Unità Didattica 1. Le unità di misura

Prima di addentrarci nella materia, è bene fare un rapido riassunto delle tecniche di conversione e delle più importanti unità di misura nel campo dell'aeronautica, perché capiterà spesso di incontrare unità di misura che esulano da quelle sancite dal Sistema Internazionale (SI). Infatti, anche se l'ICAO ha stabilito di adottare le unità di misura del SI, approvate nella Conferenza internazionale dei pesi e delle misure del 1972, per ragioni di praticità molti stati continuano ad adoperare le proprie, costringendo i piloti ad adeguarsi a tali sistemi. Saranno perciò trattate tutte le unità di misura dei sistemi fondamentali – distanze, temperature, pressione, velocità – che in generale tutto il personale del settore potrà incontrare durante la propria vita professionale.

MISURA DELLE DISTANZE

Per quanto riguarda le misure delle distanze, il Sistema Internazionale ha deciso di adottare il metro con tutti i suo multipli e sottomultipli: nello specifico, nel campo dell'aeronautica, si usa il metro per le distanze verticali, come ad esempio le quote, e il chilometro per la misura delle distanze lineari. Tuttavia, ormai hanno assunto un'importanza sempre maggiore altri sistemi di misura, di origine anglosassone, tra cui: il piede (foot), che è un multiplo dei pollici (inch = 2,54 cm), corrisponde a 0,3048 m, ossia 6 pollici, e viene utilizzato per la misura delle distanze verticali; il miglio nautico (Nautical Miles – NM), utilizzato per la misura delle distanze lineari, il cui valore è stato definito in modo tale che la lunghezza di un arco della circonferenza terrestre di ampiezza angolare di un primo (1') corrisponda esattamente a 1 NM. Ciò è stato possibile solo attribuendogli il valore di 1852m.

Esempio1. Un aeromobile vola a una quota di 10.000 ft. Calcolare il valore espresso in m.

Per trasformare il valore da un sistema di riferimento a un altro, avendo noto il termine di paragone, basta impostare una semplice proporzione. In questo caso sarà:

$$1ft = 0,3048m \rightarrow 1ft : 0,3048m = 10.000ft : Xm$$

$$X = \frac{10.000\cancel{ft} \cdot 0,3048m}{1\cancel{ft}} = 3.048m$$

Esempio2. Un aeroplano vola per una distanza di 650 NM. Calcolare il valore espresso in Km.

Sfruttando lo stesso ragionamento dell'esempio precedente, si ottiene:

$$1NM = 1,852Km \rightarrow 1NM : 1,852Km = 650NM : XKm$$

$$X = \frac{650\cancel{NM} \cdot 1,852Km}{1\cancel{NM}} = 1203,8Km$$

MISURA DEL TEMPO

L'unità di misura fondamentale del tempo, adottata in tutto il mondo, è il secondo atomico, definito come il tempo corrispondente a 9.192.631.770 cicli di una particolare radiazione emessa dal Cesio 133. Nel campo aeronautico trovano un più ampio utilizzo i suoi multipli, quali i minuti, le ore e i giorni, che sono collegati tra loro dalle relazioni:

1 Giorno (gg) = 24 ore (h)
1 ora (h) = 60 minuti (min)
1 minuto (min) = 60 secondi (s)

MISURA DELLE VELOCITÀ

È bene ricordare che la velocità è data dal rapporto tra la distanza percorsa e il tempo impiegato a percorrerla ($v = \frac{m}{s}$) e che nel SI l'unità di misura adottata è metri al secondo ($\frac{m}{s}$). Tale valore viene utilizzato per la misura del vento e per quella della velocità di salita dell'aereo, mentre il suo multiplo ($\frac{Km}{h}$) si utilizza per la misura della velocità orizzontale. Anche in questo caso sono diventati di uso comune altri due sistemi di riferimento: il primo è il piede al minuto ($\frac{ft}{\min}$), utilizzato per la misura delle velocità verticali; il secondo, invece, è il nodo (knot – Kt), di origine marinara, definito come la distanza percorsa in NM all'ora ($Kt = \frac{NM}{h}$), utilizzato per la misura delle velocità orizzontali.

