Appendice B

USO DEL REGOLO JEPPESEN

B.1 Calcoli eseguiti mediante l’uso del regolo Jeppesen

Il regolo *Jeppesen* è un regolo logaritmico a doppia faccia di cui la prima, faccia **A**, è costituita da un disco fisso di materiale plastico di colore bianco con scale circolari concentriche; ad esso è sovrapposto un disco grigio, mobile, munito di diverse finestrelle e con scale concentriche da utilizzare congiuntamente alle prime (fig. B.1).

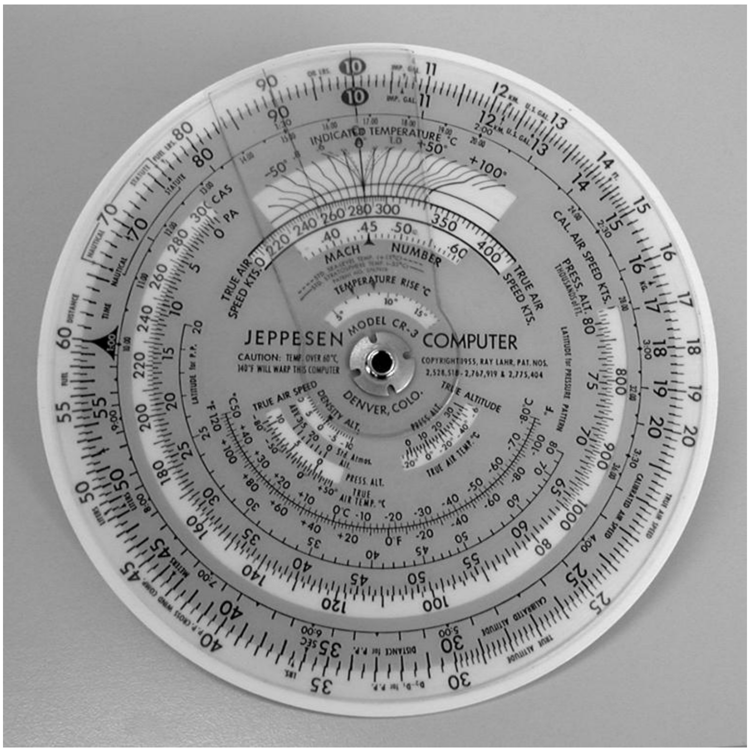

Figura B.1 – Il regolo Jeppesen

Un cursore trasparente munito di una linea verde facilita le operazioni di collimazione; esso reca, inoltre, una famiglia di curve contraddistinte da valori compresi tra 0.6 e 1.0 (o tra 0.8 e 1.0 in modelli più recenti).

Alla periferia del regolo sono incise due scale logaritmiche, una sul disco fisso (scala esterna), l'altra sul disco mobile (scala interna), tra loro collimabili, utili per la soluzione di semplici problemi di conversione di misure o per il calcolo dei consumi; per l'uso di tali scale si rimanda al manuale di istruzione del regolo.

Per utilizzare questo strumento è necessario ed importante conoscere l'ordine di grandezza che ci aspettiamo dalle misure che stiamo effettuando per non rischiare di commettere grossolani errori.

Infatti, per la tipologia di scala (logaritmica) utilizzata, un numero, per esempio 20, può significare anche 0,2 o 200, o ancora 2000, ecc. È importante, quindi, non affidarsi alla sola lettura dei valori indicati ma ragionare sul risultato che grosso modo ci aspettiamo dall' operazione che stiamo effettuando.

B.2 Calcolo della *Density Altitude*

Per il calcolo della *DA* è necessario conoscere la *PA* e la *SAT*.

Il regolo, nella parte centrale, porta una finestrella intestata *DENSITY ALT.* per mezzo della quale è possibile collimare tra loro i valori di *PA* e della *SAT* (indicata sul regolo come *TRUE AIR TEMP. °C*); una freccetta indicherà la *DENSITY ALT.*

Esempio: SAT = + 20 °C, PA = 8000 ft; si ricava DA =10350 ft.

B.3 Calcolo della *True Altitude*

Per il calcolo della *TA* è necessario conoscere la quota di pressione *PA*, la quota indicata *IA* letta all'altimetro regolato sul valore del *QNH* o del *QFE*, definita anche *CALIBRATED ALTITUDE*, e la *SAT*.

Il regolo porta, verso il centro, una finestrella intestata *TRUE ALTITUDE* per mezzo della quale si possono collimare tra loro i valori della *PA* e della *SAT*.

Effettuata la collimazione, sulla scala logaritmica interna, si cerca il valore della *CALIBRATED ALTITUDE* e, in corrispondenza di esso, si legge sulla scala esterna il valore della *TRUE ALTITUDE*.

Esempio: PA= 15000 ft, SAT= – 9.5 °C, QNH ALT. = 14500 ft. Si ricava una TA di circa 14800 ft.
Altri esempi:
PA = 30000 ft, *SAT* = – 40°C, *QNH ALT.* = 29600 ft (*TA* = 30100 ft).
PA = 20000 ft, *SAT* = – 05°C, *QNH ALT.* = 19400 ft (*TA* = 20900 ft).
PA = 28000 ft, *SAT* = – 35°C, *QNH ALT.* = 27300 ft (*TA* = 28000 ft).

