

**La Qualità
dell'Aria
e i
Cambiamenti
Climatici
Composizione,
trasporto e
trasformazione
in atmosfera
degli inquinanti
L'effetto serra**



Con il sostegno di:



Fondazione
Compagnia
di San Paolo



Torino Respira è un comitato di cittadini, nato per promuovere iniziative finalizzate a migliorare la qualità dell'aria nella città di Torino e nell'area metropolitana torinese.

Il Comitato persegue il proprio scopo mediante attività di informazione, sensibilizzazione e coinvolgimento dei cittadini, organizzazione di incontri con esperti, sollecitazione delle istituzioni all'adozione di misure dirette alla riduzione dell'inquinamento atmosferico e delle emissioni che ne sono causa. Questa finalità viene perseguita anche tramite il sostegno a iniziative giudiziarie, sia in sede penale che civile, a tutela della salute.

Il Comitato è retto da un Consiglio Direttivo che pianifica e coordina l'organizzazione di iniziative e attività, approva l'adesione dei richiedenti e cura l'espletamento di tutte le attività formali relative alla vita del Comitato stesso. Il Consiglio Direttivo, i cui membri agiscono gratuitamente, viene eletto annualmente dall'assemblea dei soci.

<https://www.torinorespira.it/>



Indice dei macro argomenti

- Composizione dell'atmosfera e inquinanti atmosferici.....pag. **4**
- Struttura e circolazione dell'atmosfera.....pag. **16**
- L'effetto serra.....pag. **34**
- Sitografia.....pag. **41**

Composizione dell'atmosfera

Costituente	Concentrazione volumetrica (%)	Massa molecolare [kg/ kmol]
Azoto (N ₂)	78,084	28,0134
Ossigeno (O ₂)	20,9476	31,9988
Argon (Ar)	0,934	39,948
Anidride Carbonica (CO ₂)	0,0314	44,00995
Neon (Ne)	0,001818	20,183
Elio (He)	0,000524	4,0026
Krypton (Kr)	0,000114	83,80
Xenon (Xe)	0,0000087	131,30
Idrogeno (H ₂)	0,00005	2,01594
Monossido di azoto (N ₂ O)	0,00005	44,0128
Ozono (O ₃)	Estate: 0 + 0,000007 Inverno: 0 + 0,00002	47,9982
Metano (CH ₄)	0,00015	16,04303
Biossido di Zolfo (SO ₂)	0 + 0,0001	64,0628
Biossido di Azoto (NO ₂)	0 + 0,000002	46,0055
Ammoniaca (NH ₃)	da 0 a tracce	17,03061
Monossido di Carbonio (CO)	da 0 a tracce	28,01055
Iodio (I ₂)	0 + 0,000001	253,8088

L'attuale composizione dell'atmosfera deriva da complessi fenomeni che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica terrestre e hanno dato luogo alla formazione di una miscela di gas, la cui composizione dipende dalla natura del gas e dalla distanza dalla superficie terrestre.

Alcune componenti si presentano a concentrazione costante (ossigeno, azoto, gas rari) e altre in concentrazioni variabili (vapore acqueo, anidride carbonica...)

Sono presenti, inoltre, particelle in sospensione sia liquide che solide.

Inquinamento Atmosferico

Definizioni

- Il D.Lgs. 152/2006, art. 268, comma 2, definisce l'inquinamento atmosferico “ogni modificazione dell'aria atmosferica, dovuta all'introduzione nella stessa di una o di più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o da costituire un pericolo per la salute umana o per la qualità dell'ambiente oppure tali da ledere i beni materiali o compromettere gli usi legittimi dell'ambiente”.
- Ogni sostanza, immessa direttamente o indirettamente dall'uomo nell'aria ambiente, che può avere effetti dannosi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso (art. 2 del D.lgs. 351/99) è definita sostanza inquinante
- Tra le varie componenti dell'aria si hanno anche sostanze che sono, in determinate concentrazioni, considerate degli inquinanti. Tali componenti sono immesse direttamente in atmosfera o possono essere il risultato di trasformazioni chimiche di sostanze già presenti.
- Le sorgenti degli inquinanti possono essere naturali o antropiche. La distinzione fra i due tipi è difficile da definire: un incendio boschivo che può avere cause naturali o antropiche produce notevoli quantità di inquinanti gassosi e di composti organici particolati.



Inquinanti primari e secondari



Gli inquinanti primari sono emessi nel corso di processi di combustione di varia natura. Dopo la loro emissione in atmosfera, gli inquinanti primari sono soggetti a processi di diffusione, trasporto e deposizione; alcuni di essi possono subire dei processi di trasformazione chimico-fisica che portano alla formazione di inquinanti secondari.

I principali inquinanti primari sono

- *Monossido di carbonio (CO);*
- *Ossidi di azoto (Nox);*
- *Benzene;*
- *Biossido di zolfo (SO₂)*

Per quanto riguarda gli inquinanti secondari si parla principalmente di Ozono, Biossido di azoto e polveri sottili.

Ogni inquinante assume in media andamenti temporali tipici perché i fenomeni e le caratteristiche dell'ambiente che ne influenzano le concentrazioni avvengono o si ripetono in base ad una certa ciclicità (giornaliera o stagionale).

Attualmente gli inquinanti più critici nelle aree urbane sono le polveri sottili, gli ossidi di azoto, l'ozono e il benzene, le cui concentrazioni possono raggiungere valori preoccupanti per la popolazione, mentre il biossido di zolfo e il monossido di carbonio, in seguito alle efficaci misure intraprese, sembrano ormai essere sotto controllo.

Monossido di Carbonio(CO)

È un gas inodore ed incolore e viene generato durante la combustione incompleta degli idrocarburi, quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente. La principale sorgente di CO è rappresentata dal traffico veicolare (circa l'80% delle emissioni a livello mondiale), in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina. Il CO ha la proprietà di fissarsi all'emoglobina del sangue, impedendo il normale trasporto dell'ossigeno nelle varie parti del corpo; gli organi più colpiti sono il sistema nervoso

centrale ed il sistema cardio-vascolare.

Il CO ha avuto, negli ultimi vent'anni, un netto calo delle concentrazioni grazie al progressivo sviluppo della tecnologia dei motori, che ha contrastato il fenomeno contrario legato all'aumento del numero di autoveicoli circolanti e quindi all'aumento delle fonti emissive.



Biossido di Zolfo (NO2)

È un gas incolore, di odore pungente e deriva dall'ossidazione dello zolfo nel corso dei processi di combustione di sostanze che contengono questo elemento come impurità (ad esempio i combustibili fossili) o come costituente fondamentale. La concentrazione di SO₂ presenta una variazione stagionale molto evidente: i valori massimi si riscontrano nella stagione invernale, quando sono in funzione gli impianti di riscaldamento domestici. L'SO₂ è molto irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie. In atmosfera, attraverso reazioni con l'ossigeno e le molecole d'acqua,

contribuisce all'acidificazione delle precipitazioni ("piogge acide"), con effetti fitotossici sui vegetali e di acidificazione dei corpi idrici.

L'SO₂ era ritenuto, fino a pochi anni fa, il principale inquinante dell'aria; oggi, il progressivo miglioramento della qualità dei combustibili (minor contenuto di zolfo nei prodotti di raffineria, imposto dal D.P.C.M. del 14 novembre 1995) insieme al sempre più diffuso utilizzo del gas metano per il riscaldamento domestico hanno diminuito sensibilmente la sua presenza nell'aria.

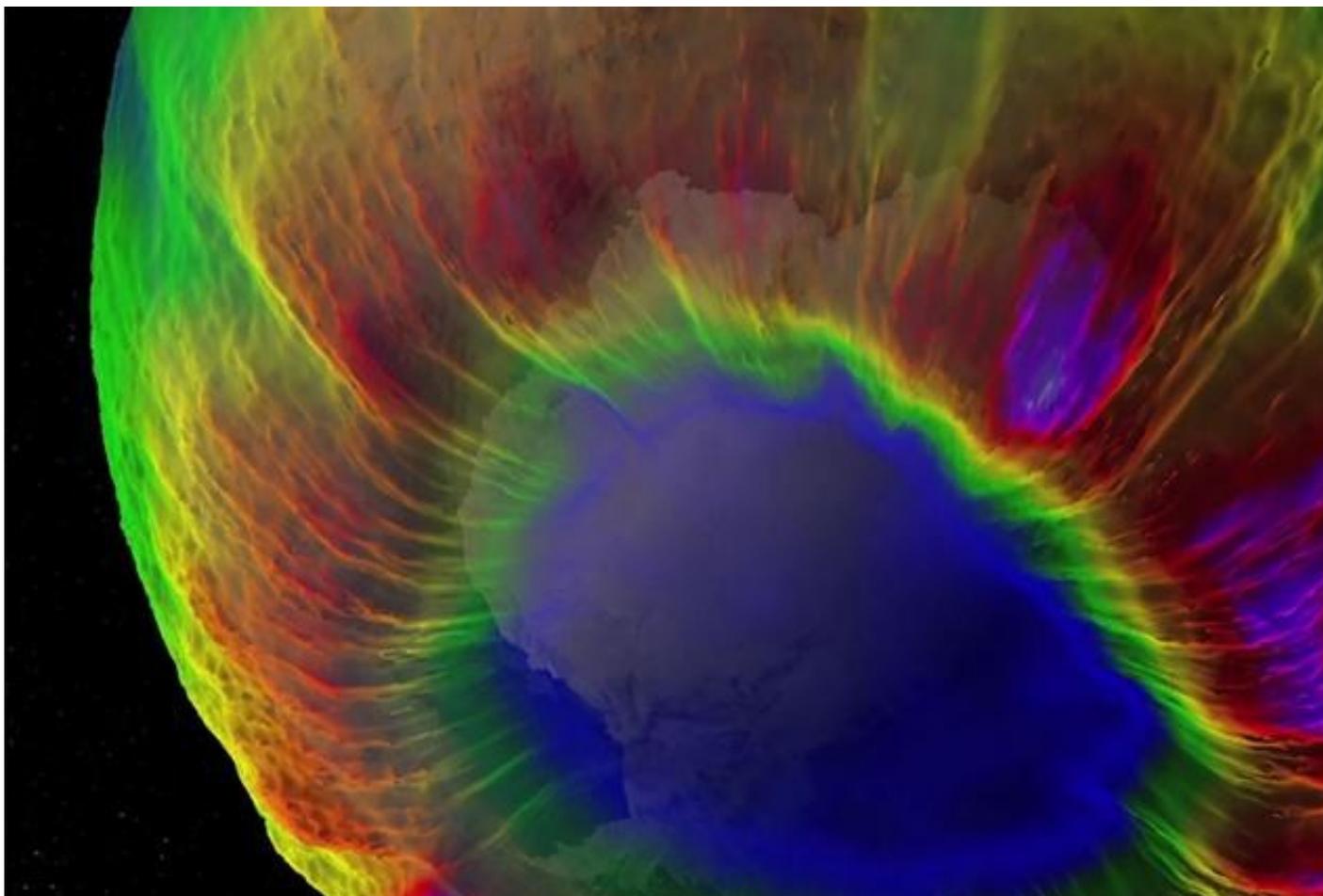


Ozono(O₃)

L'ozono è un gas altamente reattivo, di odore pungente e dotato di un elevato potere ossidante. L'ozono presente nella troposfera, detto ozono troposferico, è un inquinante secondario che si forma all'interno di un ciclo di reazioni fotochimiche che coinvolgono gli ossidi di azoto e i composti organici volatili ("COV"), detto smog fotochimico. La concentrazione di O₃ presenta una forte variazione stagionale, poiché si origina soprattutto nei mesi estivi in corrispondenza di un intenso irraggiamento solare e di un'elevata temperatura atmosferica. Concentrazioni relativamente basse di O₃ provocano effetti quali irritazioni alla gola ed alle vie respiratorie e bruciore agli occhi; concentrazioni superiori possono

portare alterazioni delle funzioni respiratorie ed aumento della frequenza degli attacchi asmatici. L'ozono è responsabile anche di danni alla vegetazione e ai raccolti, con la scomparsa di alcune specie arboree dalle aree urbane.

Negli ultimi anni la concentrazione di ozono è rimasta sostanzialmente costante, dal momento che le concentrazioni degli ossidi di azoto presenti in atmosfera, che rappresentano i principali precursori dell'ozono, non hanno mostrato significative diminuzioni.

