

SEZIONE DI RICERCA RADIO ASTRONOMIA UAI

COMMISSIONE DIDATTICA UAI

CON LA PARTECIPAZIONE DI

INAF - ISTITUTO DI RADIO ASTRONOMIA

IARA - ITALIAN AMATEUR RADIO ASTRONOMY

SEZIONE DI RICERCA METEORE UAI

ORGANIZZA IL



3° CORSO DI RADIOASTRONOMIA

DIDATTICA

- LE RADIOMETEORE -

MATERIALE PRELIMINARE

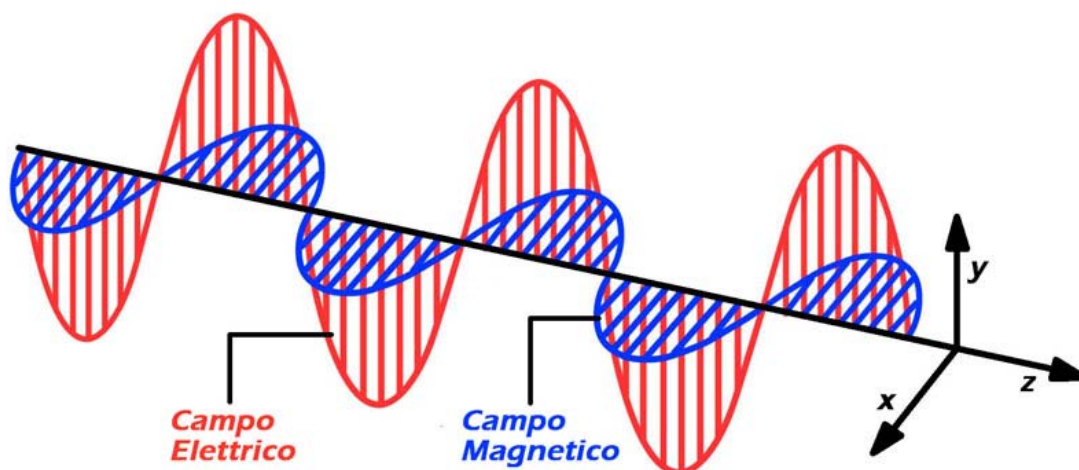
RIEPILOGO DEI CONCETTI DI BASE

1. Onde elettromagnetiche

Un'onda elettromagnetica è un'oscillazione del campo elettrico e del campo magnetico che si propaga nello spazio trasportando energia. Un campo, in fisica, rappresenta la distribuzione di una determinata grandezza: il campo elettrico, ad esempio, rappresenta l'influenza su una carica elettrica mediante la forza di attrazione elettrostatica. Un elettrone, in una regione di spazio dove il campo elettrico è uniforme, subirà sempre la medesima forza. Se il campo non è uniforme, invece, la forza di attrazione varierà da punto a punto. Si genera un'onda elettromagnetica quando il campo elettrico ed il campo magnetico variano periodicamente.

I parametri che identificano un'onda elettromagnetica sono l'ampiezza dell'oscillazione, la sua frequenza (ovvero il numero di oscillazioni nell'unità di tempo) e la lunghezza d'onda (la distanza che intercorre tra due massimi o due minimi dell'oscillazione).

Se un'onda si propaga in una determinata direzione, supponiamo la direzione z in un sistema di riferimento cartesiano, l'oscillazione avviene nelle direzioni perpendicolari.