A questo punto è importante indicare le procedure che ci consentono di passare da un sistema all'altro, sfruttando le relazioni già definite nelle distanze e nel tempo.

<u>Esempio1</u>. Un aeromobile vola a una velocità di 130 $\frac{m}{s}$. Calcolare il valore espresso in $\frac{Km}{h}$.

In questo caso, innanzitutto occorre trasformare i metri in chilometri (basta dividere per 1.000), poi i secondi in ore (dividendo per 3.600), ottenendo così:

$$\frac{1m}{1.000} = Km; \qquad \frac{1s}{3.600} = h;$$

$$1\frac{m}{s} = 1\frac{\frac{1}{1.000}}{\frac{1}{3.600}}\frac{Km}{h} = \frac{36\cancel{00}}{10\cancel{00}}\frac{Km}{h} = 3,6\frac{Km}{h}$$

Facendo tutti i passaggi, si evince chiaramente che, se si ha una velocità in $\frac{m}{s}$ e la si vuole trasformare in $\frac{Km}{h}$, basterà moltiplicarla per 3,6; nel caso contrario, invece, la si dovrà dividere per 3,6.

$$130\frac{m}{s}=130\frac{m}{s}\cdot 3,6=468\frac{Km}{h}$$

<u>Esempio2</u>. Un aeromobile vola a una velocità di 30 $\frac{m}{s}$. Calcolare il valore espresso in $\frac{ft}{\min}$.

Per prima cosa bisogna trasformare i metri in piedi (basta dividere per 0,3048), poi i secondi in minuti (dividendo per 60), ottenendo così:

$$\frac{1m}{0,3048}=ft;\qquad \frac{1s}{60}=\min;$$

$$1\frac{m}{s}=1\frac{\frac{1}{0,3048}}{\frac{1}{60}}\frac{ft}{\min}=\frac{60}{0,3048}\frac{ft}{\min}\cong 196,85\frac{ft}{\min}$$

Facendo tutti i passaggi, si comprende facilmente che, se si ha una velocità in $\frac{m}{s}$ e la si vuole trasformare in $\frac{ft}{\min}$, basta moltiplicare per 196,85; nel caso contrario, invece, occorrerà dividerla per 196,85.

$$30\frac{m}{s}=30\frac{m}{s}\cdot 196,85=5905,5\frac{ft}{\min}$$

<u>Esempio3</u>. Un aeromobile vola a una velocità di 450 $\frac{Km}{h}$. Calcolare il valore espresso in Kts.

Nel caso in esame, ricordando che con nodi (Kts) si intende il rapporto tra NM e h, per trasformare i $\frac{Km}{h}$ in Kts, si deve semplicemente dividere per 1,852, visto che il denominatore è lo stesso (h); per la trasformazione inversa, invece, anziché dividere, si dovrà moltiplicare per 1,852:

$$\frac{1Km}{1,852}NMt;$$

$$1\frac{Km}{h}=1\frac{\frac{1}{1,852}}{1}\frac{NM}{h}=\frac{1}{1,852}Kts$$

$$450\frac{Km}{h}=\frac{450}{1,852}Kts=242,98Kts$$

I problemi appena risolti sono quelli che si verificano più di frequente e che coinvolgono, durante la propria carriera professionale, tutto il personale del settore aeronautico.