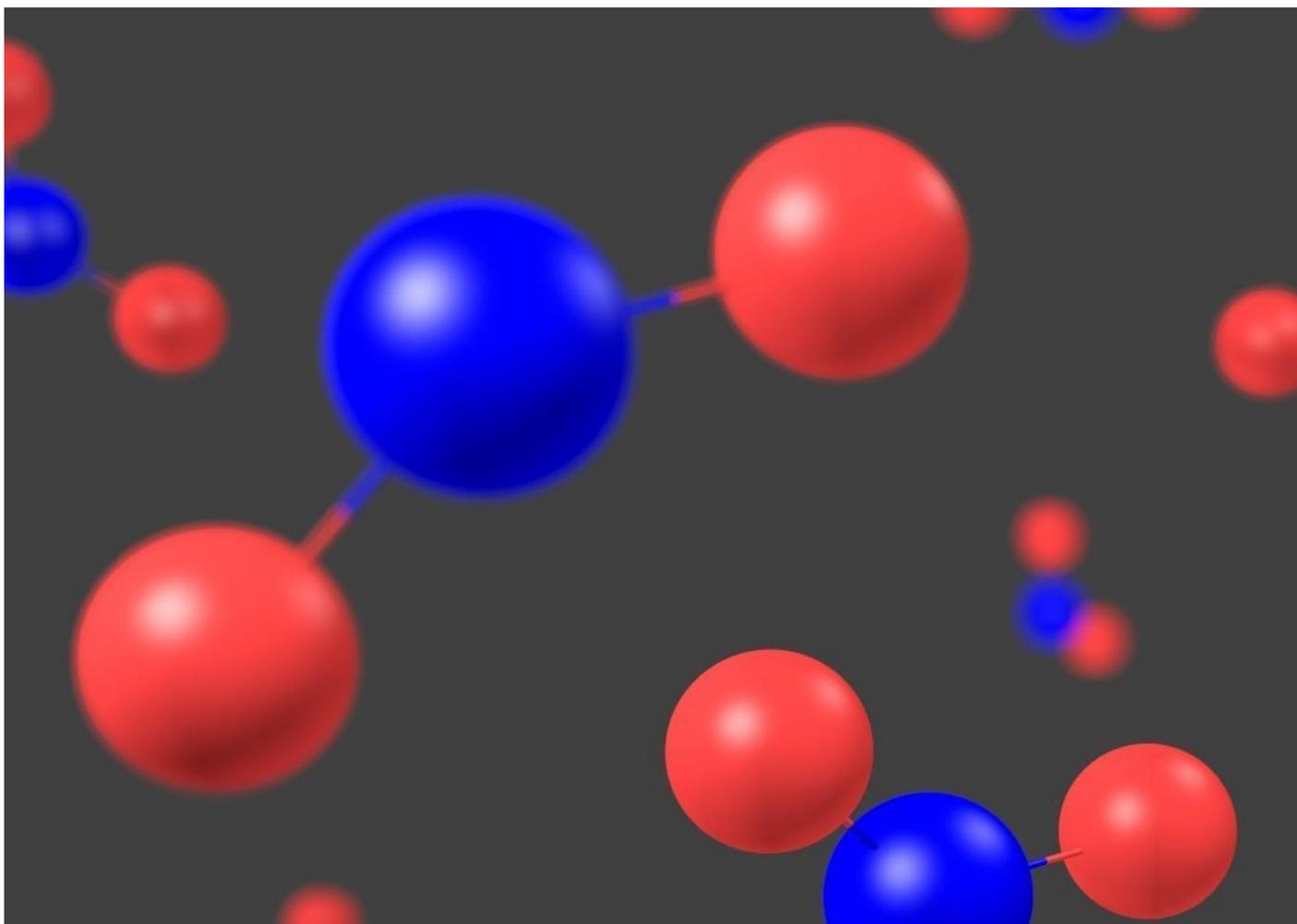


Ossidi di Azoto (NO_x)

Gli ossidi di azoto più rilevanti dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico sono il monossido e il biossido di azoto (NO e NO₂). La presenza in atmosfera di NO (inquinante primario) e NO₂ (inquinante primario e secondario) è dovuta essenzialmente a processi di combustione di idrocarburi. Gli ossidi di azoto contribuiscono alla formazione delle "piogge acide", che provocano danni alla vegetazione e un accumulo di nitrati al suolo e nelle acque (eutrofizzazione), nonché alla formazione dello smog fotochimico, costituendo dei precursori per la formazione di ozono troposferico. Il biossido di azoto si presenta come un gas di colore rosso-bruno e dall'odore forte e pungente ed è ritenuto uno degli inqui-

nanti atmosferici più pericolosi. L'esposizione ad alte concentrazioni di ossidi di azoto ha un'azione lesiva nei confronti delle vie respiratorie profonde e degli alveoli polmonari (edema polmonare), mentre a basse concentrazioni provoca irritazione alle mucose.

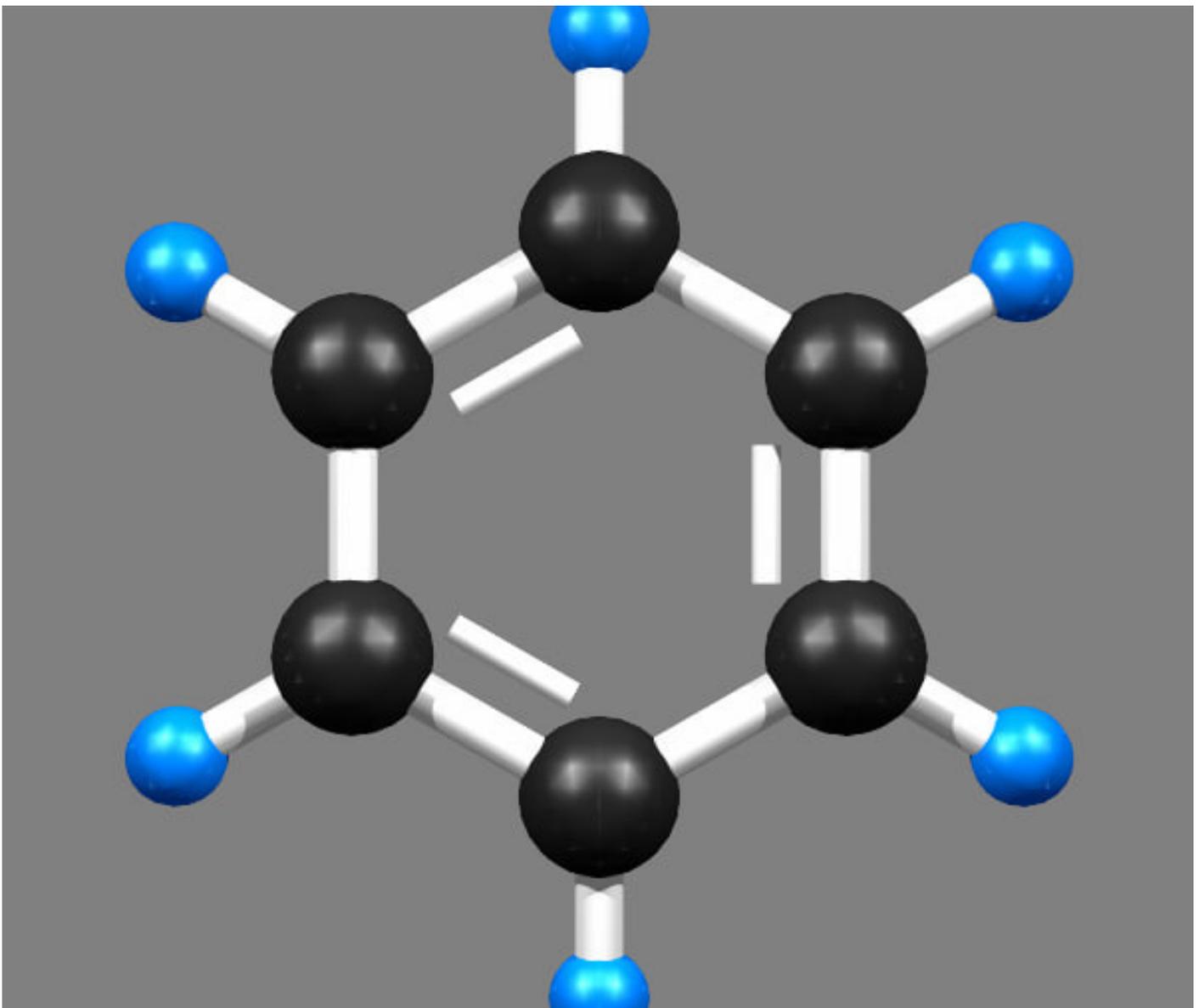
Sebbene varie misure siano state adottate per diminuire le emissioni di ossidi di azoto, l'NO₂ non ha mostrato diminuzioni significative di concentrazione nell'ultimo decennio, risultando uno tra gli inquinanti più critici.



Benzene(C₆H₆)

Il benzene è un idrocarburo aromatico incolore, liquido ed infiammabile; esso è presente nelle benzine come tale, oltre a prodursi durante la combustione a partire da altri idrocarburi aromatici. Il benzene è una sostanza classificata dalla Comunità Europea come cancerogeno di categoria 1. Un'esposizione cronica può causare la leucemia (come riscontrato in lavoratori dell'industria manifatturiera, e l'industria della gomma e dell'industria petrolifera). Stime della Organizzazione Mondiale della Sanità indicano

che, a fronte di una esposizione a 1 mg/m³ di benzene per l'intera vita, quattro persone ogni milione sono sottoposte al rischio di contrarre la leucemia. Negli ultimi anni si è avuto un progressivo calo delle concentrazioni misurate, grazie all'introduzione di un limite al tenore di benzene nelle benzine, 1%, introdotto nel luglio 1998, e all'aumento della percentuale di auto catalizzate sul totale di quelle circolanti.

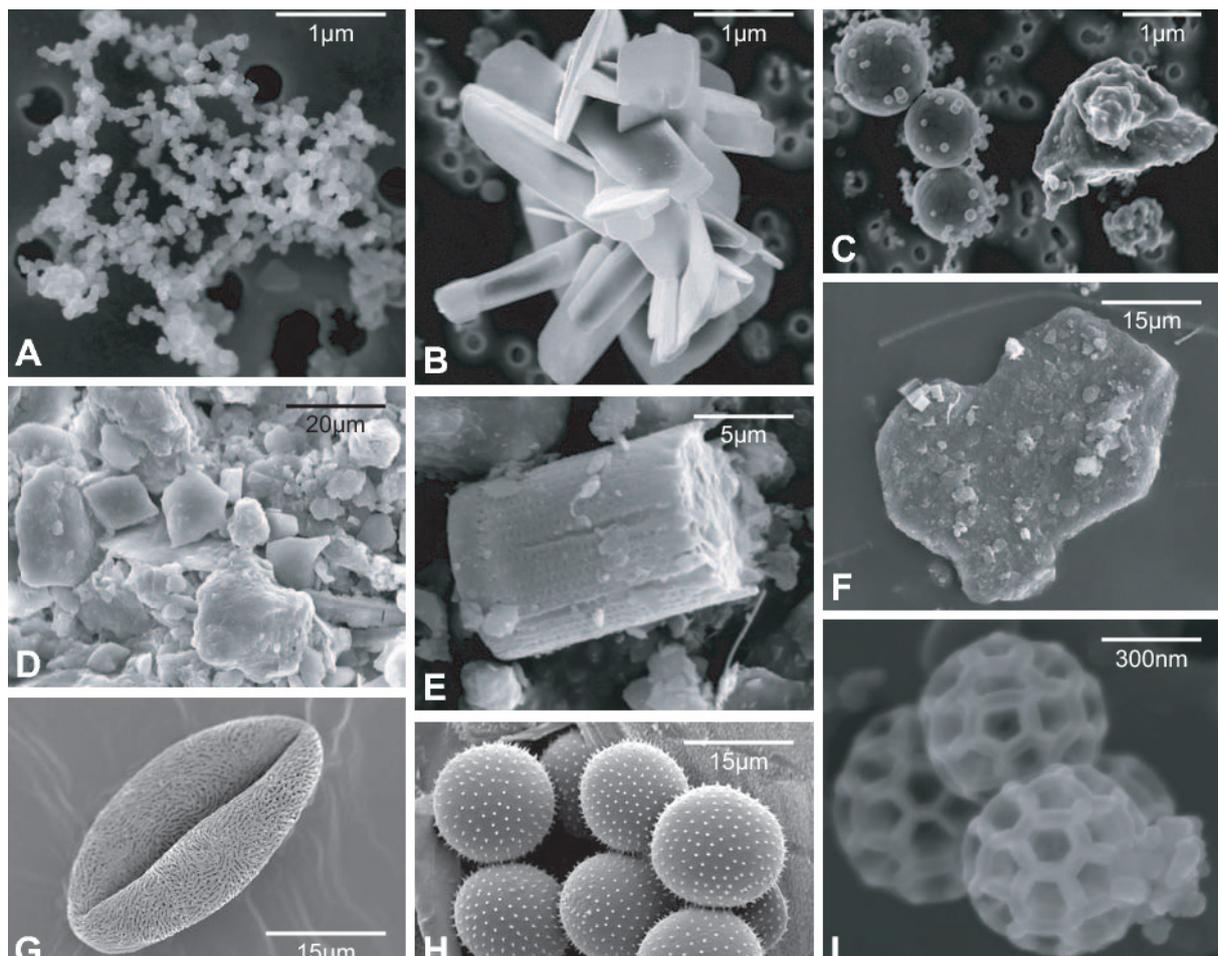


Particolato sospeso (PTS) e polveri sottili (PM10)

Il particolato sospeso (Polveri Totali Sospese, PTS) è costituito dall'insieme di tutto il materiale non gassoso in sospensione nell'aria ed ha un'origine primaria e secondaria; i precursori della componente secondaria sono ossidi di zolfo e di azoto, composti organici volatili e ammoniaca. Con il termine PM10 si intende tutta la porzione di particolato sospeso con dimensioni inferiori ai 10 μm .

La natura delle particelle è molto varia: ne fanno parte le polveri sospese, il materiale orga-

nico disperso dai vegetali (pollini e frammenti di piante), il materiale inorganico prodotto da agenti naturali (vento e pioggia), dall'erosione del suolo o da manufatti. Nelle aree urbane il materiale particolato può avere origine da lavorazioni industriali (cantieri edili, fonderie, cementifici), dall'usura dell'asfalto, degli pneumatici, dei freni e delle frizioni e dalle emissioni di scarico degli autoveicoli, in particolare quelli con motore Diesel.