B.4 Calcolo della *True Air Speed* (per $M < 0.2$)

Per modeste velocità (numero di Mach inferiore a 0.2) si possono ritenere trascurabili gli effetti dovuti alla compressibilità dell'aria.

Sono noti: la *PA*, la *SAT*, la *Calibrated Air Speed* (*CAS*).

Usando la finestrella *TRUE AIR SPEED* si collimano i valori di *PA* e di *SAT*; la *TAS* si legge sulla scala logaritmica esterna in corrispondenza della *CAS* posta sulla scala logaritmica interna.

Esempio: CAS = 120 kt, SAT = 10 °C, PA = 10000 ft; si ha TAS = 143 kt.

Altri esempi:

PA = 15000 ft,	*SAT* = – 10°C,	*CAS* = 94 kt	(*TAS* = 120 kt).
PA = 10000 ft,	*SAT* = 0 °C,	*CAS* = 110 kt	(*TAS* = 129 kt).
PA = 2000 ft,	*SAT* = +15°C,	*CAS* = 130 kt	(*TAS* = 135 kt).

Il problema può anche essere risolto collimando il valore della *CAS* con la *PA* nella finestrella che si trova immediatamente al di sotto della scala logaritmica interna (tra i numeri 17 e 80).

Eseguita la collimazione si legge il numero di Mach *M* in corrispondenza dell'indice *Mach Number.*

Si posiziona nuovamente il disco in modo da far collimare nella finestrella *TRUE AIR SPEED* il doppio indice col valore della *SAT* e subito dopo, in corrispondenza di *M* (letto sulla scala logaritmica interna), si legge il valore della *TAS* (sulla scala logaritmica esterna).

B.5 Calcolo della *True Air Speed* (per $0.2 < M < 1.0$)

Per elevate velocità occorre tenere conto dell'effetto di compressibilità dell'aria; è pertanto necessario conoscere la *PA*, la *Rectified Air Temperature* (indicata sul regolo come *IAT*), la *Calibrated Air Speed*, il fattore di recupero del termometro C_T.

Il regolo porta una finestrella per mezzo della quale è possibile collimare la *CAS* col valore della *PA*.

Effettuata la collimazione si porta il cursore su una seconda finestrella recante una famiglia di curve (una per ciascuna *Indicated Air Temperature*) ed una curva spiraliforme.

Lo stesso cursore porta delle curve di colore verde per i diversi valori di C_T (curve tratteggiate per quote prossime al livello del mare, curve intere per quote troposferiche; per quote intermedie si interpola tra le due). La curva centrale, rettilinea, corrisponde al valore $C_T = 0.8$.

Si ruota il cursore in modo da sovrapporre la curva verde corrispondente al valore di C_T, sia con la curva nera corrispondente al valore della temperatura indicata, sia con la curva spiraliforme.

Sulla sottostante scala, intestata *TRUE AIR SPEED KTS*, si legge il valore della *TAS*, mentre sulla scala intestata *MACH NUMBER* si ottiene il valore del numero di Mach.

Esempio: CAS = 320 kt, IAT = – 40 °C, $C_T = 0.9$*; PA = 30000 ft; si ha: TAS = 470 kt, M = 0.84.*

Altri esempi:
PA = 35000 ft, *IAT* = – 20°C, $C_T = 0.8$, *CAS* = 300 kt (*TAS* = 512 kt; *M* = 0.87).
PA = 25000 ft, *IAT* = – 15°C, $C_T = 0.9$, *CAS* = 330 kt (*TAS* = 467 kt; *M* = 0.78).
PA =30000 ft, *IAT* = –30°C, $C_T = 1.0$, *CAS* = 340 (*TAS* = 500 kt; *M* = 0.89).

B.6 Calcolo della velocità dal numero di Mach

Per il calcolo della velocità a partire dal numero di Mach è necessario conoscere anche la temperatura misurata ed il fattore di recupero del termometro.

Si collima l'indice della scala *MACH NUMBER* sul valore di *M* e si pone la curva verde corrispondente al valore di C_T del cursore in corrispondenza del valore della temperatura *IAT*.

La *TAS* è letta sull'adiacente scala *TRUE AIR SPEED KTS.*

Esempio: M=0.8, IAT= – 30°C, $C_T = 0.8$*; si ricava TAS = 462 kt.*

A parità di numero di Mach corrispondono diversi valori della velocità a seconda della temperatura o, nell'ipotesi di atmosfera standard, della quota.

Per conoscere la temperatura corrispondente ad una quota standard si può fare uso della finestrella inferiore *DENSITY ALT.*; in essa apparirà una doppia freccia con la scritta *MACH INDEX* che fa corrispondere ai valori di *PA* le temperature *T* nell'ipotesi di atmosfera standard.

Ad esempio, per *PA* = 20000 ft si ha *SAT* = – 25 °C.

