{ds}{dS} = \frac{r}{R} = \frac{1}{\frac{R}{r}}$.

Resta però il problema di rappresentare una porzione della superficie terrestre su un piano o su una superficie sviluppabile in un piano (ad es. il cono e il cilindro). Infatti non si può ottenere su una superficie piana una rappresentazione fedele della Terra perché, essendo sferica, non potrà mai essere rappresentata senza subire deformazioni. Tuttavia si cerca di conservare almeno alcune proprietà quali:

- una corretta rappresentazione delle distanze (proiezione equidistante);
- una corretta rappresentazione degli angoli e quindi delle forme (proiezione isogona o conforme);
- una corretta rappresentazione delle aree (proiezione equivalente o autalica).

Ovviamente è impossibile realizzare una carta che presenti più di un requisito anche se però se ne può ottenere una che, pur non soddisfacendo alcun requisito, mantiene le proprie deformazioni entro limiti accettabili (proiezione afilattica). In generale si definisce scala di una carta (σ) il rapporto tra un elemento di distanza sulla carta (ds') e quello corrispondente sulla superficie terrestre (dS). $\sigma = \frac{ds'}{dS} = \frac{n}{\frac{R}{r}}$ con $n = \frac{ds'}{ds}$

cioè il rapporto tra l'elemento di distanza sulla carta ds' e il corrispondente elemento del globo geografico ds e che prende il nome di modulo di riduzione o di deformazione lineare (n). n è uguale a 1 quando l'elemento di distanza ds non subisce alcuna deformazione.

Per quanto concerne il campo aeronautico a una carta si richiede di rispettare alcuni requisiti fondamentali quali:

- i paralleli e i meridiani devono essere rappresentati da curve semplici in modo che sia possibile ricavare rapidamente le coordinate di un punto della carta o, note le coordinate, rappresentare un punto sulla carta;
- le principali traiettorie di navigazione (ortodromia e lossodromia) devono essere rettificate;
- gli angoli e le distanze si devono poter misurare con facilità e precisione.

Le differenti carte di interesse aeronautico possono essere classificate, in funzione della superficie su cui viene rappresentata la carta e alla posizione della stessa rispetto alla sfera rappresentativa terrestre, come segue:

1) **proiezioni prospettiche piane**: i punti della sfera vengono proiettati da un punto di vista direttamente su un piano (quadro) tangente alla sfera. In questo tipo di proiezioni il modulo di riduzione lineare è uguale a 1 soltanto nel punto di tangenza che è l'unico punto in comune tra il piano e la sfera rappresentativa mentre in tutti gli altri punti è maggiore di 1. Quindi al fine di evitare deformazioni eccessive la zona da rappresentare deve essere nelle immediate vicinanze del punto di contatto. Esse si suddividono in funzione del punto di vista in:

- **proiezioni ortografiche** quando il punto di vista (PV) è all'infinito;
- **proiezioni scenografiche** quando il PV è a una distanza finita dalla superficie terrestre;
- **proiezioni stereografiche** quando il PV è posto esattamente sul lato opposto al punto di tangenza del piano;
- **proiezioni gnomoniche o centrali** quando il PV coincide con il centro della sfera rappresentativa.

Se invece si considera la posizione del piano tangente le proiezioni si distinguono in:

- **polari** quando il piano è tangente a uno dei poli;
- **equatoriali o meridiane** quando il piano è tangente in un punto posto sull'equatore;
- **orizzontali o oblique** quando il piano è tangente in un punto qualsiasi (diverso da quelli precedenti).

2) **Proiezioni cilindriche:** i punti della sfera rappresentativa terrestre vengono proiettati dal centro di essa su un cilindro tangente alla sfera. Il modulo di riduzione è 1 lungo la circonferenza comune tra la sfera e il cilindro mentre è maggiore di 1 in tutti gli altri punti. Se invece si scegli un cilindro secante (il suo raggio è più piccolo di quello della sfera terrestre) il modulo di riduzione è 1 lungo le due circonferenze di contatto mentre è minore di uno nella zona compresa tra le due circonferenze e maggiore di 1 all'esterno di esse, con il vantaggio di distribuire meglio le deformazioni sulla carta. Si distinguono in:
   - **dirette** quando l'asse del cilindro coincide con l'asse di rotazione terrestre;
   - **inverse o trasverse** quando l'asse del cilindro giace nel piano equatoriale;
   - **oblique** quando l'asse del cilindro ha una giacitura qualsiasi.

