

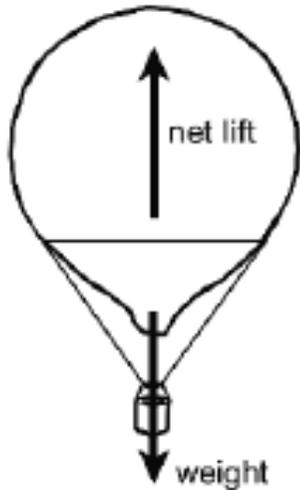
Corso di MECCANICA DEL VOLO
Modulo Prestazioni

INTRO- Il Velivolo

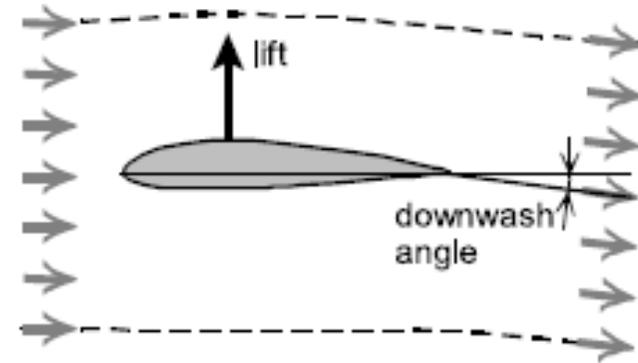
Prof. D. P. Coiro
coiro@unina.it
www.dias.unina.it/adag/

Il volo, come è possibile ?

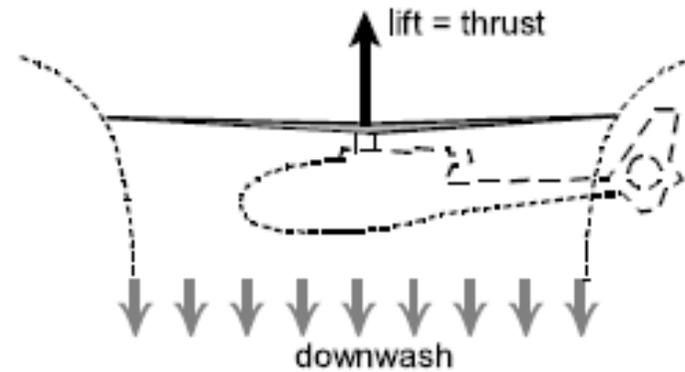
AEROSTATI



AERODINE



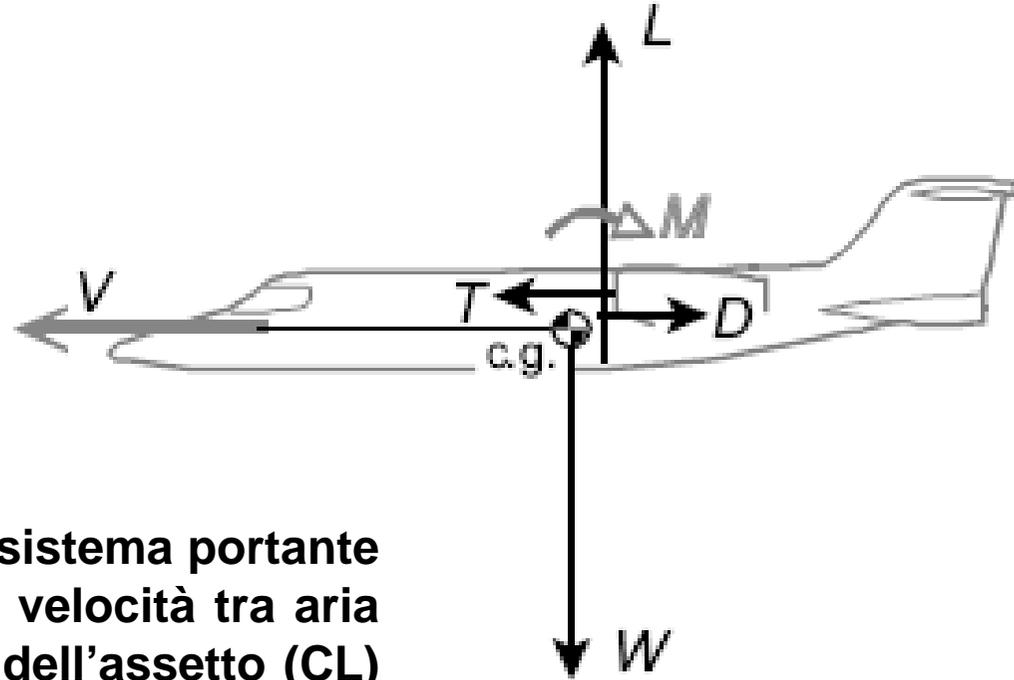
(a) lift on a wing and downwash in forward flight



(b) lift on a helicopter rotor and downwash in hovering flight

L'AEROPLANO (Velivolo)

$$L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S$$



La portanza (LIFT) è generata dal sistema portante principale (l'ala) in funzione della velocità tra aria e velivolo, della densità dell'aria, dell'assetto (CL) e della superficie (estensione) dell'ala stessa.

La portanza dovrà eguagliare il peso del velivolo (W) in volo.

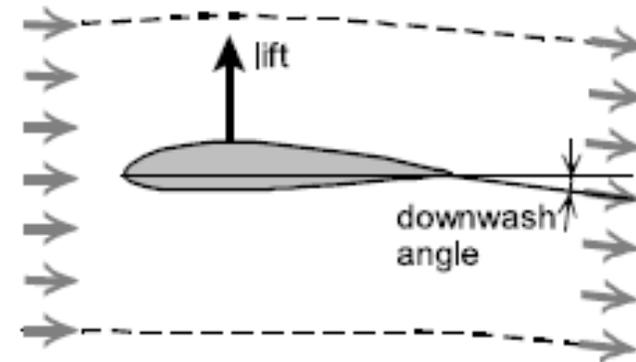
La resistenza aerodinamica (avanzare in un mezzo (gas) con una certa viscosità DEVE essere vinta ed equilibrata dalla SPINTA T.

L'AEROPILANO (Velivolo)

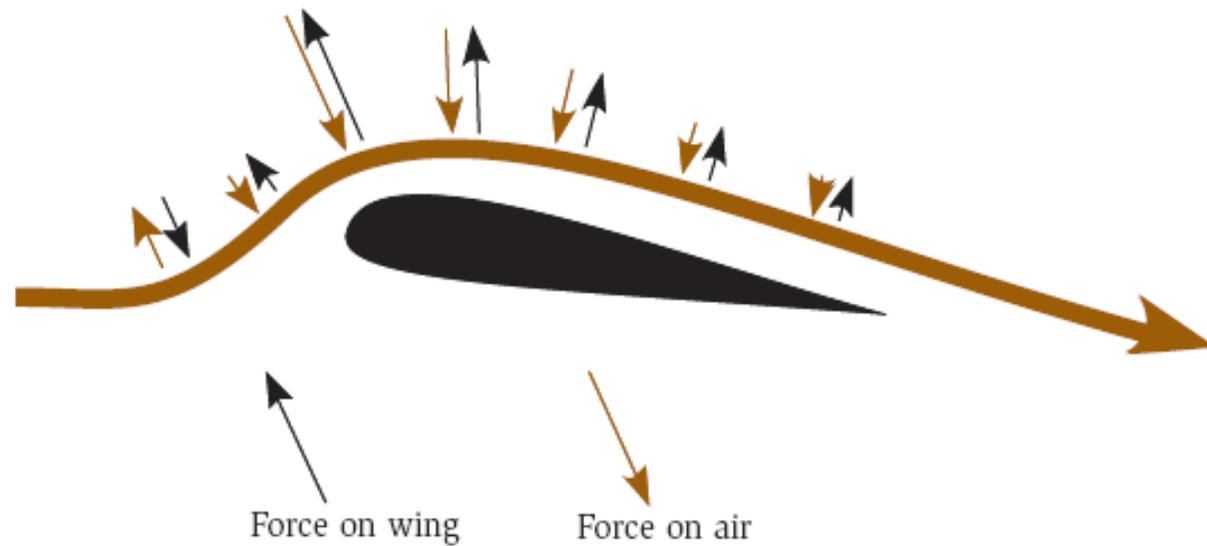
La portanza (LIFT)

