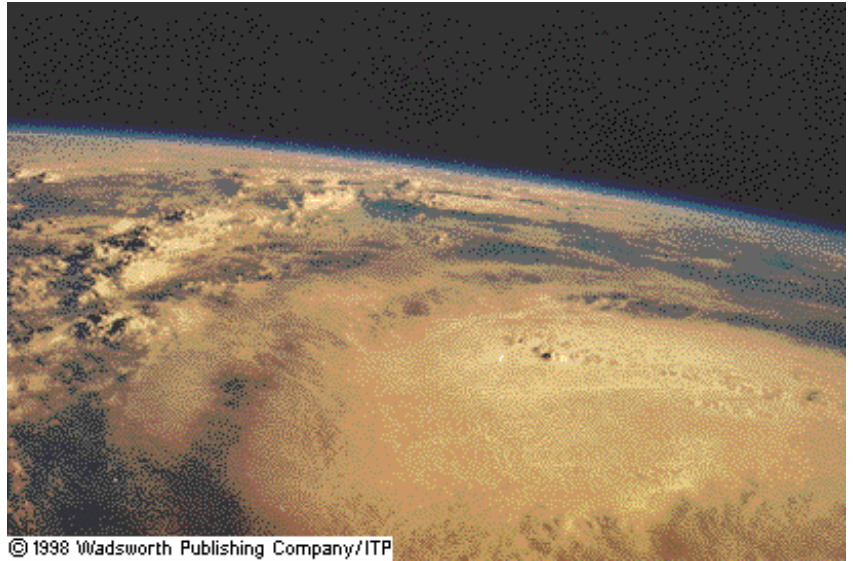


## ATMOSFERA TERRESTRE

### La meteorologia e cenni sull'organizzazione del servizio meteorologico

La meteorologia è la scienza che studia l'atmosfera ed i fenomeni che avvengono nell'atmosfera. Come tutte le scienze è a sua volta suddivisa in più settori che studiano i differenti risvolti che riguardano la disciplina. In particolare vale la pena ricordare:

- Meteorologia fisica, che studia le proprietà fisiche dell'atmosfera e le leggi relative.
- Meteorologia sinottica, che si occupa della rappresentazione e dell'analisi dei dati meteorologici ed è alla base della previsione del tempo.
- Meteorologia dinamica, che ha lo scopo di creare opportuni modelli teorici dell'atmosfera finalizzati alla realizzazione di previsioni sempre più affidabili.
- Micrometeorologia, che studia i processi dell'aria a stretto contatto con il suolo.



© 1998 Wadsworth Publishing Company/ITP

**Fig. 1** Atmosfera terrestre vista dallo Space Shuttle.

L'organizzazione del servizio meteorologico ha come riferimento l'organizzazione meteorologica mondiale

(WMO World Meteorological Organization), che definisce e propone i protocolli acquisizione dei dati finalizzati ad una standardizzazione dei processi. Per esempio la raccolta dei dati avviene alle cosiddette "ore sinottiche principali" (00.00, 06.00, 12.00, 18.00 UT) ed "ore sinottiche intermedie" (03.00, 09.00, 15.00, 21.00 UT).

Il processo di previsione si può pensare completato nelle seguenti fasi:

1. Osservazione ed acquisizione dei dati meteorologici
  - Stazioni di terra: la capannina meteorologica.
  - Stazioni di mare: navi del servizio meteorologico, boe oceaniche.
  - Stazioni di aria: sonde meteorologiche, aerei del servizio meteorologico, satelliti (orbitanti e geostazionari).
2. Trasmissione dei dati ai centri di raccolta e di analisi.
3. Analisi dei dati (studio statistico e quindi elaborazione dei dati climatologici e studio dinamico, attraverso opportuni modelli, finalizzato all'elaborazione della previsione).
4. Elaborazione della previsione
5. Diffusione della previsione (sia alla stampa che ai centri di raccolta dati i quali possono a loro volta elaborare previsioni a carattere locale).

### Breve storia della meteorologia

La meteorologia è stata discussa per la prima volta da Aristotele attorno al 340 a.c. nel libro "Meteorologica" ove quale vengono riepilogate le conoscenze in meteorologia dell'epoca.