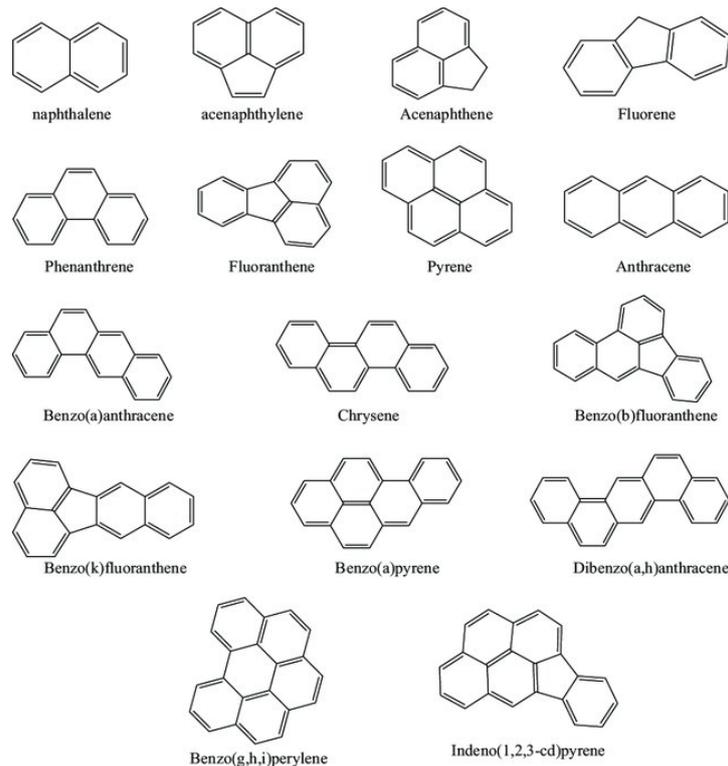


Particolato sospeso (PTS)



Il rischio sanitario legato alle sostanze presenti in forma di particelle sospese nell'aria dipende, oltre che dalla loro concentrazione, anche dalla dimensione delle particelle stesse. Le particelle di dimensioni inferiori costituiscono un pericolo maggiore per la salute umana, in quanto possono penetrare in profondità nell'apparato respiratorio. In prima approssimazione, le particelle con diametro superiore ai 10 μm si fermano nelle prime vie respiratorie, le particelle con diametro tra i 5 e i 10 μm raggiungono la trachea ed i bronchi (frazione inalabile, PM10), mentre le particelle con diametro inferiore ai 5 μm possono raggiungere gli alveoli polmonari (frazione respirabile, PM2,5). Gli studi epidemiologici hanno una correlazione tra le concentrazioni di polveri in aria e la manifestazione di malattie croniche alle vie respiratorie, in particolare asma, bronchiti, enfisemi.

Polveri sottili (PM10, PM2,5, PM1))

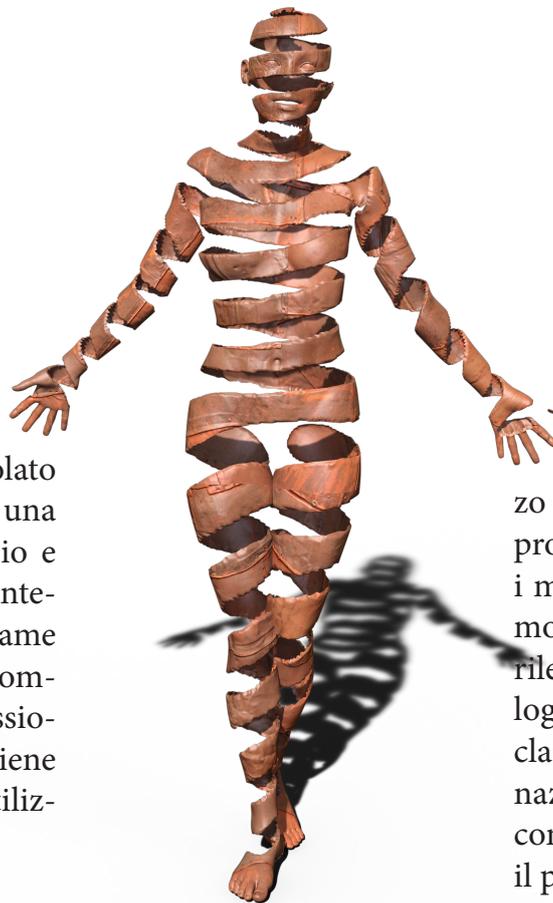


Gli idrocarburi policiclici aromatici si ritrovano nell'atmosfera come residui di combustioni incomplete in impianti industriali, di riscaldamento e delle emissioni degli autoveicoli e sono per la massima parte assorbiti e veicolati da particelle carboniose (fuliggine) emesse dalle stesse fonti. Un numero considerevole di IPA presenta attività cancerogena; in particolare le stime della Organizzazione Mondiale della Sanità indicano che 90 persone su un milione esposte ad una concentrazione di 1 ng/m³ di benzo(a)pirene sono a rischio

di contrarre il cancro. L'andamento rileva una forte dipendenza stagionale ed una criticità nelle aree urbane; la dipendenza dei valori dalla intensità del traffico veicolare è molto forte con valori elevati nei mesi invernali.

Metalli

A periodic table of elements where the transition metals (d-block) are highlighted in red. The highlighted elements are: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, and Fr. The rest of the elements are in a grey color.

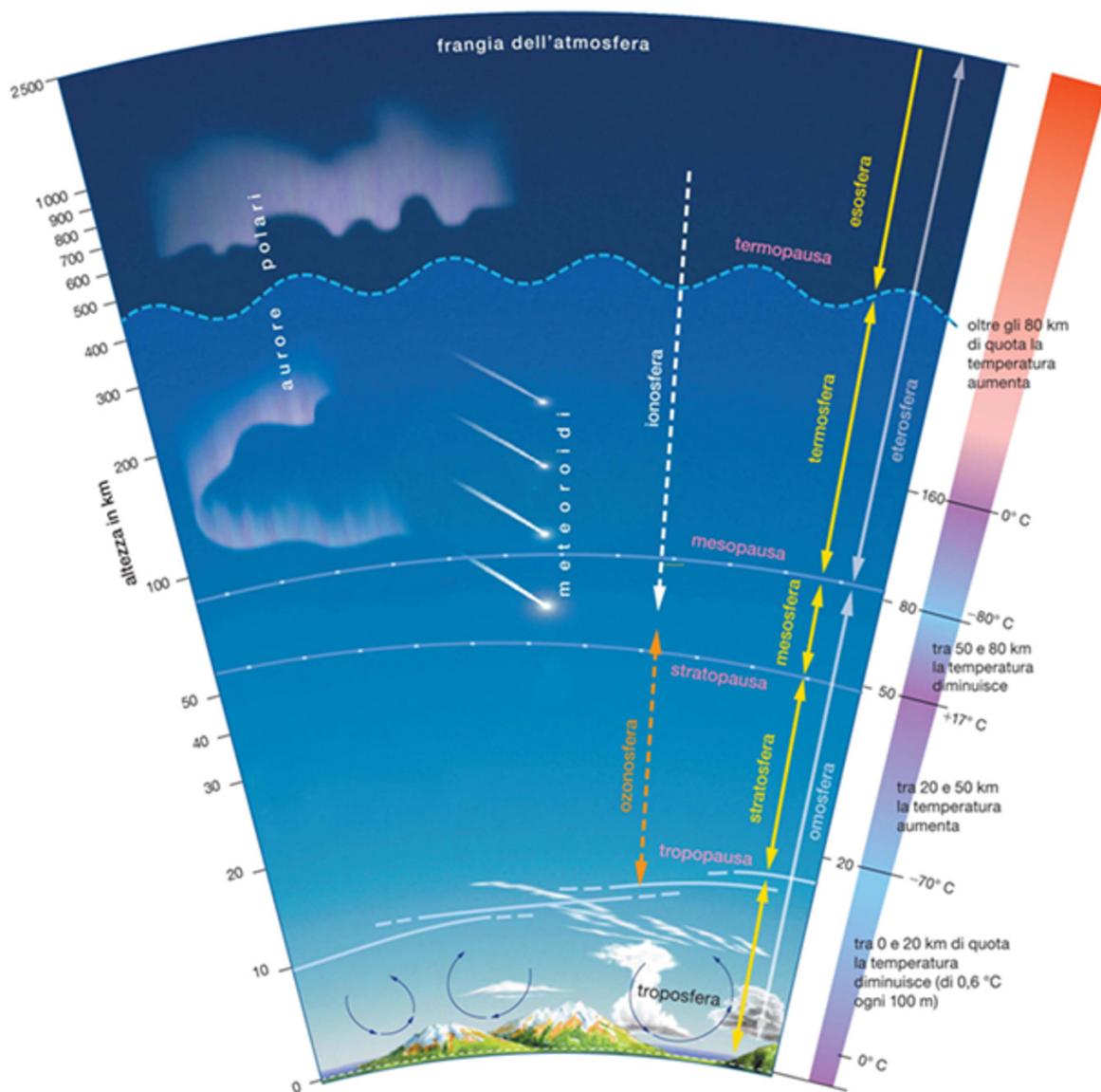


I metalli presenti nel particolato atmosferico provengono da una molteplicità di fonti: il cadmio e lo zinco sono originati prevalentemente da fonti industriali, il rame ed il nichel dai processi di combustione, il piombo dalle emissioni autoveicolari; il ferro proviene dall'erosione dei suoli, dall'utiliz-

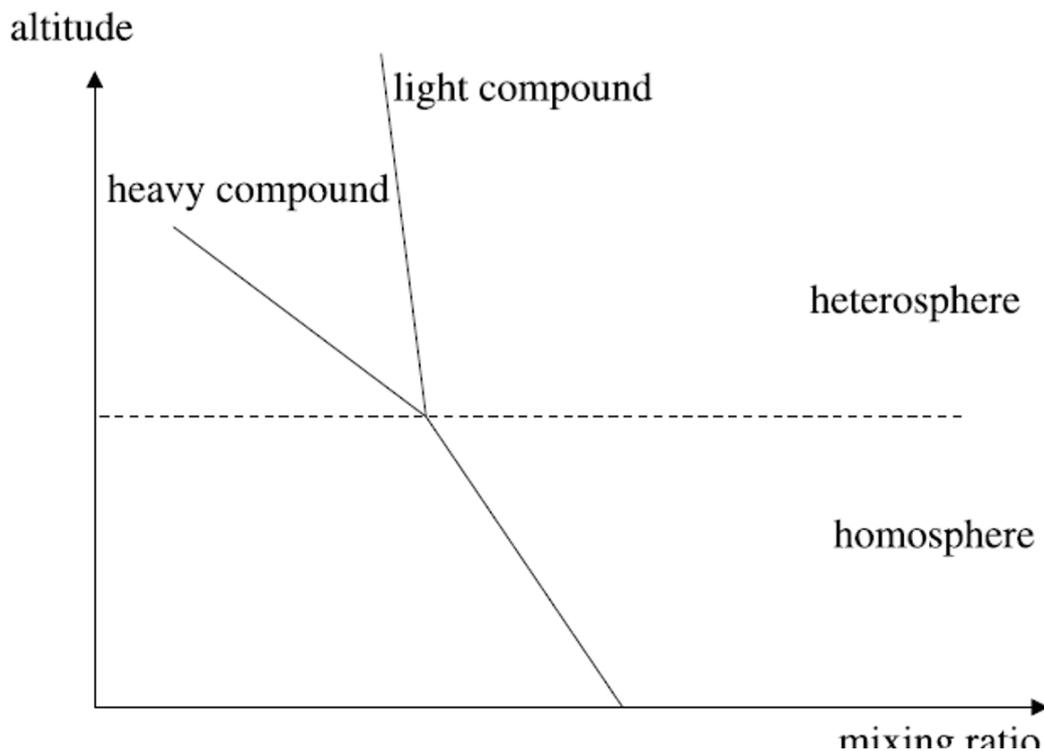
zo di combustibili fossili e dalla produzione di leghe ferrose. Tra i metalli che sono stati oggetto di monitoraggio, quelli a maggiore rilevanza sotto il profilo tossicologico sono il nichel e il cadmio, classificati dalla Agenzia Internazionale di Ricerca sul cancro come cancerogeni per l'uomo, ed il piombo.