$$L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S$$

PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE



(a) lift on a wing and downwash in forward flight



ARCHITETTURA DEL VELIVOLO

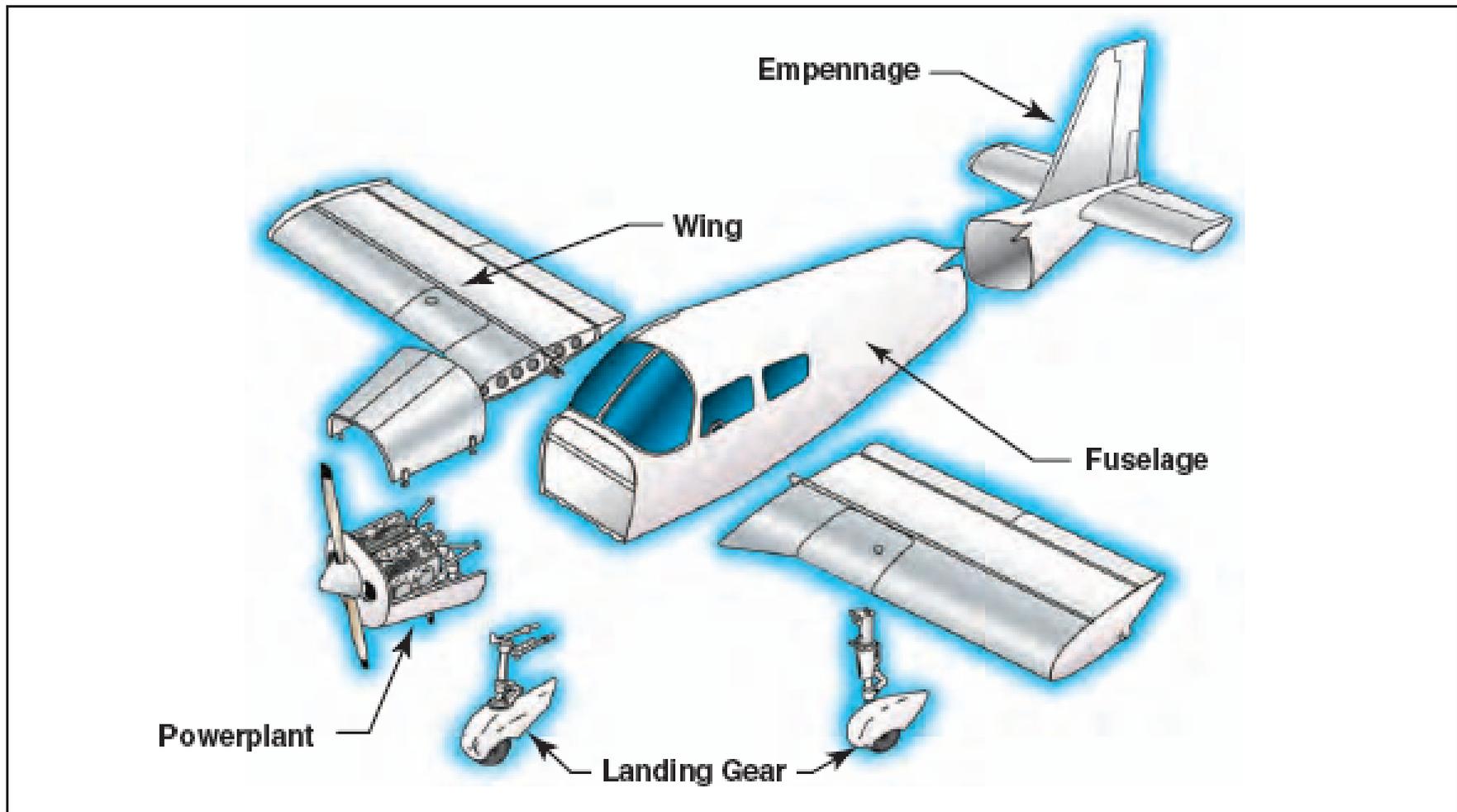


Figure 1-1. Airplane components.