Tra il 17° ed il 18° secolo (1600-1700) la meteorologia si propone alla ribalta con la creazione dei primi strumenti meteorologici come il termometro ed il barometro.

Nel corso del 19° (1800) secolo le osservazioni cominciarono a divenire prassi abituale ed i dati meteorologici cominciarono ad essere trasmessi tramite il telegrafo.

Nel 1920 meteorologi norvegesi introdussero i concetti di massa d'aria e fronte. Contestualmente svilupparono la teoria dell'evoluzione dei cicloni extra-tropicali di uso ancora attuale.

Nel 1927 venne lanciata la prima sonda meteorologica. Oggi i lanci avvengono di norma due volte al giorno (00.00 e 12.00)

Dopo il secondo conflitto mondiale furono installati i primi RADAR meteorologici. Negli anni '50 vennero elaborati i primi modelli computerizzati dell'atmosfera, mentre negli anni '60 vennero lanciati i primi satelliti meteorologici (Tiros I).

L'avvento di elaboratori sempre più potenti e sempre più veloci, unitamente al notevole progresso tecnologico, ci consente attualmente di osservare i fenomeni meteorologici su qualsiasi base spaziale:

<u>Scala Spaziale</u>	<u>Fenomeno</u>
1cm	Turbolenze Raffiche di vento
1m	Tornados
1km	Temporali, Microburst,
10km	Brezze
100km	Uragani, Linee di Tempesta
>1000km	Fronti Caldi, Freddi, Cicloni, Anticicloni

# ATMOSFERA TERRESTRE

## Atmosfera Terrestre

L'atmosfera terrestre avvolge la Terra per un modesto spessore rispetto alle sue dimensioni. Infatti più del 99% dell'aria si trova concentrata per lo più nei primi 30km che, confrontati col raggio terrestre (~6400km) sono davvero pochi (grossomodo il 0,5% del raggio terrestre).

L'atmosfera è trattenuta dalla forza di gravità ed è trascinata per attrito nel moto di rotazione. Essa si compone essenzialmente di gas, i quali possono essere suddivisi in:

GAS IN CONCENTRAZIONE PERMANENTE			
Gas	Simbolo Chimico	%	Importanza
Azoto	N <sub>2</sub>	78,08	Biosfera
Ossigeno	O <sub>2</sub>	21	Biosfera
Argon	Ar <sub>2</sub>	0,9	Gas Inerte
GAS IN CONCENTRAZIONE VARIABILE			
Gas	Simbolo Chimico	%	Importanza
Vapore Acqueo	H <sub>2</sub> O	0-4	Consente gli scambi energetici, è un gas serra
Anidride Carbonica	CO <sub>2</sub>	0,036	Consente la Fotosintesi, è un gas serra
Metano	CH <sub>4</sub>	0.00017	Gas serra, più attivo dell'anidride carbonica
Biossido di Azoto	NO <sub>2</sub>	0.00003	Gas serra
Ozono	O <sub>3</sub>	0.000004	In quota filtra i raggi solari, al suolo è un inquinante
Pulviscolo atmosferico	-	0.000001	Nuclei di condensazione

Il pulviscolo atmosferico, di dimensioni inferiori a 0,1mm, è composto per lo più da polveri da erosione e da sali immessi in atmosfera a seguito dei processi di evaporazione sugli oceani. Nei grandi insediamenti urbani, parte del pulviscolo è di origine artificiale ed è la conseguenza dei rilasci nell'atmosfera a seguito di attività antropiche.

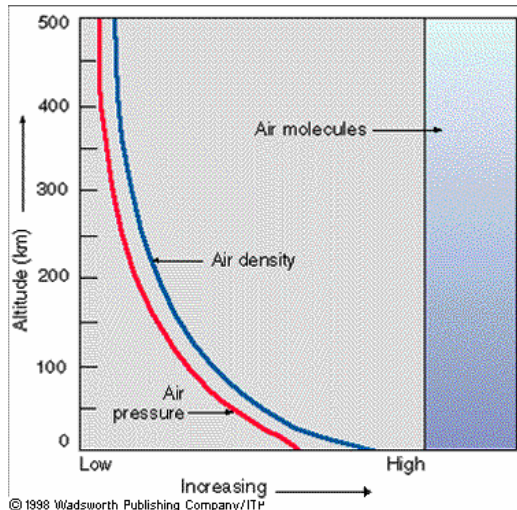


Fig. 2 Andamento di Densità e Pressione con la quota.