Prima di concludere, è opportuno ricordare che, avendo noti la velocità con la quale un oggetto si sposta e il tempo di spostamento, tramite formula inversa, è possibile calcolare la distanza percorsa. Lo stesso discorso vale anche per il calcolo del tempo, se sono note la distanza percorsa e la velocità.

$$\text{velocità} = \frac{\text{distanza}}{\text{tempo}} \rightarrow \text{distanza} = \text{velocità} \cdot \text{tempo}$$
$$\text{velocità} = \frac{\text{distanza}}{\text{tempo}} \rightarrow \text{tempo} = \frac{\text{distanza}}{\text{velocità}}$$

MISURA DEGLI ANGOLI

Per la misura degli angoli, nel campo aeronautico, i sistemi di riferimento più utilizzati sono due. Il primo è il radiante, ossia l'angolo al centro di una circonferenza che sottende un arco di lunghezza uguale al raggio. In altre parole, la misura in radianti di un angolo è data dal rapporto tra la lunghezza dell' arco sotteso all'angolo e il suo raggio, da cui deriva che l'angolo giro corrisponde a 2π (π è una costante uguale a 3,1415926..). Il secondo metodo è, invece, il grado sessagesimale: si è deciso di attribuire il valore di 360° all'angolo giro (intera circonferenza). Inoltre, se si divide in sessanta parti il grado, si ottiene un sottomultiplo –il minuto– che a sua volta può essere diviso in sessanta parti, ottenendo il secondo.

$$1° = 60'; \qquad 1' = 60'' \rightarrow 1° = 3600''$$

Anche in questo caso, tramite una proporzione, è possibile trasformare il valore angolare da un sistema di riferimento a un altro.

<u>Esempio</u>. Un aeromobile compie una virata di 1,10 rad. Calcolare il valore espresso in ° ' ''.

$$360° = 2\pi \rightarrow 360° : 2\pi rad = X° : 1,10 rad$$
$$X = \frac{360° \cdot 1,10 \cancel{rad}}{2\pi \cancel{rad}} = 63^{\circ},0253$$

Il risultato ottenuto è espresso in gradi. Per trasformalo in ° ' '', se si ha la calcolatrice scientifica si può utilizzare l'apposito tasto di conversione, altrimenti si procede come segue:

$$63,0253° = 63° + 0,0253 \cdot 60 = 63°1',518 = 63°1' + 0,518 \cdot 60 = 63°1'31''$$

MISURA DELLA VELOCITÀ ANGOLARE

La misura della velocità angolare permette di capire come viene effettuata una virata, perché, così come già visto per la misura della velocità, è data dal rapporto tra la distanza angolare percorsa lungo un arco di circonferenza e il tempo impiegato a percorrerla. Nel sistema internazionale si misura in $\frac{rad}{s}$, ma capita spesso che venga misurata in $\frac{gradi}{h}$ oppure, quando ci si trova a dover misurare elevate velocità, si adotta un multiplo dei $\frac{rad}{s}$, ossia il n° di giri al minuto ($\frac{giri}{\min}$).

A questo punto è importante definire le procedure che consentono di passare da un sistema all'altro, sfruttando le relazioni già definite negli angoli e nel tempo.

<u>Esempio1</u>. Un aeromobile compie una virata con una velocità di 0,10 $\frac{rad}{s}$. Calcolare il valore espresso in $\frac{gradi}{h}$.

$$1rad\frac{360°}{2\pi rad}=57°,296; \qquad \frac{1s}{3.600}=h;$$

$$0,1\frac{rad}{s}=0,1\cdot\frac{\frac{360}{2\pi}}{\frac{1}{3.600}}\frac{°}{h}=0,1\cdot\frac{360\cdot 3.600}{2\pi}\frac{°}{h}=20626,48\frac{°}{h}$$

<u>Esempio2</u>. Un trottola compie una ruota con velocità di 20 $\frac{giri}{\min}$. Calcolare il valore espresso in $\frac{rad}{s}$.

