FORMULARIO

NAVIGAZIONE LOSSODROMICA

Primo problema

Date le coordinate φ, λ del punto di partenza, la *TC* (*True Course*) e la distanza percorsa *m* (espressa in NM), determinare le coordinate φ', λ' del punto di arrivo.

La *TC* si trasforma nella rotta quadrantale *R* (minore di 90°); per esempio, a $TC = 290°$ corrisponde la rotta $R = \mathrm{N}\,70°\,\mathrm{W}$.

$$\Delta\varphi = m\cos R; \quad \varphi' = \varphi + \Delta\varphi$$
$$\varphi'_c = 7915.7\log_{10}\tan\left(45° + \frac{\varphi'}{2}\right); \; \varphi_c = 7915.7\log_{10}\tan\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)$$
$$\Delta\varphi_c = \varphi'_c - \varphi_c$$
$$\Delta\lambda = \Delta\varphi_c \tan R; \quad \lambda' = \lambda + \Delta\lambda$$

φ e φ' prendono il segno (+) se nord, il segno (–) se sud.
$\Delta\varphi$ prende il primo segno della rotta quadrantale, $\Delta\lambda$ prende il secondo segno della rotta quadrantale.

Metodo approssimato; per *m* < 375 NM e $\varphi < 60°$

$$\Delta\varphi = m\cos R; \quad \varphi' = \varphi + \Delta\varphi; \quad \varphi_m = \frac{\varphi + \varphi'}{2}$$
$$\Delta\lambda = \frac{m\sin R}{\cos\varphi_m}; \quad \lambda' = \lambda + \Delta\lambda$$

Secondo problema

Date le coordinate φ, λ del punto di partenza e quelle φ', λ' del punto di destinazione, calcolare la *TC* e la distanza *m*.

$$\varphi'_c = 7915.7\log_{10}\tan\left(45° + \frac{\varphi'}{2}\right); \quad \varphi_c = 7915.7\log_{10}\tan\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)$$
$$\Delta\varphi_c = \varphi'_c - \varphi_c; \quad \Delta\lambda = \lambda' - \lambda$$
$$\tan R = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\varphi_c}; \quad m = \frac{\Delta\varphi}{\cos R}$$

La rotta R è sempre minore di 90°; prende come primo segno quello di $\Delta\varphi$ e come secondo segno quello di $\Delta\lambda$. Dalla rotta quadrantale si ricava la *TC*.

Nel caso in cui la rotta R sia prossima a 90°, la distanza m si ricava attraverso la relazione:

$$m = \frac{\Delta\lambda \cos\varphi_m}{\sin R}$$

Per brevi distanze la rotta si può anche ricavare dalla relazione:

$$\tan R = \frac{\Delta\lambda \cos\varphi_m}{\Delta\varphi}$$

NAVIGAZIONE ORTODROMICA

Calcolo della distanza ortodromica d_0 tra due punti

Siano φ e λ le coordinate del punto di partenza, φ' e λ' quelle del punto di destinazione. La distanza, in gradi, è ottenuta dalla relazione:

$$\cos d_0 = \sin\varphi \sin\varphi' + \cos\varphi \cos\varphi' \cos\Delta\lambda$$

dove: $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$. La latitudine di partenza φ si considera sempre positiva, φ' è, invece, positiva se dello stesso segno di φ, negativa se è di segno opposto.

Calcolo della rotta iniziale R_i tra due punti

Siano φ e λ le coordinate del punto di partenza, φ' e λ' quelle del punto di destinazione. La rotta iniziale è ottenuta dalla relazione:

$$\tan R_i = \frac{\sin\Delta\lambda}{\tan\varphi' \cos\varphi - \sin\varphi \cos\Delta\lambda}$$

R_i è minore di 90° se $\tan R_i$ è positiva, maggiore di 90° se negativa.

Si conta da N o da S, a seconda del segno della latitudine di partenza, verso E o verso W, a seconda del segno di $\Delta\lambda$.