Struttura e circolazione dell'atmosfera

Stratificazione dell'atmosfera



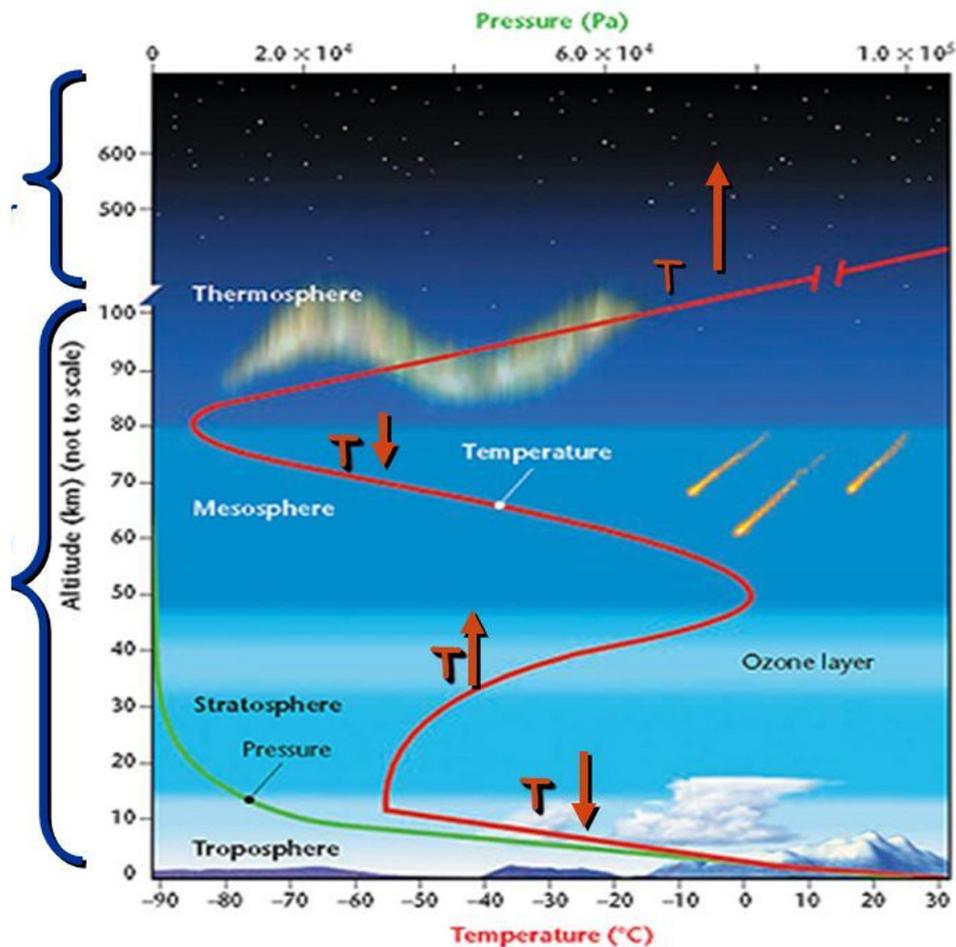
Suddivisione dell'atmosfera in base alla concentrazione delle sue componenti



Tra il suolo e circa 90 km di altezza la composizione dell'atmosfera è pressoché costante (si parla principalmente di ossigeno e azoto) e per questo motivo si parla di omosfera. All'interno dell'omosfera sono presenti moti verticali sufficientemente significativi per garantire un costante rimescolamento.

Oltre i 90 km di altezza le proporzioni di queste due sostanze saltano e ci troviamo nell'eterosfera.

Suddivisione dell'atmosfera in base al gradiente termico verticale



Troposfera: ha un gradiente termico irregolare, ma mediamente lo si può considerare negativo. È raggiunto un minimo di -55°C . La troposfera è più estesa d'estate e raggiunge mediamente i 18 km all'equatore e i 5-6 km ai poli. In tale regione sono contenuti i $\frac{3}{4}$ dell'intera massa atmosferica e la quasi totalità dell'acqua.

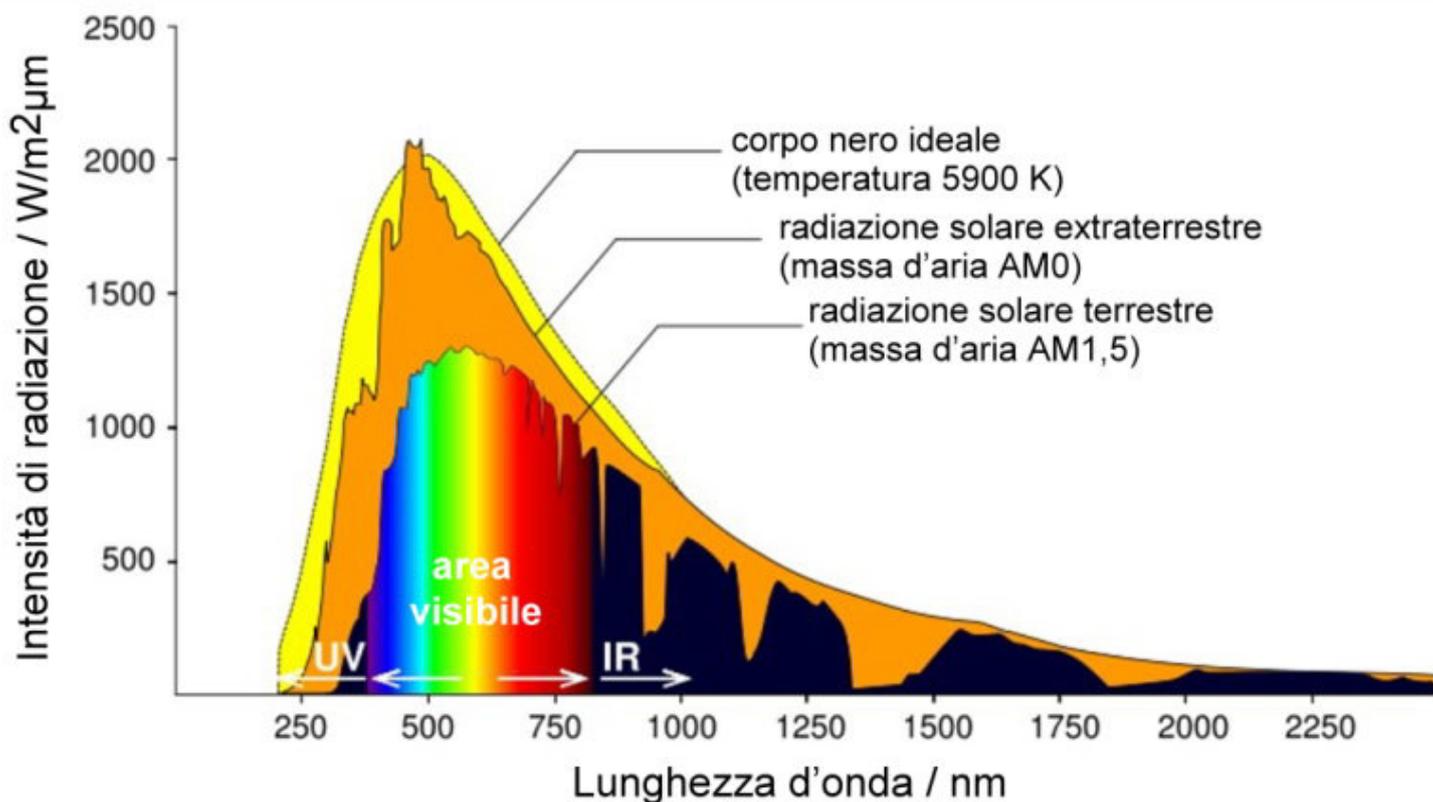
Stratosfera: in questa regione il gradiente termico è positivo e la temperatura aumenta prima lentamente e poi a partire dai 30 km in modo più rapido fino a raggiungere i 50°C ad altezze comprese tra i 48-49 km (l'aumento della temperatura è

dovuto alla presenza dell'ozono). È caratterizzata da una forte stabilità verticale e all'interno della quale sono presenti intensi movimenti orizzontali (per strati);

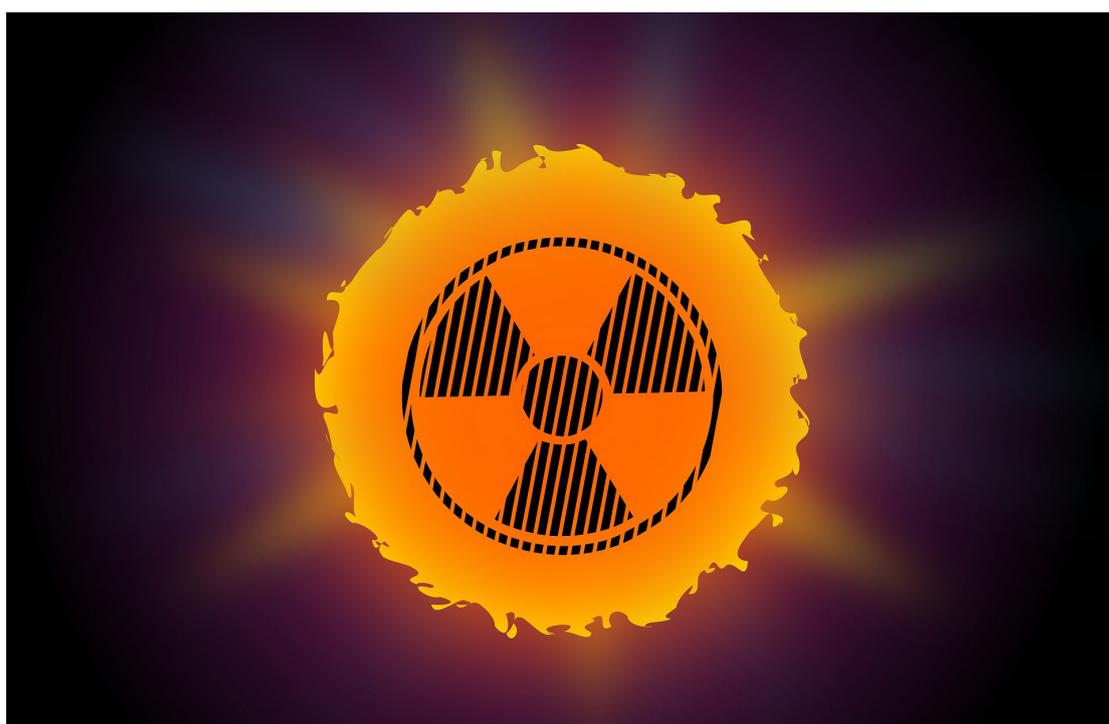
Mesosfera: caratterizzata da gradiente termico negativo e si raggiungono i -75°C intorno agli 80 km di quota (mancanza di sostanze in grado di assorbire la radiazione solare);

Termosfera: si raggiungono i 100°C intorno ai 100 km e i 1000°C intorno ai 300 km. La radiazione solare ad onde molto corte viene assorbita dalle molecole di ossigeno azoto.

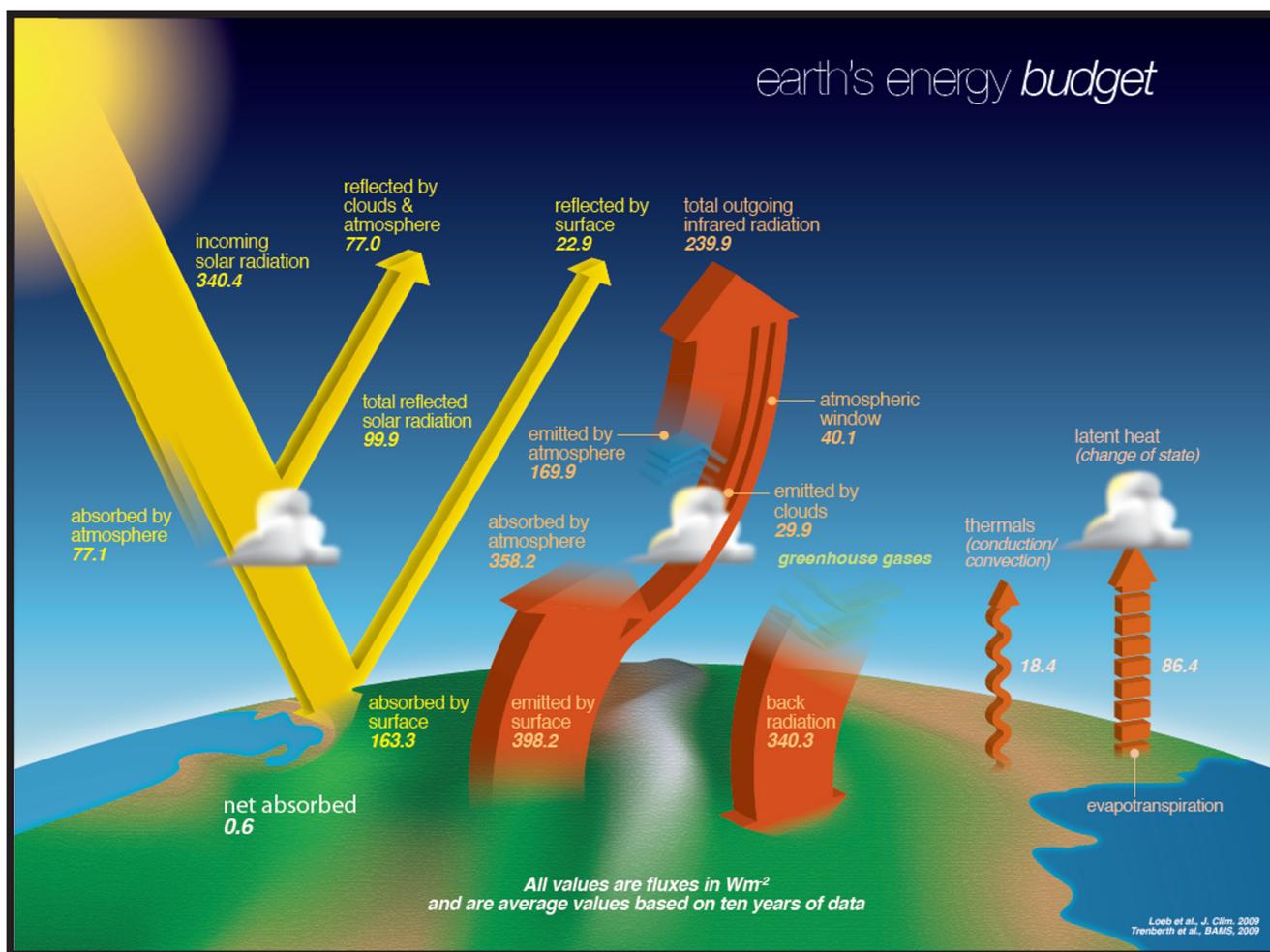
La radiazione solare



La radiazione solare è il fattore meteorologico più importante in quanto rappresenta la fonte primaria di calore per l'atmosfera e quindi di energia per i moti atmosferici.



