

L'atmosfera della Terra

di Daniele Gasparri

In questo articolo si descrive, brevemente ma in modo approfondito, il comportamento e le proprietà della nostra atmosfera, luogo nel quale viviamo ed osserviamo il cielo ogni giorno. Le sue proprietà uniche nel sistema solare rendono possibile l'esistenza della vita così come la conosciamo.

L'atmosfera terrestre è lo strato di gas che circonda il nostro pianeta e permette la vita a tutti gli esseri viventi. Senza questo involucro gassoso, la vita su questo pianeta sarebbe impossibile ed esso assomiglierebbe moltissimo alla nostra Luna. Le funzioni dell'atmosfera terrestre sono numerose: è direttamente fonte di energia per tutti gli esseri viventi (per noi esseri umani è l'ossigeno il gas che ci permette di vivere), protegge il nostro pianeta dalle radiazioni dannose provenienti dal nostro Sole (raggi UV in particolare); attraverso l'effetto serra rende la temperatura adatta allo sviluppo della vita e limita fortemente le escursioni termiche (sulla Luna per esempio, in assenza di atmosfera, la temperatura di giorno arriva a 100 °C e tocca i -150 °C di notte).

La sua dinamica e composizione sono fondamentali anche per il ciclo dell'acqua, fattore altrettanto importante per lo sviluppo della vita. Ultimo, ma non per importanza, essa ci protegge anche dai numerosi corpi celesti in rotta di collisione con il nostro pianeta; il suo spessore, infatti, è sufficiente ad evitare che oggetti cosmici, come meteoriti o comete, fino a qualche centinaio di metri di diametro, nel caso delle comete, arrivino in superficie con potenziale distruttivo, provocando gravi danni ad ogni ecosistema.

La composizione atmosferica

La composizione della nostra atmosfera varia con il tempo e da luogo a luogo; in essa sono contenuti molti composti, dal vapore acqueo ad alcuni gas nobili ed idrocarburi, come il metano, ma anche particelle solide e liquide, come acqua e pulviscolo atmosferico, composto da piccolissime particelle solide di varia composizione chimica, alcune diretta origine delle attività umane.

Se, tuttavia, prescindiamo dalla presenza di questi composti, che si trovano sostanzialmente in tracce, la composizione della cosiddetta aria secca e pulita è costante e ben determinata: 78% azoto molecolare, 21% ossigeno molecolare; il restante 1% è costituito da altri gas, tra i quali l'anidride carbonica, l'argon e tracce di idrogeno ed elio.

La composizione di un'atmosfera non secca e non pulita, cioè la composizione reale della nostra atmosfera, non può prescindere dalla presenza di pulviscolo, e soprattutto dal vapore acqueo, in quantità variabile da quasi zero fino a circa il 4% del volume.

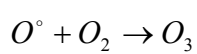
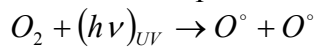
Il vapore acqueo, nonostante sia presente in minima parte dell'atmosfera, svolge un ruolo fondamentale per lo sviluppo della vita sulla terra.

Il pulviscolo atmosferico è composto da una grande quantità di particelle microscopiche; alcune sono di origine biologica, come pollini e spore, generalmente frutto dei processi biologici, alcune di origine prettamente geologica (eruzioni vulcaniche), altre di origine umana, come le polveri sottili prodotte dai gas di scarico delle automobili.

L'ozono

A quote più elevate, un altro componente importante della nostra atmosfera è l'ozono. Questo gas è composto da tre atomi di ossigeno e sarebbe letale per noi esseri umani, se respirato, ma assume un'importanza vitale nella zona di atmosfera che occupa, per la funzione che esso svolge. Lo strato di ozono si estende fino a 50 km di quota, con un massimo raggiunto intorno ai 25 km. Esso, tuttavia, rappresenta una porzione trascurabile della composizione totale atmosferica; il suo spessore medio, infatti, rapportato ai valori di pressione e temperatura presenti sulla superficie terrestre, sarebbe solamente di circa 0,4 cm.

