

212. Atmosfera standard

di Michele T. Mazzucato

*Noi viviamo sommersi
nel fondo di un pelago d'aria elementare
la quale per esperienze indubitare si sa che pesa.*

Evangelista Torricelli (1608-1647)
in una lettera dell'11 giugno 1644
diretta a Michelangelo Ricci (1619-1682)

L'atmosfera è lo strato gassoso che circonda la Terra. Paragonando il nostro pianeta ad una sfera con diametro di un metro, il suo spessore ammonterebbe a soli 2 millimetri.

L'attuale struttura schematica dell'atmosfera terrestre comprende cinque sistemi di divisione la cui nomenclatura è stata raccomandata dall'*International Union of Geodesy and Geophysics* IUGG nel 1959. Considerando che i limiti altitudinali delle divisioni hanno carattere puramente indicativo in quanto il passaggio da una regione all'altra non avviene in maniera netta e uniforme ma viene influenzata da molteplici fattori dinamici, si ha:

1) Una divisione secondo l'andamento verticale della temperatura:

- troposfera (0- 8 km ai poli), (0-11 km alle medie latitudini), (0-18 km all'equatore), (tropopausa)
- stratosfera (< 40 km), (stratopausa) (caratterizzata da un massimo contenuto di ozono atmosferico)
- mesosfera (40-80 km), (mesopausa)
- termosfera (> 80 km; regione nella quale si verificano le aurore)

2) Una divisione secondo la composizione chimica

- omosfera (comprende anche l'ozonosfera 10-50 km), (omopausa)
- eterosfera

3) una divisione secondo il grado di ionizzazione

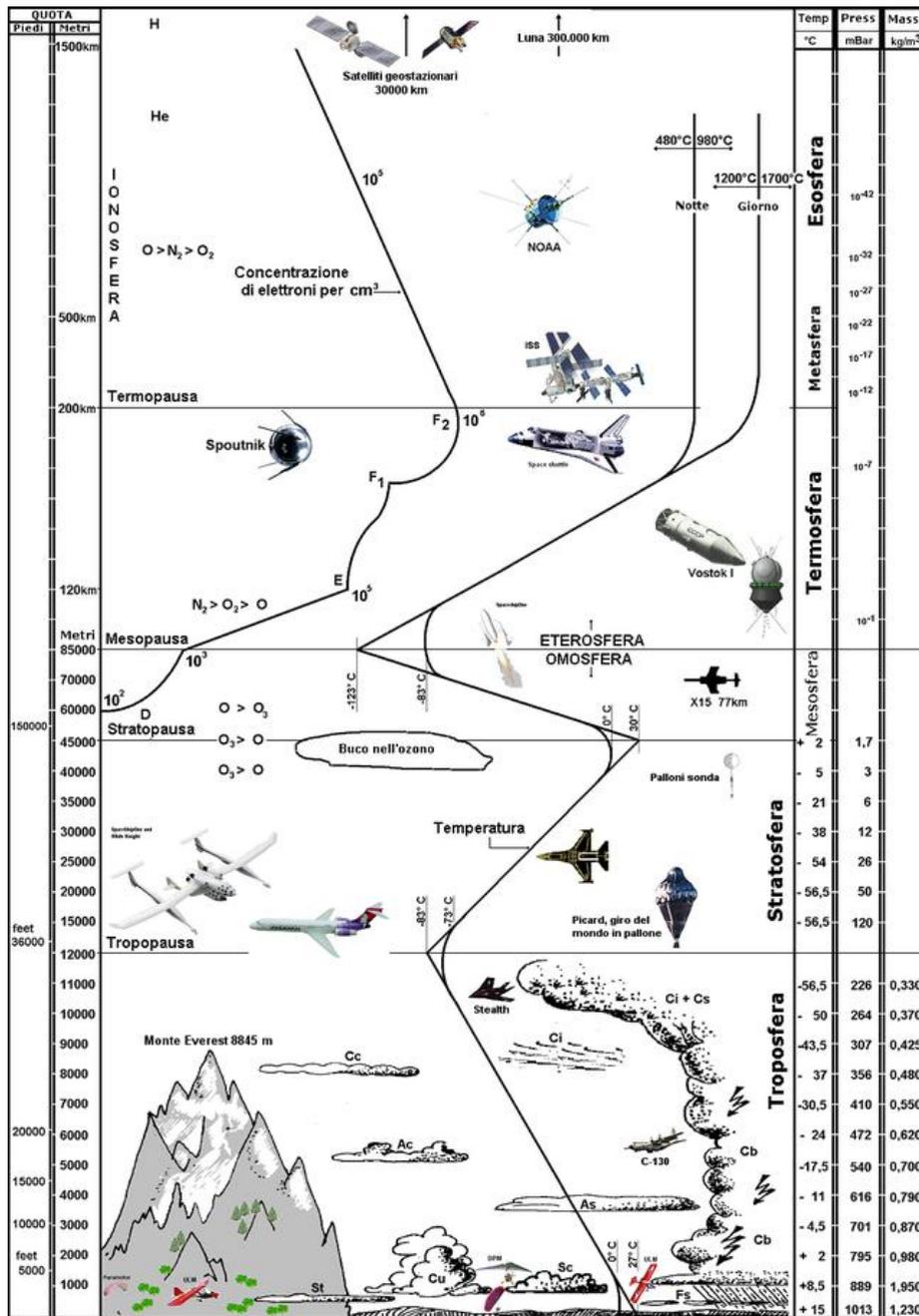
- ionosfera (> 70-80 km)
- strato D (~ 60 ÷ 100 km; diurno)
- strato E (o di Kennelly-Heaviside-Nagaoka)
- strato E1 (~ 100 ÷ 120 km; persiste giorno e notte)
- strato E2 (~ 120 ÷ 160 km; solo occasionalmente)
- strato F (o regione di Appleton)
- strato F1 (~ 160 ÷ 250 km; diurno)
- strato F2 (~ 250 ÷ 500 km; persiste giorno e notte)