B.7 Calcolo della correzione del termometro

Per il calcolo della correzione al termometro ΔT, il regolo *Jeppesen* consente tale determinazione per un fattore di recupero pari a 0.8 essendo note la *CAS*, la *PA* e la *IAT*. Modelli più recenti del regolo Jeppesen forniscono il Δt per un fattore di recupero uguale a 1.0.

È sufficiente collimare la *CAS* con il valore della *PA* sulla scala intestata *CAL. AIR SPEED KTS* e portare il segmento rettilineo inciso sul cursore in corrispondenza della *IAT*.

In basso, verso il centro del regolo, una scala intestata *TEMPERATURE RISE °C* fornirà il valore di ΔT .

Per esempio, per CAS = 350 kt, PA = 20000 ft, IAT = – 20°C si ha $\Delta T = -21°C$.

B.8 Calcolo della TAS in salita e in discesa

Si è visto che la *True Air Speed* (*TAS*) si ricava dalla *Calibrated Air Speed* (*CAS*) dividendo quest'ultima per la radice quadrata del rapporto tra la densità alla quota di volo e quella al livello del mare.

Se ne deduce che durante una salita (o una discesa), mantenendo *CAS* (o *IAS*) costante, la *TAS* aumenta (o diminuisce) progressivamente.

In alcuni manuali viene riportata la seguente regola empirica per conoscere la *TAS* media nel corso della salita (o della discesa).

Durante una discesa la TAS media corrisponde alla TAS calcolata a metà tra la quota iniziale e quella finale. Mentre durante una salita la TAS media corrisponde a quella calcolata ai due terzi del dislivello complessivo.

Esempio n. 1
Un aeromobile deve effettuare una salita (da 2000 ft a 14000 ft) in condizioni ISA mantenendo una CAS uguale a 180 kt. Calcolare la TAS media.

L'aereo deve salire di 12000 ft e la TAS media corrisponde a quella calcolata dopo i due terzi di 12000 ft, ovvero alla quota di 10000 ft.

Si ottiene per: CAS = 180 kt, PA = 10000 ft e SAT = – 5°C, TAS media = 209 kt.

Esempio n. 2
Un aeromobile deve effettuare una discesa (da 14000 ft a 2000 ft) in condizioni ISA mantenendo una CAS uguale a 180 kt. Calcolare la TAS media.

L'aereo deve scendere di 12000 ft e la TAS media corrisponde a quella calcolata dopo la metà di 12000, ovvero alla quota di 8000 ft.

Si ottiene per: CAS = 180 kt, PA = 8000 ft e SAT = – 1°C, TAS media = 200 kt.

La seconda faccia, **B**, è dedicata soprattutto alla soluzione dei problemi del vento (fig. B.2).

Su questa seconda faccia sono sovrapposti tre dischi:

- il disco inferiore, di colore bianco, porta incisa alla sua periferia una scala logaritmica graduata da 10 a 100 (*scala a*);

- il disco intermedio, anch'esso di colore bianco, porta alla sua periferia una scala logaritmica dei seni per valori angolari fino a 40° (*scala b*) ed una scala nera (*scala c*), graduata da 0° a 45°, dei logaritmi coseno e fornita di un indice intestato *TAS*. Più internamente, sottostante al disco trasparente, vi è una scala goniometrica (*scala d*) graduata uniformemente da 0° a 360° (lo zero è contrassegnato da un indice intestato *TC* in senso orario e da 0° a 180° in entrambi i sensi).
  Al centro di questo secondo disco vi è un reticolo quadro con origine nel centro del disco; il lato di ciascun quadrato è uguale a 10 o a 20 a seconda della scala adoperata;
- sovrapposto ai primi due vi è un terzo disco, trasparente, sull'orlo del quale vi è una scala graduata uniformemente da 0° a 360° in senso orario di colore verde (*scala e*) concentrica alla scala *d*.

Dal centro di questo disco partono delle radiali (una ogni 10°); vi è, inoltre, una serie di cerchi concentrici distanziati di una quantità uguale al lato dei quadrati incisi sul disco precedente.