L'ozono è presente a queste quote come il frutto di un delicato equilibrio dinamico: un atomo di ossigeno, formato dalla fotodissociazione di una molecola, e una molecola stessa di ossigeno, collidono in presenza di un'altra molecola che funge da catalizzatore, formando l'ozono:



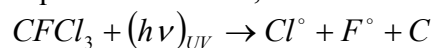
La presenza, essenziale, di ossigeno atomico (molto reattivo, con un elettrone spaiato, detto anche radicale) è garantita solamente a quelle quote, dove i raggi ultravioletti provenienti dal Sole riescono a scindere la molecola in due atomi distinti. La densità atmosferica non è così bassa da rendere trascurabili gli urti e quindi si hanno le migliori condizioni per la formazione dell'ozono. Una singola molecola di questo gas però ha una vita media piuttosto breve.

A questo punto, infatti, le radiazioni ultraviolette vengono assorbite anche dall'ozono, con la conseguenza che esso si scinde in ossigeno atomico: $O_3 + (h\nu)_{UV} \rightarrow O^\circ + O_2$.

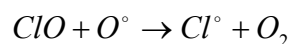
Viene quindi raggiunto un equilibrio dinamico tra la frazione di atomi che vengono scissi dalla radiazione solare e la percentuale di molecole che si creano attraverso le collisioni.

La presenza di altre molecole o gas, come i famosi clorofluorocarburi (CFC) emessi dall'uomo in grandi quantità nei decenni passati, può alterare sensibilmente l'equilibrio e provocare seri danni allo strato di Ozono.

Negli anni 70 apparve chiaro che questi gas, piuttosto inerti, avevano raggiunto lentamente ma inesorabilmente lo strato di ozono e ne avevano pesantemente alterato la densità e la forma. I clorofluorocarburi infatti, vengono dissociati dalla radiazione ultravioletta solare, assente in superficie ma presente alle quote dell'ozono, liberando atomi di cloro, che si legano all'ozono



formando nuove molecole: $Cl^\circ + O_3 \rightarrow ClO^\circ + O_2$



Non è importante capire queste reazioni, piuttosto notare come le molecole di ozono, in presenza di questi composti e a causa della radiazione solare, vengano distrutte. L'immissione in atmosfera di grandi quantità di CFC ha prodotto il famoso buco nell'ozono, un assottigliamento di questo strato protettivo, ridottosi di molto negli ultimi anni.

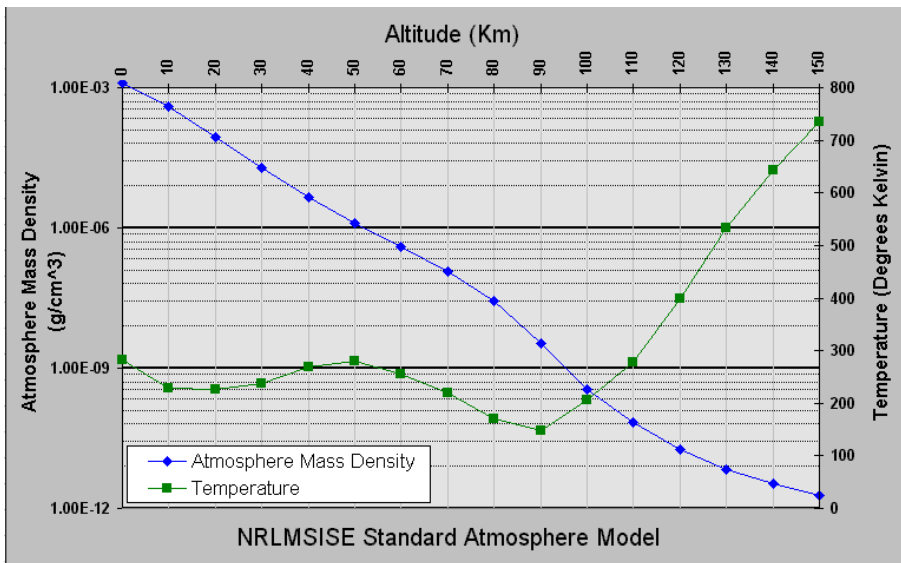
La struttura atmosferica

E' lecito pensare che la struttura di un involucro di gas eterogeneo, come quello terrestre, sia modellata dal processo di differenziazione chimica alla stregua dei solidi. Questo è vero fino ad un certo punto. Un effetto contrario alla separazione chimica è prodotto dai moti delle masse d'aria, molto importanti ad altezze inferiori ai 10 Km; sotto questa altezza, l'aria è abbastanza omogenea (ma non troppo; l'ossigeno, ad esempio, è più pesante dell'azoto e tende sempre ad essere concentrato nei primi 5-6 Km di quota). Per elevazioni superiori, la distribuzione dei gas atmosferici rispecchia abbastanza fedelmente la stratificazione causata dalla gravità terrestre.

