

Effetti dell'aria sulla salute



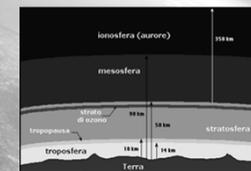
La composizione dell'aria normale
 (alla temp di 0 C, e di pressione di 760 mmHg)

- Azoto 78,09 %
- Ossigeno 20,95 %
(stabile)
- Argo 0,93%
- Anidrite carbonica 0,03% (in aumento, con conseguente effetto serra)
- Trace di neon, elio, xenon



Aria

- ✓ L'Atmosfera è composta dalla **troposfera** (circa 10 km), che sostiene la vita;
- ✓ la **stratosfera** (incompatibile con la vita, temp: -57°C).
- ✓ Dal 30-50 Km della stratosfera, l'**ozonosfera** con alta concentrazione di ozono.
- ✓ Oltre la stratosfera, la **ionosfera**



Un individuo adulto respira:



In condizioni di riposo :
 dai 6 ai 9 litri di aria al minuto
 (circa 9-13 metri cubi di aria al giorno)



Durante una attività fisica moderata:
 60 litri al minuto

Durante una attività fisica intensa:
 130 litri al minuto



Inquinamento atmosferico

Inquinamento atmosferico: qualsiasi alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche dell'aria, determinata sia da variazioni di concentrazione dei suoi normali costituenti sia dalla presenza di sostanze estranee alla sua composizione normale, in grado di determinare effetti di danno all'uomo.

Inquinamento atmosferico

- Definizione secondo la legislazione italiana: DPCM n. 145 del 28/5/1983):

“Ogni modificazione della composizione o stato fisico dell'aria atmosferica dovuta alla presenza di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria, da costituire pericolo, ovvero pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell'uomo, da compromettere le attività ricreative e gli altri usi legittimi dell'ambiente, da alterare le risorse biologiche e gli ecosistemi ed i beni materiali pubblici e privati”.

Sorgenti di inquinamento

■ Naturali

- Eruzioni vulcaniche
- Movimentazione di sabbia e sostanze erose dal vento
- Trasporto di sali marini dalle superfici acquatiche
- Pollini
- Detriti vegetali
- Sostanze derivate da processi di combustione delle foreste

■ Artificiali

- Impianti termici per uso domestico e pubblico
- Impianti termo-elettrici
- Impianti di produzione industriale
- Traffico autoveicolare
- Impianti di smaltimento dei rifiuti
- Altre lavorazioni: agricole, pavimentazioni stradali ecc.

Classificazione delle sostanze inquinanti

In funzione di due proprietà:

- Natura chimica
- Stato fisico



Natura chimica delle sostanze inquinanti

- **Sostanze inorganiche:**
 - Sali metallici (Pb, Zn, Cd, Mg, Al, Fe)
 - Composti a base di S, N, Cl
 - Sostanze inerti (a base di silicati, fibre di amianto)
- **Sostanze organiche:**
 - Composti alifatici saturi e insaturi
 - Composti aromatici mononucleari
 - Aldeidi
 - Chetoni
 - Composti alogenati, solforati ed azotati alifatici
 - Composti aromatici polinucleari:
 - PCDD (policloro dibenzodiossine),
 - PCDF (policlorodibenzofurani)

Stato fisico delle sostanze inquinanti

- Aerosol
- Gas
- Vapori



Stato fisico delle sostanze inquinanti

Aerosol: dispersioni di sostanze liquide o solide in forma finemente suddivisa.

In funzione del diametro delle sostanze che li costituiscono e del loro stato di aggregazione, possono suddividersi in:

- Fumi
- Polveri
- Nebbie
- Smog

Aerosol

Fumi: prodotti derivanti da processi di combustione incompleta, contenenti una fase liquida ed una solida.

- Il loro diametro varia da 0,01 a 50 μ .



Polveri: prodotti di origine sia naturale che artificiale derivanti da processi di frantumazione.

- Le particelle hanno un diametro variabile da 0,01 μ a 400 μ .



Aerosol

Nebbie: sospensioni in aria di particelle, di solito costituite da idrocarburi, solventi, pesticidi ecc.

- Il loro diametro varia da 0,1 μ a 50 μ .

Smog: potenziale stato fisico costituito dall'associazione fra polveri sospese e nebbia.



Gas e vapori

- **Gas:** sostanze naturalmente allo stato gassoso.