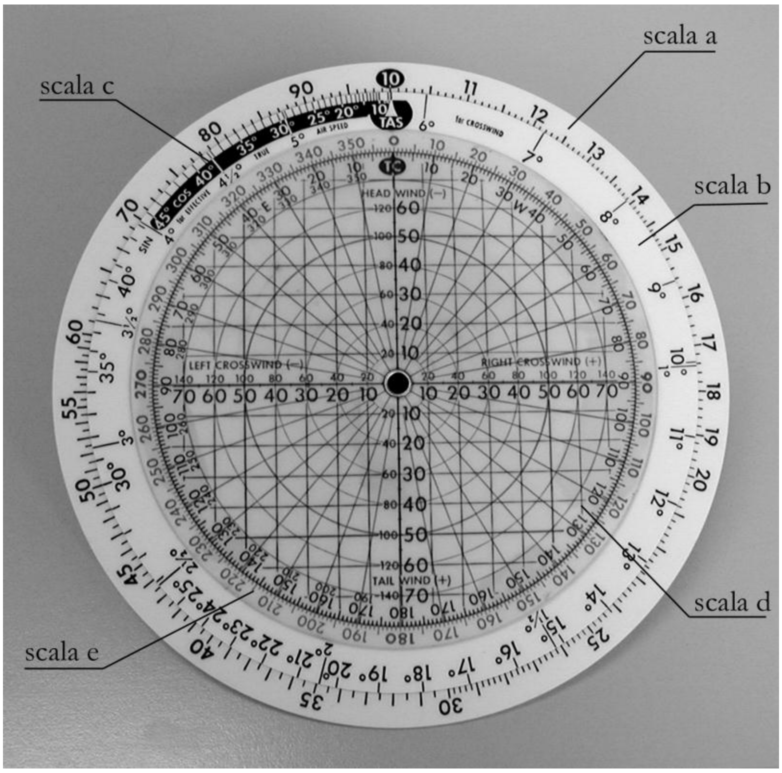

Figura B.2 – Regolo Jeppesen per la risoluzione dei problemi del vento

La risoluzione del problema fondamentale del vento è in parte logaritmica e in parte grafica.

La figura B.3 rappresenta ancora il triangolo del vento: dall'estremità della *TAS* si abbassa la perpendicolare alla *GS* ottenendo il triangolo rettangolo *BCD* i cui lati rappresentano:

- *BC* il vettore vento;
- *CD* la componente longitudinale del vento;
- *BD* la componente trasversale del vento.

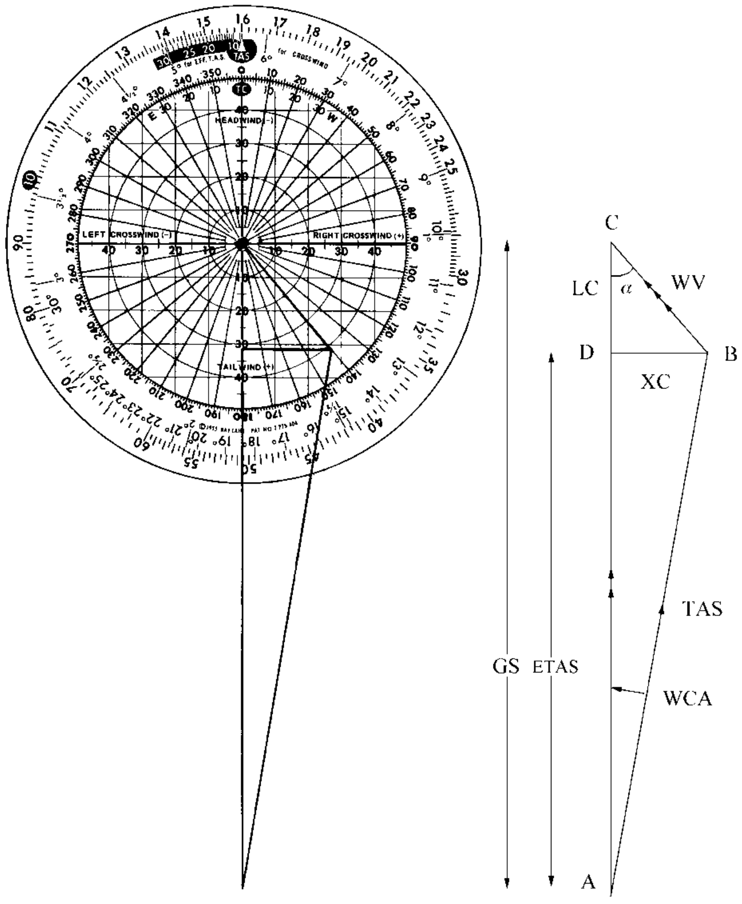

Figura B.3 – Rappresentazione del triangolo del vento sul regolo Jeppesen

Il disco trasparente, con l'ausilio del sottostante reticolato, consente, come si vedrà nel successivo esempio, di ricavare dalla *WV* le due componenti del vento indicate rispettivamente con *LC* e *XC*:

- *LC*, componente longitudinale del vento, è detta *Tailwind Component* se positiva, *Headwind Component* se negativa.
- *XC*, componente trasversale del vento, è detta *Right Crosswind* se positiva, *Left Crosswind* se negativa.

Dal triangolo *ABD* è possibile ricavare:

- l'angolo di correzione di deriva *WCA* tramite la relazione:
$$\operatorname{sen} WCA = \frac{XC}{TAS} \tag{1}$$
dove *WCA* prende lo stesso segno di *XC*;
- il lato *AD* che rappresenta la componente della *TAS* lungo la rotta. Detta componente è utile ai fini della progressione del volo verso il punto di destinazione e per tale motivo è anche nota come *ETAS* (*Effective True Air Speed*); dal triangolo *ABD* si ricava:
$$ETAS = TAS \cos WCA$$

Dal triangolo *ABC* della stessa figura si ricava inoltre:
$$AC = AD + CD = AB \cos WCA + CD$$
che diventa:
$$GS = TAS \cos WCA + LC = ETAS + LC \tag{2}$$
Se WCA è minore di 8° può porsi $\cos WCA \cong 1$ e $ETAS \cong TAS;$ pertanto:
$$GS \cong TAS + LC \tag{3}$$
commettendo con tale approssimazione un errore inferiore all'1%.