Bilancio energetico termico – radiativo

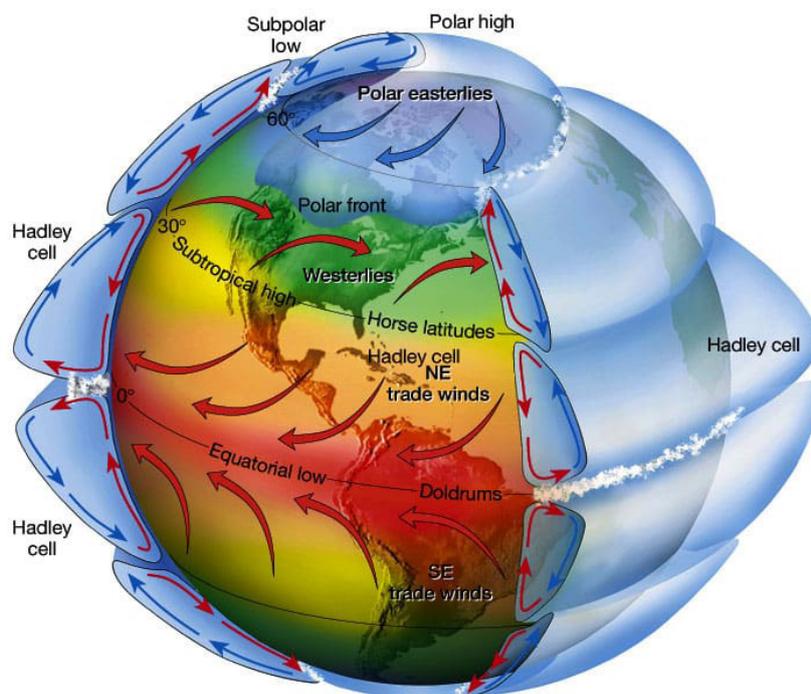


La terra assorbe una parte dell'energia solare (in base all'interazione dell'atmosfera con la radiazione incidente) e contemporaneamente emette una certa quantità di energia.

Il bilancio energetico di quanto emesso e quanto assorbito determina una temperatura media di circa $15^{\circ}C$.

Naturalmente, su tutto il globo il bilancio energetico può risultare negativo e o positivo (a seconda della latitudine, ad esempio). A scala planetaria, quindi, la circolazione generale atmosferica (e anche oceanica) è determinata dalla posizione dei grandi sistemi di alte e basse pressioni derivanti dalla disomogeneità del bilancio energetico.

Circolazione generale dell'aria



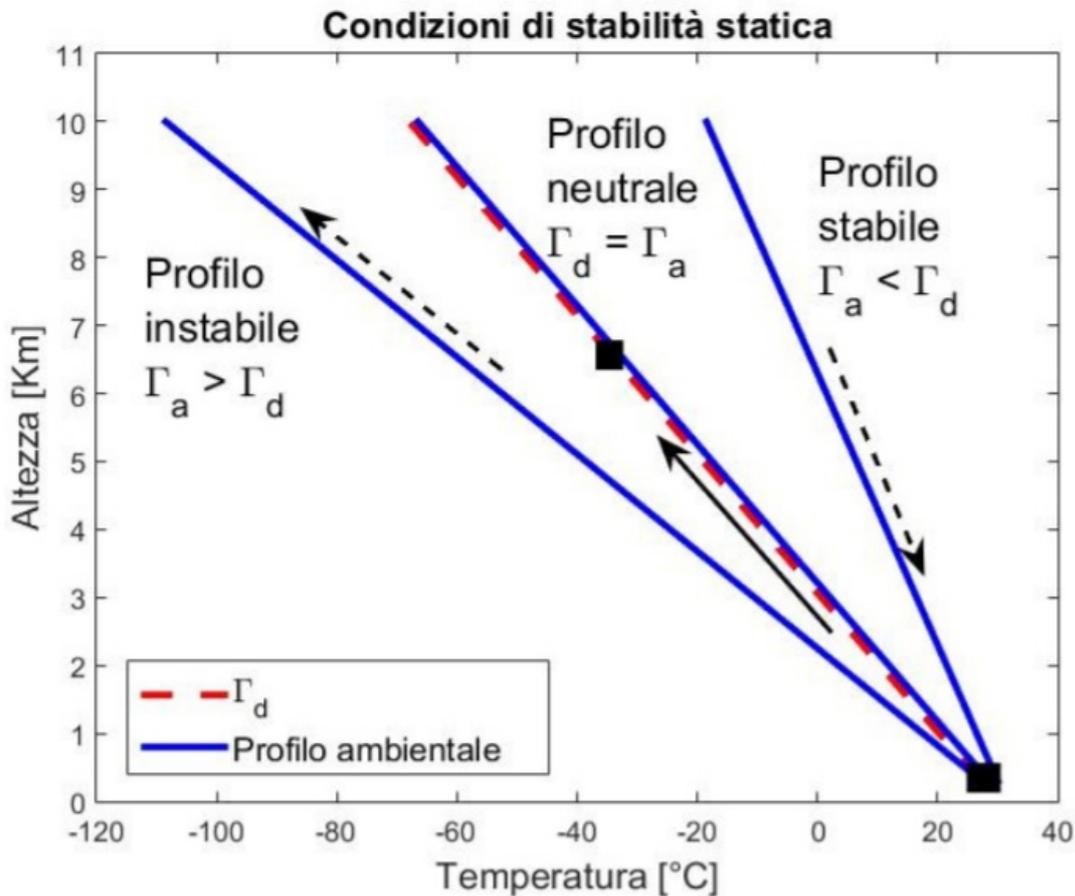
Da un'analisi schematica della distribuzione planimetrica dei valori medi annui della pressione, si nota che esistono zone della terra in corrispondenza delle quali prevalgono le depressioni ed altre nella quali stazionano degli anticicloni. Schematicamente la situazione può essere così riassunta

- Zona di bassa pressione all'equatore racchiusa tra due fasce anticicloniche;
- Medie latitudini tra i 30° e i 60° N e S si ha un regime variabile con le stagioni (alta pressione d'inverno e bassa pressione d'estate sulle zone continentali e l'opposto sugli oceani);
- Zone subpolari tra 60° e i 75° N e S zona di bassa pressione;
- Calotte polari si ha un predominio delle alte pressioni.

Il diverso riscaldamento terrestre correlato alla latitudine e al tipo di substrato determina una diversa temperatura dell'aria che di conseguenza assume valori di pressione diversa (una massa di aria calda ha una massa di aria fredda).

La distribuzione generale delle pressioni si accorda solo in parte con tale principio per il fatto che su di essa intervengono altri fattori di natura dinamica legati ai movimenti ascensionali e discendenti dell'aria.

Gradiente adiabatico verticale

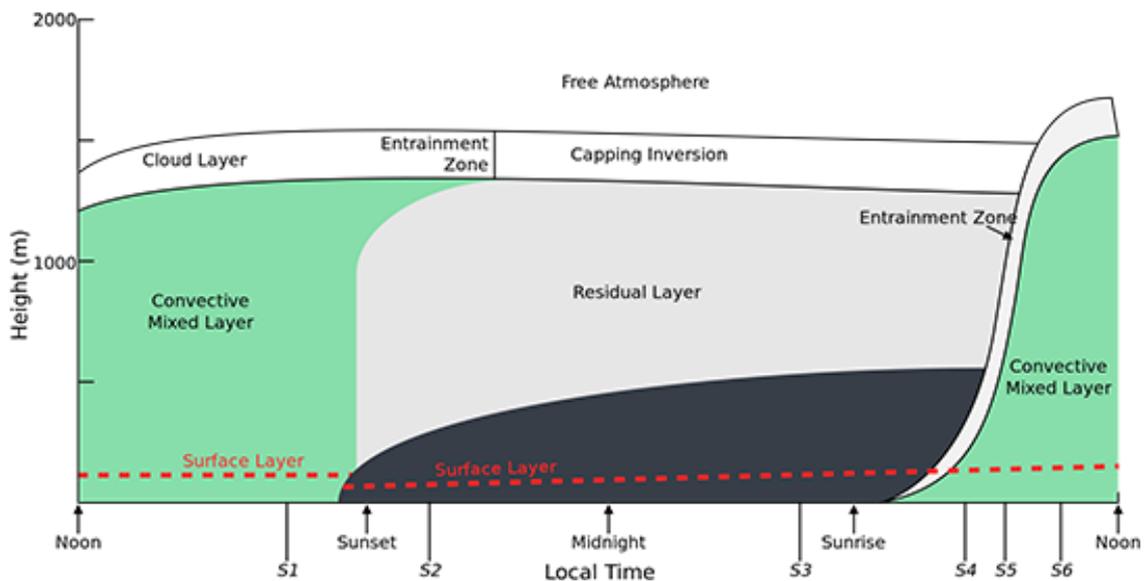


Una massa d'aria che si muove lungo la verticale è influenzata dalle condizioni che incontra. Ad esempio, una massa d'aria che risale all'interno di una zona con gradiente superadiabatico sarà sempre più calda dell'aria che incontra e quindi tenderà sempre ad essere in una condizione instabile. Viceversa, con un gradiente ipoadiabatico la stessa massa d'aria sarà più fredda delle condizioni che incontra nel suo percorso e sarà quindi ostacolata nel suo movimento ascensionale.

Un caso estremo di equilibrio stabile è dato dalla condizione di inversione di temperatura. Tali fenomeni possono essere temporanei (perdita di calore dal suolo durante le notti fredde e serene) o favorite da particolari condizioni geografiche (Los Angeles dove l'aria surriscaldata continentale passa sopra le catene montuose che circondano la città e si adagia su una preesistente bolla d'aria più fredda).

Strato limite

Il PBL è la porzione di troposfera direttamente influenzata dalla superficie terrestre e suscettibile di mutamenti dovuti all'immissione di energia da essa proveniente con tempi dell'ordine dell'ora. Spesso nell'ordine di alcuni km e varia con ritmo circadiano.



- Strato rimescolato: riscaldato dal basso, turbolenza termica e meccanica;
- Strato stabile: la temperatura aumenta con la quota, perciò è molto stabile (poco rimescolato);
- Strato residuo: stratificazione neutra; può intrappolare inquinanti fino al giorno successivo;
- Strato superficiale: 10% del PBL, vicino alla superficie. La turbolenza è omogenea, diversa dal resto del PBL.

Dispersione nell'aria

I moti in atmosfera sono molto complessi e comportano che gli inquinanti siano trasportati, a seconda delle condizioni, a varie distanze e con tempi di percorrenza tali da poter subire trasformazioni chimiche.

Le cause che determinano la dispersione dipendono dal fattore di scala considerato. Maggiore è la dimensione del fenomeno considerato e maggiormente predominanti i processi legati alla circolazione generale dell'atmosfera.

A scala locale i fattori che maggiormente interessano i fenomeni di inquinamento atmosferico sono la velocità e la direzione del vento, la stabilità atmosferica, che è un indicatore della turbolenza atmosferica responsabile dei rimescolamenti dell'aria e quindi del processo di diluizione degli inquinanti, e fenomeni di inversione termica.

La conoscenza di tali fenomeni permette di condurre delle analisi previsionali (tramite modelli) sui fenomeni di inquinamento utili a definire effetti e misure contenitive o interventi operativi di protezione

Processi fisici di dispersione

All'interno dello strato limite planetario (PBL), i processi fisici che contribuiscono alla dispersione di sostanze e di quantità fisiche nell'aria e dall'aria al suolo sono

- Processi di diffusione molecolare;
- Processi di diffusione turbolenta.

I fenomeni di diffusione molecolare sono, ad esempio, quelli legati ai gradienti di concentrazione di una determinata sostanza e sono di per sé trascurabili rispetto alla diffusione turbolenta.

In uno stato turbolento l'aria si muove formando dei vortici irregolari, mentre in un flusso laminare le particelle di aria si muovono in modo regolare e uniforme.

Il trasporto in regime turbolento può essere espresso dalla seguente formula

$Q = -A \frac{dq}{dz}$ dove A è il coefficiente di scambio turbolento.

A è un coefficiente che dipende da molti fattori e che deve essere quantificato sperimentalmente anche in base al rapporto tra turbolenza e stabilità atmosferica

Fattori che influenzano la dispersione

A scala locale i fattori che maggiormente interessano i fenomeni di inquinamento atmosferico sono la velocità e la direzione del vento, la stabilità atmosferica, che è un indicatore della turbolenza atmosferica responsabile dei rimescolamenti dell'aria e quindi del processo di diluizione degli inquinanti, e fenomeni di inversione termica.

Inoltre, l'orografia e le irregolarità del terreno oltre a modificare la direzione e la velocità dell'aria in movimento possono indurre la transizione da moto laminare a moto turbolento.

Da notare che anche una superficie piana e liscia offre una resistenza allo scorrimento in forza dell'attrazione molecolare che agisce in modo direttamente proporzionale alla viscosità del fluido.