- **Vapori:** stato temporaneamente gassoso di sostanze che normalmente si trovano allo stato liquido.



Comportamento delle sostanze inquinanti

Emissione: ingresso nell'atmosfera delle sostanze inquinanti prodotte dalle diverse sorgenti, che possono:

- ✓ mantenere immutata la loro composizione originaria (**inquinanti primari**)
 - ✓ interagire con altre sostanze presenti nell'aria, con formazione finale di prodotti diversi da quelli originari (**inquinanti secondari**).
- [Esempio: ossidanti fotochimici generati per reazione fra gli ossidi di azoto e gli idrocarburi].

Comportamento delle sostanze inquinanti

Immissione: ricaduta degli inquinanti al suolo, dopo l'esaurimento della loro capacità di diffusione.

- La quantità di sostanze inquinanti in immissione si determina in campioni d'aria prelevati ad un'altezza del suolo simile a quella del corpo umano (1,50 metri circa);
- Lo scopo è quello di valutare con la maggiore esattezza possibile il grado di esposizione del nostro organismo alle sostanze introdotte per inalazione.

Meccanismi che regolano la diffusione degli inquinanti emessi in atmosfera

- Pressoché la totalità dei fenomeni di inquinamento atmosferico avviene nella porzione più bassa dell'atmosfera chiamata "Planetary Boundary Layer" (Strato Limite Planetario), o PBL.
- Il PBL comprende la parte di troposfera nella quale la struttura del campo anemologico risente dell'influenza della superficie terrestre e si estende fino a oltre 1 km di altezza.



Meccanismi che regolano la diffusione degli inquinanti emessi in atmosfera

- Caratteristiche delle sostanze emesse
- Caratteristiche delle sorgenti di emissione
- Condizioni meteo-climatiche presenti nella zona

Meccanismi che regolano la diffusione degli inquinanti emessi in atmosfera

Caratteristiche delle sostanze emesse:

- **Stato fisico** (aerosoli o gas e vapori)
- **Granulometria**
- **Proprietà fisico-chimiche:**
 - igroscopicità,
 - condensabilità,
 - adsorbimento)

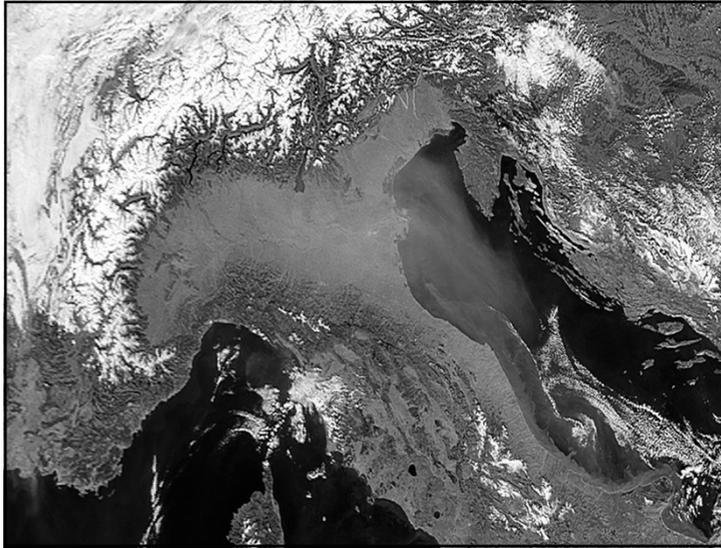
Meccanismi che regolano la diffusione degli inquinanti emessi in atmosfera

Caratteristiche delle sorgenti di emissione:

- ✓ **Altezza**
- ✓ **Velocità di efflusso dell'aria**
- ✓ **Temperatura dei fumi**

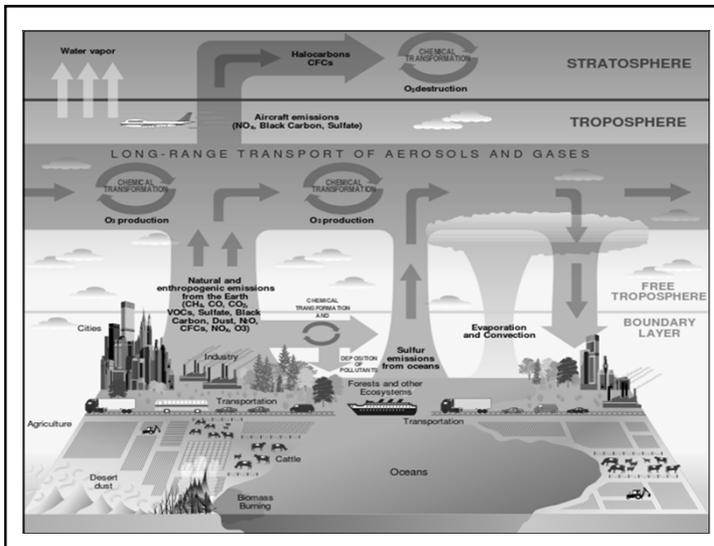
Condizioni meteo-climatiche presenti nella zona:

- ✓ **Movimenti dell'aria (venti)**
- ✓ **Temperatura**



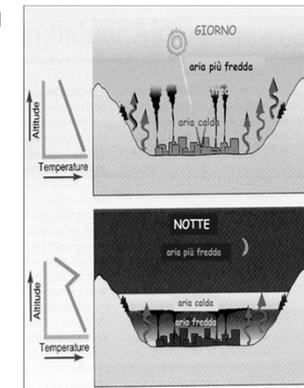
Meccanismi che regolano la diffusione degli inquinanti emessi in atmosfera

- ✓ **Conversione termica:** gradiente termico regolare (la temperatura decresce progressivamente con l'altezza, favorendo i movimenti ascensionali dell'aria).
- ✓ **Neutralità termica:** la temperatura fra i diversi strati dell'aria varia in modo irregolare e non consente un rimescolamento regolare e costante.
- ✓ **Inversione termica:** temperatura più bassa a livello del suolo che non permette i movimenti ascensionali dell'aria.



Inversione termica

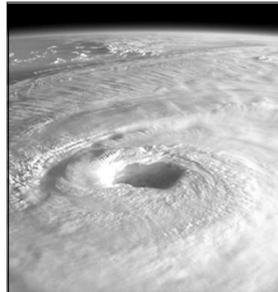
- ✓ La temperatura dell'aria decresce (di circa 1°C , ogni 100m) allontanandosi dal suolo.
- ✓ Questo comporta lo spostamento verso l'alto degli inquinanti prodotti dalle attività umane.
- ✓ In condizioni particolari, gli strati superiori possono avere una temperatura più elevata, impedendo la fuga degli inquinanti verso l'alto.
- ✓ L'aria vicino al suolo può essere raffreddata per cause climatiche (gelo) (**inversione da radiazione**) oppure per cause di venti marini (caldi) che sovrastano l'aria inquinata più fredda della città (**inversione da stasi**).



Il problema del riscaldamento globale

Il contributo maggiore dovuto a:

- ✓ Biossido di carbonio: 61%
- ✓ Metano: 15%
- ✓ NOx: 10 %
- ✓ CFC: 6 %
- ✓ Altri: 5%



Emissioni pro capite:	1990	1998
✓ Paesi industriali:	17	15
✓ Paesi EU	12	11
✓ Italia	8	9

Inquinanti prevalenti

Sostanze presenti nell'aria allo stato gassoso:

- Ossidi di zolfo (SOx)
- Ossidi di Azoto (Nox)
- Ossido di Carbonio (CO)



Ossidi di zolfo

- Anidride solforosa (SO₂)
- Anidride solforica (SO₃)

- Sono inquinanti molto diffusi derivanti da combustione di prodotti contenenti zolfo.
- Hanno effetti di danno a carico dell'apparato respiratorio.

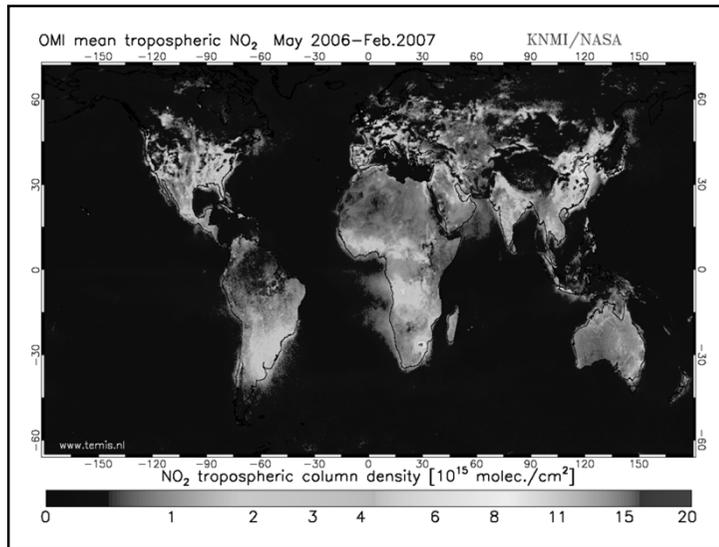


Ossidi Azoto

- ✓ Ossido di Azoto (NO)
- ✓ Biossido di Azoto (NO₂)

- Derivano dagli impianti di combustione e dal traffico autoveicolare.
- Hanno effetti gravi di danno sull'apparato respiratorio, soprattutto a carico dei suoi settori più distali (bronchioli e alveoli).