## Grandezze fisiche dell'atmosfera

Le principali variabili meteorologiche dell'atmosfera sono: Densità, Pressione e Temperatura.

La densità è definita come la quantità di massa contenuta nell'unità di volume:

$$\rho = m/V \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Viene calcolata per definire la massa di aria in un dato volume. La densità diminuisce con l'altezza, secondo l'andamento illustrato in figura 2.

La densità dell'aria al suolo a 15°C vale 1,23 kg/m<sup>3</sup>. Essa non è né percepibile dai nostri sensi né misurabile con metodi diretti.

La pressione è definita come la forza agente sull'unità di superficie:

$$P = F/S \text{ [N/m}^2\text{ = Pa]}$$

Nel caso dell'aria essa rappresenta la sommatoria dei pesi dei singoli gas che la compongono.

Anche la pressione diminuisce con la quota e non è percepibile, ma può essere misurata in modo diretto (barometro). L'andamento di tale diminuzione con la quota è illustrato nelle figure 2 e 3.

Volendo essere più precisi la diminuzione della pressione con la quota può essere definita a partire dalla formula barometrica:

$$P = P_0 e^{-10,0342(Z-Z_0)/T}$$

dove P<sub>0</sub> rappresenta la pressione alla quota Z<sub>0</sub>, T è la temperatura media, espressa in gradi Kelvin, tra la quota Z e la quota Z<sub>0</sub>, mentre P esprime il valore della pressione alla quota Z voluta.

Volendo invece procedere in modo approssimato è possibile ammettere che la pressione diminuisca di circa:

- 1hPa/8m in corrispondenza del suolo
- 1hPa/10m a quote dell'ordine dei 1500m
- 1hPa/12m a quote dell'ordine dei 3000m

La pressione al livello del mare a 15°C vale 1013,27hPa.

La temperatura è più difficile da definire.

E' una forma di energia, legata al concetto di calore. In prima analisi può essere definita come lo stato di agitazione termica della materia.

La temperatura dell'aria, a differenza di densità e pressione, può essere percepita dai nostri sensi e può essere misurata in modo diretto (termometro).

L'andamento della temperatura con la quota è invece differente. L'atmosfera è stata infatti suddivisa in più strati, ciascuno dei quali è

caratterizzato da un ben preciso andamento di questa grandezza, come illustrato nella figura 4.

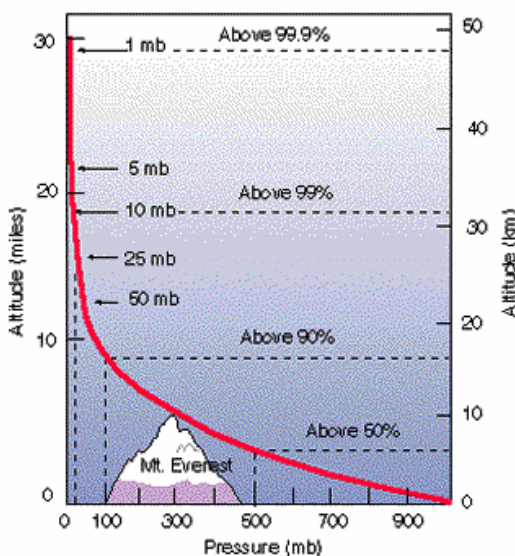


Fig. 3 Andamento e valori della Pressione con la quota.

# ATMOSFERA TERRESTRE

Al suolo, il valore medio della temperatura dell'aria, corrisponde a 15°C.