I seguenti esempi chiariranno l'uso del regolo.

Esempio n. 3
Sono dati: TC = 250°; TAS = 440 kt; WV = 40 kt; WD = 290°.

Si ruota il disco intermedio fino a portare l'indice *TAS* sul valore 440 della scala *a* (fig. B.4); si posiziona poi il disco trasparente sul valore 250° relativo alla *TC*. Il regolo è ora predisposto; con una matita si segna con un puntino l'intersezione della radiale contrassegnata dal valore di *WD* (290°) con la circonferenza di valore *WV* (40) usando la scala adatta. Si leggono ora, sul reticolo sottostante, le coordinate del punto: l'ascissa in valore e segno (+26) è la componente trasversale del vento *XC*, mentre l'ordinata (– 30) rappresenta la componente longitudinale *LC*. L'angolo *WCA* si legge sulla scala *b* ($WCA \cong 3°$) in corrispondenza di *XC*; il segno è quello di *XC*. Essendo *WCA* < 8° si ha:
$$GS = TAS + LC = 440 + (-30) = 410\,\text{kt}$$
$$TH = TC + WCA = 250° + 3° = 253°$$

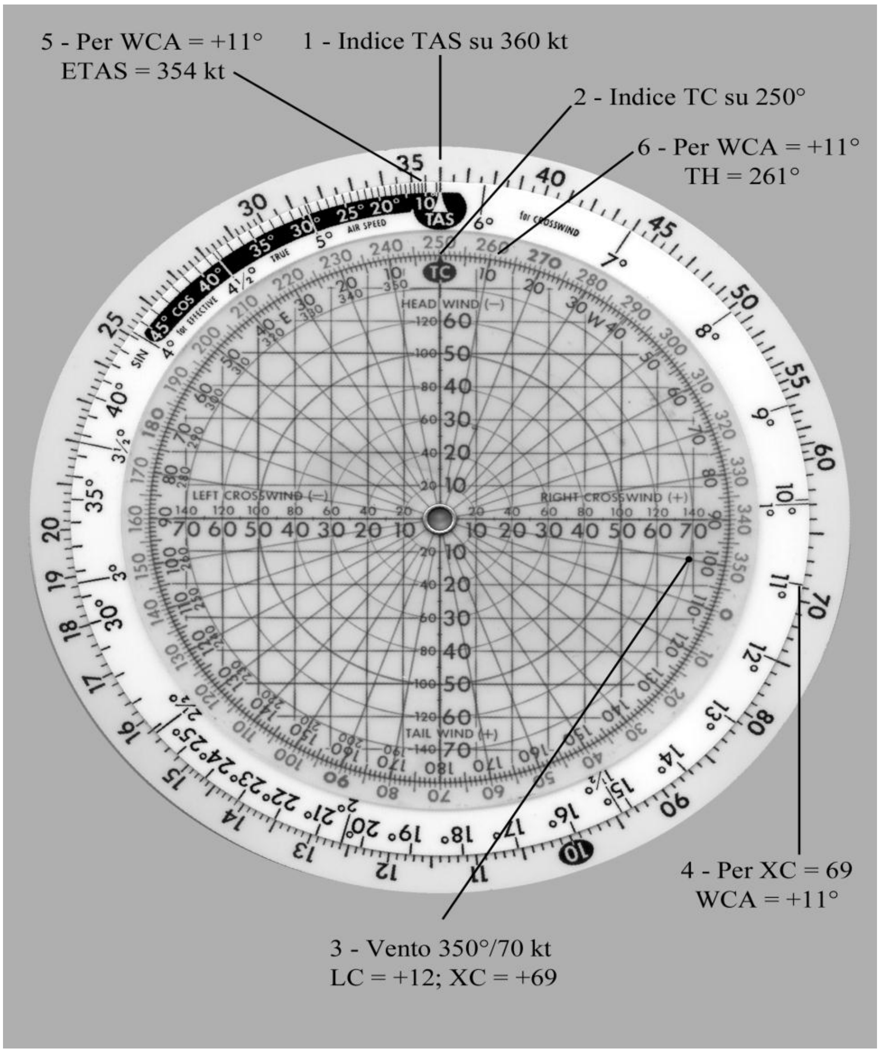

Figura B.4 – Risoluzione dell'esempio n. 2 con il regolo Jeppesen

Esempio n. 4

Sono dati: TC = 250°; TAS = 360 kt; WV = 70 kt; WD = 350°.

Predisponendo il regolo nel modo già descritto si ha:

$$LC = +12\,\text{kt} \qquad XC = +69\,\text{kt}$$

In corrispondenza di 69 (scala *a*) si ha: $WCA = +11°$. Poiché $WCA > 8°$ la risoluzione è diversa.