Nell'ambito dello studio della dispersione in atmosfera sono introdotte delle formule per quantificare la velocità del vento in funzione del parametro di rugosità del suolo espresso in m.

In definitiva, la velocità del vento varia quindi sulla verticale, ma non solo in base all'azione del terreno, ma anche a causa di altri fattori quali il grado di stabilità.

La stabilità atmosferica

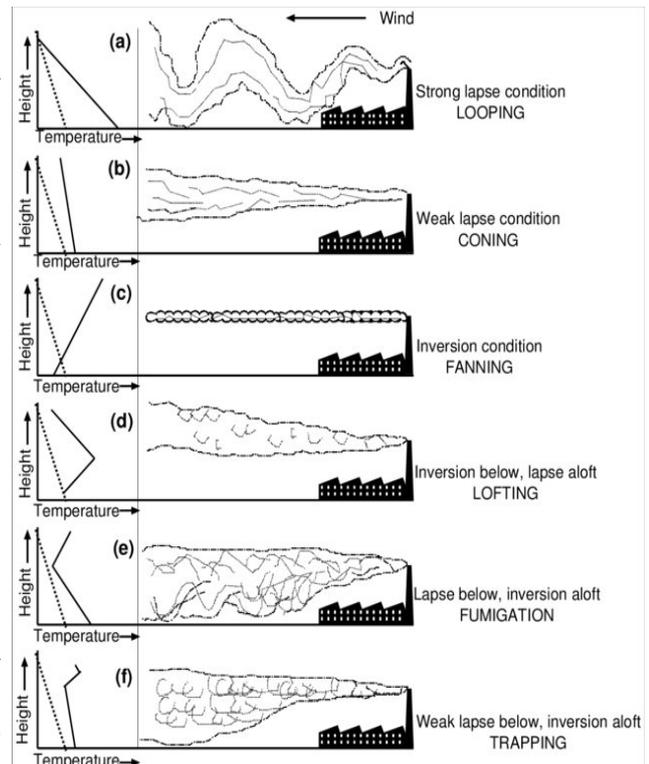
Il meteorologo Pasquill ha classificato il grado di stabilità dell'aria in varie categorie in funzione della velocità del vento, del grado di insolazione nelle ore diurne e di nuvolosità nelle ore notturne.

Sono fornite 6 diverse classi di stabilità: tre classi di instabilità (A, B, C), una classe neutra (D) e tre classi di stabilità (E, F, G).

Da notare che c'è una stretta relazione tra turbolenza dell'aria, andamento del gradiente termico verticale e la variazione media del vento con l'altezza.

Ad esempio, con un forte gradiente termico verticale, l'intenso rimescolamento verticale tende a uniformare la velocità del vento. Per contro una condizione di stabilità favorisce l'instaurarsi di un marcato gradiente verticale della velocità del vento.

Invece, se il fattore predominante è il vento all'aumentare della sua velocità, l'atmosfera tende alla neutralità



Gradiente barico orizzontale e vento

Per quanto riguarda i moti orizzontali si parla di gradiente barico orizzontale la cui direzione è generalmente perpendicolare alle isobare (distanza più breve).

Le masse d'aria si muovono quindi da zone ad alta pressione a zone a bassa pressione (riconducibili alla non omogeneità della ripartizione del calore).

Il gradiente barico orizzontale si esprime in millibar per 111 km che corrispondono alla lunghezza di un grado meridiano. Di norma di hanno gradienti di 1 millibar per grado, ma si possono raggiungere i 4-5 con conseguente velocità del vento di circa 100 km/h.

Connessi a tali concetti possono essere riportati alcuni fenomeni microclimatici quali:

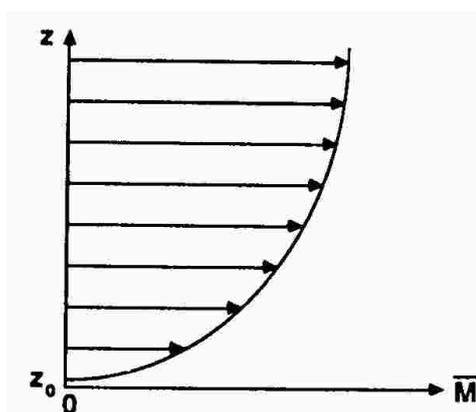
- il föhn;
- le brezze di valle e monte;
- le brezze di terra e di mare.

Profili del vento

La variazione verticale del vento dipende dalla natura del suolo e, come detto, dal grado di stabilità atmosferica.

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\ln\left(1 + \frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(1 + \frac{z_1}{z_0}\right)}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^p$$



Area rurale		Area Urbana	
Classe	p	Classe	p
A	0,07	A	0,15
B	0,07	B	0,15
C	0,10	C	0,20
D	0,15	D	0,25
E	0,35	E	0,30
F	0,55	F	0,30

Emissioni da camino

- La massima concentrazione a livello del suolo varia in modo inversamente proporzionale al quadrato dell'altezza del camino;
- La distanza del punto di massima concentrazione dalla base della ciminiera aumenta quasi proporzionalmente all'altezza del camino.

In entrambi i casi gli effetti sono influenzati dal grado di stabilità atmosferica. Ad esempio in caso di stabilità atmosferica, a parità di altezza del camino, la distanza di massima concentrazione tende ad aumentare.

L'altezza effettiva di rilascio non dipende solo dall'altezza del camino, ma anche dalla velocità e temperatura di uscita

Processi atmosferici secondari

Gli inquinanti possono depositarsi come deposizioni secche quanto i gas e composti particolati si depositano direttamente su suolo, oceani, vegetazione, manufatti ed esseri viventi.

Si ha invece una deposizione umida se i gas e le particelle solide si disciolgono all'interno delle gocce d'acqua presenti nelle nebbie, nubi, piogge e neve.

L'aria, un reattore fotochimico

Gli inquinanti in atmosfera sono soggetti a reazioni chimiche. L'ossigeno non è sufficientemente reattivo per promuovere tali reazioni che invece sono possibili grazie alla presenza di altre sostanze e sfruttando l'energia proveniente dal sole.

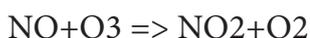
Le principali reazioni osservabili sono

- Formazione dell'ozono troposferico e stratosferico;
- Formazione di radicali liberi;
- Foto ossidazione del metano e del monossido di carbonio.

Formazione dell'ozono troposferico

Nella troposfera, in cui generalmente la radiazione solare ha lunghezza d'onda superiore ai 290 nm, il composto che si fotolizza con maggior facilità è il biossido di azoto (NO₂) che si scinde in monossido di azoto (NO) e ossigeno monoatomico (O).

Quest'ultimo si combina con l'ossigeno molecolare (O₂) per formare ozono (O₃) in grado di riossidare il monossido d'azoto in biossido con la contemporanea produzione di ossigeno molecolare.

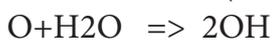


Si crea quindi un equilibrio dinamico fra gli ossidi di azoto e l'ozono. Normalmente però la concentrazione di ozono in troposfera sarebbe troppo esigua se non intervenissero altri composti ad ossidare il monossido di azoto in biossido senza consumare ozono.

Tali sostanze sono i radicali liberi come il perossido (-OO) e il perossido di idrogeno (-OOH) che sono prodotti durante l'ossidazione degli idrocarburi e sono molto instabili e reattivi.

Ossidanti fotochimici della troposfera

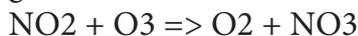
Se a livello troposferico l'ozono subisce la fotolisi da fotoni con lunghezza d'onda compresa tra 290 e 310 nm (sufficientemente energetici) l'ossigeno atomico che si forma è sufficientemente eccitato per reagire con il vapore acqueo per formare il radicale ossidrilico (-OH)



Il radicale ossidrilico è molto energetico ed è responsabile, ad esempio, della trasformazione del biossido di azoto (NO₂) e del biossido di zolfo (SO₂) rispettivamente in acido nitrico (HNO₃) e acido solforico (H₂SO₄).

Il radicale ossidrilico si forma principalmente di giorno quando la concentrazione di ozono è minore.

Per contro, di notte quando le concentrazioni di ozono e biossido di azoto sono più alte, tende a formarsi il radicale nitrato (-NO₃) secondo la seguente reazione



Benché l'ossigeno molecolare non reagisca direttamente nelle reazioni di ossidazione costituisce l'elemento essenziale di tutti i composti più aggressivi che sono attivi nella fotochimica dell'atmosfera.

Foto – ossidazione del metano

Le reazioni di foto-ossidazione sono composte in parte da reazioni di fotolisi (promosse dalla radiazione solare) in cui sono formati dei radicali che sono in grado di aggredire (ossidare) sostanze già presenti in atmosfera.

Il radicale ossidrile è responsabile per l'innesco delle seguenti reazioni a partire dal metano presente in atmosfera.

Metano + radicale ossidrile => radicale metile + vapore acqueo ($\text{CH}_4 + \text{OH} \Rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$);

Radicale metile + ossigeno molecolare => radicale metilperossido ($\text{CH}_3 + \text{O}_2 \Rightarrow \text{CH}_3\text{O}_2$);

Radicale metilperossido + monossido d'azoto => biossido d'azoto + radicale metossile ($\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{NO} \Rightarrow \text{NO}_2 + \text{CH}_3\text{O}$);

Radicale metossile + ossigeno molecolare => formaldeide + radicale perossido di idrogeno ($\text{CH}_3\text{O} + \text{O}_2 \Rightarrow \text{CH}_3\text{O} + \text{HO}_2$);

Radicale perossido di idrogeno + monossido di azoto => biossido di azoto + radicale ossidrile ($\text{HO}_2 + \text{NO} \Rightarrow \text{NO}_2 + \text{OH}$)

Foto – ossidazione dell'ossido di carbonio

Il radicale ossidrile è responsabile anche per l'innesco della foto ossidazione del monossido di carbonio

Monossido di carbonio + radicale ossidrile => anidride carbonica + idrogeno atomico ($\text{CO} + \text{OH} \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$);

Idrogeno atomico + ossigeno molecolare => radicale perossido di idrogeno ($\text{H} + \text{O}_2 \Rightarrow \text{HO}_2$);

Radicale perossido di idrogeno + monossido di azoto => biossido di azoto + radicale ossidrile ($\text{HO}_2 + \text{NO} \Rightarrow \text{NO}_2 + \text{OH}$).

In generale si può dire che le sostanze contenente carbonio sono attaccate dal radicale ossidrile con la formazione di sostanze relativamente stabili (aldeidi) e di ulteriori radicali liberi in grado di ossidare il monossido di azoto in biossido senza consumare ozono la cui concentrazione tende ad aumentare. Inoltre, durante queste reazioni si for-

ma ulteriore radicale ossidrile in grado di ossidare altri idrocarburi.

Di notte, invece, quando le concentrazioni di biossido di azoto e ozono sono relativamente alte e non è presente l'azione della luce solare, questi due composti tendono a reagire per formare il radicale nitrato.

In generale tutti gli idrocarburi presenti in atmosfera possono partecipare a reazioni confrontabili con quelle descritte in precedenza.

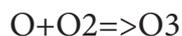
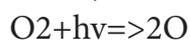
Tali reazioni continueranno ciclicamente fino alla formazione di composti stabili come ad esempio l'acido nitrico e il perossido di idrogeno che hanno la capacità di assorbire rispettivamente il radicale ossidrile e il radicale perossido di azoto.

Infine, tutti gli idrocarburi in atmosfera sono degradati in anidride carbonica e acqua.

Formazione dell'ozono stratosferico

L'ozono è presente nella stratosfera tra i 15 e 60 km con concentrazioni massime tra i 25 e 30 km dal suolo. L'ozono stratosferico è in grado di assorbire completamente la componente della radiazione solare con lunghezza d'onda minore a 290 nm. Il processo di assorbimento della frazione più energetica della radiazione solare da parte dell'ozono è la causa dell'aumento della temperatura nella stratosfera con il crescere della quota.

La formazione dell'ozono stratosferico è indotto dalla fotolisi dell'ossigeno molecolare che determina le seguenti quattro reazioni responsabili di una situazione di equilibrio dinamico tra ossigeno molecolare, atomico e ozono.



La distribuzione spazio-temporale dell'ozono stratosferico è regolata dall'azione di altri composti nonché da fenomeni fotochimici e meteorologici.

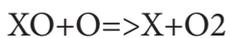
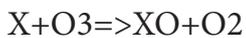


Fenomeni che regolano la concentrazione di ozono stratosferico

I composti chimici di origine naturale che intervengono a definire la concentrazione di ozono sono gli ossidi di azoto e i radicali liberi

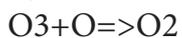
Queste due coppie NO/NO₂ e OH/ HO₂ benché presenti in concentrazioni esigue sono in grado di regolare la concentrazione e distribuzione dell'ozono stratosferico.