4) una divisione secondo la reattività chimica (essenzialmente fotochimica)

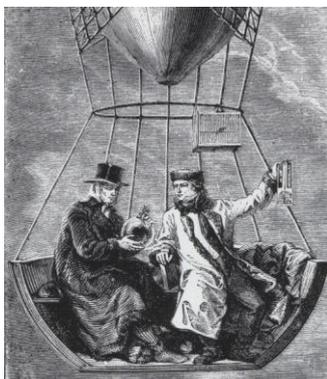
- chemosfera (> 20 km e < 110 km)

5) una divisione secondo la fuga delle molecole d'aria

- esosfera



http://it.wikipedia.org/wiki/Atmosfera#mediaviewer/File:Atmosfeer_Atmosfera_-_Italiano.png



Ascensione aerostatica di Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), che sta prendendo un campione d'aria e Jean Baptiste Biot (1774-1862), che sta misurando la temperatura, nei cieli parigini nell'agosto del 1804.

L'atmosfera tipo, indicata anche come internazionale o standard, fu definita il 23 giugno 1950 dall'*International Civil Aviation Organization* ICAO, un ente istituito nel 1947 con sede permanente a Montreal in Canada. Tale atmosfera è un gas secco e perfetto le cui caratteristiche fisiche sono riportate nella **Tab. 1** i cui valori sono utilizzati nei calcoli.