Calcolo delle coordinate del vertice

Siano φ e λ le coordinate del punto di partenza e R_i la rotta iniziale; si ha:

$$\cos\varphi_v = \cos\varphi \sin R_i$$
$$\cot\Delta\lambda_v = \sin\varphi \tan R_i$$
$$\lambda_v = \lambda + \Delta\lambda_v$$

$\Delta\lambda_v$ è sempre minore di 90°, dello stesso segno di $\Delta\lambda$ se $R_i < 90°$, di segno opposto se $R_i > 90°$.

Calcolo delle coordinate del punto dopo un'assegnata distanza *d*$_0$

Siano φ e λ le coordinate del punto di partenza, R_i la rotta iniziale e d_0 la distanza ortodromica (in gradi); si ha:

$$\sin\varphi_x = \sin\varphi\cos d_0 + \cos\varphi\sin d_0\cos R_i$$

$$\cot\Delta\lambda_x = \frac{\cos\varphi}{\sin R_i\tan d_0} - \frac{\sin\varphi}{\tan R_i}$$

$$\lambda_x = \lambda + \Delta\lambda_x$$

$\Delta\lambda_x$ prende lo stesso segno di $\Delta\lambda$; è però minore di 90° se $\cot\Delta\lambda_x$ è positiva, maggiore di 90° se negativa.

Intersezione con un meridiano

Se sono note le coordinate del vertice, la latitudine del punto X di intersezione con il meridiano di longitudine λ_x si può anche ricavare dalla relazione:

$$\tan\varphi_x = \tan\varphi_v\cos\Delta\lambda_{xv}$$

dove:

$$\Delta\lambda_{xv} = \lambda_v - \lambda_x$$

Intersezione con un parallelo

L'ortodromia è intersecata da un parallelo di latitudine φ_x in due punti, simmetrici rispetto al vertice, sempre che sia $\varphi_x < \varphi_v$. La longitudine si ricava dalla relazione:

$$\cos\Delta\lambda_{xv} = \tan\varphi_x\cot\varphi_v$$

Le longitudini dei punti di intersezione si ricavano dalla relazione:

$$\lambda_x = \lambda_v \pm \Delta\lambda_{xv}$$

CARTOGRAFIA (TERRA SFERICA)

Carta di Mercatore

Relazioni di corrispondenza (in coordinate cartesiane)

$$x = \lambda$$
$$y = 7915.7 \log_{10} \tan\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)$$

L’unità di misura è il primo di equatore; ad esso viene fatta corrispondere una misura lineare (per esempio 1' = 0.2 mm).

Modulo di riduzione lineare

$$n = \sec\varphi$$

Carta di Lambert

Siano φ_1 e φ_2 $(\varphi_1 < \varphi_2)$ le latitudini dei paralleli secanti.

Relazioni di corrispondenza (in coordinate polari)

$$\omega = k\lambda$$
$$\rho = \rho'_e \left[\tan\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)\right]^k$$

dove *k* è la costante di convergenza ed è uguale a:

$$k = \frac{\log\cos\varphi_1 - \log\cos\varphi_2}{\log\tan\left(45° - \frac{\varphi_1}{2}\right) - \log\tan\left(45° - \frac{\varphi_2}{2}\right)}$$

Il logaritmo può essere indifferentemente decimale o neperiano; ρ'_e rappresenta il raggio equatoriale uguale a:

$$\rho'_e = \frac{\cos\varphi_1}{k\left[\tan\left(45° - \frac{\varphi_1}{2}\right)\right]^k} = \frac{\cos\varphi_2}{k\left[\tan\left(45° - \frac{\varphi_2}{2}\right)\right]^k}$$

espresso in unità di raggio terrestre; ad esso viene assegnato un valore in mm.

Modulo di riduzione lineare

$$n = k\rho'_e \frac{\left[\tan\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)\right]^k}{\cos\varphi}$$

Carta stereografica polare

Relazioni di corrispondenza (in coordinate polari)

$$\omega = \lambda$$
$$\rho = 2\tan\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$$

ρ è espresso in unità di raggio terrestre al quale viene assegnato un valore in mm.