Ossido di Carbonio (CO)

- ✓ Gas inodore, incolore ed insapore, deriva da processi di combustione incompleta.
- ✓ La fonte principale è rappresentata dalle emissioni dei motori a scoppio.
- ✓ Effetti di danno riferibili alla sua capacità di interferire nel trasporto dell'ossigeno → grande affinità di combinazione con l'emoglobina e bassa capacità di dissociazione), con conseguenti fenomeni di ipossia a carico di diversi organi e tessuti.



Particolato atmosferico

- Complesso costituito da **polveri miscelate a liquidi**, in diverse proporzioni e di differente costituzione ed origine.
- La componente essenziale è rappresentata dalle **polveri**, le quali possono assorbire attraverso la loro superficie interna ed esterna diverse sostanze chimiche.
- Possono fungere da nuclei di condensazione del vapore acqueo con formazione di piccole goccioline, nelle quali possono disciogliersi numerose sostanze allo stato gassoso (SO₂, acidi ed alcuni metalli quali Cadmio, Nichel, Mercurio, Manganese ecc.).

Particolato atmosferico

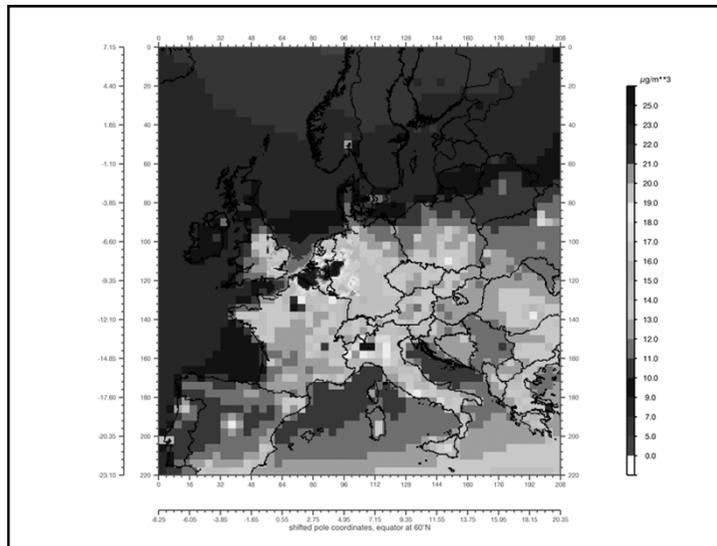
- La distribuzione dimensionale del **Particolato Totale Sospeso** (TSP) comprende la frazione più grossolana ("**coarse**"), le polveri sottili ("**fine**"), e la frazione delle polveri ultrasottili ("**ultrafine**").
- Le polveri più grandi (diametro aerodinamico > 2.5mm) sono spesso di origine naturale (suolo).
- Le **polveri fini** hanno origine dai processi di combustione (veicoli, industrie, produzione energia elettrica) e possono essere generate direttamente dalle emissioni primarie, oppure possono formarsi (solfati e nitrati) per trasformazione chimica dalle emissioni primarie di ossidi di zolfo e di azoto.
- Le **polveri ultrasottili** (diametro <0.1 mm) hanno un tempo di sospensione nell'atmosfera molto ridotto perché tendono ad aggregarsi o a coagulare a formare particelle di dimensioni più grandi.

Particolato atmosferico

- Le polveri aerodisperse originano in massima parte da processi di combustione di sostanze carboniose, dal traffico autoveicolare, da processi di produzione industriale (fonderie, cementifici ecc.).
- Le **polveri fini** vengono classificate secondo la loro dimensione, che può determinare un diverso livello di nocività. Infatti, più queste particelle sono piccole più hanno la capacità di penetrare nell'apparato respiratorio.