$$1giro=2\pi rad; \qquad 1\min=60s;$$

$$1\frac{giro}{\min}=1\frac{2\pi}{60}\frac{rad}{s}=0,105\frac{rad}{s}$$

$$20\frac{giro}{\min}=20\cdot 0,105\frac{rad}{s}=2,09\frac{rad}{s}$$

MISURA DELLA TEMPERATURA

La temperatura è uno dei parametri fondamentali dell'aria e il suo valore influenza notevolmente le informazioni fornite dalla strumentazione di bordo. Nel sistema internazionale è stata adottata la scala kelvin, in cui si è scelto di far partire la misurazione e quindi di attribuire il valore zero alla più bassa temperatura mai raggiunta, ossia -273,16°C. Da quel valore la scala è stata settata in base centesimale, così come quella del grado centigrado. Infatti, l'unica differenza tra i due sistemi di misura è costituita dal punto di inizio della scala, in quanto lo zero dei gradi centigradi (°C) corrisponde a 273,16 gradi kelvin (K). In questo modo è molto semplice passare da un sistema all'altro. Infatti, se si ha un valore in K e si vuole ottenere il corrispettivo in °C, basta sottrarre 273,16; in caso contrario, invece, il valore di 273,16 non va sottratto ma aggiunto.

Un'altra unità di misura, adottata nei paesi anglosassoni, è il grado Fahrenheit (°F). In questo sistema si è stabilito di attribuire al punto di fusione del ghiaccio, che nella scala centigrada corrisponde a 0°C, il valore di 32 °F, mentre al punto di ebollizione dell'acqua, che nella scala centigrada corrisponde a 100°C, il valore di 212 °F, ottenendo una scala non più centesimale ma suddivisa in 180 parti (212-32=180).

A questo punto è importante definire le procedure che consentono di passare da un sistema all'altro. Per quanto riguarda la conversione da °F a °C, i passaggi sono leggermente più complessi. Infatti, per prima cosa occorre sottrarre 32 al valore di temperatura espressa in °F (dal momento che allo 0°C corrisponde una temperatura di 32°F). In secondo luogo, bisogna considerare la differenza di spaziatura tra le due scale: una suddivisa in 180 parti (°F), l'altra suddivisa in 100 parti (°C).

Le formule che ci consentono di passare da un valore all'altro sono le seguenti:

$$°F \rightarrow °C = (°F - 32) \cdot \frac{100}{180}$$

$$°C \rightarrow °F = \left(°C \cdot \frac{180}{100} \right) + 32 = \left(°C \cdot 1{,}8 \right) + 32$$

Infine, un altro aspetto importante da considerare è che l'ICAO, vista la grande influenza che la temperatura ha sul funzionamento della strumentazione di bordo, ha deciso di fissare un valore standard di temperatura, ovvero 288,16 K (15 °C + 273,16) misurati sul livello medio del mare. In questo modo, dal momento che la temperatura ha un andamento lineare –diminuisce all'aumentare della quota e per esattezza di 6,5 K ogni 1000 m– ha definito i valori di temperatura della giornata standard a tutte le quote e ha attribuito a tali valori il nome di temperatura ISA. La temperatura ISA si ottiene nel seguente modo:

$$ISA = T_0 - a \cdot H = 288{,}16K - 0{,}0065 \frac{K}{m} \cdot \mathrm{H}$$

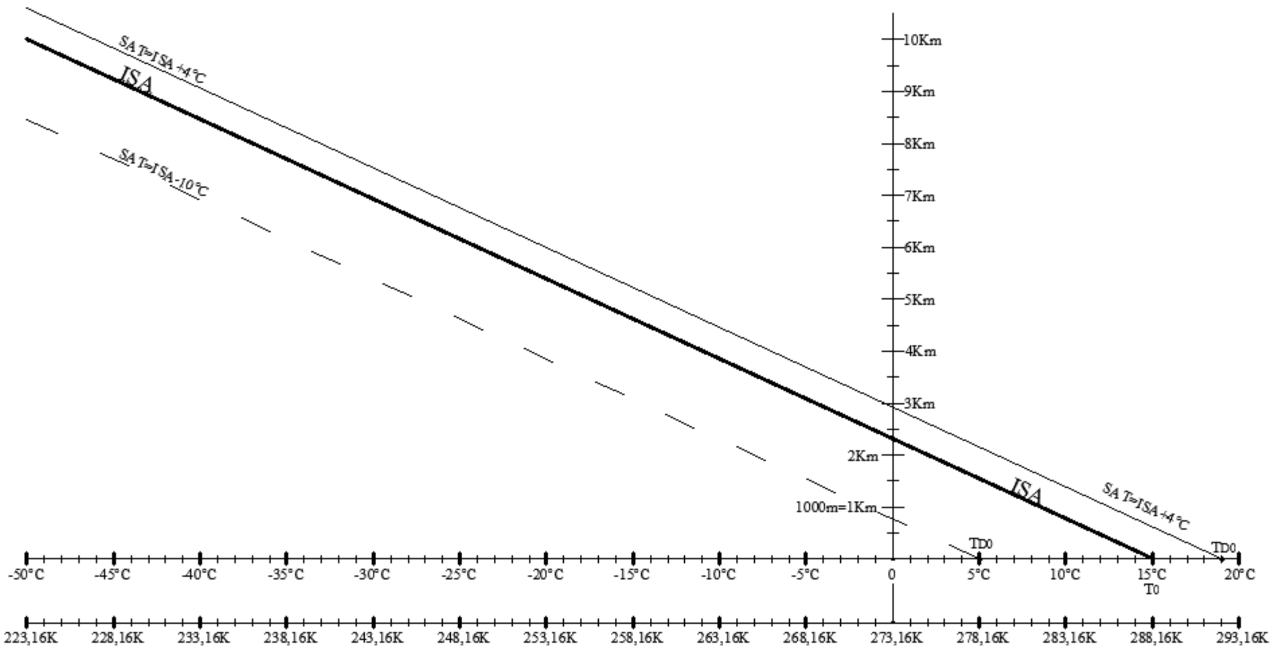
Si consideri che: per $\mathbf{T_0}$ si intende il valore di temperatura standard al livello del mare; per **a** si intende il gradiente termico verticale che rappresenta il modo con cui la temperatura diminuisce all'aumentare della quota (6,5 K ogni 1000 m); per **H** si intende il valore alla quota desiderata.

Naturalmente, nella maggior parte dei casi, sul livello medio del mare si registrerà un valore di temperatura differente rispetto a quello standard e, di conseguenza, anche alle varie quote si avrà una temperatura diversa rispetto al valore ISA. Anche per questo motivo, si è scelto di attribuire il nome di temperatura SAT al valore reale di temperatura giornaliero alle varie quote. Tale valore può essere ottenuto facilmente dalla ISA. □ sufficiente conoscere la differenza di temperatura al livello medio del mare tra la giornata standard e quella reale.

$$\pm\Delta T = T_{D0} - T_0$$

$$SAT = ISA + \left(\pm\Delta T \right)$$

Si consideri che con T_{D0} si intende il valore giornaliero della temperatura al livello medio del mare.



Esempio1. Il pilota del MD-87, che si trova a una quota di volo di 7000 m, legge, dal termometro di bordo, un valore di temperatura dell'aria esterna di 5 °F. Calcolare il valore espresso in K.

Per prima cosa, sfruttando la formula precedente, trasformiamo il valore in °F nel rispettivo valore in °C, ottenendo:

$$°F \rightarrow °C = (°F - 32) \cdot \frac{100}{180} = (5 - 32) \cdot \frac{100}{180} = -15°C$$

Quindi, aggiungendo al valore in °C 273,15, si ottiene il valore richiesto.

$$K = °C + 273,16 = -15°C + 273,16 = 258,16K$$

Esempio2. Utilizzando i dati dell'esercizio precedente, rilevare il valore della temperatura giornaliera registrato sul livello medio del mare.