Infatti, se per semplicità indichiamo le due coppie con X/XO si possono individuare le due seguenti reazioni

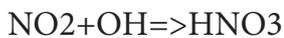


Queste due reazioni vedono la scomparsa di ozono e ossigeno molecolare a causa del composto X (che può essere sia NO e OH) che si riforma nella seconda reazione

Quindi si ha un bilancio (non una reazione chimica diretta)

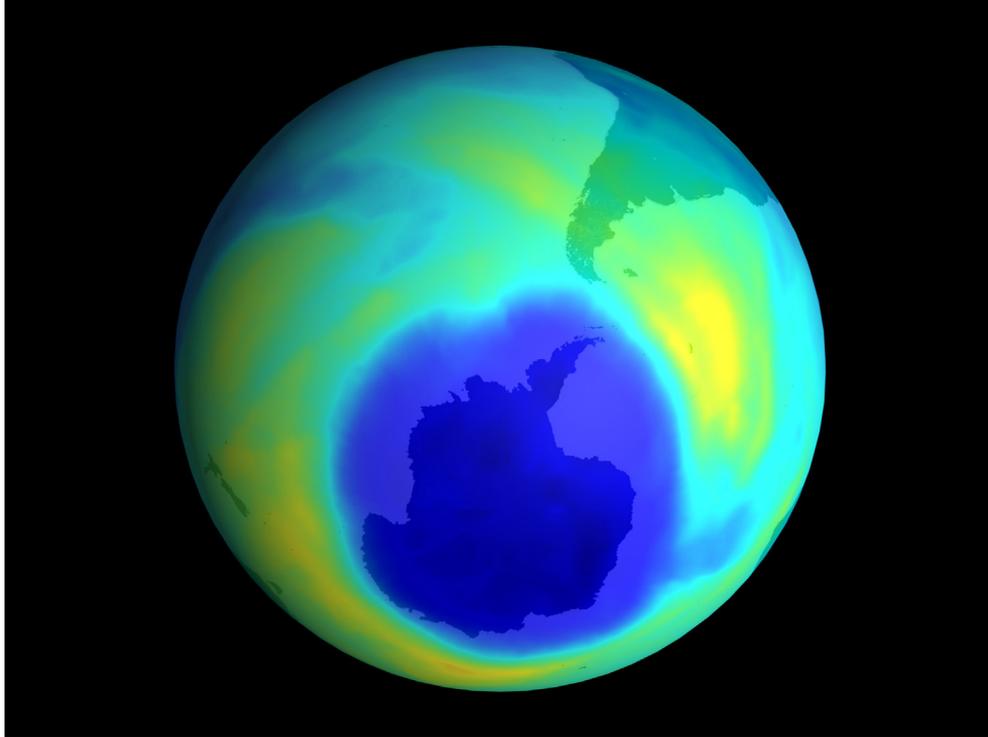


In realtà l'azione delle coppie X/XO sul bilancio dinamico dell'ozono è limitata dal fatto che ossidi di azoto e radicali libero possono reagire fra di loro come ad esempio



In realtà la distribuzione dell'ozono stratosferico non è uniforme ma varia sia dal punto di vista spaziale (latitudine, quota) che temporale (giorno/notte, estate/inverno). L'ozono si forma infatti a latitudini equatoriali dove il soleggiamento è più intenso, ma le concentrazioni massime si trovano ai poli in primavera dove viene trasportato dai moti orizzontali in stratosfera e quando il soleggiamento (e quindi la fotolisi) è meno intenso.

Il buco nell'ozono

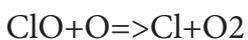


L'introduzione da parte dell'uomo di alcune sostanze a livello troposferico induce pesanti conseguenze sulla concentrazione di ozono stratosferico.

Tali sostanze (stabili nella troposfera, ma estremamente reattive in stratosfera) sono

- Perossido di azoto (N₂O);
- Clorofluorocarburi (CFC).

che interferiscono con l'equilibrio dinamico responsabile della formazione dell'ozono stratosferico.



In certa misura ossidi di azoto e cloro reagiscono a formare nitrato di cloro.



La diminuzione della concentrazione di ozono indotta da fattori di origine antropica è un fenomeno mediamente contenuto, ma è stata osservata una diminuzione locale non trascurabile dello strato di ozono stratosferico (buco dell'ozono). Le cause della formazione di tale anomalia sono attive durante l'inverno australe durante il quale

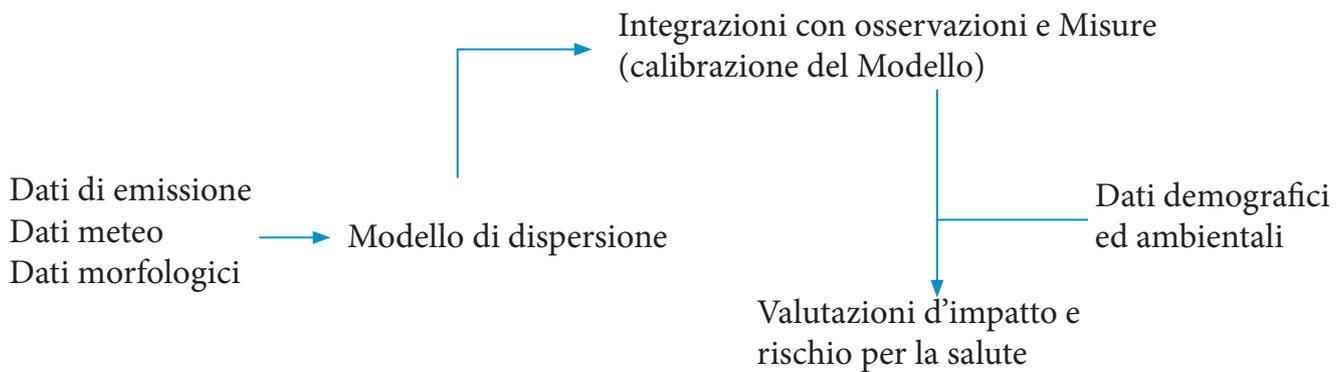
- si forma un vortice sopra il continente antartico che lo isola dal resto dell'emisfero;
- a causa di temperature estremamente basse (-85°C intorno ai 16 km dal suolo) formazione di nubi stratosferiche sulle quali si condensano (concentrandosi) azoto e cloro sotto forma di acido nitrico, acido cloridrico e perossido di cloro;

Al termine dell'inverno australe le prime radiazioni solari sono in grado di liberare unicamente il cloro che in assenza di azoto è maggiormente attivo nell'interferire nella formazione dell'ozono.

Modelli di diffusione

Il modello è uno strumento matematico che consente di stimare le concentrazioni in aria ed eventualmente le deposizioni al suolo di inquinanti in una certa zona e dopo un certo tempo.

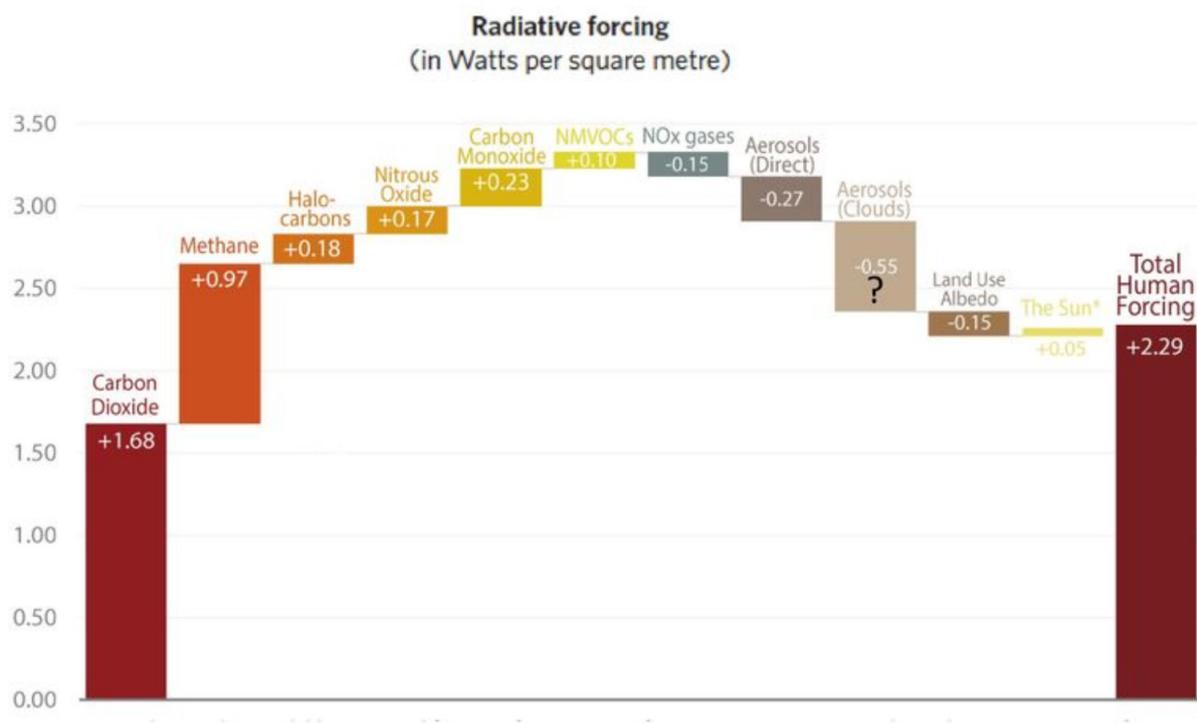
- Modelli gaussiani stazionari;
- Modelli ibridi stazionari;
- Modelli a puff;
- Modelli lagrangiani a particelle



L'effetto serra



Forzante radiativo

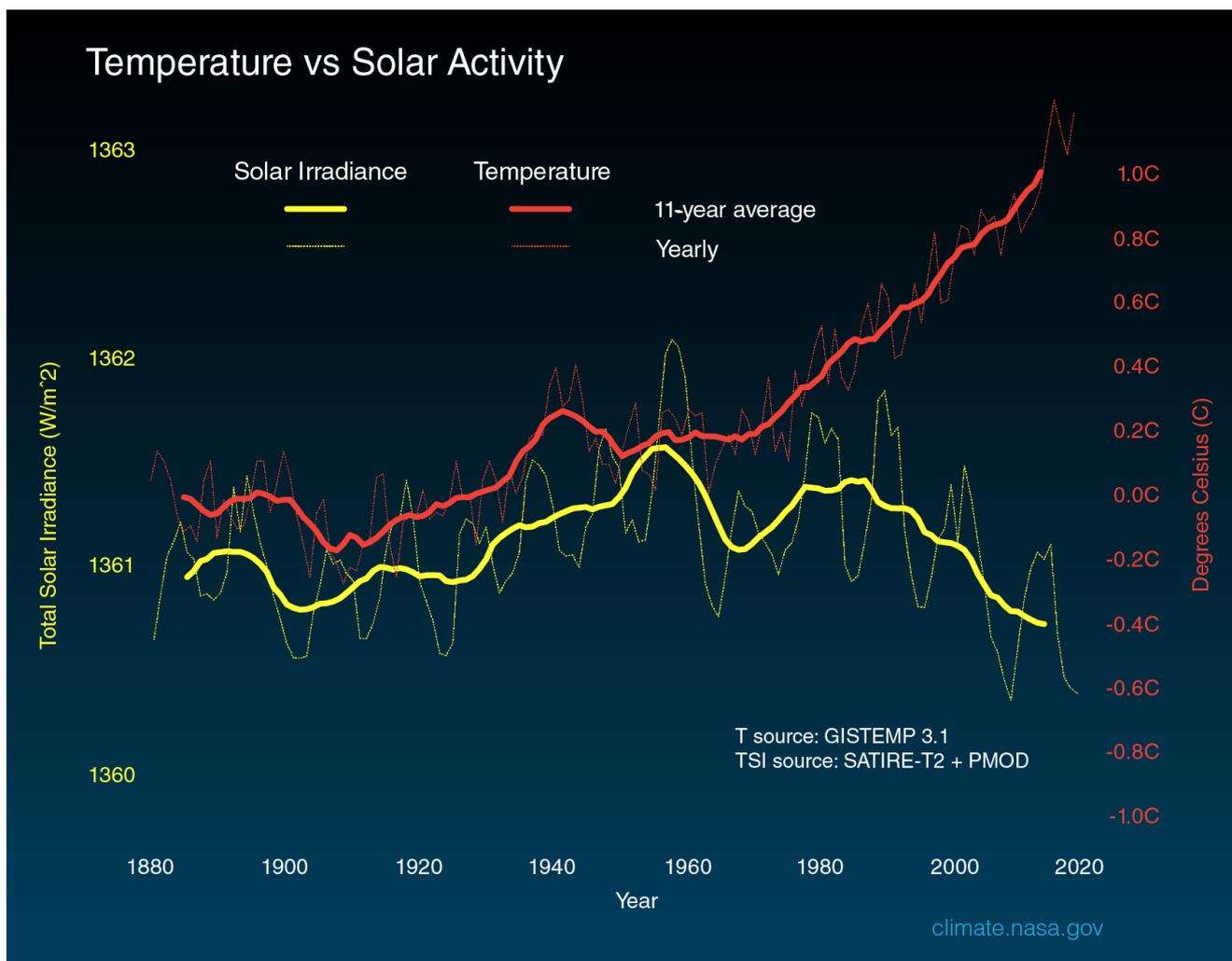


Qualunque cambiamento in uno o più fattori che regolano il bilancio energetico della Terra viene chiamato «forzante radiativo» perchè spinge in una direzione o in un'altra il bilancio.

Come si può vedere ci sono cambiamenti sia positivi che negativi.

Il biossido di carbonio è il principale contributore al forzante radiativo positivo che si è affermato durante l'era industriale

E il sole?



Spesso si sente dire che la causa principale del riscaldamento globale sia la variazione della radiazione solare.

Il grafico a fianco mostra come non ci sia una correlazione tra questi due fenomeni.

Al contrario la radiazione solare in diminuzione ha contribuito a limitare l'aumento di temperature negli ultimi decenni.