ARCHITETTURA DEL VELIVOLO

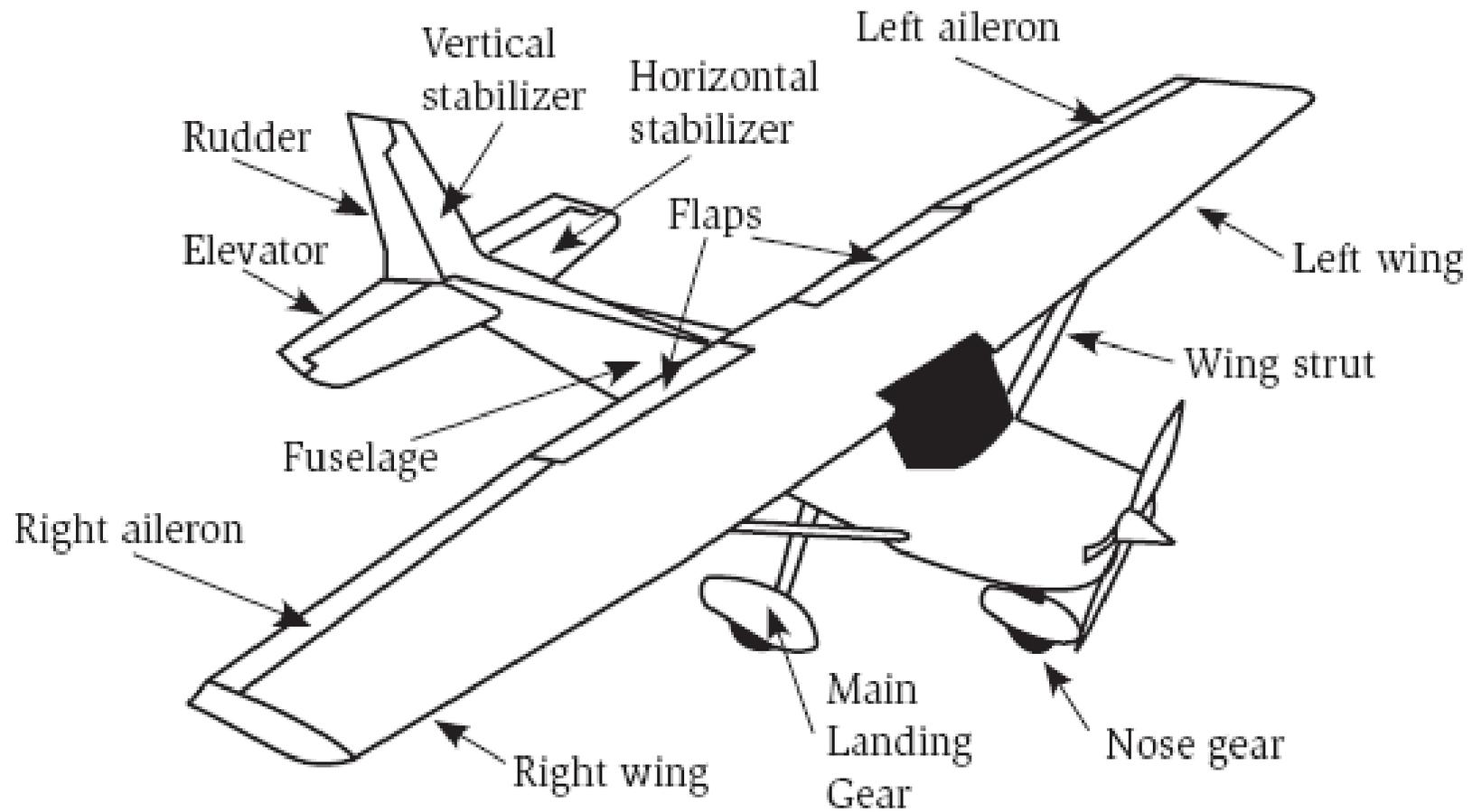


Fig. 1.1. Main components of an airplane.

Atmosfera

- F Prima di prendere in considerazione come vola un aereo bisogna prendere in considerazione il mezzo cui esso opera: l'Aria.
- F L'aria atmosferica è un miscuglio di vari elementi gassosi principalmente Ossigeno(21%) e Azoto(78%).
- F Le condizioni atmosferiche, e quindi i parametri che definiscono il gas aria (*Pressione, Temperatura, Densità*), variano da luogo a luogo e per lo stesso luogo al variare della quota.
- F Le prestazioni di un velivolo sono strettamente dipendenti dalle proprietà fisiche dell'aria, è stata perciò definita, di comune accordo tra le varie nazioni, un'aria tipo o *Atmosfera Standard I.S.A (International Standard Atmosfere)*.

Unità di Misura

- F Nel sistema *Internazionale mks* (metri, kilogrammi, secondi) :
 - *Forza = massa*accelerazione* = $m \cdot kg/s^2 = 1$ Newton (N), talvolta la forza può essere espressa (Sistema Tecnico) in $kgf = 9.81$ N ossia la forza esercitata da una massa di 1 Kg
 - *Energia = Forza*spostamento* = $N \cdot m = 1$ joule
 - *Temperatura* = gradi Kelvin (K). $1\ C^\circ = 273.14$ K
 - *Pressione= Forza/Superficie* = $N/m^2 = 1$ Pascal = 10^{-5} bar $\approx 10^{-5}$ atmosfere
- F Esistono svariati altri sistemi di misura tra cui uno dei più diffusi in campo aeronautico è quello *anglosassone*.

Unità di Misura

Pressione

	1 N/m ²	1 bar	1 kp/m ²	1 at	1 atm	1 psi
1 N/m ²	1	10 ⁻⁵	1,020 · 10 ⁻¹	1,020 · 10 ⁻⁵	9,867 · 10 ⁻⁹	1,450 · 10 ⁻⁴
1 bar (= 10 ⁵ dyn/cm ²)	10 ⁵	1	1,020 · 10 ⁴	1,020	9,867 · 10 ⁻¹	1,450 · 10 ¹
1 kp/m ²	9,807	9,807 · 10 ⁻⁵	1	10 ⁻⁴	9,578 · 10 ⁻⁵	1,422 · 10 ⁻³
1 at (= 1 kp/cm ²)	9,807 · 10 ⁴	9,807 · 10 ⁻¹	10 ³	1	9,578 · 10 ⁻¹	1,422 · 10 ¹
1 mm (760,0 mm _{Hg})	1,013 · 10 ⁵	1,013	1,033 · 10 ⁴	1,033	1	1,470 · 10 ¹
1 psi	6,895 · 10 ³	6,895 · 10 ⁻¹	7,031 · 10 ³	7,031 · 10 ⁻²	6,805 · 10 ⁻²	1

Temperatura

$$T \text{ (K)} = 273,2 + t \text{ (}^\circ\text{C)} = 5/9 T \text{ (}^\circ\text{R)} = 459,7 + t \text{ (}^\circ\text{F)}$$

$$t \text{ (}^\circ\text{C)} = T \text{ (K)} - 273,2 = 5/9 [t \text{ (}^\circ\text{F)} - 32,00] = 5/9 T \text{ (}^\circ\text{R)} - 273,2$$

$$T \text{ (}^\circ\text{R)} = 459,7 + t \text{ (}^\circ\text{F)} = 9/5 [t \text{ (}^\circ\text{C)} + 273,2] = 9/5 T \text{ (K)}$$

$$t \text{ (}^\circ\text{F)} = T \text{ (}^\circ\text{R)} - 459,7 = 9/5 t \text{ (}^\circ\text{C)} + 32,00 = 9/5 [T \text{ (K)} - 273,2] + 32,00$$

$$\Delta T \text{ (K)} = \Delta t \text{ (}^\circ\text{C)} = 5/9 \Delta t \text{ (}^\circ\text{F)} = 5/9 \Delta T \text{ (}^\circ\text{R)}$$

Unità di Misura

Forza

	1 N	1 kp	1 lb
1 N	1	$1,020 \cdot 10^{-1}$	$2,248 \cdot 10^{-1}$
1 kp	9,807	1	2,205
1 lb	4,448	$4,536 \cdot 10^{-1}$	1

Energia

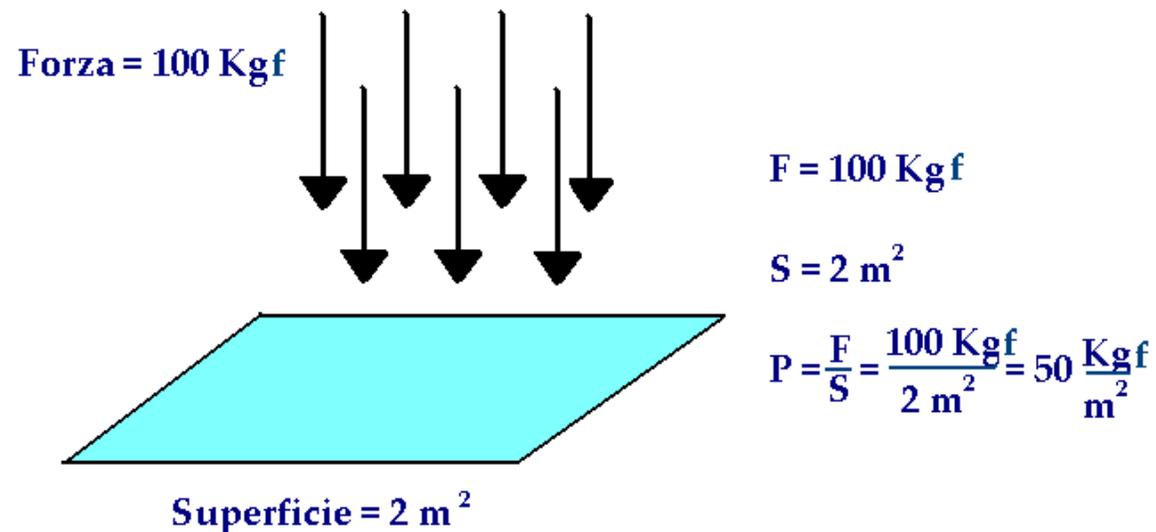
	1 kJ	1 kWh	1 kcal	1 kpm	1 lbft	1 Btu
1 kJ	1	$2,778 \cdot 10^{-4}$	$2,388 \cdot 10^{-1}$	$1,020 \cdot 10^2$	$7,376 \cdot 10^2$	$9,480 \cdot 10^{-1}$
1 kWh	$3,600 \cdot 10^3$	1	$3,598 \cdot 10^2$	$3,671 \cdot 10^2$	$2,655 \cdot 10^6$	$3,413 \cdot 10^3$
1 kcal	4,187	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	$4,269 \cdot 10^2$	$3,087 \cdot 10^3$	3,968
1 kpm	$9,807 \cdot 10^{-3}$	$2,721 \cdot 10^{-6}$	$2,342 \cdot 10^{-3}$	1	7,233	$9,297 \cdot 10^{-3}$
1 lbft	$1,356 \cdot 10^{-3}$	$3,766 \cdot 10^{-7}$	$3,233 \cdot 10^{-4}$	$1,383 \cdot 10^{-1}$	1	$1,286 \cdot 10^{-3}$
1 Btu	1,055	$2,928 \cdot 10^{-4}$	$2,520 \cdot 10^{-1}$	$1,076 \cdot 10^2$	$7,783 \cdot 10^2$	1