Si conosce già il valore della SAT a 7000 m, quindi per prima cosa si calcola il valore dell'ISA alla quota di volo.

$$ISA = T_0 - a \cdot H = 288,16K - 0,0065\frac{K}{m} \cdot 7.000m = 242,66K$$

A questo punto si calcola la differenza di temperatura tra la SAT e la ISA. Successivamente, tramite formula inversa, si ottiene il T_{D0}

$$SAT = ISA + (\pm\Delta T) \rightarrow (\pm\Delta T) = SAT - ISA = 258,16K - 242,66K = 15,5K \equiv +15,5°C$$
$$\pm\Delta T = T_{D0} - T_0 \rightarrow T_{D0} = (\pm\Delta T) + T_0 = +15,5°C + 15°C = 30,5°C$$
$$T_{D0} = (\pm\Delta T) + T_0 = +15,5K + 288,16K = 303,66K$$

È importante rilevare che il valore del salto di temperatura, sia che venga espresso in °C o in °K, non cambia, perché le due scale hanno la stessa suddivisione in parti, ovvero sono entrambe a base centesimale.

MISURA DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA

Per pressione atmosferica si intende la forza esercitata dalla colonna d'aria sull'unità di superficie. Nel SI la pressione atmosferica si misura in $\frac{Newton(N)}{m^2}$, il cui valore è denominato anche pascal (Pa). In condizioni normali (temperatura di 0°C sul livello medio del mare alla latitudine di 45°), la pressione atmosferica è uguale a 1.013,25 hPa, ossia 101.325 Pa. A questo valore è stato attribuito il nome di 1 atmosfera (atm). Tale valore corrisponde alla pressione esercitata dalla colonnina di mercurio (Hg) alta 760 mm. Pertanto, un altro metodo per misurare la pressione è rappresentato proprio dall'altezza della colonnina di mercurio. In questo caso, la pressione può essere espressa o in mmHg oppure, nei paesi anglosassoni, in inchHg (pollici di mercurio). Infine, un altro sistema di misurazione è costituito dai millibar, dove per bar si intende la pressione corrispondente a mille barie, vale a dire a mille dine su centimetro quadrato.

$$1013,25hPa = 1013,25millibar = 760mm_{Hg} = 29,92inch_{Hg} = 1atm$$

MISURA DELLA CAPACITÀ

L'unità di misura del volume, nel sistema SI, è il metro cubo (m^3), che corrisponde a una capacità di 1.000 litri. Gli anglosassoni, invece, usano il gallone (lmperial Gallon - gal), che corrisponde a 4,5459 litri, ossia il volume occupato da 10 libbre (la libbra è l'unità di misura anglosassone del peso e corrisponde a 0,45359 Kg) di acqua distillata a 62 °F e alla pressione di 30 pollici di mercurio.

Negli Stati Uniti, per la misurazione del volume, si utilizza il gallone USA (US Gallon), –da non confondere col precedente– che corrisponde a 3,7854 litri.

Grazie a queste unità di misura, è possibile calcolare la quantità di carburante necessaria per effettuare un volo.

<u>Esempio</u>. Si vuole calcolare la quantità di carburante da inserire nei serbatoi, espressa in Kg, sapendo che i serbatoi dell'aeromobile hanno una capacità di 55 gal e che la densità del carburante è di 750 kg/m^3.

In questo caso, innanzitutto bisogna trasformare i galloni imperiali in litri.

$$1gal = 4,5459l \rightarrow 1gal : 4,5459l = 55gal : Xl$$
$$X = \frac{4,5459l \cdot 55\cancel{gal}}{1\cancel{gal}} = 250,02l$$

Successivamente, sfruttando la relazione per cui 1 m^3 equivale a 1.000 l, si possono trasformare i litri in m^3.

$$1m^3 = 1.000l \rightarrow 1m^3 : 1.000l = Xm^3 : 250,02l$$

$$X = \frac{1m^3 \cdot 250,02\cancel{l}}{1.000\cancel{l}} = 0,25m^3$$

Infine, grazie al valore della densità (ρ) del carburante, si calcola il peso del carburante da inserire nei serbatoi.