In corrispondenza di 11°, letto sulla scala nera *c*, si ha il valore 354 che rappresenta la *ETAS*.

A tale valore bisogna aggiungere *LC* per avere $GS = 354 + 12 = 366$ kt. La *TH* è uguale a 261°.

Altri esempi:

$$
\begin{array}{lllll}
1) & TC = 80° & TAS = 300\,\text{kt} & WD = NW & WV = 55\,\text{kt} \\
2) & TC = 320° & TAS = 320\,\text{kt} & WD = N & WV = 40\,\text{kt} \\
3) & TC = 80° & TAS = 240\,\text{kt} & WD = 340° & WV = 50\,\text{kt} \\
4) & TC = 180° & TAS = 380\,\text{kt} & WD = 200° & WV = 35\,\text{kt} \\
5) & TC = 225° & TAS = 400\,\text{kt} & WD = NW & WV = 35\,\text{kt}
\end{array}
$$

Risultati:

$$
\begin{array}{llll}
1) & WCA = -9° & TH = 71° & GS = 328\,\text{kt} \\
2) & WCA = +4°{,}5 & TH = 324°.5 & GS = 288\,\text{kt} \\
3) & WCA = -12° & TH = 68° & GS = 243\,\text{kt} \\
4) & WCA = +1°{,}8 & TH = 181°.8 & GS = 347\,\text{kt} \\
5) & WCA = +5° & TH = 230° & GS = 398\,\text{kt}
\end{array}
$$

Il metodo utilizzato con il regolo *Jeppesen* si presta anche per una risoluzione analitica del problema fondamentale del vento attraverso le relazioni (1) e (2) dove *LC* ed *XC* possono essere ricavate risolvendo il triangolo *BCD* di figura B3:

$$LC = WV \cos\alpha \qquad ; \qquad XC = WV \operatorname{sen}\alpha$$

Il seguente prospetto riporta il formulario relativo a ciascuna delle due possibili risoluzioni analitiche.

$$
\boxed{
\begin{array}{c}
\alpha = TC - (WD - 180°) \\[2ex]
\operatorname{sen} WCA = \dfrac{WV}{TAS} \operatorname{sen}\alpha \\[2ex]
GS = \dfrac{\operatorname{sen}(\alpha + WCA)}{\operatorname{sen}\alpha} TAS \\[2ex]
TH = TC + WCA
\end{array}
}
$$

$$\alpha = TC - (WD - 180°)$$

$$LC = WV \cos\alpha$$

$$XC = WV \operatorname{sen}\alpha$$

$$\operatorname{sen} WCA = \frac{XC}{TAS}$$

$$GS = TAS \cos WCA + LC$$

$$TH = TC + WCA$$

B.9 Altri problemi sul vento

Si illustrano, qui di seguito, altri possibili problemi che si possono incontrare nella pratica della navigazione; di essi vengono fornite le possibili soluzioni.

PROBLEMA N. 1 – *Dati: la prua bussola CH, la velocità all'aria TAS e gli elementi del vento (W/V), determinare la rotta vera TC e la velocità al suolo GS. Sono inoltre noti VAR e DEV.*

Risoluzione grafica **-** Si traccia per un punto *A* del piano (fig. B.5) la semiretta AN_v, direzione della linea meridiana vera. Dopo aver corretto la prua bussola degli errori dovuti alla declinazione e deviazione magnetica, dal punto *A* si fa uscire una semiretta nella direzione della prua vera sulla quale, secondo una scala conveniente, si riporta la velocità all'aria *TAS*. Dallo stesso punto si fa uscire un'altra semiretta nella direzione del vento e di senso opposto a quello da cui esso spira, sulla quale si porta, sempre con la stessa scala, la velocità del vento *WV*.

Sulle velocità all'aria e del vento si costruisce il parallelogramma delle velocità, la cui diagonale rappresenta in direzione e senso la rotta dell'aeromobile ed in grandezza la velocità al suolo. L'angolo, che la direzione della diagonale forma con la direzione della linea meridiana, dà la rotta vera dell'aeromobile.

Risoluzione analitica **-** Il problema si può risolvere calcolando le due componenti della velocità al suolo *GS* lungo la direzione *E-W* e lungo la direzione *N-S*. Dalla figura B.5a si ha:

$$AC' = AB' + B'C'$$

che diventa:

$$GS \operatorname{sen} TC = GS_1 = TAS \operatorname{sen} TH - WV \operatorname{sen} WD \qquad (4)$$