## Struttura verticale dell'atmosfera

Dalla figura 4 distinguiamo nell'ordine:

- Troposfera
- Stratosfera
- Mesosfera
- Termosfera

L'interfaccia tra due strati diversi prende il suffisso "-pausa", quindi individuiamo la tropopausa, la stratopausa, la mesopausa.

La Troposfera si estende dalla superficie terrestre fino a circa 10-12km e rappresenta la porzione di atmosfera all'interno della quale avvengono tutti i processi del tempo meteorologico. E' di per sé instabile. Al suo interno la temperatura diminuisce secondo il gradiente termico verticale:

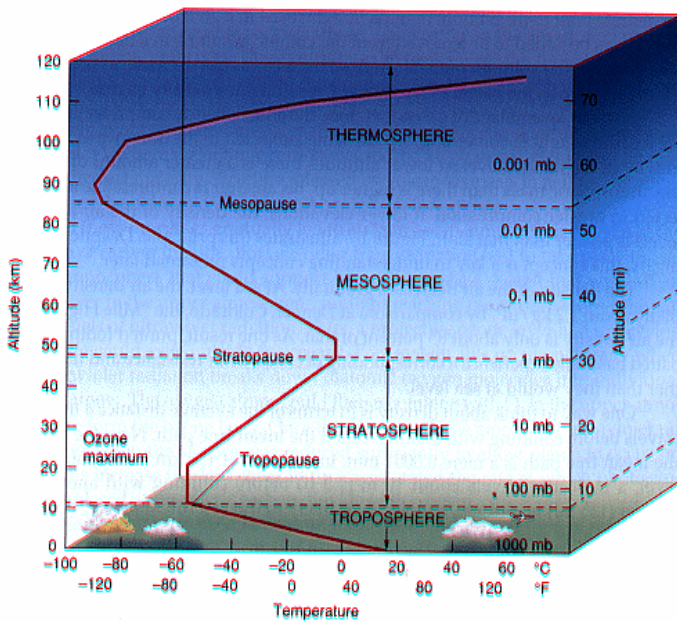


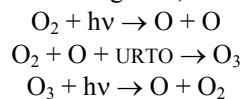
Fig. 4 Struttura verticale dell'atmosfera.

particolarmente preciso questo passaggio. In condizioni di cielo sereno ed assenza di vento la quota dello zero termico rappresenta piuttosto una quota attorno alla quale avverrà il passaggio da valori positivi a negativi.

Tale quota può essere in sostanza utilizzata per stabilire il carattere delle eventuali precipitazioni in arrivo.

La Stratosfera si estende dalla tropopausa fino a circa 50km. Al suo interno troviamo lo strato di Ozono (Ozonosfera), il cui picco di concentrazione cade attorno ai 20-30km. L'ozono non è pertanto distribuito in modo omogeneo. In questo strato, a causa delle reazioni esotermiche definite dall'Ozonosfera con i raggi ultravioletti provenienti dal sole, la temperatura aumenta con la quota (inversione termica).

Le reazioni esotermiche che coinvolgono l'ozono sono le seguenti, secondo un processo ciclico:



Come in tutte le situazioni di inversione termica, lo strato presenta caratteristiche di stabilità

Lo strato successivo definisce la Mesosfera, all'interno della quale la temperatura diminuisce con la quota. Fino ai limiti di questo strato si può affermare che i gas che compongono l'atmosfera mantengono una certa uniformità di composizione.

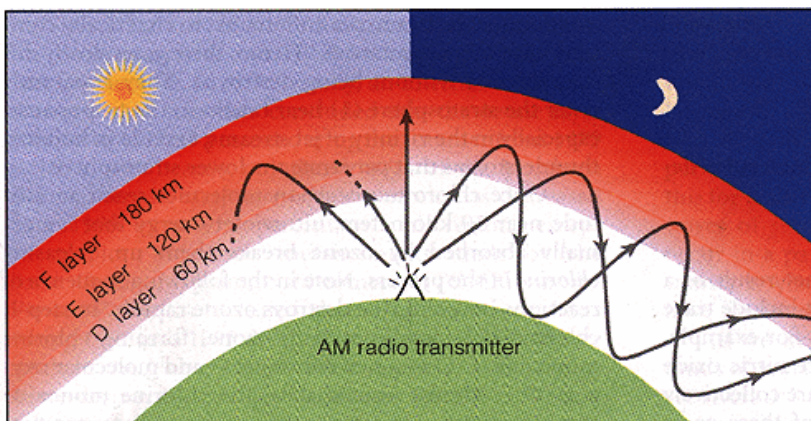


Fig. 5 Gli strati della Ionosfera e l'effetto sulle onde elettromagnetiche.