L'atmosfera del nostro pianeta non ha un confine ben definito. In prima (rozza) approssimazione, per avere un andamento plausibile delle variabili termodinamiche come pressione e densità, possiamo assumere un modello di atmosfera isoterma, cioè a temperatura costante, imponendo inoltre l'equilibrio idrostatico; una tale atmosfera è di facile soluzione e presenta un andamento esponenziale, modellato dall'altezza di scala per la pressione, assunta costante, e non prevede un confine netto. L'atmosfera terrestre, benché non isoterma, può in prima approssimazione essere rappresentata da un tale semplice modello; in effetti, considerando il grafico della densità in funzione dell'altezza (e quindi anche della pressione, che avrà lo stesso andamento, anche se opportunamente scalato) l'andamento assomiglia molto ad un'esponenziale pura.

Le differenze sono date dalle variazioni di temperatura, quindi anche di pressione e densità (ricorda che le variabili termodinamiche sono legate tra loro dall'equazione di stato dei gas perfetti, che è abbastanza attendibile per gas reali a bassa pressione) indipendentemente dalla quota. La

fluttuazione di pressione con la temperatura si somma all'effetto di diminuzione di densità, causato dall'altezza: il risultato finale è un'atmosfera che assomiglia solamente all'andamento di una perfetta isoterma. Rilevamenti effettuati con satelliti e palloni atmosferici ci hanno fornito un quadro abbastanza completo della nostra atmosfera:

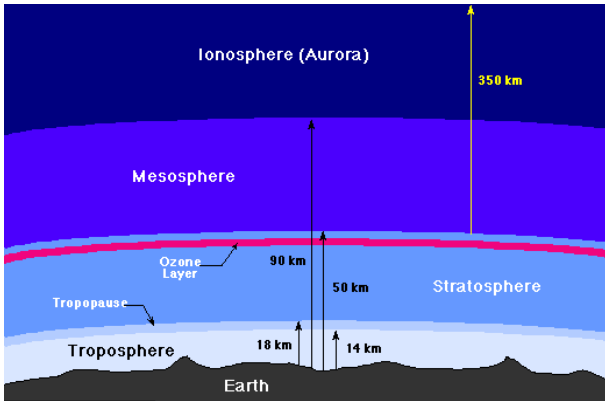


Gradiente di densità e temperatura nell'atmosfera terrestre. Un gradiente è, in generale, la variazione spaziale di una quantità. In questo grafico è riportata la variazione di temperatura e densità in funzione della quota atmosferica. Come si può vedere la temperatura non è costante con l'altezza.

L'andamento della densità atmosferica in funzione dell'altezza è il tratto blu; per un'atmosfera isoterma, esso dovrebbe essere una retta (il grafico è in scala logaritmica e quindi un'esponenziale è rappresentata da una retta); questo è vero fino a quando la temperatura non varia troppo su larga scala, cioè fino ad 80 Km.