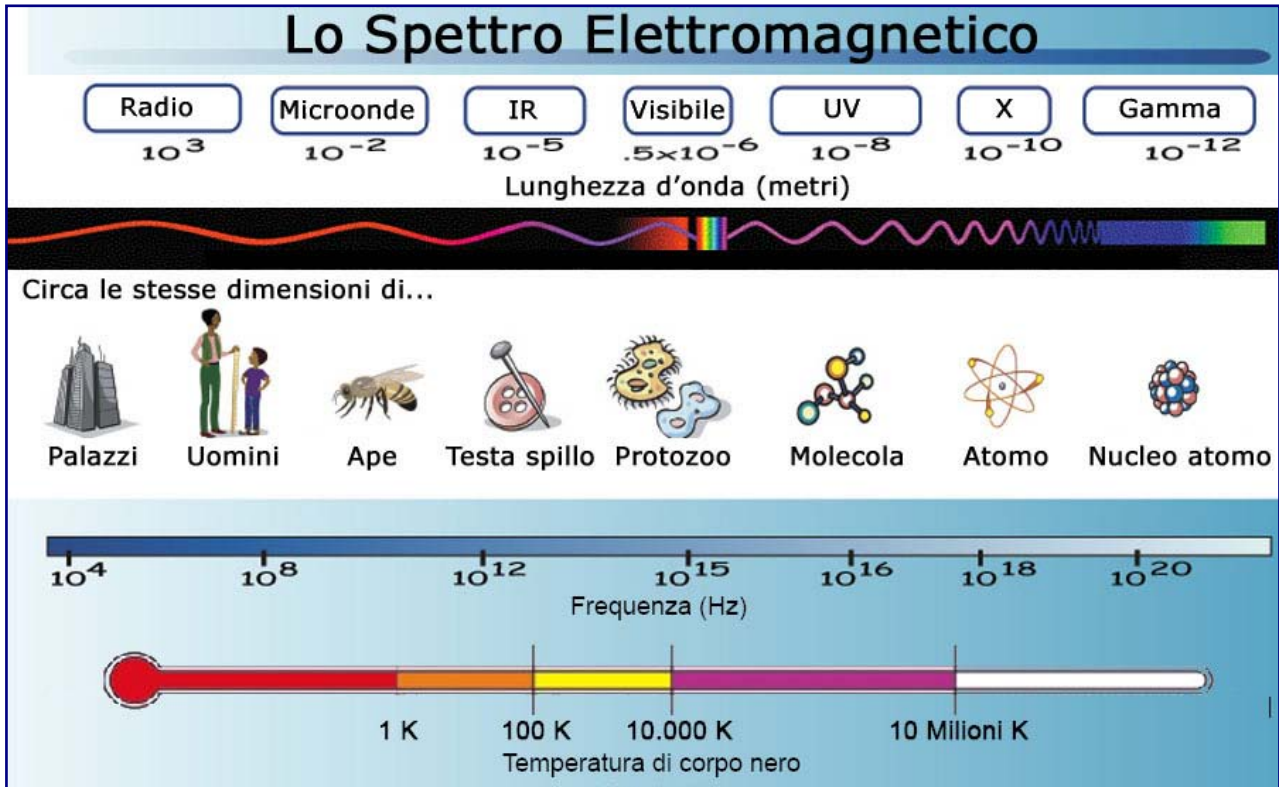


In un'onda elettromagnetica che si propaga nel vuoto, vale la seguente relazione:

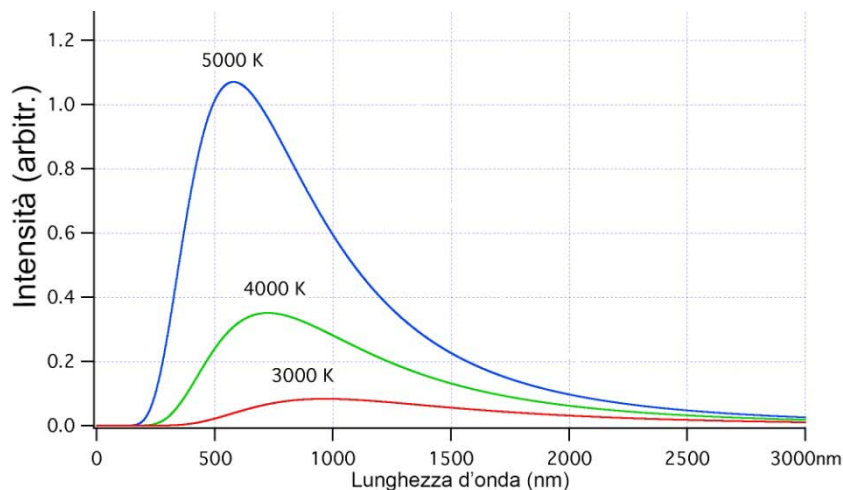
$$v = \frac{c}{\lambda}$$

dove c è la velocità della luce, λ è la lunghezza d'onda e v è la frequenza.

Si usa catalogare le onde elettromagnetiche in **bande**, suddividendo il cosiddetto spettro **elettromagnetico** in sezioni:



Per comprendere il significato della fascia inferiore della figura va introdotto anche il concetto di **corpo nero**: si tratta di un oggetto che assorbe tutta la radiazione elettromagnetica incidente. Rappresenta uno stato in cui materia e radiazione sono in equilibrio. Le sue proprietà ne fanno una ideale sorgente di radiazione termica: un corpo nero riemette la stessa quantità di radiazione che assorbe, "spalmandola" in modo caratteristico su tutte le frequenze. La curva di radiazione caratteristica del corpo nero prende il nome di planckiana:



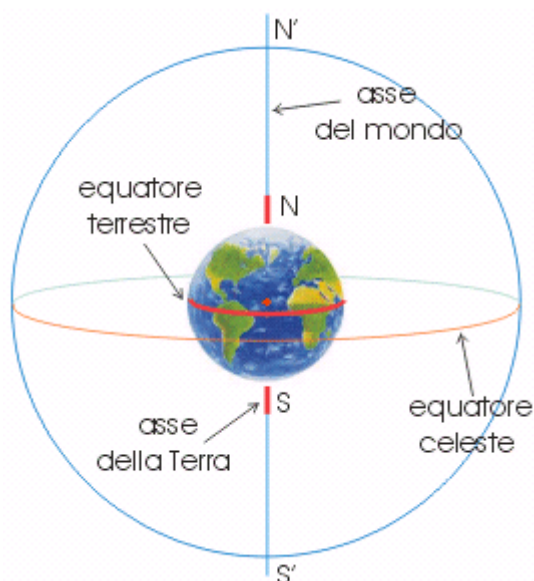
Nella regione delle onde radio le lunghezze d'onda vanno da centinaia di metri a pochi millimetri, le rispettive frequenze variano dalle decine di Hertz a oltre 100 GHz. In realtà non esiste un limite inferiore delle frequenze (le quali potrebbero andare asintoticamente a zero), ma per fini pratici possiamo considerare tale limite intorno a una decina di Hertz.