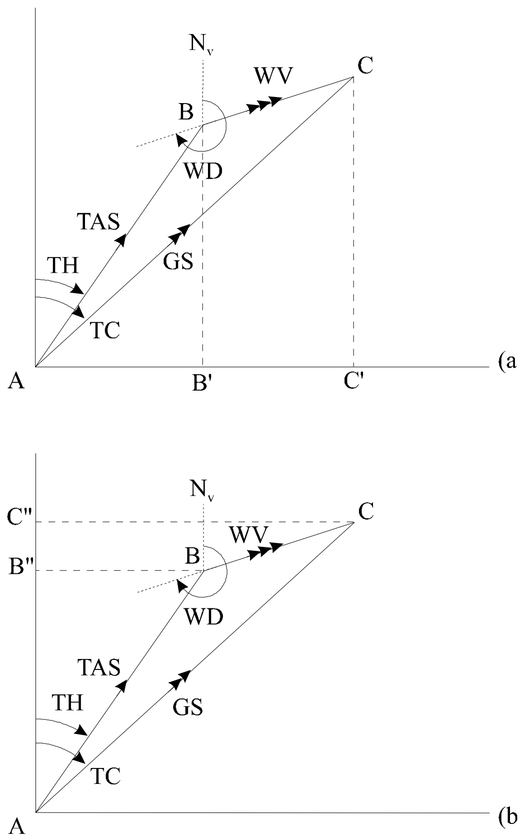

Figura B.5 – Proiezioni dei lati del triangolo del vento sul parallelo e sul meridiano

Il segno $(-)$ della (4) è giustificato dal fatto chi il vettore vento, come già visto, è diretto nel senso opposto a quello da cui esso spira.

Analogamente dalla figura B.5b si ha:

$$GS\cos TC = GS_2 = TAS\cos TH - WV\cos WD \qquad (5)$$

La *GS* si può ricavare dalla relazione:

$$GS = \sqrt{GS_1{}^2 + GS_2{}^2}$$

mentre, dividendo la (4) per la (5) si ottiene:

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

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.

Risoluzione con il regolo Jeppesen **-** La risoluzione di questo problema con il regolo Jeppesen non è agevole in quanto è necessario, come si vedrà, ricorrere ad un procedimento di successive approssimazioni. Se ne sconsiglia, pertanto, l'impiego.

Dopo aver segnato con un puntino l'intersezione della radiale, corrispondente al valore della *WD*, con la circonferenza relativa alla *WV* in modo analogo a quanto visto per il problema fondamentale, si posiziona il disco intermedio sul valore della *TAS*.

Poiché non è possibile fare altrettanto con il disco trasparente in quanto non è nota la *TC*, si posiziona tale disco sul valore della *TH* in modo da avere un valore approssimato della componente trasversale del vento *XC*. Con tale valore si ricava dalla scala *b* una stima di *WCA* da cui si trae un valore approssimato di *TC* (*TC* = *TH* – *WCA*).

Si riposiziona il disco trasparente su tale valore e si ricava un nuovo valore di *XC* e, di conseguenza, di *WCA*. Si ricava un valore aggiornato della *TC* e si riposiziona il disco trasparente procedendo al calcolo della *GS* come per il problema fondamentale. In casi particolari potrebbero richiedersi ulteriori iterazioni.

Esempio n. 5

Sono dati: CH = 153°; DEV = 2° E, VAR = 5° W; TAS = 400 kt; WD = 300°; WV = 50 kt. Ricavare la TC e la GS.

Risolvendo le relazioni ricavate in precedenza si ha:

$$GS_1 = 243.3\,\text{kt}, \quad GS_2 = -371.4\,\text{kt};$$
$$GS = 444\,\text{kt}; \qquad TC = S\,33°.2\,E = 146°.8$$

PROBLEMA N. 2 – *Dati: la prua dell'aeromobile TH e la velocità all'aria TAS, la rotta TC e la velocità al suolo GS, determinare gli elementi del vento WD e WV.*

Risoluzione grafica **-** Assumendo sempre come direzione di riferimento la linea meridiana vera AN_v, basta costruire, adottando un'opportuna scala, le velocità all'aria e al suolo *TAS* e *GS*. La congiungente estremo *TAS*-estremo *GS*, definisce il vettore vento del quale si possono stabilire direzione e velocità.

Risoluzione analitica **-** In questo caso, del triangolo del vento sono note una componente e la risultante; l'altra componente, il vettore vento, si può ricavare in modo analogo al problema precedente.
Dalle (4) e (5) si ha:

$$WV\ \mathrm{sen}\,WD = WV_1 = TAS\,\mathrm{sen}\,TH - GS\,\mathrm{sen}\,TC$$
$$WV\ \cos WD = WV_2 = TAS\cos TH - GS\cos TC$$

La *WV* si ricava da:

$$WV = \sqrt{WV_1^{\ 2} + WV_2^{\ 2}}$$

mentre la *WD* si ricava dalla relazione:

$$\tan WD = \frac{WV_1}{WV_2}$$

Per il valore da assegnare alla *WD* si procede in modo analogo a quanto visto per il problema precedente.

***Risoluzione con il regolo Jeppesen* -** Si predispone il regolo sui valori della *TAS* e della *TC*; dalla differenza tra la *TH* e la *TC* si ricava *WCA* ed in corrispondenza di tale angolo si legge sulla scala *b* il valore della *crosswind component XC*.

La componente del vento lungo la rotta *LC* si può ricavare sottraendo dalla *GS* la *ETAS* ricavata utilizzando, così come nel problema fondamentale del vento, la scala *c* del regolo.