E' curioso notare come in realtà l'atmosfera terrestre sia veramente un sottile involucro gassoso. Seguendo il gradiente di pressione, si trova infatti che all'altezza del monte Everest, ben il 57,7% della massa dell'intera atmosfera si trova al di sotto, mentre ben il 72% dell'intera massa atmosferica si trova al di sotto delle comuni rotte degli aerei (10000 metri) e ben il 99,99999% si trova al di sotto di 108 Km. La domanda che sorge spontanea è: a quale altezza arriva allora l'atmosfera? Dove finisce? In realtà, come già detto, essa non ha un confine netto; possiamo comunque dare un confine convenzionale, dato da una certa densità di soglia al di sotto della quale il gas può considerarsi trascurabile; proprio per questa convenzione, esistono vari confini atmosferici, e ognuno di noi può dare la sua particolare (purché sensata) definizione. Possiamo per esempio definire il limite dell'atmosfera l'altezza per la quale la densità del gas è così piccola che gli urti tra le molecole si possono considerare trascurabili e il loro moto è simile a quello di un corpo in moto parabolico; in questo caso l'altezza dell'atmosfera raggiunge circa 200 Km; tuttavia oltre i 200 Km ci sono ancora numerose molecole di gas e avvengono dei fenomeni ancora importanti che non si possono trascurare; questa definizione di limite atmosferico sembra essere troppo restrittiva. In realtà, del gas è ancora presente fino a circa 100 Km di altezza, anche se realmente a tracce; questo può essere considerato come il limite superiore della nostra atmosfera, anche se in realtà di solito esso è considerato circa 500-600 Km.

La struttura atmosferica è abbastanza complessa e viene classificata secondo le proprietà del gas presente e la temperatura:



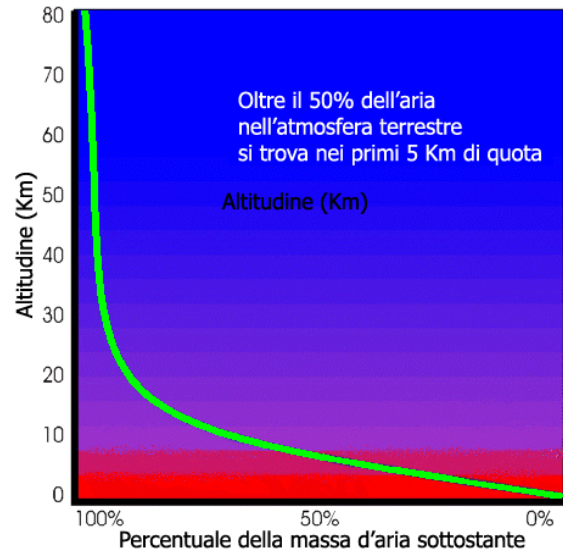
Struttura dell'atmosfera terrestre. La troposfera è lo strato a contatto con la superficie, responsabile dei venti e dell'intero ciclo dell'acqua. Nella stratosfera si trova lo strato di Ozono fondamentale per la vita. Mesosfera e Ionosfera sono estremamente rarefatti; quest'ultima sfuma lentamente nello spazio.

1) Troposfera: è la parte più interna dell'atmosfera, quella a diretto contatto con la superficie e per questo notevolmente influenzata da essa. La troposfera è lo strato più dinamico, con moti convettivi costanti in ogni periodo dell'anno ed un'estensione variabile tra i 7 Km dei poli ai 17 Km dell'equatore. Al suo interno avvengono tutti i fenomeni meteorologici: venti, precipitazioni e riscaldamento.

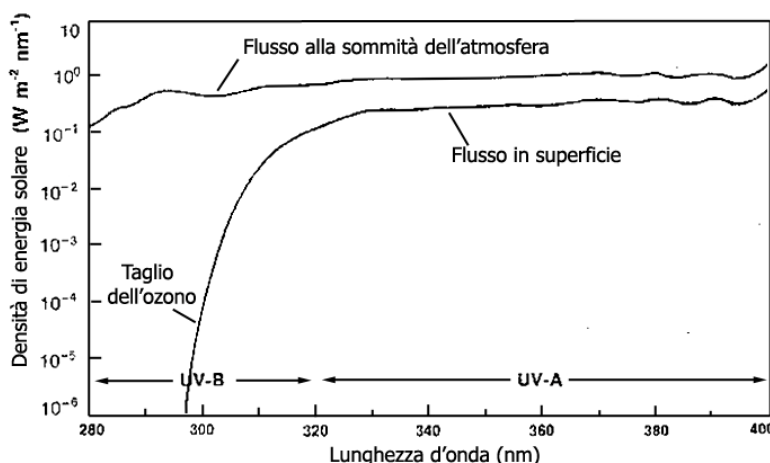
Essa contiene quasi l'80% della massa totale ed è fondamentale per lo sviluppo della vita sulla Terra. Il gradiente termico è abbastanza grande, dovuto sostanzialmente all'irraggiamento della superficie, in media di 0,65°C ogni 100 metri di altezza.