Convenzionalmente le onde radio sono suddivise in diverse bande, secondo lo schema seguente (tratto da Wikipedia):

Banda	Frequenza	Lunghezza d'onda	Principali impieghi
ELF (Extremely low frequency)	3–30 Hz	100.000 km – 10.000 km	Comunicazione radio con i sottomarini, ispezione tubazioni, studio del campo magnetico terrestre
SLF (Super low frequency)	30–300 Hz	10.000 km – 1.000 km	Comunicazione con i sottomarini, per es. la radio russa ZEVS
ULF (Ultra low frequency)	300–3000 Hz	1.000 km – 100 km	
VLF (Very low frequency)	3–30 kHz	100 km – 10 km	Marina, comunicazione con sommergibili in emersione
LF (Low frequency)	30–300 KHz	10 km – 1 km	Trasmissioni radio intercontinentali in AM, trasmissione del segnale di tempo standard per gli orologi radiocontrollati.
MF (Medium frequency)	300–3000 KHz	1 km – 100 m	Trasmissioni radio in AM
HF (High frequency)	3–30 MHz	100 m – 10 m (Onde corte)	Radioamatori, CB, trasmissioni intercontinentali in codice Morse
VHF (Very high frequency)	30–300 MHz	10 m – 1 m	Radio commerciali in FM, Aviazione, Marina, Forze dell'ordine, Televisione, Radioamatori, Radiofari
UHF (Ultra high frequency)	300–3000 MHz	1 m – 100 mm	Televisione, Telefonia cellulare, WLAN
SHF (Super high frequency)	3–30 GHz	100 mm – 10 mm	Radar, Satelliti, WLAN
EHF (Extremely high frequency)	30–300 GHz	10 mm – 1 mm	Trasmissioni satellitari e radioamatoriali

2. Sistemi di coordinate celesti

Adattato da www.vialattea.net



Gli astri, che ci appaiono “appesi” ad una immaginaria sfera celeste, sembrano ruotare da EST a OVEST attorno a due punti fissi, chiamati polo nord celeste (N') e polo sud celeste (S'), che sono le proiezioni dei poli terrestri su questa sfera ideale. Si chiama asse del mondo la retta che congiunge i due poli celesti. Chiaramente, il moto apparente del cielo dipende dal movimento di rotazione della Terra da OVEST verso EST attorno all'asse terrestre.

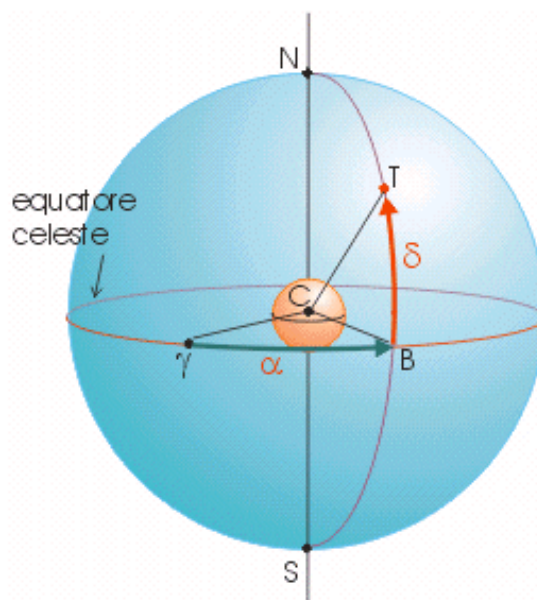
Il piano perpendicolare all'asse terrestre interseca la superficie della Terra determinando un cerchio massimo chiamato equatore terrestre. Se estendiamo il piano

dell'equatore fino ad incontrare la sfera celeste, su di essa si determina un cerchio massimo detto equatore celeste. L'asse del mondo e l'equatore celeste rappresentano la direzione e il piano fondamentali per il sistema di **coordinate equatoriali**.

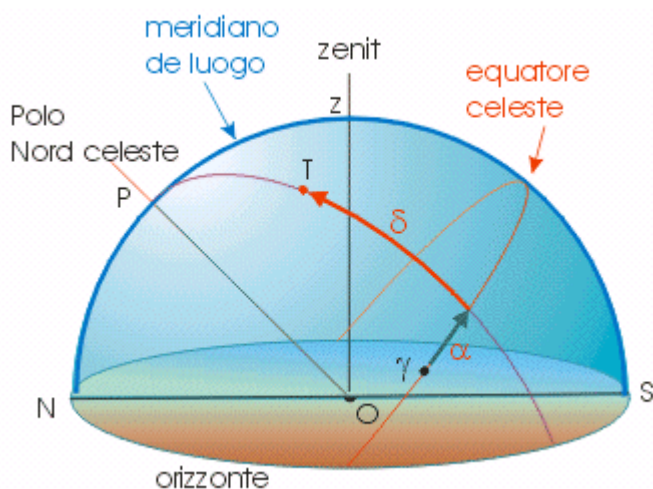
Nel sistema equatoriale i cerchi ausiliari che passano per i poli celesti si chiamano cerchi orari o **meridiani celesti**. I cerchi minori, paralleli all'equatore, si chiamano paralleli celesti. Ogni punto sulla sfera celeste è univocamente identificato da una coppia di coordinate equatoriali: l'**ascensione retta** e la **declinazione**.

ASCENSIONE RETTA (AR o α): è l'ascissa sferica del sistema equatoriale. L'origine è il punto gamma (γ), che è l'intersezione tra l'equatore celeste e l'eclittica (il piano dell'orbita terrestre). L'ascensione retta si misura di solito in ore, minuti e secondi, lungo l'equatore celeste, partendo dal punto gamma e con senso di percorrenza antiorario. Nel nostro disegno corrisponde all'angolo γCB dove C è il centro della Terra e B l'intersezione del cerchio orario che passa per T con l'equatore celeste.