Polveri fini o sottili

- **PM10** (diametro inferiore a $10\ \mu\text{m}$): possono essere inalate e penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio, dal naso alla laringe.
- **PM2,5** (diametro inferiore a $2,5\ \mu\text{m}$): possono essere respirate e spingersi nella parte più profonda dell'apparato respiratorio, fino a raggiungere i bronchi.



Polveri ultrafini

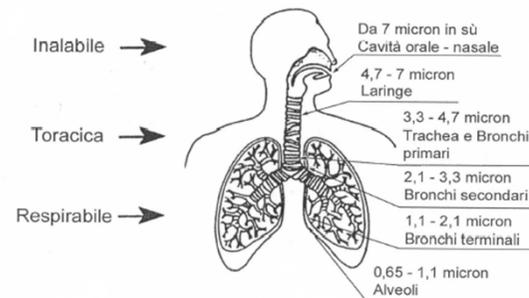
- **Polveri ultrafini** (UFP, diametro inferiore ad $0,1\ \mu\text{m}$) potrebbero essere addirittura in grado di filtrare fino agli alveoli e ancora più in profondità nell'organismo e, si sospetta, possano entrare nel circolo sanguigno e poi nelle cellule.

Valori dei livelli di attenzione e di allarme. (DM 15/4/94 e 25/11/94)

Inquinante (tempo di mediazione)	Livello di attenzione	Livello di allarme
▪ SO ₂ (media 24 ore)	125 µg/m ³	250 µg/m ³
▪ PTS (media 24 ore) (Polveri Totali Sospese)	150 µg/m ³	300 µg/m ³
▪ NO ₂ (media 1 ora)	200 µg/m ³	400 µg/m ³
▪ CO (media 1 ora)	15 mg/ m ³	30 mg/m ³
▪ O ₃ (media 1 ora)	180 µg/m ³	360 µg/m ³

PENETRAZIONE IN FUNZIONE DELLE DIMENSIONI PARTICELLARI

ESPOSIZIONE INALATORIA



Conseguenze sulla salute dell'inquinamento atmosferico

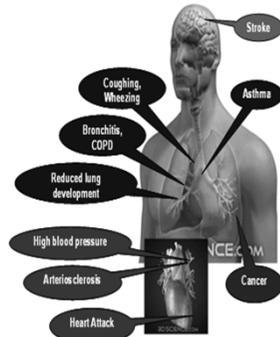


Impatto sulla salute

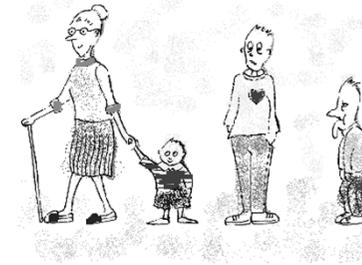
- Quanto più è alta la concentrazione di polveri fini nell'aria, tanto maggiore è l'effetto sulla salute della popolazione.
- Gli **effetti di tipo acuto**, sono legati ad una esposizione di breve durata (uno o due giorni) ad elevate concentrazioni di polveri contenenti metalli.
- Disagio per odori sgradevoli, effetti irritativi per occhi, mucosa delle vie respiratorie (naso e gola).
- Questa condizione può provocare infiammazione delle vie respiratorie, come crisi di asma, o influire negativamente sul funzionamento del sistema cardiocircolatorio.

Impatto sulla salute

- ✓ SO₂: irritante, odore pungente, acidificazione ambiente.
- ✓ NO₂: irritante, odore pungente, effetti sugli asmatici.
- ✓ O₃: irritante, riduzione funzione polmonare (tosse, dispnea, attacchi d'asma).
- ✓ Benzene: agente cancerogeno.
- ✓ Benzopirene: componente degli IPA, probabili cancerogeni.
- ✓ Piombo: effetti sul SNC (in particolare dei bambini), sulla funzionalità renale e sul sistema immunitario.



... Chi è a maggior rischio?...



Anziani, bambini, persone che soffrono di cuore e di disturbi respiratori, ma anche le persone che lavorano o fanno molta attività sportiva all'aperto.