$$\gamma = \Delta T / \Delta Z$$

corrispondente a circa 0,65°C per ogni 100m di ascesa per aria umida e di 1,00°C per ogni 100m di ascesa per aria secca.

Nella parte immediatamente sottostante la tropopausa si individuano i Jet Stream o correnti a getto.

Nella troposfera troviamo infine due suddivisioni ulteriori che rivestono una certa importanza nella pianificazione di certi processi: lo strato limite e la quota dello zero termico.

Lo strato limite è compreso tra 300m e 3km di quota ed è importante perché definisce il livello al di sopra del quale si ha la "libera atmosfera" cioè la parte di atmosfera caratterizzata da ridotta escursione termica e minor turbolenza rispetto a quella a più stretto contatto con il suolo ed alle conseguenze della risposta termica dovuta all'insolazione.

La quota dello zero termico definisce la quota alla quale la temperatura dell'aria passa da valori positivi a valori negativi. In condizioni di cielo coperto e presenza di vento la quota dello zero termico definisce in modo

Lo strato immediatamente successivo costituisce le Termosfera. Qui la temperatura aumenta con la quota, anche se, l'assenza di materia modifica per certi versi il concetto stesso di misura della temperatura e le sue variazioni.

Secondo la legge di Joule-Clausius si ha infatti che risulta:

$$T \propto (\text{MASSA MOLECOLARE}) \cdot v^2$$

Quindi, pur essendoci una densità piuttosto bassa, la temperatura aumenta a causa degli urti molto energetici.

La regione che sta a cavallo tra Mesosfera e Termosfera individua un ulteriore strato: la Ionosfera.

## ATMOSFERA TERRESTRE

Questo strato è così definito a causa della presenza di atomi e molecole ionizzate che hanno cioè perso uno o più elettroni a causa dell'interazione con la radiazione solare. La ionosfera è di primaria importanza nella propagazione dei segnali radio e, quindi, nelle comunicazioni a grande distanza, come peraltro illustrato nella figura 5.

Il fenomeno della ionizzazione è infatti responsabile dei processi di rifrazione, riflessione ed assorbimento delle onde radio.

La Ionosfera si suddivide in tre strati denominati D, E, F. Ciascuno di essi agisce nei confronti delle onde aventi una ben definita lunghezza d'onda ( $\lambda$ ).

Lo strato D è presente solo nelle ore diurne ed è uno strato che tende ad assorbire le onde. Scompare però nelle ore notturne. Gli strati E ed F sono sempre presenti anche se nelle ore notturne tendono ad elevarsi a quote maggiori. Nella propagazione delle onde questi strati hanno il compito di riflettere a terra le onde. Gli strati F si suddividono a loro volta in F<sub>1</sub> ed F<sub>2</sub>.

### Tempo meteorologico e clima

Possiamo in conclusione dare le definizioni di tempo meteorologico e di clima, nonché introdurre le grandezze fisiche di base del tempo meteorologico.

Il tempo meteorologico si può definire come lo stato dell'atmosfera in una particolare località in un certo istante. Il clima rappresenta invece una media del tempo meteorologico su una determinata regione.

Ne segue che il tempo meteorologico può variare anche velocemente, ma il clima di una regione può variare solo su ampia scala temporale.