Potenza

	1 kW	1 kcal/h	1 kpm/h	1 Btu/h
1 kW	1	$8,598 \cdot 10^2$	$3,672 \cdot 10^5$	$3,413 \cdot 10^3$
1 kcal/h	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	$4,269 \cdot 10^2$	3,968
1 kpm/h	$2,724 \cdot 10^{-6}$	$2,342 \cdot 10^{-3}$	1	$9,297 \cdot 10^{-3}$
1 Btu/h	$2,928 \cdot 10^{-4}$	$2,520 \cdot 10^{-1}$	$1,076 \cdot 10^2$	1

Pressione

- F **Pressione** : La pressione è una Forza/Superficie .



- F A livello del mare il valore assunto è di 1013 mb e diminuisce seguendo una legge non lineare con l'altitudine.

Esempio 1: La pressione e le sue unità di misura

La pressione è uguale ad una forza per unità di superficie: $P=F/A$

Il peso è una forza data dalla massa per l'accelerazione di gravità ($g=9.81 \text{ m}^2/\text{s}$)
Poiché l'accelerazione di gravità può essere considerata costante, la pressione può essere anche rappresentata come massa/superficie!!

L'unità di misura della forza nel Sistema Internazionale (SI) è il Newton che corrisponde alla forza necessaria ad accelerare una massa di un chilogrammo di un metro al secondo in un secondo

Se con h viene indicata la quota, la pressione dell'aria a quota zero è:

$$\begin{aligned} & \text{Pascal} \\ P(h=0) &= 101325 \text{ Newton/m}^2 = 10329 \text{ Kg/m}^2 = 10 \text{ m colonna d'acqua} = 760 \text{ mm Hg} \\ & = 1013,25 \text{ mmbar} = 1 \text{ atm} \end{aligned}$$

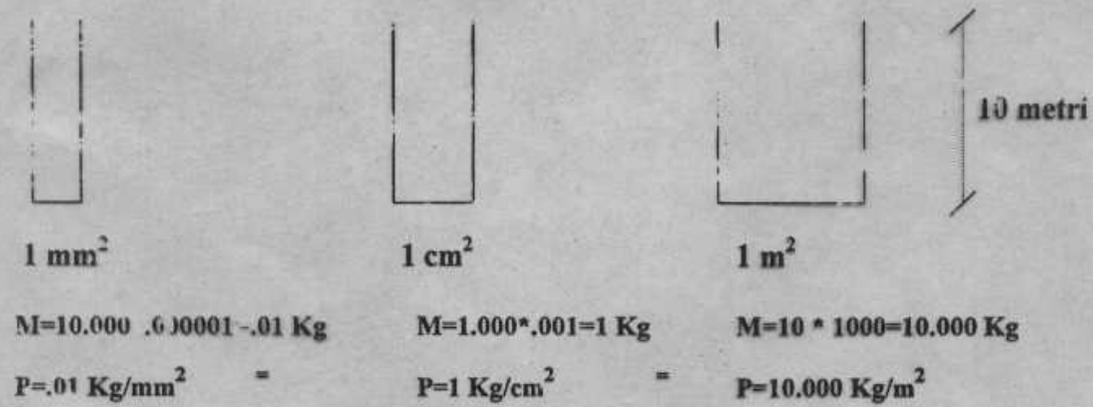
Dimostriamo come la pressione può essere indicata, per esempio, in mm di acqua.

Premesso che: $P=10000 \text{ Kg/m}^2 = 1. \text{ Kg/cm}^2 = .01 \text{ Kg/mm}^2$

e che

la densità dell'acqua $\rightarrow \rho = 1000 \text{ Kg/m}^3 = .001 \text{ Kg/cm}^3 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$

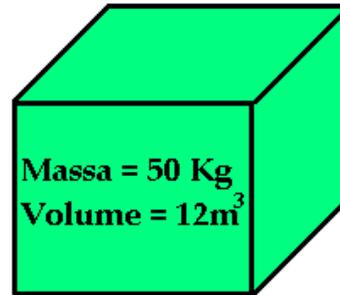
e che la massa $M = \text{Volume} \cdot \text{Densità}$, supponiamo di avere tre recipienti con le tre aree di base diverse così come indicato qui appresso.



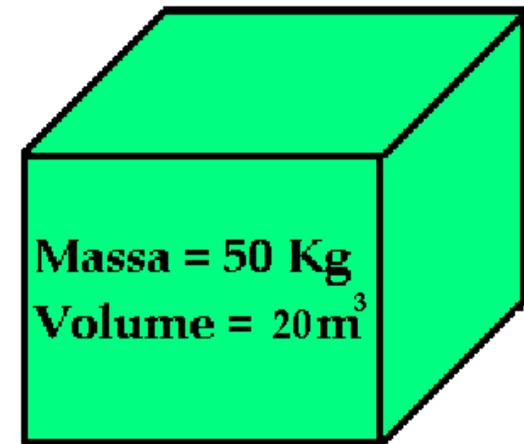
Quindi 1 mm. di acqua corrisponde ad 1 Kg/m^2 .

Densità

F **Densità** : le dimensioni sono Massa/Volume (Kg/m^3). A livello del mare il valore assunto è di $1.2 \text{ Kg}/\text{m}^3$ e diminuisce con un andamento simile a quello della pressione.



$$\begin{aligned} M &= 50 \text{ Kg} \\ V &= 12 \text{ m}^3 \\ \text{Densità} &= \frac{M}{V} = 4.17 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$