Modulo di riduzione lineare

$$n = \sec^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$$

PROBLEMI DEL VENTO

PROBLEMA N. 1 – Dati la rotta vera (*TC*), la velocità all'aria (*TAS*), gli elementi del vento (*WD* e *WV*), ricavare la velocità al suolo (*GS*), l'angolo di correzione di deriva (*WCA*) e la prora vera (*TH*).

$$\alpha = TC - (WD - 180°)$$
$$\sin WCA = \frac{WV}{TAS}\sin\alpha$$
$$GS = \frac{\sin(\alpha + WCA)}{\sin\alpha}TAS\,; \quad TH = TC + WCA$$

Noti α e *WV*, è possibile ricavare:

- la componente longitudinale del vento (*LC*), nota con il termine *tailwind component*, se positiva, e *headwind component* se negativa;
- la componente trasversale del vento (*XC*), nota con il termine *right cross-wind*, se positiva, e *left crosswind* se negativa.

$$LC = WV\cos\alpha \quad XC = WV\sin\alpha$$

PROBLEMA N. 2 – Dati la prora vera (*TH*), la velocità all'aria (*TAS*) e gli elementi del vento (*WD* e *WV*), determinare la rotta vera (*TC*) e la velocità al suolo (*GS*).

$$GS_1 = TAS\sin TH - WV\sin WD$$
$$GS_2 = TAS\cos TH - WV\cos WD$$
$$GS = \sqrt{GS_1^{\,2} + GS_2^{\,2}}$$

$$\tan TC = \frac{GS_1}{GS_2}$$

La TC ricavata con la precedente relazione è minore di 90° (rotta quadrantale) e prende come primo segno N o S a seconda del segno (+) *o* (–) *di* GS_2 *e come secondo segno E o W a seconda del segno* (+) *o* (–) *di* GS_1*. La regola è valida anche per i problemi successivi.*

PROBLEMA N. 3 – Dati la prora vera dell'aeromobile (*TH*) e la velocità all'aria (*TAS*), la rotta vera (*TC*) e la velocità al suolo (*GS*), determinare gli elementi del vento (*WD* e *WV*).

$$WV_1 = TAS \sin TH - GS \sin TC$$
$$WV_2 = TAS \cos TH - GS \cos TC$$
$$WV = \sqrt{WV_1^{\,2} + WV_2^{\,2}}$$
$$\tan WD = \frac{WV_1}{WV_2}$$

PROBLEMA N. 4 – Dati gli elementi del vento (*WD* e *WV*), la rotta vera (*TC*) e la velocità al suolo (*GS*), determinare la prora vera (*TH*) e la velocità all'aria (*TAS*).

$$TAS_1 = GS \sin TC + WV \sin WD$$
$$TAS_2 = GS \cos TC + WV \cos WD$$
$$TAS = \sqrt{TAS_1^{\,2} + TAS_2^{\,2}}$$
$$\tan TH = \frac{TAS_1}{TAS_2}$$

INTERCETTAZIONE DI UN AEROMOBILE

In presenza di vento (*WV/WD*), un aeromobile *A*, di cui è nota la velocità all'aria (*TAS*), deve intercettare un aeromobile *B*, posto su un dato rilevamento (*RIL*) e ad una data distanza (*DIST*), in volo con rotta vera (*TC*) e velocità al suolo (*GS*).

Calcolare la prora vera (*TH*) che l'aeromobile *A* deve assumere e dopo quanto tempo avviene l'intercettazione (in assenza di vento basta porre $WV = 0$).

Si ipotizza l'aeromobile *B* fermo e si calcola il *vento apparente*, risultante tra il vento effettivo e la velocità di *B* cambiata di segno.

$$WV_1 = GS \sin TC + WV \sin WD$$
$$WV_2 = GS \cos TC + WV \cos WD$$
$$WV_{app} = \sqrt{WV_1^2 + WV_2^2}$$
$$\tan WD_{app} = \frac{WV_1}{WV_2}$$

A questo punto si calcola la prora vera che l'aeromobile deve assumere per intercettare l'aeromobile *B* lungo la congiungente *A*-*B* e la velocità relativa risolvendo un normale problema del vento.