Il tempo meteorologico è caratterizzato dai seguenti parametri:

Grandezza	Unità di misura	Strumento
Energia della radiazione	W/m <sup>2</sup>	Piranografo
Temperatura dell'aria	°K, °C, °F	Termometro, Termografo
Pressione	hPa, torr	Barometro, Barografo
Umidità	%	Igrografo, Psicrometro
Precipitazioni	mm	Pluviografo
Visibilità	miglia, km	Radar
Vento	nodi, m/s, km/h	Anemografo, Anemoscopio, Anemometro, Banderuola

Si osservi che gli strumenti con il suffisso "-grafo" sono tutti strumenti scriventi attraverso i quali è possibile risalire all'andamento di una determinata grandezza nel corso del tempo. Gli strumenti con il suffisso "-metro" consentono invece solo la lettura di dati istantanei ovvero dei dati riferiti all'ultimo azzeramento dello strumento.

### Atmosfera Standard ed aria tipo

Allo scopo di procedere allo studio di un modello avente caratteristiche uniformi, cui apportarsi anche in sede di correzione dei dati letti nelle stazioni meteorologiche, si definisce l'aria tipo, le cui caratteristiche sono:

1. Segue la legge dei gas perfetti.
2. Latitudine di riferimento:  $\varphi = 45^\circ$
3. Temperatura sul livello del mare: 15°C
4. Umidità assoluta: 0 (esprime il peso di vapore acqueo contenuto nell'unità di volume di aria secca)
5. Pressione sul livello del mare: 1013,27hPa
6. Gradiente barico verticale: -1hPa/10m
7. Gradiente termico verticale: -1°C/100m

Appare evidente che una struttura di questo tipo non può rappresentare a pieno le caratteristiche dell'aria reale. Fra le altre caratteristiche dell'aria reale sono da segnalare le seguenti:

1. Trasparente ed incolore.
2. Cattiva conduttrice del calore e dell'elettricità se secca.
3. Può espandersi (comprimersi) come conseguenza dell'aumento (diminuzione) del volume disponibile.
4. Ha viscosità pressoché nulla.

### Velocità di fuga

Non tutto ciò che si trova sulla Terra resta "attaccato" ad essa. Si definisce velocità di fuga la velocità minima iniziale a cui un oggetto senza propulsione deve muoversi per potersi allontanare indefinitamente da una fonte di campo gravitazionale, senza considerare altri fattori come l'attrito.

Questa definizione potrebbe aver bisogno di modifiche nel caso pratico di due o più sorgenti di campo gravitazionale. In ogni caso, assumere che l'oggetto abbia una massa trascurabile rispetto alla sorgente del campo gravitazionale, è solitamente un'eccellente approssimazione.

Comunemente si definisce la velocità di fuga come la velocità necessaria per liberarsi da un campo gravitazionale, questa definizione è inesatta perché un campo gravitazionale è infinitamente esteso.

Una caratteristica della velocità di fuga è che è indipendente dalla direzione, quindi la si può trattare come una grandezza scalare.

Il modo più semplice di derivare la formula per la velocità di fuga è utilizzare la legge della conservazione dell'energia.

## ATMOSFERA TERRESTRE

La velocità di fuga può essere definita più formalmente come la velocità iniziale necessaria per andare da un punto in un campo potenziale gravitazionale fino all'infinito con velocità residua nulla, relativamente al campo stesso. Nell'uso comune, il punto iniziale è posto sulla superficie di un pianeta o di una luna. È una quantità teorica, perché presume che un oggetto sia lanciato nello spazio come un proiettile. Nella realtà si utilizza quasi sempre un mezzo di propulsione per entrare nello "spazio" e quindi, in pratica, non è necessario arrivare a velocità così elevate. Non a caso è proprio nello "spazio" che l'idea di velocità di fuga prende un più significato più concreto.

Nel caso semplice di velocità di fuga da un corpo solo, la velocità di fuga può essere calcolata come segue a partire dalle eguaglianza delle relazioni che definiscono l'energia cinetica e la forza gravitazionale, ottenendo:

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{GMm}{r}$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

dove  $v_f$  è la velocità di fuga,  $G$  è la costante gravitazionale ( $6,67 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$ ),  $M$  è la massa della sorgente del campo gravitazionale,  $m$  è la massa del corpo che si allontana ed  $r$  è la distanza tra il centro del corpo ed il punto per cui si calcola la velocità di fuga. Nel caso della Terra (massa della Terra:  $5,99 \cdot 10^{24} \text{kg}$ ), ammettendo di partire dalla sua superficie ( $r = 6378 \text{km}$ ) il valore risulta pari a  $11,18 \text{km/s}$ ; a  $9000 \text{km}$  dalla superficie è leggermente inferiore a  $7,1 \text{km/s}$ .