DECLINAZIONE (Dec o δ): è l'ordinata sferica di questo sistema. Rappresenta la distanza angolare tra un punto della sfera celeste e l'equatore, misurata lungo il cerchio orario che passa per tale punto. Si misura in gradi



e frazioni di grado con segno positivo verso il polo nord celeste e negativo verso il polo sud. Nel nostro primo disegno la declinazione del punto T corrisponde all'angolo TCB.



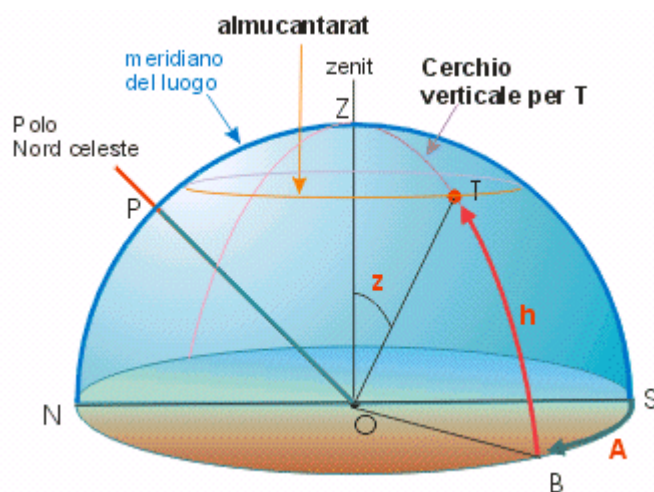
Nell'immagine a fianco è riprodotta la volta celeste sovrastante un osservatore O. L'intero sistema di riferimento equatoriale (equatore celeste, asse del mondo, punto gamma) partecipa alla rotazione diurna della sfera celeste, cioè è solidale con essa, e quindi l'ascensione retta e la declinazione di un astro sono costanti al trascorrere delle ore. Solo su tempi scala lunghi il fenomeno della precessione-nutazione, spostando l'asse del mondo e quindi

l'equatore celeste, ruota la "griglia" del sistema equatoriale rispetto alle stelle, che di conseguenza cambiano coordinate.

Nell'immagine vediamo comparire i riferimenti locali solidali con l'osservatore, che non ruotano con la volta celeste: l'orizzonte, lo zenit (il punto verticale sull'osservatore) e il **meridiano locale**, che congiunge i punti cardinali Nord e Sud passando proprio per lo zenit.

Il **sistema orizzontale** (chiamato anche altazimutale o azimutale) è un sistema di coordinate astronomiche in cui si sceglie come direzione fondamentale la verticale alla superficie terrestre passante per l'osservatore (OZ). I due poli sono quindi lo zenit e il nadir. Il piano fondamentale è il piano dell'orizzonte astronomico. I cerchi ausiliari sono chiamati cerchi di altezza o cerchi verticali.

AZIMUT (A): è l'ascissa sferica di un punto sulla sfera celeste. L'azimut del punto T è l'angolo formato dal piano del cerchio verticale passante per T e il meridiano astronomico. Si misura in gradi e frazioni di grado partendo dal punto cardinale sud nel senso delle lancette dell'orologio. Esso corrisponde, nel disegno, all'angolo SOB dove O è l'osservatore e B è l'intersezione dell'orizzonte con il cerchio verticale passante per T. In realtà è sempre più diffusa la convenzione, ereditata dall'astronomia nautica, di contare l'azimut partendo dal punto cardinale nord, in senso orario, da 0° a 360° , ed è questa la convenzione in uso anche a Medicina.



ALTEZZA o ELEVAZIONE (h): è l'ordinata sferica di un punto sulla sfera celeste e cioè la sua distanza angolare dall'orizzonte misurata lungo il cerchio verticale passante per quel punto. Si esprime in gradi e frazioni di grado con valore positivo verso lo zenit e negativo verso il nadir. Nel nostro disegno, l'altezza del punto T corrisponde all'angolo TOB dove O è l'osservatore e B è l'intersezione dell'orizzonte con il cerchio verticale passante per T.

L'arco complementare dell'altezza si chiama distanza zenitale e nel nostro disegno è rappresentata dall'angolo ZOT dove Z è lo zenit dell'osservatore.

La distanza zenitale si indica generalmente con z . Risulta quindi:

$$z = 90^\circ - h$$

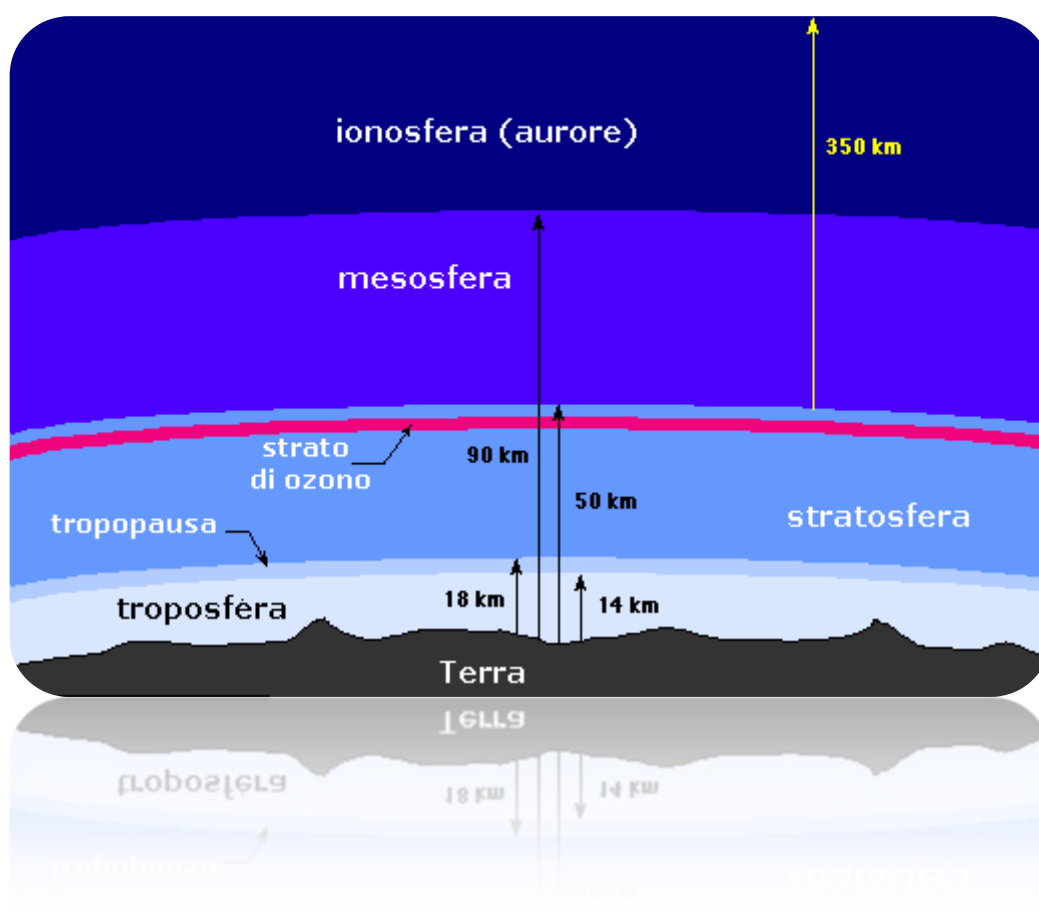
I punti sulla sfera celeste che hanno uguale altezza formano un cerchio minore detto almucantarato.

Nel sistema azimutale entrambe le coordinate (**azimut** ed **elevazione**) delle stelle variano sensibilmente con il passare del tempo a causa del moto di rotazione della Terra.

3. L'Atmosfera Terrestre

L'**atmosfera terrestre** è l'involucro di gas che avvolge il nostro pianeta. Ha una struttura piuttosto complessa e divisa in più strati, che in ordine di altezza sono: Troposfera, Stratosfera, Mesosfera, Termosfera, Esosfera. Dal punto di vista delle onde radio ha un'estrema importanza la Ionosfera, che si sovrappone parzialmente alla Termosfera e all'Esosfera.

Nel seguito di questo paragrafo verrà fornito qualche dettaglio su queste regioni atmosferiche, rappresentate nella figura sotto.



La **Troposfera** è lo strato più basso dell'atmosfera terrestre, essa si estende dal suolo fino a circa 12 km di quota. Lo strato troposferico è rimescolato continuamente da moti verticali causati dal riscaldamento solare del suolo e praticamente tutti i fenomeni meteorologici sono confinati in questa regione. La troposfera è anche la zona più densa dell'atmosfera e contiene circa l'80% della massa totale dell'atmosfera terrestre.

La **Stratosfera** si estende dalla sommità della Troposfera fino a circa 50 km di quota. Di essa fa parte lo strato di ozono, una zona in cui si ha una concentrazione relativamente elevata di ozono. Tale concentrazione, pur essendo solo di poche parti per milione, riveste un ruolo importantissimo come schermo per i dannosi raggi Ultra Violetti (UV) provenienti dal Sole.

La **Mesosfera** si estende da circa 50 km a 80-85 km di quota. Nella Mesosfera, la nostra atmosfera tocca i suoi più bassi valori di temperatura: -100 °C alla sommità della Mesosfera. **Questa è la regione in cui si formano le meteore, quando i piccoli corpi interplanetari bruciano entrando nella nostra atmosfera.**

Tra 80-85 km e oltre 640 km di quota ha sede la **Termosfera**, caratterizzata da un aumento della temperatura con la quota. Questa già rarefattissima regione diviene sempre meno densa sfumando nell'**Esosfera**.

Molto importante è la cosiddetta **Ionosfera**, che si estende da 50 km a 1000 km, sovrapponendosi alla Mesosfera e all'Esosfera. Tale parte dell'atmosfera è ricca di particelle cariche, essendo ionizzata dalla radiazione solare. La Ionosfera è sede delle Aurore e gioca un ruolo fondamentale nella **propagazione delle onde radio**, soprattutto di quelle a bassa frequenza.