$$\alpha = RIL + 180° - WD_{app}$$
$$\sin WCA = \frac{WV_{app}}{TAS} \sin \alpha$$
$$GS_{rel} = \frac{\sin(\alpha + WCA)}{\sin \alpha} TAS$$

Si ha, infine, che: $TH = RIL + WCA$ $\quad tempo = DIST / GS_{rel}$

CALCOLO DEL RAGGIO D'AZIONE

In presenza di un vento noto (*WV/WD*), un aeromobile deve compiere un volo di ricognizione (con note *TAS* e rotta vera TC_1) partendo da una base mobile (per esempio da una portaerei in movimento con rotta *r* e velocità *v*) e deve farvi ritorno dopo un intervallo di tempo *T* (per esempio pari all'autonomia).

Si vuole calcolare la massima distanza alla quale l'aereo si può allontanare (raggio d'azione *R*) e le prore di andata e di ritorno.

1) *Moto reale di allontanamento*

Risolvendo il problema del vento (problema n. 1), noti *TAS*, TC_1, *WV* e *WD*, si ricavano GS_1 e TH_1.

$$\alpha = TC_1 - (WD - 180°)$$
$$\sin WCA = \frac{WV}{TAS} \sin \alpha$$
$$GS_1 = \frac{\sin(\alpha + WCA)}{\sin \alpha} TAS$$
$$TH_1 = TC_1 + WCA$$

2) *Moto relativo di allontanamento*

Noti gli elementi del moto reale dell'aeromobile (TC_1 e GS_1) e quelli della base mobile (r e v), si calcolano gli elementi del moto relativo:

$$
\begin{aligned}
GS_{rel.out1} &= GS_1 \sin TC_1 - v \sin r \\
GS_{rel.out2} &= GS_1 \cos TC_1 - v \cos r \\
GS_{rel.out} &= \sqrt{GS^2_{rel.out1} + GS^2_{rel.out2}} \\
\tan TC_{rel.out} &= \frac{GS_{rel.out1}}{GS_{rel.out2}}
\end{aligned}
$$

3) *Calcolo del vento apparente*

$$
\begin{aligned}
WV_{app1} &= WV \sin WD + v \sin r \\
WV_{app2} &= WV \cos WD + v \cos r \\
WV_{app} &= \sqrt{WV^2_{app1} + WV^2_{app2}} \\
\tan WD_{app} &= \frac{WV_{app1}}{WV_{app2}}
\end{aligned}
$$

4) *Moto relativo di avvicinamento*

Si calcola: $TC_{rel.home} = TC_{rel.out} \pm 180°$

Risolvendo il problema del vento, noti TAS, $TC_{rel.home}$, WV_{app} e WD_{app}, si ricava-no $GS_{rel.home}$ e TH_2.

$$
\begin{aligned}
\alpha &= TC_{rel.home} - (WD_{app} - 180°) \\
\sin WCA &= \frac{WV_{app}}{TAS} \sin \alpha \\
GS_{rel.home} &= \frac{\sin(\alpha + WCA)}{\sin \alpha} TAS \; ; \\
TH_2 &= TC_{rel.home} + WCA
\end{aligned}
$$

5) *Calcolo del raggio d'azione*

$$
t_1 = T \frac{GS_{rel.home}}{GS_{rel.home} + GS_{rel.out}}
$$

$$R = GS_1 \times t_1$$

6) *Moto reale di avvicinamento*

$$GS_{21} = TAS \sin TH_2 - WV \sin WD$$
$$GS_{22} = TAS \cos TH_2 - WV \cos WD$$
$$GS_2 = \sqrt{GS_{21}^2 + GS_{22}^2}$$
$$\tan TC_2 = \frac{GS_{21}}{GS_{22}}$$
$$t_2 = T - t_1 ; \quad m_2 = GS_2\, t_2$$

La distanza m_2 rappresenta il cammino da percorrere per ritornare alla base mobile.

Se la base di partenza è fissa, si ponga nel formulario $v = 0$; in assenza di vento si ponga $WV = 0$.