pressione (P_0)	1013.25 mbar
temperatura (T_0)	15 °C
umidità (trascurabile)	60%
indice di rifrazione assoluto	1.000290
raggio di curvatura della traiettoria descritta dalla radiazione luminosa R_0	$\sim 7 \cdot R_t$
doppio del coefficiente medio di rifrazione K_R	~ 0.15
raggio equivalente R_e	$\sim 7/6 \cdot R_t$
gradiente termico verticale nella troposfera (dal lmm a 11000 metri geopotenziali, alla quale la temperatura diventa - 56.5 °C)	- 0.0065 °C
densità (a 0 °C e 760 mmHg = 1.29276 kg/m ³ = D_0)	1.2250 kg/m ³
peso molecolare medio calcolato	28.96
costante dielettrica relativa (n^2)	1.00059
indice di rifrazione (riga gialla del sodio a 20 °C) (n)	1.0002926
temperatura critica	- 140.6 °C
pressione critica	38.5 atm
densità critica	$0.35 \cdot 10^3$ kg/m ³
calore specifico medio a pressione costante (C_p)	0.2389 kcal/kg °C
calore specifico medio a volume costante (C_v)	0.1702 kcal/kg °C
conducibilità termica (a 0 °C e 760 mmHg) (kt)	0.0205 kcal/m h °C
velocità del suono nell'aria (a 0 °C e 760 mmHg) (V_s)	331.69 m/s

Tab. 1 – Caratteristiche fisiche dell'atmosfera standard al livello medio del mare

I valori C_p , C_v e kt variano con la temperatura t secondo le formule:

$$C_p = 0.241 + 0.0000366 \cdot t \quad C_v = 0.172 + 0.0000366 \cdot t \quad kt = 0.0205 \cdot (1 + 0.00242 \cdot t) \quad \text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

mentre la velocità del suono può essere calcolata con la seguente relazione:

$$V_s = (\alpha \cdot P_{\text{quota}} / D_{\text{quota}})^{0.5} \quad \text{m/s}$$

dove α è il rapporto C_p/C_v che, per $t = 0$ °C e $P = 760$ mmHg, vale 1.4036.

altitudine m	temperatura °C	pressione mbar	densità kg/m ³
0	15.00	1013.25	1.2250
500	11.75	954.61	1.1673
1000	8.50	898.75	1.1116
2000	2.00	794.95	1.0065
3000	-4.50	701.09	0.9091
4000	-11.00	616.40	0.8191
5000	-17.50	540.20	0.7361
6000	-24.00	471.81	0.6597
7000	-30.50	410.61	0.5895
8000	-37.00	356.00	0.5252
9000	-43.50	307.42	0.4664
10000	-50.00	264.36	0.4127
11000	-56.50	226.32	0.3639
13000	-56.50	165.10	0.2655
15000	-56.50	120.45	0.1937
20000	-56.50	54.75	0.0880
30000	-56.50	11.31	0.0132

Tab. 2 – Alcuni valori dell'atmosfera standard (modello ICAO)

I valori della temperatura, pressione e densità alle varie quote si possono determinare con le seguenti relazioni:

$$\text{temperatura} = 15 - 0.0065 \cdot \text{Quota} \quad ^\circ\text{C}$$

pressione nella troposfera (da 0 m a 11000 m)

$$\text{pressione} = 1013.25 \cdot [1 - (0.0065 \cdot \text{Quota} / 288.15)]^{5.25588} \quad \text{mbar}$$

pressione nella stratosfera (da 11000 m a 32000 m)

$$\lg \text{ pressione} = \lg 226.3204 - B \cdot (\text{Quota} - 11000) \quad \text{mbar}$$

dove $B = 6.848317 \cdot 10^{-5}$ al metro geopotenziale, 226.3204 è la pressione in millibar alla tropopausa e \lg sono i logaritmi decimali

$$\text{densità} = D_0 \cdot (P_{\text{quota}}/760) \cdot [1/(1+\beta \cdot t)] \quad \text{kg/m}^3$$

dove β è il coefficiente di dilatazione o d'espansione termica dei gas perfetti il cui valore è 0.003661.