$$P = V \cdot \rho = 0,25m^3 \cdot 750\frac{Kg}{m^3} = 187,5Kg$$

VERIFICA DELLE CONOSCENZE:

		V	F
1)	Le unità di misura utilizzate nel campo aeronautico sono solo quelle del Sistema Internazionale.		
2)	Un piede equivale a 30,48 cm.		
3)	100 Kts corrispondono a 185,2 Km/h.		
4)	$60^{\circ},1015$ equivalgono a $60^{\circ}10'15'$.		
5)	La temperatura si può misurare in: °C; °F; Kts.		
6)	La temperatura di 0° K corrisponde a 32 °F.		
7)	Con il termine SAT si indicano i valori di temperatura alle varie quote in condizioni standard.		
8)	Una pressione di 1018 hPa corrisponde a 760 mm_{Hg}.		
9)	1200 litri di carburante a densità 780 Kg/m^3 equivalgono a 1,2 m^3.		
10)	Un carico che pesa 100 libbre è più leggero di un altro che pesa 50 Kg.		

VERIFICA DELLE COMPETENZE:

Problema 1: Trasformare le seguenti distanze in ft nel rispettivo valore in m: 5.500 ft; 7.200 ft; 4.350 ft; 12.300 ft. [1676,4 m; 2195,56 m; 1325,88 m; 3749,04 m]

Problema 2: Trasformare le seguenti distanze in NM nel rispettivo valore in ft: 1,25 NM; 2,36 NM; 0,75 NM; 3,15 NM. [7595,14 ft; 14339,63 ft; 4557,09 ft; 19139,76 ft]

Problema 3: Trasformare le seguenti velocità in m/s nel rispettivo valore in Kts: 100 m/s; 165 m/s; 255 m/s; 75 m/s. [194,4 Kts; 320,7 Kts; 495,7 Kts; 145,8 Kts]

Problema 4: Trasformare le seguenti velocità angolari in rad/s nel rispettivo valore in °/h: 0,063 rad/s; 0,217 rad/s; 0,002 rad/s; 0,120 rad/s. [12994,7 °/h; 44759,5 °/h; 412,5 °/h; 24751,8 °/h]

Problema 5: Trasformare le seguenti temperature in K nel rispettivo valore in °F: 165 K; 240 K; 265,4 K; 304,2 K. [-162,69 °F; -27,69 °F; 18,03 °F; 87,87 °F]

Problema 6: Trasformare le seguenti pressioni in $inch_{hg}$ nel rispettivo valore in hPa: 26,75 $inch_{hg}$; 28,13 $inch_{hg}$; 29,65 $inch_{hg}$; 27,49 $inch_{hg}$. [905,9 hPa; 952,6 hPa; 1004,1 hPa; 930,96 hPa]

Problema 7: Calcolare il valore della SAT alle varie quote di volo e con le differenti temperature al livello medio del mare:

1) 7000 ft; T_{D0} = 22 °C;
2) 5500 m; T_{D0} = 12 °C;
3) 12500 ft; T_{D0} = -3 °C;
4) 8750 m; T_{D0} = 15 °C;

[1) SAT = 281,29 K; 2) SAT = -23,75 °C; 3) SAT = 245,4 K; 4) SAT = -41,9 °C]

Problema 8: Calcolare, esprimendolo in libbre, il valore della quantità di carburante, di varia densità, nei diversi casi proposti, in cui i serbatoi dell'aeromobile hanno le seguenti capacità:

1) 70 gal; ρ = 710 kg/m^3;
2) 160 l; ρ = 755 kg/m^3;
3) 83 gal USA; ρ = 805 kg/m^3;
4) 210 l; ρ = 783 kg/m^3;

[1) 498,1 lb; 2) 266,3 lb; 3) 557,6 lb; 4) 362,5 lb]

Soluzioni quesiti vero/falso: 1) F; 2) V; 3) V; 4) F; 5) F; 6) F; 7) F; 8) F; 9) V; 10) V.