In questo strato si trova la quasi totalità del vapore acqueo e dell'anidride carbonica, oltre al pulviscolo atmosferico. La temperatura decresce fino a qualche decina di gradi sotto lo zero (circa -57°C).

Nella parte più alta, in prossimità della tropopausa, si incontra una sottile zona attraversata da veri e propri fiumi d'aria; queste correnti, dette jet-stream, viaggiano ad alte velocità a causa della mancanza di attrito con la superficie terrestre e possono arrivare fino a 400 Km/h. Come ogni vento, i jet-stream sono dovute a forti gradienti barici dovuti al diverso riscaldamento della superficie e quindi anche dell'atmosfera terrestre, la cui direzione del moto è modellata dalla forza di Coriolis. Poco sopra le forti correnti a jet troviamo una zona chiamata tropopausa che segna il confine della troposfera.



Andamento della massa atmosferica in funzione dell'altezza. Nei primi 5 Km di quota è concentrato il 50% della massa. Nei restanti 200 (non esiste un confine netto), si trova l'altro 50%. La stratificazione dell'aria segue una legge esponenziale.



Energia solare ricevuta al suolo, confrontata con lo spettro reale della nostra stella. Gli strati atmosferici, in particolare l'ozono, attenuano la radiazione solare o bloccano completamente quella UV, detta ionizzante, estremamente dannosa per ogni essere vivente. Senza questo schermo, la vita, come la conosciamo, non si sarebbe sviluppata.

2) Stratosfera: la tropopausa determina il confine tra la troposfera e la stratosfera.

Questa zona atmosferica si estende da 15-20 Km a circa 50 Km e mostra un andamento di temperatura abbastanza costante, almeno fino all'altezza di 30 Km, dove la presenza dell'ozono si fa sentire con notevoli assorbimenti di radiazione UV e conseguente riscaldamento. La presenza dell'ozono è la principale caratteristica della stratosfera; a questa altezza le radiazioni UV provenienti dal Sole e ancora non filtrate dalle regioni ad altezza maggiore, vengono assorbite dal gas, che quindi protegge la superficie da radiazioni potenzialmente letali per ogni essere vivente.

Dal punto di vista dinamico, non assistiamo più a moti convettivi come nella troposfera o alle forti correnti a getto poco sotto la tropopausa; la stratosfera è una zona sostanzialmente in quiete, che non risente del gradiente barico presente ad altitudini più basse causato dall'irraggiamento terrestre (e solare di conseguenza). Il confine della stratosfera, detto stratopausa, si trova poco sopra lo strato principale di ozono, dove la temperatura raggiunge il suo massimo, attorno agli 0°C (gradiente termico negativo). Oltre questa quota il gradiente termico diventa di nuovo positivo, quindi la temperatura riprende a diminuire con l'altezza. La stratosfera è una regione molto secca. La formazione di sistemi nuvolosi è molto rara (anche la bassa densità contribuisce a ciò), anche se ci sono delle eccezioni. Le nubi stratosferiche polari sono sottili sistemi nuvolosi sopra le regioni polari che si formano in piena stratosfera, a quote comprese tra 15 e 25 km, dove le temperature sono molto basse (circa -78°C al polo nord e -

88°C al polo sud). A seconda della temperatura alla quale si formano e della loro composizione, che varia da puro vapore acqueo ad una miscela di acido nitrico e solforico, possiamo distinguere tre tipi diversi di nubi, il cui aspetto si mostra quando il Sole è sotto l'orizzonte ed esse ne vengono illuminate dal basso, diffondendo verso terra la loro luce ed evidenziando la loro tenue struttura.