4. Ionizzazione degli atomi

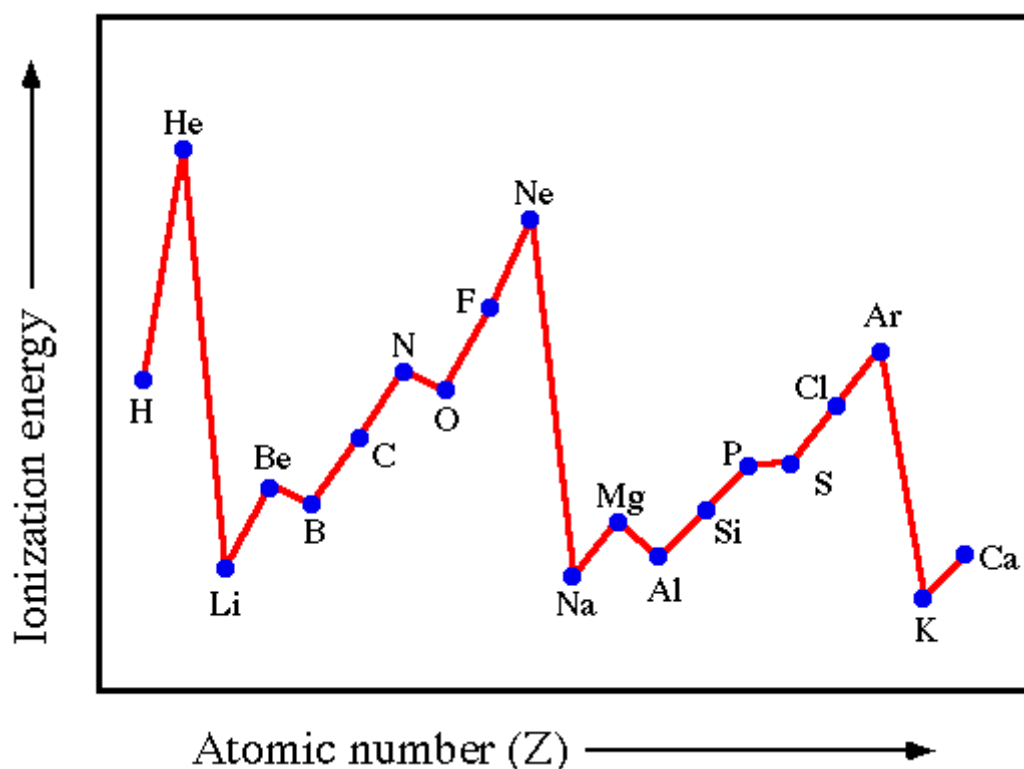
Normalmente un atomo è neutro, cioè ha una carica complessiva uguale a zero. Nel suo nucleo vi saranno un certo numero di protoni e neutroni, e questo sarà circondato da elettroni in numero uguale a quello dei protoni. In certe circostanze, tuttavia, uno o più elettroni possono essere strappati via dall'atomo; questo fenomeno è detto **ionizzazione**. Per provocare questa separazione occorre una certa energia; ciò può avvenire se l'atomo assorbe un fotone altamente energetico (per esempio, nell'ultravioletto o con energia ancora maggiore), oppure facendo collidere l'atomo con un altro atomo o con un'altra particella, in un gas molto caldo.

Nella ionizzazione si producono elettroni liberi e atomi carichi positivamente (ioni) che hanno perso uno o più elettroni. Alla fine, gli atomi carichi positivamente e gli elettroni liberi tenderanno a ricombinarsi, neutralizzandosi. Quando ciò avviene, vengono emessi dei fotoni.

L'energia richiesta per strappare un elettrone ad atomo dipende dal tipo di atomo e da quanti elettroni eventualmente esso ha già perso. Se l'atomo è inizialmente neutro e si vuole portargli via un solo elettrone, si parla di prima ionizzazione.

Se poi all'atomo già ionizzato una volta gli si strappa un secondo elettrone si parla di seconda ionizzazione, e così via.

Nella figura seguente sono rappresentate le energie di prima ionizzazione di alcuni atomi:

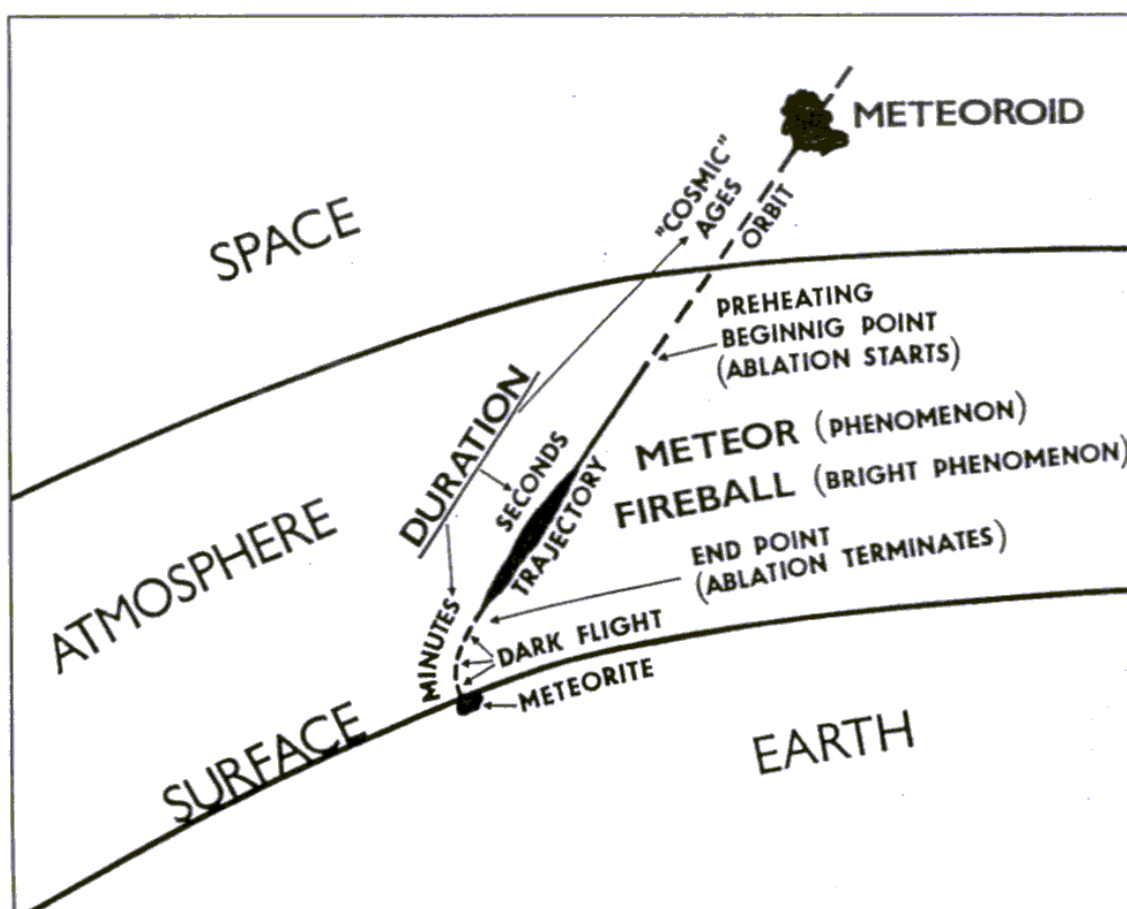


Per uno stesso atomo l'energia di ionizzazione cresce all'aumentare del grado di ionizzazione. Per questo motivo strappare un secondo elettrone ad un atomo è molto più difficile (richiede molta più energia) rispetto alla prima ionizzazione. Ciò è evidente nella seguente tabella, in cui sono riportate le energie (in eV) di prima, seconda e terza ionizzazione di alcune specie atomiche.

Elemento	Simbolo	Prima ionizzazione	Seconda ionizzazione	Terza ionizzazione
Sodio	Na	5,14	47,29	71,64
Magnesio	Mg	7,65	15,03	80,14
Alluminio	Al	5,99	18,83	28,45
Silicio	Si	8,15	16,34	33,49
Argon	Ar	15,76	27,63	40,74

5. Nomenclatura

Secondo la definizione proposta nel 1961 dall'**IAUNC** (International Astronomical Union Nomenclature Committee), un **meteoroid** è un corpo solido in moto nel sistema interplanetario di dimensioni più piccole di un asteroide ma considerevolmente maggiore di un atomo, la cui massa può essere compresa tra un microgrammo e parecchie migliaia di tonnellate. I meteoroidi, entrando nella nostra atmosfera, danno origine al fenomeno delle **meteore**. Il nome meteora dovrebbe indicare soltanto il complesso dei fenomeni luminosi e di ionizzazione a cui un meteoroid dà luogo nella parte superiore dello strato atmosferico. L'uso attuale ne estende il significato anche al corpo stesso, purché esso venga totalmente consumato durante il passaggio nell'atmosfera. Si chiamano invece **meteoriti**, i meteoroidi più grossi che, pur essendo fortemente ridotti dall'attrito atmosferico, riescono a raggiungere la superficie terrestre per effetto delle loro maggiori dimensioni. All'altro estremo della scala delle masse si trovano le **micrometeoriti**, particelle estremamente piccole (generalmente con dimensioni del millesimo del millimetro) che perdono la loro energia senza consumarsi nell'atmosfera cadendo lentamente per gravità sulla Terra. La definizione appena vista include anche i **bolidi**, cioè quei meteoroidi più grossi, e quindi più luminosi, che si frammentano in modo catastrofico e poi esplodono dissipando la loro energia nell'atmosfera, con produzione tra l'altro di effetti acustici percepibili da osservatori e da strumenti sismici posti in vicinanza del punto di esplosione.



Rappresentazione della caduta di un meteoroido.

6. Metodi osservativi

Considerato l'ampio spettro delle masse dei corpi interplanetari da 10^{-21} kg a 10^{15} kg, il fenomeno meteorico è monitorato e studiato attraverso differenti metodi osservativi, le cui analisi possono essere poi messe in correlazione fra loro. Partendo dalle masse più piccole, le tecniche utilizzate oggi si basano sull'osservazione di microcrateri lunari, su rilevatori posti su sonde spaziali, su tecniche radar e fotografiche, sull'analisi di sedimenti marini e nei ghiacci polari e su osservazioni di asteroidi con i telescopi o con sistemi fotografici avanzati.

Spettro della materia interplanetaria nei vari intervalli di massa con i relativi metodi di osservazione e gli autori che li hanno utilizzati.

Intervallo di massa (kg)	Metodo	Autore
$10^{-21} - 10^{-9}$	Microcrateri lunari	Grun et al. (1985)
$10^{-16} - 6 \times 10^{-10}$	Sonde spaziali	Grun e Zook (1980)
$3 \times 10^{-9} - 3 \times 10^{-6}$	Meteorite radar	Cevolani et al. (1995)
$10^{-6} - 10^4$	Meteorite fotografiche e TV (fireballs e bolidi)	Ceplecha (1988)
$8 \times 10^5 - 10^{15}$	Asteroidi Spacewatch SEAs (Small Earth Approachers)	Rabinowitz (1993)
$10^{12} - 10^{15}$	Asteroidi fotografici ECA (Earth-Crossing Asteroids)	Shoemaker et al. (1990)

La scala delle masse presenta alcune discontinuità soprattutto ai limiti tra le misure effettuate con sonde spaziali e quelle con tecniche radar, nonché in corrispondenza della soglia tra le meteorite fotografiche più luminose (fireballs e bolidi) e gli asteroidi recentemente osservati con il telescopio Spacewatch. Queste lacune, derivanti da strumenti e tecniche ancora non sufficientemente adeguati, impediscono di estendere l'osservazione a tutto l'intervallo delle masse dei corpi minori del Sistema Solare.