3) **Proiezioni coniche:** i punti della sfera terrestre rappresentativa vengono proiettati su un cono tangente alla sfera lungo una circonferenza minore. Il modulo di riduzione è 1 lungo la circonferenza comune tra la sfera e il cilindro mentre è maggiore di 1 in tutti gli altri punti. Se invece si scegli un cilindro secante (il suo raggio è più piccolo di quello della sfera terrestre) il modulo di riduzione è 1 lungo le due circonferenze di contatto mentre è minore di uno nella zona compresa tra le due circonferenze e maggiore di 1 all'esterno di esse, con il vantaggio di distribuire meglio le deformazioni sulla carta. Si distinguono in:
   - **dirette** quando l'asse del cilindro coincide con l'asse di rotazione terrestre;
   - **inverse o trasverse** quando l'asse del cilindro giace nel piano equatoriale;
   - **oblique** quando l'asse del cilindro ha una giacitura qualsiasi.

Proiezione cilindrica diretta tangente: il punto di proiezione è al centro della sfera e l'asse del cilindro coincide con l'asse di rotazione terrestre. Il modulo di deformazione lineare (n) è 1 lungo tutto l'equatore. Inoltre i paralleli sono delle rette aventi la stessa lunghezza dell'equatore e quindi subiscono una deformazione sempre più grande quanto più elevata è la latitudine. I poli geografici non possono essere rappresentati e i meridiani sono delle rette ortogonali ai paralleli e sono tutti ugualmente distanziati tra loro. Infine la distanza tra i paralleli e l'equatore cresce in funzione della tangente della latitudine. Quindi riferendoci a un sistema di assi cartesiani si ottengono le seguenti relazioni che le legano a quelle geografiche:

$$\left.\begin{aligned} x &= r \cdot \lambda = \lambda \\ y &= r \cdot \tan\varphi = \tan\varphi \end{aligned}\right\} r = 1$$

Quindi tale proiezione non è isogona in quanto si hanno due moduli di riduzione lineare uno per i meridiani $n_m = \sec^2\varphi$ e uno per i paralleli $n_p = \sec\varphi$

Carta di Mercatore: realizzata nel 1569 dal geografo fiammingo Kremer (noto come Mercatore) è una particolare rappresentazione della carta cilindrica diretta tangente in cui i meridiani si raffigurano nello stesso modo mentre i paralleli vengono disegnati in modo da rendere la carta isogona e cioè imponendo che $n_m = n_p = \sec\varphi$. In pratica, affinché la carta sia isogona, gli archi di meridiano devono essere ampliati della stessa quantità dei paralleli. Quindi si ha:

$$\left.\begin{aligned} & x = r \cdot \lambda = \lambda \\ & y = r \cdot \varphi_c = \varphi_c = 7915,7 \log \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \end{aligned}\right\} r = 1$$

In questa particolare carta vi sono due scale una costante per le longitudini e una variabile utilizzata per la misura delle latitudini e delle distanze. In generale l'ortodromia si rappresenta con una curva che volge la concavità verso l'equatore mentre la lossodromia con una retta. Infine, visto che le deformazioni non sono eccessive in prossimità dell'equatore, tale carta è utilizzata per latitudini comprese tra 15°N e 15°S in cui le variazioni sono inferiori al 3,5% e le ortodromie vengono rettificate.

Se si vuole ottenere una carta con minori deformazioni lineari nel tratto interessato basta considerare il cilindro non più tangente all'equatore ma secante lungo due paralleli (con lo stesso valore di latitudine uno N e uno S) simmetrici rispetto all'equatore. Le relazioni di corrispondenza sono uguali a quelle della carta tangente moltiplicate per il cos φ (latitudine dei paralleli secanti). Ma tale carta è di scarsa utilità in quanto presenta le stesse deformazioni di quella classica.

Per disegnare una carta di Mercatore per prima cosa si traccia il parallelo inferiore che si assume come riferimento poi, dopo aver fissato la scala delle longitudini (un primo a quanti mm corrisponde), si tracciano i meridiani. Per tracciare i paralleli bisogna calcolare le differenze di latitudini crescenti tra il parallelo di riferimento e tutti gli altri paralleli che si vogliono rappresentare. Quindi i risultati ottenuti si moltiplicano per il valore imposto alla scala delle longitudini ottenendo così la distanza tra il parallelo di riferimento e quello cercato. Nelle carte in cui è rappresentato l'equatore questo viene scelto come parallelo di riferimento.