È possibile ottenere tale velocità con un'accelerazione continua dalla superficie fino a quell'altezza. A questo punto non è più necessario arrivare alla velocità di  $11,18 \text{km/s}$ ; anche senza propulsione l'oggetto si può allontanare dalla Terra indefinitamente.

Ciò significa che superato tale valore l'oggetto può allontanarsi dalla Terra, mantenendosi sotto tale valore, invece, l'oggetto può tornare sulla Terra.

Di seguito sono riportati alcuni valori della velocità di fuga relativa ai pianeti del sistema solare.

### Velocità di fuga dai pianeti del sistema solare

Pianeta	Velocità di fuga
<a href="#">Mercurio</a>	4,435 km/s
<a href="#">Venere</a>	10,4 km/s
<a href="#">Terra</a>	11,18 km/s
<a href="#">Marte</a>	5,04 km/s
<a href="#">Giove</a>	59,5 km/s
<a href="#">Saturno</a>	35,6 km/s
<a href="#">Urano</a>	21,3 km/s
<a href="#">Nettuno</a>	23,3 km/s
<a href="#">Plutone</a>	1,3 km/s

### Riferimenti Bibliografici

- ❑ Ahrens, "Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment" Brooks & Cole Pub Co.
- ❑ Barry, Chorley "Atmosphere, weather & climate" Ed. Routledge, Londra
- ❑ <http://apollo.lsc.vsc.edu/>
- ❑ <http://auc.dfd.dlr.de/GOME/main.html>
- ❑ [http://it.wikipedia.org/wiki/Mercurio\\_\(astronomia\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Mercurio_(astronomia))
- ❑ [http://www.matematicamente.it/fisica/velocit%C3%A0\\_di\\_fuga\\_uno.htm](http://www.matematicamente.it/fisica/velocit%C3%A0_di_fuga_uno.htm)
- ❑ <http://www.worldclimmmate.com>
- ❑ Kappenberger, Kerkmann "Il tempo in montagna" Ed. Zanichelli
- ❑ Sannino "Meteorologia Nautica" Ed. Italibri

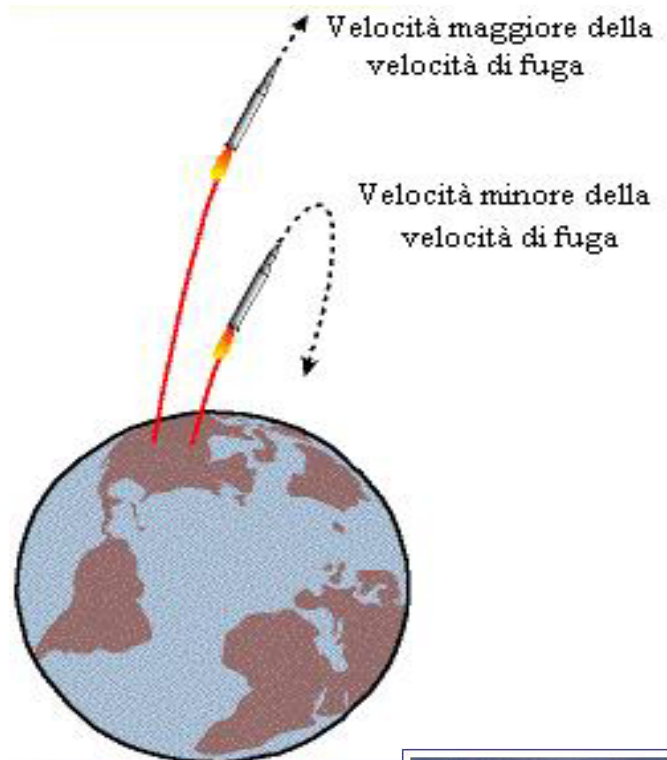


Fig. 6 Velocità di fuga.