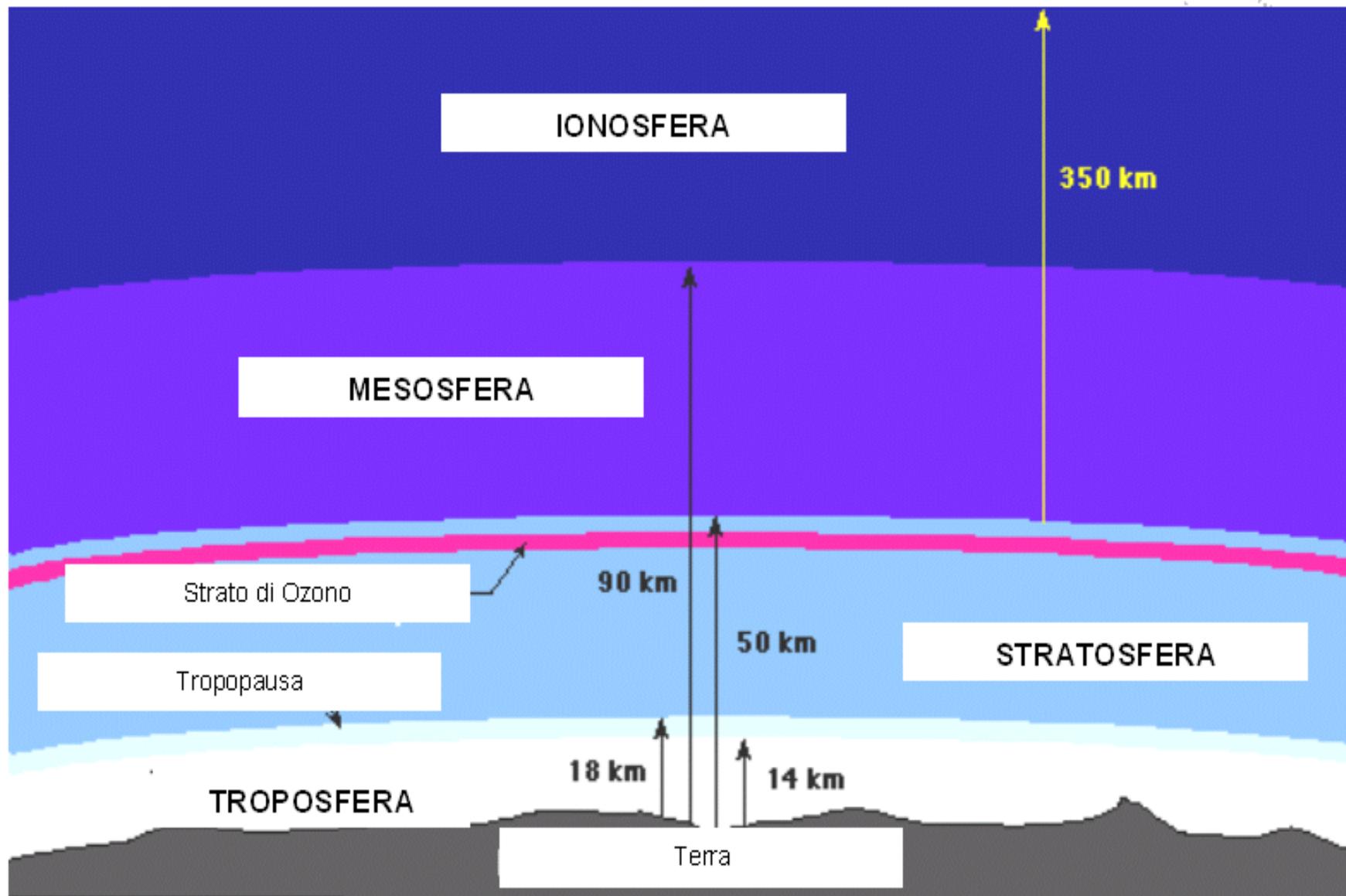
$$\begin{aligned} M &= 50 \text{ Kg} \\ V &= 20 \text{ m}^3 \\ \text{Densità} &= \frac{M}{V} = 2.5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

ATMOSFERA

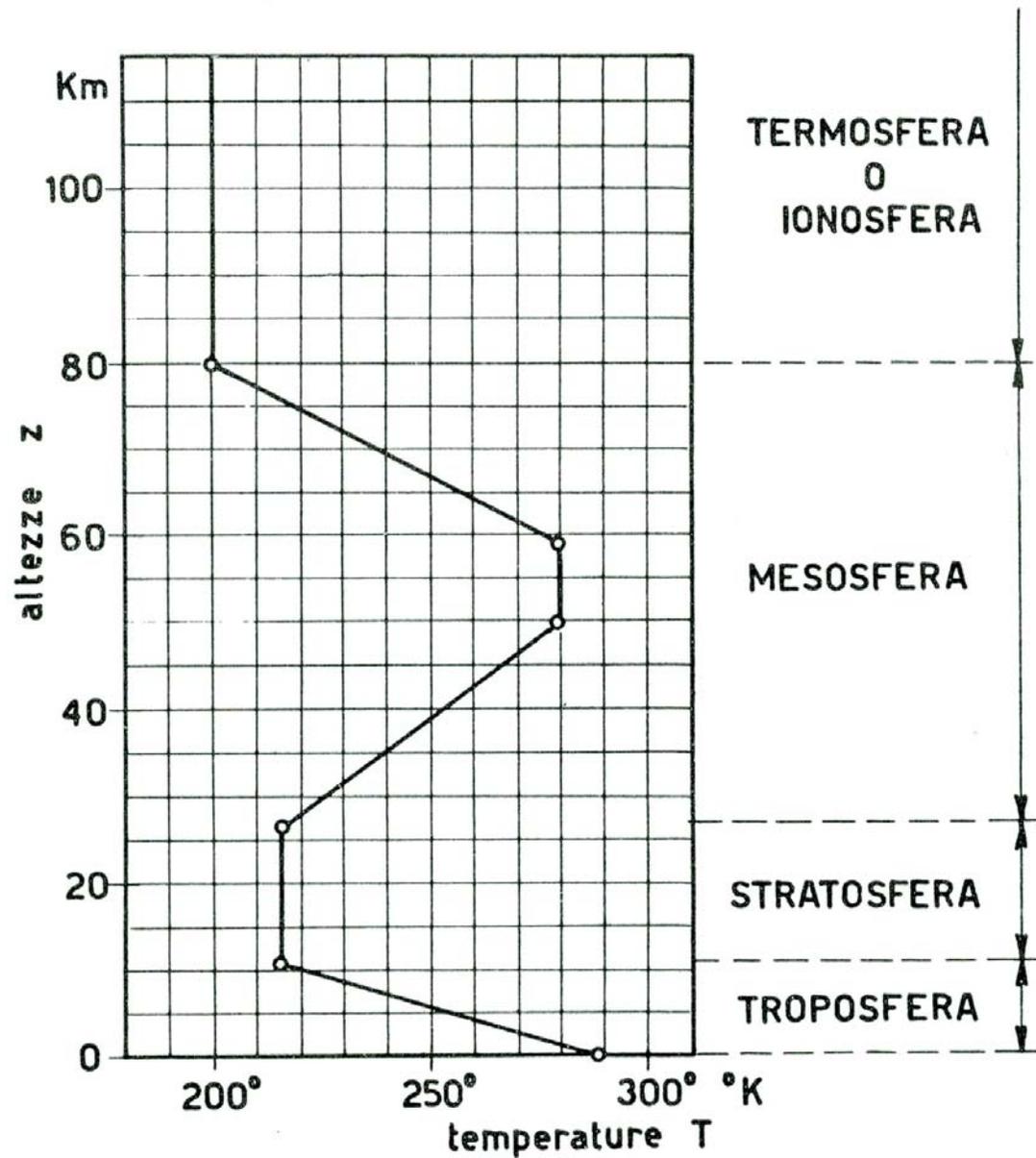
ATMOSFERA STANDARD (ISA, International Standard Atmosphere)

- Modello introdotto nel 1920 per la necessità di avere un modello di calcolo per le grandezze notevoli (Temperatura, pressione, densità, viscosità e vel. Suono) al variare della quota.
- Modello Internazionale riconosciuto nel 1952 (ICAO) (International Civil Aviation Organization) accettato dalla NACA nel 1952. Il modello copriva fino a 20 Km.
- Nel 1962 il modello fu esteso nella versione finale al di sopra dei 20 Km