Impatto sulla salute

- "MISA Metanalisi Italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico" (Biggeri et al, 2001).
- L'indagine è stata condotta sulla popolazione di otto grandi città italiane (con circa 7 milioni di abitanti) valutando la relazione tra livelli giornalieri degli inquinanti atmosferici (Polveri - PM10 -, biossido di azoto, anidride solforosa, ossido di carbonio, ozono) ed eventi sanitari rilevanti quali la mortalità (totale, cause cardiache, cause respiratorie) e i ricoveri ospedalieri (cause cardiache e respiratorie) nel periodo 1990-1999.
- Per ogni aumento di 10 mg/m³ di PM10, si è osservato nel giorno stesso o nel giorno successivo un incremento del 1.3% nella mortalità totale, 1.4% nella mortalità cardiovascolare, 2.1% nella mortalità respiratoria, 0.8% nei ricoveri per cause cardiovascolari, 1.4% nei ricoveri per cause respiratorie.
- L'effetto dell'inquinamento sulla salute è quindi anche precoce e si realizza nell'arco temporale di qualche giorno.

Impatto sulla salute

- Gli effetti di tipo cronico dipendono da una esposizione prolungata ad alte concentrazioni di polveri e possono determinare sintomi respiratori come tosse e catarro, diminuzione della capacità polmonare e bronchite cronica.
- Per soggetti già affetti da patologie polmonari e/o cardiache, può verificarsi un peggioramento delle loro malattie.
- Studi epidemiologici hanno anche registrato un aumento dei ricoveri ospedalieri e della mortalità per patologie respiratorie e cardiache direttamente riferibili all'inquinamento da polveri.
- Tali studi hanno messo in evidenza una associazione di natura causale ma nulla ci dicono su quanto l'esposizione cronica agli inquinanti possa ridurre la speranza di vita, ovvero comportare l'insorgenza di malattie croniche.

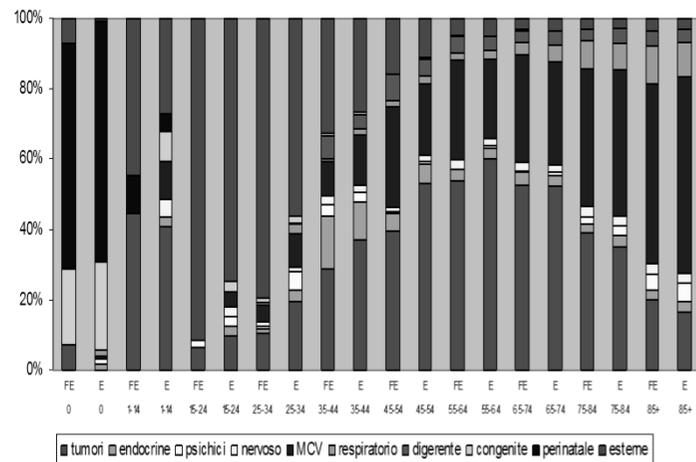
Impatto sulla salute

- **Asma**
- **Broncopatia cronica ostruttiva**
- **Malattie cardiovascolari**
- **Cancro al polmone**
 - 3 milioni di persone ogni anno muoiono per patologie correlate all'inquinamento atmosferico.
 - Il 30-40% dei casi di asma ed il 20-30% dei casi di patologie respiratorie sono causate direttamente dall'inquinamento.
 - Un aumento di 75 µg/m³ di NO₂ determina un incremento del 30% di morti per malattie respiratorie in bambini sotto i 5 anni.