7. Origine degli sciame

Il complesso interplanetario dei meteoroidi ha origine dai processi di disgregazione di altri corpi più grossi del Sistema Solare ed è costituito da due componenti fondamentali: le **meteore di sciame** e quelle **sporadiche**. Le meteore di sciame sembrano provenire dalla stessa regione di cielo, definita comunemente radiante, mentre quelle sporadiche non hanno un radiante definito, ma si distribuiscono casualmente sulla volta celeste.

In generale le particelle che investono la Terra possono avere origine cometaria, asteroidale o interstellare. Le prime due sorgenti sono interne al Sistema Solare, con una probabilità notevolmente maggiore che il corpo progenitore del meteoroidi sia di tipo cometario piuttosto che asteroidale, la terza invece è esterna. Altre sorgenti possono derivare da getti di materia espulsa dalle superfici di pianeti e satelliti per effetto di collisioni di asteroidi con essi: in questo caso, l'esplosione al suolo può scagliare nello spazio circostante materiale con sufficiente forza da vincere l'attrazione gravitazionale del pianeta o del satellite.

I nuclei delle comete sono assimilabili a *palle di neve sporca*, in quanto costituiti da un conglomerato di ghiacci, principalmente acqua, ammoniaca, metano e diossido di carbonio, combinato con materiale solido carbonaceo o siliceo, vale a dire frammenti di roccia e polveri. Nel momento in cui la cometa, durante il suo moto orbitale, giunge nei pressi del Sole, normalmente a distanze inferiori a 3-4 UA, i ghiacci cometari, riscaldati dalla radiazione solare, sublimano e il materiale si trasforma direttamente dallo stato solido allo stato gassoso, liberando polveri e frammenti di roccia in essi imprigionati e formando la caratteristica chioma che avvolge il corpo cosmico. Tale materiale lascia la superficie sotto forma di getti, con una velocità di espulsione piuttosto bassa, 5 – 10 m/s, che rappresenta solo una piccola frazione della velocità orbitale della cometa, disponendosi su orbite simili a quelle del corpo progenitore. La cometa, passaggio dopo passaggio al perielio, rilascia nuovo materiale alimentando periodicamente la propria orbita di particelle, fino a quando non ha esaurito i ghiacci e i composti volatili del nucleo o cambiato la sua traiettoria a causa di perturbazioni gravitazionali. Se l'ellisse che descrive l'orbita della Terra interseca la conica costituita dalle polveri rilasciate dalla cometa, si creano le condizioni per la formazione di un nuovo sciame meteorico.

Sciame meteorici di origine cometaria.

Sciame meteorico	Massimo di attività	Cometa progenitrice
Quadrantidi	3 gennaio	Machholz
Lyridi	22 aprile	Thatcher
Eta Acquaridi	5 maggio	Halley
Beta Tauridi	30 giugno	Encke
Delta Acquaridi	29 luglio	Machholz
Alpha Capricornidi	2 agosto	1948 XII
Perseidi	12 agosto	Swift-Tuttle
Draconidi	9 ottobre	Giacobini-Zinner
Orionidi	22 ottobre	Halley
Tauridi	3 novembre	Encke
Leonidi	17 novembre	Temple-Tuttle
Andromedi	29 novembre	Biela
Ursidi	23 dicembre	Tuttle

Un'altra possibile sorgente di meteoroidi sono gli asteroidi NEA (Near Earth Asteroids), che probabilmente non sono altro che i resti di collisioni tra asteroidi della Fascia Principale, quella tra Marte e Giove, oppure i resti di comete estinte. Questi appartengono a tre distinte famiglie, Aten, Apollo e Amor, e si trovano su delle orbite che li portano ad intersecare o ad avvicinare quella terrestre. La produzione di meteoroidi da parte di questi asteroidi è accidentale, cioè è dovuta a fenomeni di collisione tra gli stessi con conseguente formazione di detriti e polveri che, quando entrano a contatto con l'atmosfera terrestre, producono il ben noto fenomeno meteorico.

Sciame meteorici di origine asteroidale.

Sciame meteorico	Massimo di attività	Asteroide progenitore
Fi Bootidi	1 maggio	1620 Gographos, 1978 CA
Arietidi	2 giugno	1566 Icarus
Tau Erculidi	3 giugno	1087 SJ3
Bootidi	27 giugno	1987 PA
Sigma Capricornidi	12 luglio	2101 Adonis
Camelopardidi	13 agosto	1221 Amor, 3288 Seleucus
Kappa Acquaridi	20 settembre	4179 Toutatis
Chi Orionidi	1 dicembre	2201 Oljato
Geminidi	13 dicembre	3200 Phaeton

Recentemente, sono state misurate velocità eliocentriche di meteoroidi superiori a quella di fuga del Sistema Solare nei dintorni della Terra (fino a 200 km/s). È molto probabile che un oggetto celeste con tali caratteristiche non appartenga al Sistema Solare e quindi si è ipotizzato che provenga da regioni esterne e che segua delle traiettorie spiccatamente iperboliche. Tale flusso non proviene uniformemente da tutte le direzioni, ma sembra presentare due picchi, dovuti al moto dell'intero Sistema Solare attorno al centro galattico e a quello verso le stelle vicine.