3) Mesosfera: si estende da 50 a 80-85 Km, ed è caratterizzata da un gradiente termico positivo; la temperatura inizia a scendere di nuovo e raggiunge valori prossimi a -100°C. In questa parte di atmosfera bruciano la grande maggioranza di meteoriti e in generale di detriti cosmici che provengono dallo spazio; solamente i corpi più grandi riescono a superare indenni questa parte atmosferica e a raggiungere la stratosfera. Tutte le meteore che vediamo nel cielo, ad eccezione dei superbolidi luminosi quanto la Luna piena, bruciano a queste altezze. Nonostante sia una zona particolarmente tranquilla, da qualche decennio a questa parte non è raro poter osservare delle sottili strutture nuvolose simili ai cirri, chiamate nubi nottilucenti, a quote di circa 80-85 Km, composte da cristalli di ghiaccio d'acqua. Il loro nome è da imputare al periodo del giorno nel quale si rendono visibili, qualche decina di minuti dopo il tramonto, quando vengono illuminate direttamente dalla nostra stella e la loro luce viene riflessa a Terra. Il fenomeno non è ancora ben capito, così come la loro composizione, che si presume sia di cristalli di ghiaccio d'acqua e polveri; alcune ipotesi avanzano la mano dell'uomo, responsabile del rapido mutamento climatico, ma non si sa in che modo possa aver influito su questo fenomeno, osservato per la prima volta nel 1885. Il periodo migliore di visibilità di queste strutture è l'estate, e la posizione migliore è rappresentata dalle latitudini medio-alte, cioè a 40-50-60°. Si pensa, quindi, che queste strutture siano in qualche modo legate alle dinamiche atmosferiche delle regioni polari, e meno frequentemente alle grandi attività vulcaniche, che comunque possono proiettare in alta atmosfera grandi quantità di polveri necessarie alla formazione di nuclei nuvolosi, (i cosiddetti nuclei di condensazione). Per la formazione di qualsiasi tipo di nube servono 3 elementi: 1) un gas che possa condensare in un intervallo di pressione e temperatura non troppo grande. Di solito questi gas per il pianeta terrestri sono l'acqua e l'anidride carbonica; 2) la presenza di temperature abbastanza basse, più del punto di fusione o solidificazione; 3) la presenza di polveri, che costituiscono i cosiddetti nuclei di condensazione, senza i quali la formazione delle nubi è molto ostacolata, se non impedita completamente. Il problema, per quanto riguarda le nubi nottilucenti, è come giustificare la presenza vapore acqueo e allo stesso tempo di polveri a quelle quote. Alcuni giustificano la presenza di acqua come risultato di attività umane che producono un aumento di tale gas in atmosfera, tale che una piccola percentuale riuscirebbe a raggiungere la mesosfera (per diffusione?), dove trova particelle di condensazione per effettuare il cambiamento di stato. La presenza dei nuclei di condensazione si

pensa sia dovuta sia all'attività umana, sia alle grandi eruzioni vulcaniche, sia alle correnti ascensionali polari nel corso dell'estate. Una frazione non trascurabile è di origine cosmica, visto che a queste altezze bruciano la quasi totalità dei detriti cosmici.

In effetti, qualunque sia la causa, è bene studiare come è possibile avere delle tali formazioni nuvolose laddove la presenza di vapore acqueo dovrebbe essere praticamente zero e non c'è un sistema di convezione così efficiente che lo possa trasportare dalle quote più basse, almeno per ciò che possiamo sapere attualmente sulla dinamica atmosferica. Il mistero potrà essere svelato tra poco, quando una sonda studiata appositamente dalla Nasa raggiungerà la Mesosfera per studiare questi fenomeni. In realtà la mesosfera è una zona abbastanza difficile da raggiungere; essa è troppo in alto per tutti gli aeroplani e palloni meteorologici, troppo in basso per satelliti orbitanti; il suo studio presenta ancora dei lati piuttosto oscuri. L'unico modo per studiare la mesosfera e quindi anche il fenomeno delle nubi nottilucenti sono dei satelliti trasportati da razzi in volo sub-orbitale che si limitano a studiare l'ambiente durante il volo. Recentemente, strutture simili ma composte da cristalli di anidride carbonica, sono state scoperte anche su Marte, ad un'altezza di 100 Km

4) Termosfera: ultimo livello atmosferico, si estende da 85 a 200-300Km, contiene gas molto rarefatto, estremamente secco e stratificato. La composizione e le abbondanze variano con l'altezza secondo il loro peso.