ATMOSFERA



ATMOSFERA



Modello per la legge $T=T(z)$

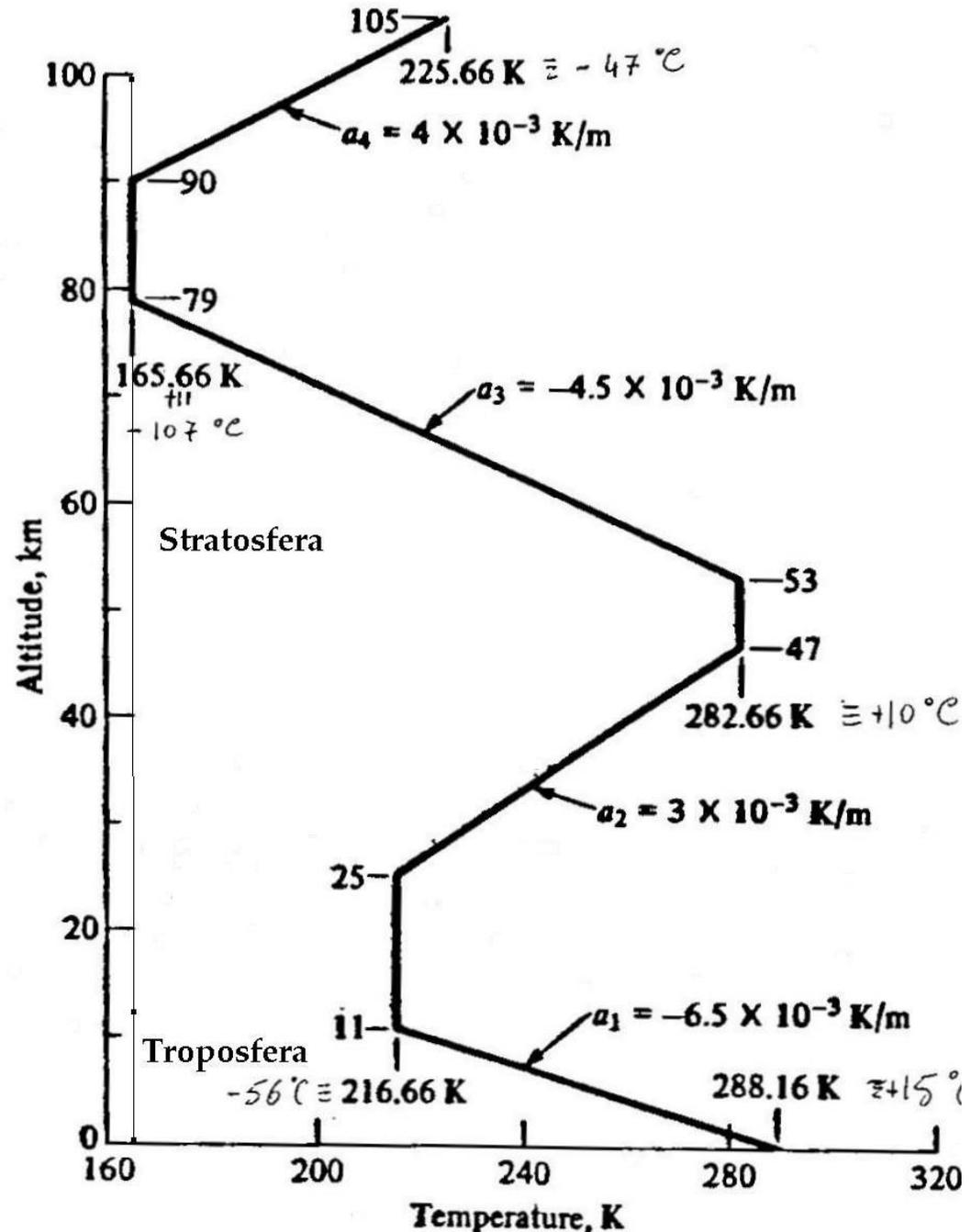
Nella Troposfera

$$\Rightarrow 6.5 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Km}$$

$$T_0 = 288 \text{ } ^\circ\text{K} \text{ (} 15 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

Temperatura

Temperatura: la temperatura è espressa in gradi Celsius °C il suo andamento con la quota è assunto essere quello descritto dalla regolamentazione ICAO (International Civil Aviation Organization)



Atmosfera Standard

- F Le caratteristiche dell'atmosfera standard dettate dalla regolamentazione ICAO sono:
- L'aria tipo dell'atmosfera standard è assunta essere secca.
 - La Pressione al livello del mare è di 1013.25 millibar ad una Temperatura di 15 ° c
 - La diminuzione di Temperatura è di 1.98 ° c per ogni 1000 feet fino ad un altitudine di 36090 feet sopra la quale è assunta essere costante pari a -56.5 ° c fino a 65800 feet.
 - L'accelerazione di gravità 'G' ha un valore uniforme al livello del mare di 9.81 m/sec².

ATMOSFERA

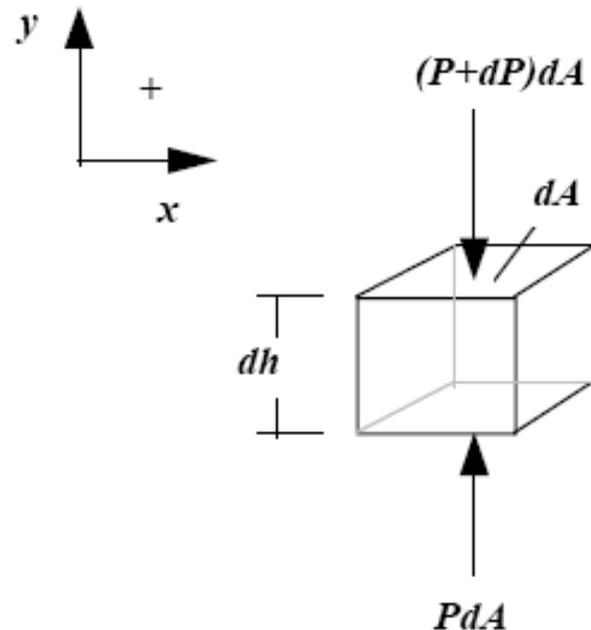
Si assume:

- Aria Gas Perfetto $p = \rho RT$

$$R = 287 \text{ J/Kg } ^\circ\text{K}$$

- Vale la legge di Stevino (equilibrio del cubetto)

$$dp = -\rho g dh$$



$$\sum F_y = m a_y = 0$$

$$PdA - (P + dP)dA - \rho g (dh)(dA) = 0$$

$$dP = -\rho g dh$$

- Modello per la legge $T = T(h)$ o $T(z)$

ATMOSFERA

Velocità del suono funzione della temperatura.