Con i valori di *LC* e *XC* così ottenuti si può segnare sul disco trasparente un puntino in corrispondenza del quale si leggono la *WD* e la *WV*.

Esempio n. 6

Sono dati: TH = 71°; TAS = 300 kt; TC = 80°; GS = 328 kt. Ricavare gli elementi del vento.

Risolvendo le relazioni ricavate in precedenza si ha:

$$WV_1 = -39.4\ \mathrm{kt}, \qquad WV_2 = +40.7\ \mathrm{kt};$$
$$WV = 56.5\ \mathrm{kt}; \qquad WD = N44°W = 316°$$

Alla stessa soluzione si poteva pervenire risolvendo il triangolo del vento con il *teorema di Carnot* essendo noti due lati e l'angolo compreso *WCA* ottenuto dalla differenza la *TH* e *TC.* Si ha:

$$WV^{\ 2} = GS^2 + TAS^2 - 2GS \times TAS \times \cos WCA$$

Si può ricavare, applicando il teorema dei seni al triangolo del vento, l'angolo di impatto α dalla relazione:

$$\mathrm{sen}\,\alpha = \frac{TAS}{WV}\,\mathrm{sen}\,WCA$$

Ottenuto l'angolo α, la *WD* si ricava da una delle seguenti relazioni:

$$WD = TC + \alpha \qquad \text{per} \quad TAS > GS$$
$$WD = TC - \alpha + 180° \quad \text{per} \quad TAS \le GS$$

PROBLEMA N. 3 – *Dati: gli elementi del vento W/V, la rotta TC e la velocità al suolo GS, determinare la prua bussola CH e la velocità all'aria TAS. Sono, inoltre, noti VAR e DEV.*

Risoluzione grafica - Questo problema trova la sua applicazione quando si stabilisce il tempo che si vuole impiegare per andare da un punto ad un altro della superficie terrestre sapendo di dover navigare con un vento i cui elementi sono noti. Fissata la direzione della linea meridiana vera a partire dal punto iniziale *A*, si riporta sulla rotta pianificata il vettore *GS*.

Costruito nel punto *A* il vettore vento *WV*, con senso opposto a quello da cui spira, basta congiungere l'estremo di *WV* con l'estremo di *GS* per ottenere il modulo della *TAS*.

L'angolo che la parallela a detta congiungente condotta da *A* forma con la direzione della linea meridiana, dà la prua vera *TH* che deve essere seguita per spostarsi da *A* verso la direzione stabilita. La prua vera *TH* deve essere convertita, come al solito, in prua bussola *CH*.

Si osservi che se il pilota non tenesse conto della presenza del vento e mantenesse una prua uguale alla rotta pianificata, esso non raggiungerebbe il punto di destinazione. Inoltre l'angolo di deriva (*WA*) risulterebbe diverso dall'angolo correzione vento (*WCA*), che è quello di cui deve essere corretta la rotta per pervenire alla fine del tempo stabilito nel punto di destinazione (vedi capitolo navigazione stimata: fuori rotta). Ciò si verifica perché la deriva varia col cambiare della prua.

Risoluzione analitica - Anche in questo caso, del triangolo del vento sono noti una componente e la risultante; il problema si risolve in modo analogo ai casi precedenti.

Dalle (4) e (5) si ottengono:

$$TAS \operatorname{sen} TH = TAS_1 = GS \operatorname{sen} TC + WV \operatorname{sen} WD$$
$$TAS \cos TH = TAS_2 = GS \cos TC + WV \cos WD$$

da cui:

$$TAS = \sqrt{TAS_1^{\,2} + TAS_2^{\,2}}$$
$$\tan TH = \frac{TAS_1}{TAS_2}$$

adottando, per l'attribuzione del quadrante, lo stesso criterio dei casi precedenti.

Risoluzione con il regolo Jeppesen **-** Poiché non è nota la *TAS*, il disco intermedio non può essere posizionato mentre si può posizionare quello trasparente (essendo noto *TC*) sul quale si segna con un puntino provenienza e velocità del vettore vento. Si ricavano le due componenti del vento *LC* e *XC*; con *LC*, nota la *GS*, si ricava la *ETAS* (*ETAS* = *GS* – *LC*).

Con tale valore (utilizzato al posto della *TAS*) si posiziona il disco intermedio. Con *XC* si può leggere sulla scala *b* la *WCA* con la quale si ricava la *TH*.
Per passare dalla *ETAS* alla *TAS* si ruota il disco intermedio fino a collimare il valore della *ETAS* con il *WCA* letto sulla scala *c*. La nuova posizione dell'indice *TAS* ci dà il valore cercato.

Esempio n. 7
Sono dati: TC = 225° ; GS = 500 kt; WD = 0°; WV = 60 kt. Ricavare la TH e la TAS.

Risolvendo le relazioni ricavate in precedenza si ha:

$$TAS_1 = -353.5\,\mathrm{kt}\,, \qquad TAS_2 = -293.5\,\mathrm{kt}\,;$$
$$TAS = 459.5\,\mathrm{kt}\,; \qquad TH = S\,50°.3W = 230°.3$$