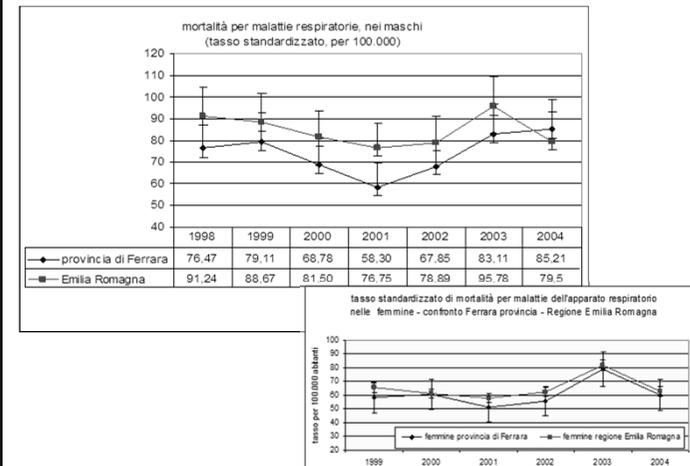
Impatto sulla salute

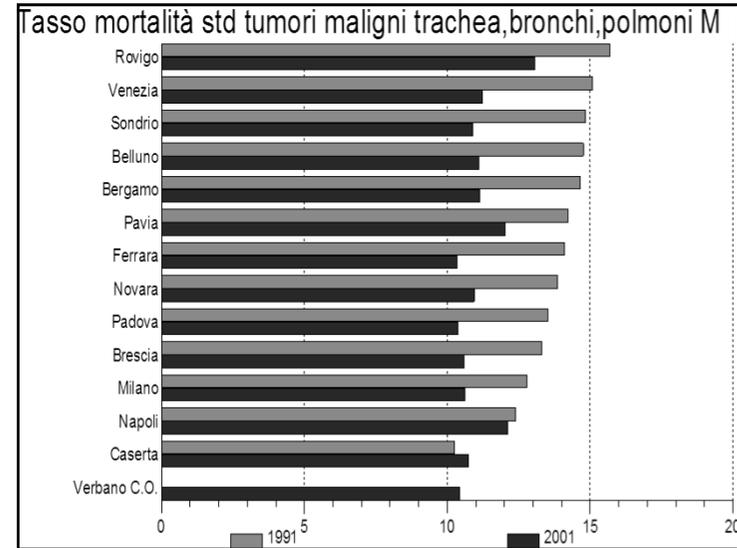
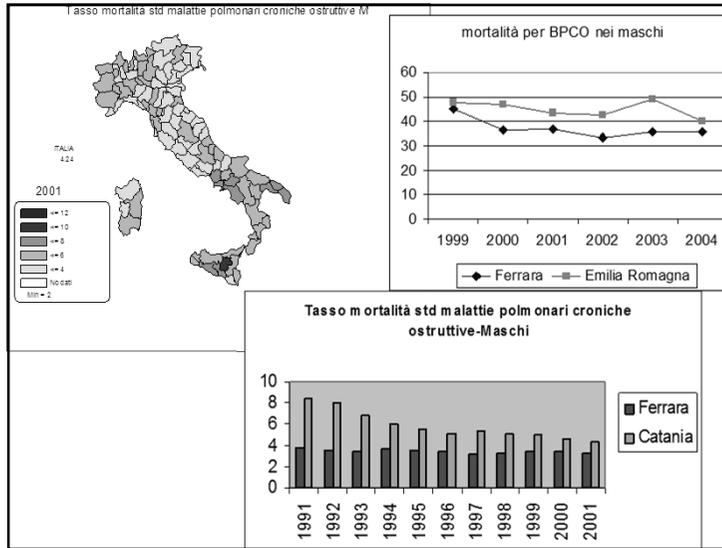
- Dockery et al. (1993) hanno studiato la mortalità di 8111 adulti residenti in sei città degli Stati Uniti durante il periodo 1974-91. Per ciascuna città erano disponibili dati di inquinamento atmosferico dal 1977 al 1988.
- A livello individuale, erano state raccolte informazioni su diversi potenziali confondenti (sesso, età, abitudine al fumo, livello di istruzione ed esposizione professionale a polveri, fumi o gas).
- I residenti nelle città con concentrazioni medie annuali più elevate di PM_{2.5} mostravano, rispetto ai residenti nelle città con livelli inferiori di inquinamento, eccessi di mortalità per tutte le cause, per malattie cardiorespiratorie e per tumore del polmone.
- I risultati di alcuni studi di coorte sui residenti nelle aree metropolitane degli Stati Uniti (Dockery et al., 1993; Pope et al., 1995; Abbey et al., 1999; Pope et al., 2002) hanno rafforzato l'ipotesi che l'inquinamento atmosferico abbia un ruolo nell'eziologia del tumore polmonare.

RPM per varie cause e per classi di età. Confronto provincia di Ferrara - regione Emilia Romagna



Tasso di mortalità per malattie respiratorie





I fattori che influiscono sul benessere ambientale sono:

- Microclima
- Rumore
- Illuminazione
- Qualità dell'aria

Ventilazione

Il benessere termoigrometrico

- Il benessere termoigrometrico è il bilancio tra il calore prodotto dal corpo e quello scambiato con l'ambiente.
- Secondo Fanger la sensazione termica è funzione della sollecitazione termica del corpo, definita come la differenza tra la produzione interna di energia termica, per una data attività, e la perdita di calore che l'individuo avrebbe se mantenesse la temperatura della pelle e la traspirazione ai valori corrispondenti alle condizioni di benessere per l'attività considerata.