Fonti e stoccaggi di carbonio

Carbon emissions and sinks since 1750



Where our carbon emissions have come from: carbon emission sources 1750-2012 (Gt CO₂)



Where our carbon emissions have gone: carbon emission sinks 1750-2012 (Gt CO₂)

Notes: Both emissions and sinks sum to 1,997 Gt CO₂. Land, ocean and atmospheric sinks represent the increased carbon dioxide absorption due to human emissions between 1750 and 2012. *Coal emissions are mostly coal but also include significant biomass emissions. Gas emissions include a small volume of flaring emissions. Land use change emissions are the net change in carbon stocks resulting from human-induced land use, land use change and forestry activities.

Sources: IPCC (2007) WG1, Global Carbon Project, CDIAC, NOAA.

Further information: shrinkthatfootprint.com/carbon-emissions-and-sinks

shrinkthatfootprint.com

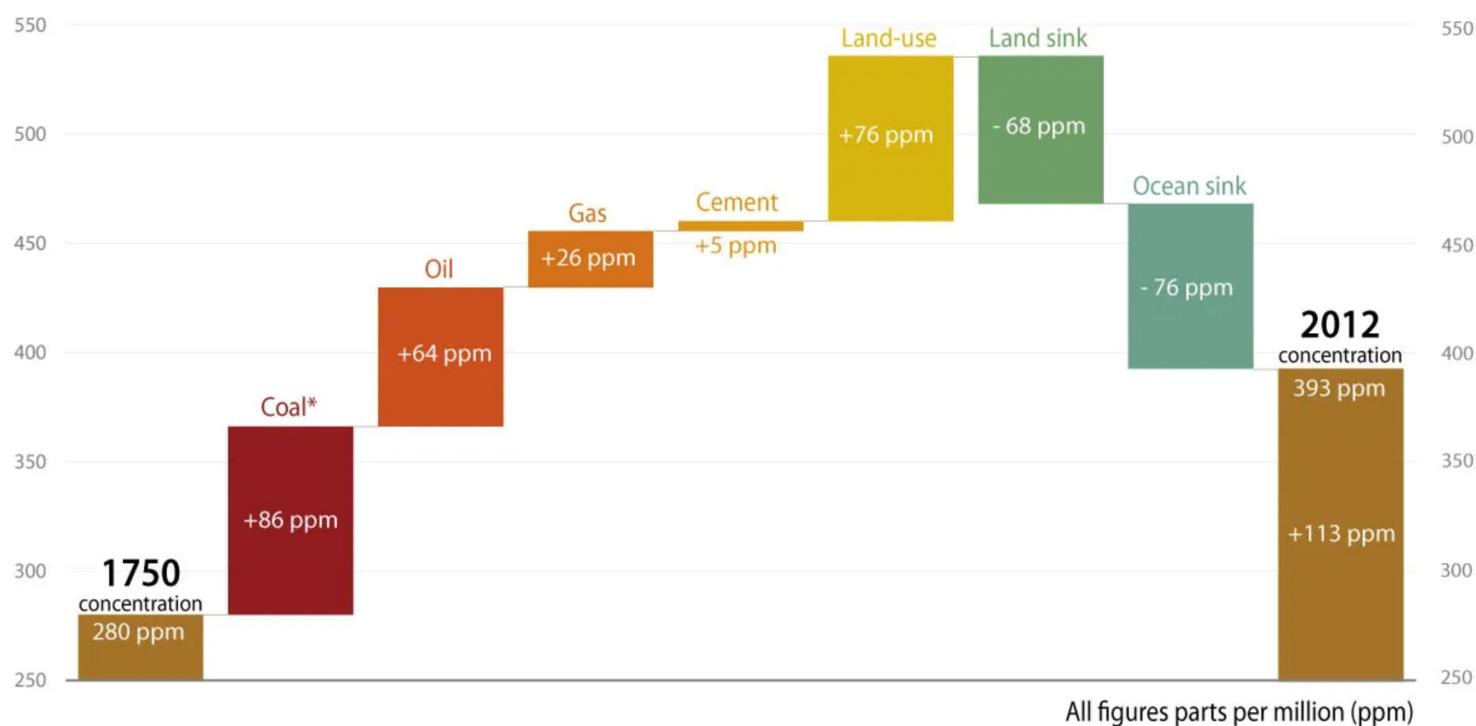
La combustione di idrocarburi ha prodotto la maggior parte del carbonio. I cambiamenti di uso del suolo legati alla trasformazione di habitat naturali per l'agricoltura e gli insediamenti è stat la seconda fonte.

La gran parte del carbonio si è accumulato nell'atmosfera.

Fonti e stoccaggi di carbonio

The importance of carbon sinks

Increased absorption by land and ocean sinks since 1750 has ensured atmospheric carbon dioxide concentrations have not risen more



Notes: Carbon emissions and sinks are figures for 1750-2012. The 2012 concentration of 393 ppm reflects the global mean concentration which differs slightly from the more widely reported Mauna Loa figure. *Coal emissions include significant biomass emissions. Land-use emissions are the change in carbon stocks resulting from human-induced land use, land-use change and forestry activities, with deforestation the major driver.

Sources: IPCC (2007) WG1, Global Carbon Project, CDIAC, NOAA.

Further information: shrinkthatfootprint.com/carbon-emissions-and-sinks

shrinkthatfootprint.com

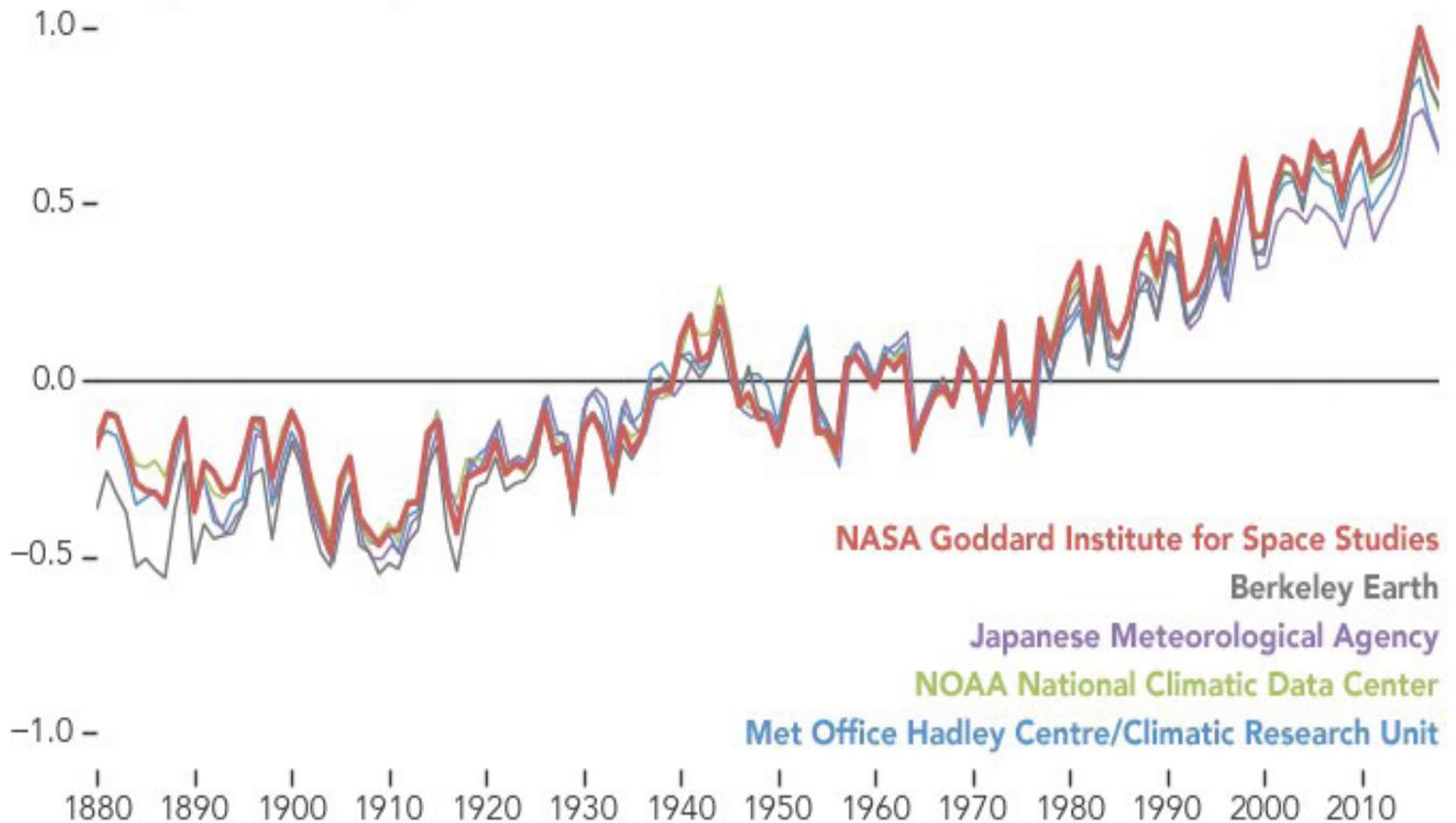
L'assorbimento di carbonio da parte degli ambienti terrestri e da parte degli oceani ha contribuito a limitare la sua concentrazione in atmosfera.

Le conseguenze sono state un «rinverdimento» di alcuni ecosistemi dovuto alla fertilizzazione da parte della CO₂ ed una acidificazione degli oceani dovuta alla formazione di acido carbonico.

Andamento globale delle temperature

A World of Agreement: Temperatures are Rising

Global Temperature Anomaly (°C)



La relazione tra forzante radiativo
e aumento della temperatura:

$$\Delta T = \lambda RF$$

λ = sensibilità climatica (°C/Wm²)

RF = Forzante Radiativo (Wm²)

Punti di non ritorno

TIPPING POINTS IN THE EARTH SYSTEM



Una serie di geo-ecosistemi sulla Terra possono andare incontro a trasformazioni molto rapide quando si raggiungono determinati punti di non ritorno. Questo è dovuto a fenomeni di retroazione positiva. Cambiamenti rapidi di forzanti radiativi possono portare a una crescita non lineare della temperatura.

<https://globalchallenges.org/our-work/annual-report/climate-tipping-points>

Alcuni concetti utilizzati

- Bilancio energetico
- Prima legge termodinamica
- Radiazione elettromagnetica
- Interazioni radiazione - molecole
- Bilancio del carbonio
- Circolazione dell'atmosfera
- Respirazione – fotosintesi
- Cicli orbita terrestre
- Paleontologia – microfossili
- Deriva dei continenti
- Cicli petrogenetici
- Processi non lineari
- Retroazione positiva

Sitografia

<https://www.explainingclimatechange.ca/index.html>

<https://climate.nasa.gov/resources/education/>

<https://cleanet.org/clean/literacy/index.html>

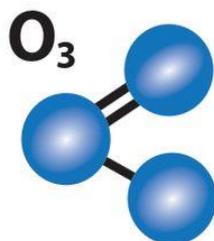
<https://www.climate.gov/>

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle/page1.php>

<https://skepticalscience.com/>

<https://www.climateemergencyinstitute.com/index.html>

L'ozono è buono o cattivo?



Leggete le affermazioni nella tabella sottostante.

Spuntate una sola casella per ogni affermazione.

Affermazione		Sono sicuro che sia giusta	Penso che sia giusta	Penso che sia sbagliata	Sono sicuro che sia sbagliata
1	L'ozono è un gas irritante.				
2	La presenza di ozono è collegata all'azoto				
3	L'ozono protegge dai raggi ultravioletti				
4	L'ozono si forma solo nelle città				
5	L'ozono danneggia le foglie				
6	L'ozono si forma solo d'estate				

Quali sono le cause del riscaldamento globale?



Leggete le affermazioni nella tabella sottostante.

Spuntate una sola casella per ogni affermazione.

Affermazione		Sono sicuro che sia giusta	Penso che sia giusta	Penso che sia sbagliata	Sono sicuro che sia sbagliata
1	Il sole si sta scaldando				
2	L'orbita terrestre ci avvicina al sole				
3	Le foreste si stanno riducendo				
4	La composizione dell'atmosfera sta cambiando				
5	I ghiacciai si stanno sciogliendo				
6	Lo strato di ozono si assottiglia				

info@torinorespira.it

Perchè Torino è una delle città più inquinate d'Italia?



Leggete le affermazioni nella tabella sottostante.

Spuntate una sola casella per ogni affermazione.

Affermazione		Sono sicuro che sia giusta	Penso che sia giusta	Penso che sia sbagliata	Sono sicuro che sia sbagliata
1	Ci sono troppe macchine				
2	Ci sono troppe stufe a legna				
3	Ci sono troppe fabbriche				
4	Torino è in una posizione geografica sfavorevole				
5	Il teleriscaldamento è troppo esteso				
6	E' colpa delle emissioni del termovalorizzatore				

info@torinorespira.it

Quali sono i fattori che contribuiscono a peggiorare l'inquinamento in città?



Leggete le affermazioni nella taella sottostante.

Spuntate una sola casella per ogni affermazione.

Affermazione		Sono sicuro che sia giusta	Penso che sia giusta	Penso che sia sbagliata	Sono sicuro che sia sbagliata
1	I limiti di velocità sono troppo bassi				
2	Piove poco e non si lavano le strade				
3	Ci sono pochi alberi				
4	I palazzi sono troppo alti				
5	Ci sono troppi autobus				
6	L'efficienza energetica degli edifici è bassa				

info@torinorespira.it