La velocità del suono è la velocità alla quale nel mezzo si propaga un disturbo di pressione.

$$a = \sqrt{\gamma RT}$$

Con $\gamma = 1.4$

ATMOSFERA

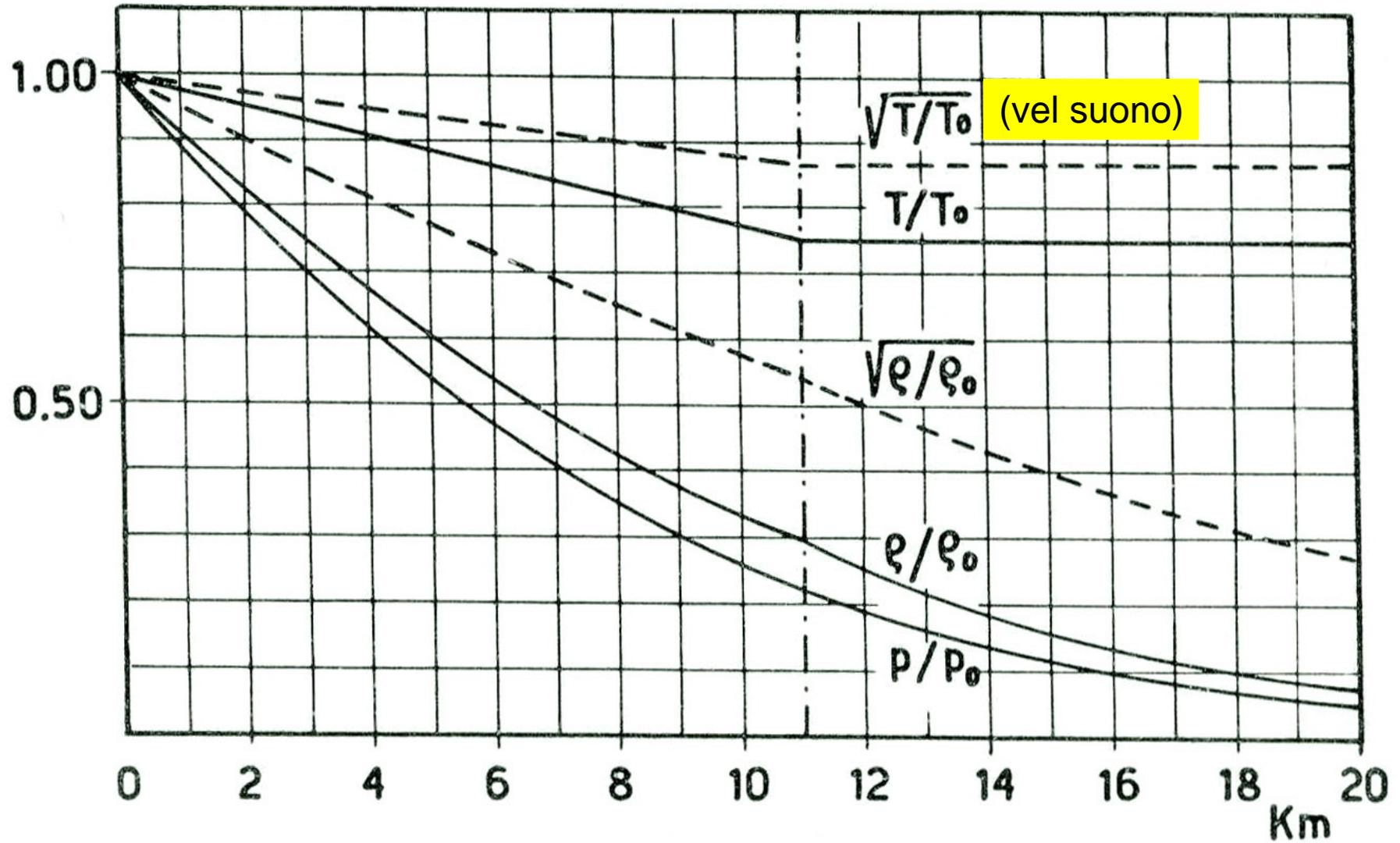
Quantità adimensionali:

- Temperatura relativa $\theta = \frac{T}{T_0}$ adim, con T e T_0 in $[K^\circ]$

- Pressione relativa $\sigma = \frac{P}{P_0}$ adim, con P e P_0 in $[Pa]$

- Densità relativa $\theta = \frac{\rho}{\rho_0}$ adim, con ρ e ρ_0 in $[Kg / m^3]$