Come il nome stesso suggerisce, in questa regione abbiamo un forte gradiente termico negativo; la temperatura sale di molto con l'altezza a causa dell'assorbimento da parte di ossigeno e azoto di radiazione ultravioletta solare, soprattutto di tipo A e B.

L'assorbimento di radiazione molto energetica da parte di molecole del gas è capace di rompere i legami e di ionizzare il gas monoatomico risultante.

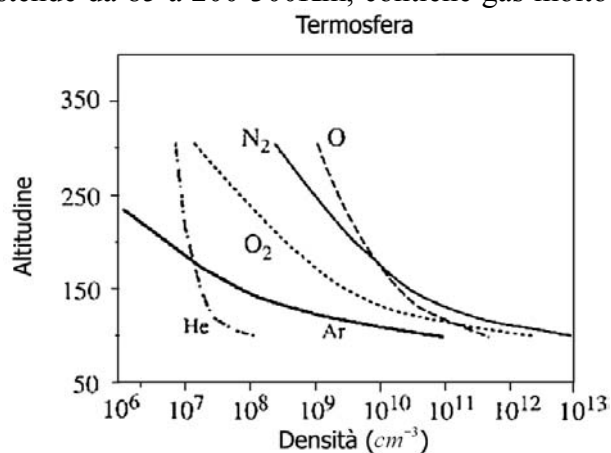
La composizione atmosferica a queste quote è quindi abbastanza diversa e regolata proprio dalle radiazioni UV assorbite.

Come potete vedere dalle figure, il gas molecolare è presto rimpiazzato da gas monoatomico e successivamente da gas ionizzato.

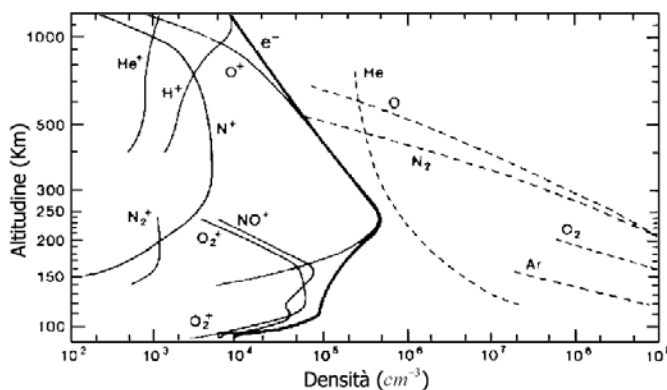
Sono inoltre presenti specie "nuove" come l'elio e l'idrogeno e naturalmente elettroni spaiati, risultato della ionizzazione.

Nella termosfera, a partire da 100Km, l'aria è così rarefatta che diventa possibile effettuare voli orbitali abbastanza stabili senza troppo attrito. Questa quota è considerata in ambito astronautico, il confine dell'atmosfera terrestre, oltre il quale c'è lo spazio.

In realtà, come possiamo vedere dalle figure, la densità del gas è ancora elevata, soprattutto se paragonata a quella dello spazio interplanetario di circa 5 molecole



Composizione chimica e densità della termosfera. Notate la densità estremamente bassa: al livello del mare essa è dell'ordine di 10^{19} molecole ogni centimetro cubo.



Composizione chimica e densità degli strati più esterni dell'atmosfera terrestre. Sono presenti molte specie atomiche e molecolari, prodotte da processi di foto dissociazione a causa della luce UV solare. La presenza di molti di questi composti è frutto di un equilibrio dinamico, poiché essi tendono a disperdersi nello spazio (vedi 5.15), mentre la radiazione solare ne produce sempre di nuovi.

per centimetro cubo; siamo ancora lontani dal limite fisico dell'atmosfera terrestre (anche se ricorda che un confine reale non esiste). La temperatura nella termosfera sale repentinamente, passando dai circa -80°C della mesopausa ai circa 1700°C della parte superiore (temperatura cinetica)

5) Esosfera: è la parte più esterna e rarefatta; essa si estende da 200-300 Km in poi, fino al limite atmosferico che possiamo considerare attorno a 1000 Km.

La temperatura sale ancora, fino ad arrivare a circa 2000°C ; il gas presente è quasi totalmente ionizzato, cioè nello stato di plasma.