Da considerare che la pressione atmosferica è soggetta a una variazione diurna (marea atmosferica) avente un carattere di marcata regolarità. Essa presenta un innalzamento dalle ore 4 alle ore 10, discende dalle ore 10 alle ore 16 e risale fino alle ore 22 per poi tornare a discendere fino alle ore 4. Tale regolarità, che è grandissima nelle regioni tropicali, è meno sentita nelle nostre e le variazioni sono qui meno accentuate ($\pm 3 \div 4$ nelle regioni tropicali e $\pm 1 \div 2$ nelle nostre). A quote elevate la variazione diurna diviene irregolare e non può formare alcuna norma. Alcuni fattori di conversione per la pressione sono:

$$1 \text{ Pa (Pascal)} = 1013.25 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ atm (atmosfera)} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ mbar (millibar)} = 0.750062 \text{ mmHg} = 100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg (millimetri di Mercurio)} = 1.333224 \text{ mbar} = 1 \text{ atm} = 133.3224 \text{ Pa}$$

azoto	78.08 %
ossigeno	20.95 %
argon	0.93 %
anidride carbonica	0.035 %
neon	0.001 818 %
elio	0.000 524 %
metano	0.000 200 %
kripton	0.000 114 %
idrogeno	0.000 050 %
xenon	0.000 008 7 %
ossido nitroso	tracce
radon	tracce
anidride solforosa	tracce
ossido di carbonio	tracce

Tab. 3 – Composizione percentuale media volumetrica dell'aria secca



Evangelista Torricelli (1608-1647) inventore del barometro.



Léon Teisserenc de Bort (1855-1913) introdusse l'uso dei palloni sonda.



Vilhelm Bjerknes (1862-1951) fu il primo meteorologo ad applicare all'atmosfera le leggi della fisica.

Dall'esperienza del fisico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) che portò all'invenzione, nel 1643, del primo barometro, il matematico francese Blaise Pascal (1623-1662), nel 1648, dimostrò praticamente che l'atmosfera poteva avere soltanto un'altitudine finita. In seguito ai risultati ottenuti dalla lettura dei valori registrati dagli strumenti trasportati sui palloni meteorologici, il francese Léon Philippe Teisserenc de Bort (1855-1913), nel 1902, suggerì una divisione in due parti dell'atmosfera, una al di sotto dei 15 chilometri, dove la temperatura diminuiva bruscamente e, l'altra, al di sopra, dove la stessa rimaneva costante. Le due parti vennero denominate rispettivamente troposfera (sfera del cambiamento) e stratosfera (in quanto, secondo Teisserenc de Bort, la temperatura costante indicava che i gas erano disposti in strati indisturbati). Sul limite di tali regioni vi sono diverse fasce di venti che soffiano da ovest a est, individuate dai piloti giapponesi e americani durante la Seconda Guerra

Mondiale, queste vennero chiamate correnti a getto (i cui venti possono raggiungere quasi i 500 chilometri orari) e studiate dal fisico statunitense di origine svedese Carl Gustav Arvid Rossby (1898-1957). Nel 1902, indipendentemente l'uno dall'altro, lo statunitense Arthur Edwin Kennelly (1861-1939), l'inglese Oliver Heaviside (1850-1925) e il giapponese Hantaro Nagaoka (1865-1950) avevano previsto l'esistenza di regioni nell'alta atmosfera che contenessero ioni carichi e che riflettessero le radioonde, ma solo nel 1925, il fisico inglese Edward Victor Appleton (1892-1965), scoprì che tale strato, di seguito chiamato strato E, si trovava a una altezza di 80 chilometri nonché della presenza di altri strati, successivamente denominati F1 e F2. Fu nel 1913 che il fisico francese Charles Fabry (1867-1945) riuscì a dimostrare la presenza di significative quantità di ozono, scoperto nel 1840 dal chimico tedesco Christian Friedrich Schönbein (1799-1868), in quella parte superiore dell'atmosfera oggi denominata ozonospfera. Nel 1920, il fisico jugoslavo Milutin Milankovic (1879-1958) suggerì che fossero coinvolti anche fattori di tipo astronomico, quali le lente oscillazioni nell'eccentricità dell'orbita terrestre e nell'inclinazione dell'asse della Terra nonché alla precessione di tale asse, a influire sul tempo atmosferico formando dei cicli climatici.

Per saperne di più

AA.VV., *Manuale di meteorologia*, Alpha Test, Milano 2010

Abate, S., *Lezioni di meteorologia generale*, Liguori, Napoli 1986

Calculator 1976 Standard Atmosphere Properties www.luizmonteiro.com/StdAtm.aspx