ATMOSFERA



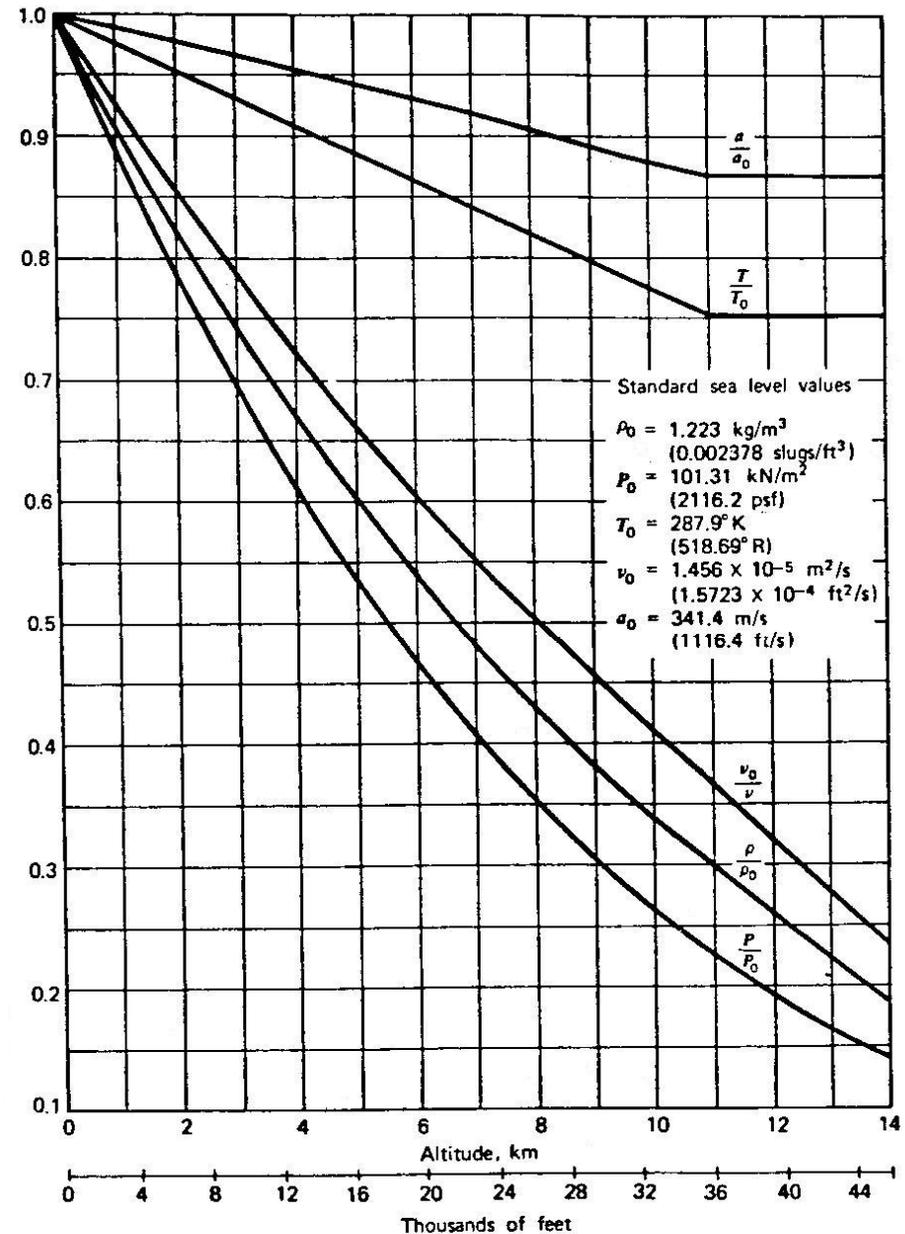
ATMOSFERA

TABLE A2 U.S. STANDARD ATMOSPHERIC IN METRIC UNITS

Alt.	Temp.	Temp. Ratio	Press.	Press. Ratio	Density	Density Ratio	Coeff. of Viscosity	Speed of Sound
h (m)	T (°K)	θ	p (N/m ²)	δ	ρ (Kg/m ³)	σ	μ (N - sec/m ²) (x10 ⁻⁵)	V _a (m/sec)
Geopotential								
0	288.2	1.0000	101,325	1.0000	1.2250	1.0000	1.789	340.3
500	284.9	0.9888	95,460	0.9421	1.1673	0.9529	1.774	338.4
1,000	281.7	0.9775	89,874	0.8870	1.1116	0.9075	1.758	336.4
1,500	278.4	0.9662	84,555	0.8345	1.0581	0.8637	1.742	334.5
2,000	275.2	0.9549	79,495	0.7846	1.0065	0.8216	1.726	332.5
2,500	271.9	0.9436	74,682	0.7371	0.95686	0.7811	1.710	330.6
3,000	268.7	0.9324	70,108	0.6919	0.90912	0.7421	1.694	328.6
3,500	265.4	0.9211	65,764	0.6490	0.86323	0.7047	1.678	326.6
4,000	262.2	0.9098	61,640	0.6083	0.81913	0.6687	1.661	324.6
4,500	258.9	0.8985	57,728	0.5697	0.77677	0.6341	1.645	332.6
5,000	255.7	0.8872	54,019	0.5331	0.73612	0.6009	1.628	320.5
5,500	252.4	0.8760	50,506	0.4985	0.69711	0.5691	1.612	318.5
6,000	249.2	0.8647	47,181	0.4656	0.65970	0.5385	1.595	316.4
6,500	245.9	0.8534	44,034	0.4346	0.62384	0.5093	1.578	314.4
7,000	242.7	0.8421	41,060	0.4052	0.58950	0.4812	1.561	312.4
7,500	239.4	0.8309	38,251	0.3775	0.55662	0.4544	1.544	310.2
8,000	236.2	0.8196	35,599	0.3513	0.52517	0.4287	1.527	308.1
8,500	232.9	0.8083	33,099	0.3267	0.49509	0.4042	1.510	305.9
9,000	229.7	0.7970	30,742	0.3034	0.46635	0.3807	1.492	303.8
9,500	226.4	0.7857	28,523	0.2815	0.43890	0.3583	1.475	301.6
10,000	223.2	0.7745	26,436	0.2609	0.41271	0.3369	1.457	299.5
10,500	219.9	0.7632	24,474	0.2415	0.38773	0.3165	1.439	297.3
11,000	216.7	0.7519	22,632	0.2234	0.36392	0.2971	1.422	295.1
11,500	216.7	0.7519	20,916	0.2064	0.33633	0.2746	1.422	295.1
12,000	216.7	0.7519	19,330	0.1908	0.31083	0.2537	1.422	295.1

Atmosfera Standard

- F Le caratteristiche assunte dalla regolamentazione ICAO assumono, come visto, andamenti della temperatura diversi per diverse altitudini.



The standard atmosphere.

ATMOSFERA

$$\theta = (T/T_0) \quad \text{ricavabile dalla legge}$$

$$T(z) = T_0 - T_z z$$

$$\delta = (p/p_0) = \theta^{5.256}$$

$$\text{con } T_z = 0.0065 \cdot ^\circ\text{C/m}$$

$$\sigma = (\rho/\rho_0) = \theta^{4.256}$$

Quando si considera la quota corrispondente a certi valori di pressione secondo la tabella dell'atmosfera standard si parla di quota-pressione (pressure altitude), quando invece si parla di quota corrispondente a certi valori di T si parla di quota-temperatura (temperature-altitude) e per la densità si parla di quota-densità (density-altitude).

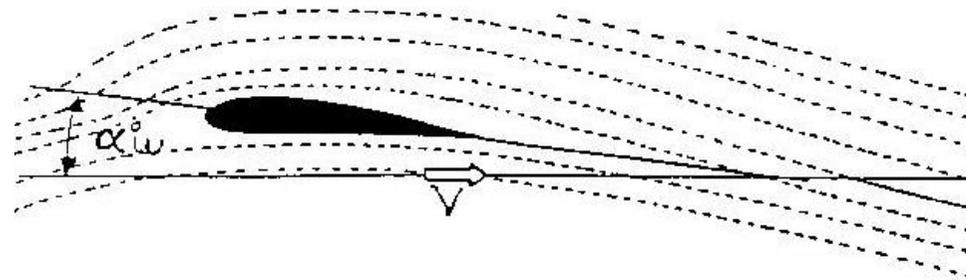
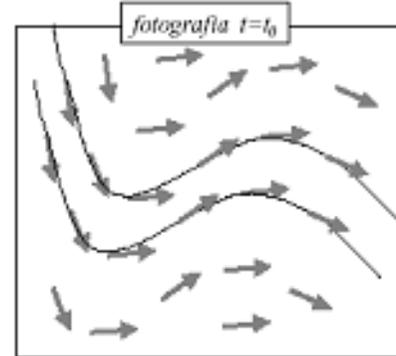
Ad esempio, secondo la tabella ISA, la quota pressione corrispondente ad una $p = 54019 \text{ N/m}^2$ è pari a 5000 m.

Analogamente, la quota-densità corrispondente ad un rapporto di densità $\sigma = 0.51$ è 6500 m.

Alcune Definizioni

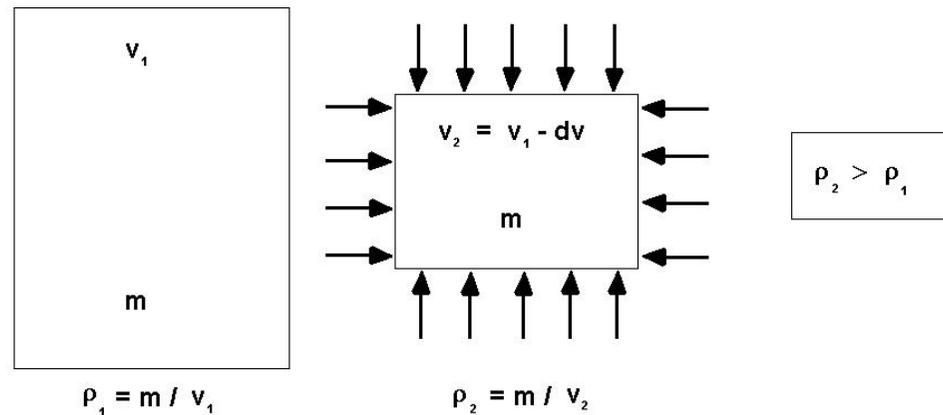
- F Allo scopo di comprendere meglio i concetti che verranno analizzati in seguito è utile dare alcune definizioni.
- **Fluido** : liquido o gas le cui proprietà sono quelle fluire sotto l' azione di forze anche piccole.

- **Linea di corrente** : è detta *linea di corrente* una curva le cui tangenti in ogni punto coincidono col vettore velocità



Alcune Definizioni

- **Flusso Comprimibile:** viene definito flusso comprimibile un flusso in cui la densità può cambiare da punto a punto.



- **Flusso incompressibile:** viene definito flusso incompressibile un flusso in cui la densità del fluido è sempre costante. In realtà in natura questa condizione non è mai verificata però per i flussi in cui la variazione di densità può essere considerata trascurabile è conveniente fare l'assunzione $\rho = \text{costante}$