I costituenti principali sono l'idrogeno, l'elio e l'ossigeno ionizzati. Le prime due specie sono instabili a queste altezze e temperature e tendono a sfuggire dall'attrazione gravitazionale terrestre; la presenza di questo gas viene garantita dal vento solare e dalla successiva cattura di tali particelle da parte della magnetosfera terrestre (si instaura un equilibrio tra la percentuale che sfugge nello spazio e quella che vi giunge). L'esosfera include anche le fasce di Van Allen, anelli toroidali che circondano il nostro pianeta, contenenti plasma catturato dal campo magnetico terrestre e proveniente dal flusso di particelle solari chiamato vento solare. La loro base si trova nell'esosfera (prima fascia di Van Allen), mentre la più esterna si estende molto oltre, fino a circa 65000 Km

Oltre ai diversi livelli atmosferici presentati in base alle caratteristiche del gradiente termico, esistono altre suddivisioni che considerano altri fattori. Se consideriamo la dinamica e la composizione chimica, possiamo suddividere le porzioni più elevate dell'atmosfera in due grandi regioni:

- **Ionosfera:** si estende dalla parte superiore della mesosfera in poi, a partire quindi da circa 85 Km. Da queste altezze in poi, la luce UV del Sole è in grado di rompere i legami molecolari e ionizzare il gas monoatomico; a seconda del numero di fotoni UV e della densità del gas, si instaura un equilibrio tra la percentuale di gas ionizzato e quella di gas ricombinato, portando a delle abbondanze chimiche costanti nel tempo. Nei livelli più bassi della ionosfera, prevalgono ancora specie atomiche, risultato dell'interazione di fotoni UV meno energetici che riescono solo a rompere i legami molecolari (i raggi UV più energetici sono stati già assorbiti in maggior misura a quote maggiori), mentre aumentando di quota aumenta il numero di fotoni più energetici che sono in grado di ionizzare il gas; oltre i 500 Km gran parte del gas si presenta sottoforma di ioni positivi (i nuclei atomici) e ioni negativi (elettroni), formando un involucro di plasma ad alta temperatura (circa 2000°C). Questo strato atmosferico è fondamentale ai fini della vita, tanto quanto lo strato di ozono presente a livelli più bassi in grado di bloccare la radiazione UV meno energetica. Se tale radiazione raggiungesse la Terra senza esserne filtrata lo sviluppo di qualunque forma di vita come noi la conosciamo sarebbe del tutto impossibile.
- **Magnetosfera:** è una regione che si estende all'interno dell'esosfera, contraddistinta dall'azione dominante del campo magnetico terrestre, in grado di bloccare tutte le particelle altamente energetiche provenienti dallo spazio. Se la presenza di gas è in grado di bloccare le radiazioni elettromagnetiche più intense come i raggi UV, ma anche raggi X e gamma (tutta radiazione che proviene dal nostro Sole e dallo spazio profondo, sia pur in minima quantità), un campo magnetico è in grado di bloccare particelle altamente energetiche, come le alfa (nuclei di elio) e le beta (elettroni) e protoni (nuclei di idrogeno) altrettanto dannose per lo sviluppo della vita. Queste particelle vengono deviate dal campo magnetico terrestre, e quindi non possono raggiungere la superficie terrestre; alcune di queste, a causa della forma della magnetosfera terrestre, modellata dallo stesso vento solare, riescono a penetrare negli strati interni, verso le regioni polari. La collisione con gli atomi di Ossigeno provoca la ionizzazione e la successiva ricombinazione di quest'ultimi, dando vita alle spettacolari aurore polari.

La complessità dell'atmosfera terrestre richiederebbe un volume intero per poter essere approfondita nella maniera appropriata. Non abbiamo parlato dei fenomeni meteorologici che interessano lo strato troposferico e che rendono possibile lo sviluppo della vita. Consiglio, a coloro interessati, di andare personalmente alla scoperta delle proprietà e dinamica della troposfera: basta una semplice ricerca sul web, con qualsiasi motore di ricerca, per scoprire un mondo affascinante quanto ancora piuttosto sconosciuto.