Fattori che influenzano il benessere termoigrometrico:

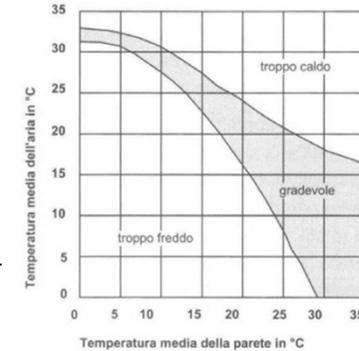
- Temperatura dell'aria
- Umidità dell'aria
- Velocità dell'aria
- Temperatura media radiante
- Vestiario
- Attività esercitata

Confort

- Tali fattori sono strettamente correlati tra di loro.
- Il benessere microclimatico dipende dalla combinazione fra essi.

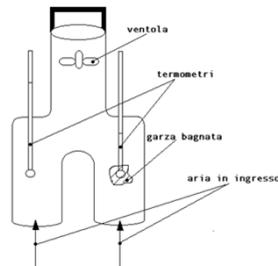
TEMPERATURA

- Non esiste un'unica condizione di confort, ma tali condizioni sono definite dalle infinite combinazioni delle sei variabili indipendenti che soddisfano il bilancio di energia del corpo umano.
- Un uomo adulto produce dunque, come metabolismo basale, una potenza di circa 70-80 W che è il minimo valore assunto dal termine M per un uomo adulto che dorme o che è comunque coricato a letto.



UMIDITA' DELL'ARIA

- L'umidità dell'aria è costituita dall'acqua che si trova nell'aria allo stato di vapore acqueo.
- Lo stato igrometrico dell'aria viene solitamente espresso in % come **umidità relativa** (U_a/U_m).
- Gli strumenti di misura sono: igrometro a capello; psicrometro.



UMIDITA' DELL'ARIA

- ✓ Il "punto di rugiada" è la temperatura alla quale il vapore d'acqua giunge alla saturazione (formazione di rugiada, brina, nubi, nebbia).
- ✓ Umidità massima: quantità massima di acqua che può essere contenuta in un metro cubo di aria ad una determinata temperatura.
- ✓ Umidità assoluta: quantità di acqua contenuta in un metro cubo di aria in un dato momento.
- ✓ Umidità relativa: U_a/U_m (%)
- ✓ Deficit di saturazione: $U_m - U_a$ (% o g)

L'INQUINAMENTO *INDOOR*

✓ Il problema dell'inquinamento prodotto dalle industrie nell'ambiente esterno è stato oggetto di studi e ricerche già dagli anni '50.

✓ I risultati hanno permesso di attivare interventi da parte dei vari Stati e di formulare leggi specifiche per proteggere la popolazione.

✓ La normativa riguardante la qualità dell'aria degli ambienti interni è invece più tardiva.

✓ I primi studi risalgono agli anni '70, quando vi furono alcuni casi di malattie polmonari, alcune letali, in edifici con impianti di condizionamento.

L'inquinamento *indoor*

✓ Nella nostra società si trascorre fino al 90% del proprio tempo in luoghi chiusi ed il 30-40% di questo si passa nei luoghi di lavoro.

✓ Esistono quindi fondati sospetti che siano maggiori i rischi sanitari associabili all'inquinamento interno, rispetto all'inquinamento esterno.

✓ Si pensa che il 40% delle assenze da lavoro per malattia sia dovuto a problemi di qualità dell'aria interna degli uffici.

Le fonti di inquinamento degli ambienti confinati

La qualità dell'aria negli ambienti interni dipende da molteplici fattori:

- Sorgenti inquinanti esterne provenienti da:
 - **atmosfera,**
 - **acque,**
 - **suolo.**
- Le attività umane generano inquinamento dovuto a:
 - **normali processi metabolici,**
 - **animali domestici,**
 - **fumo di tabacco,**
 - **cottura dei cibi,**
 - **uso di detersivi e detergenti vari.**

Le fonti di inquinamento degli ambienti confinati

La qualità dell'aria negli ambienti interni dipende da molteplici fattori:

- inquinamento prodotto dall'ambiente fisico interno: emissione da parte dei materiali da costruzione e degli arredi;
- inquinamento derivante da sistemi impiantistici di:
 - **condizionamento dell'aria,**
 - **combustione,**
 - **apparecchiature,** sia domestiche che per l'ufficio.

Inquinamento biologico degli ambienti confinati

- Nell'aria ambiente sono presenti diversi microrganismi aerodispersi, i quali vengono aerotrasportati e diffusi da polvere o particelle sospese nell'aria.
- I microrganismi immessi nell'aria provengono principalmente dall'uomo, soprattutto dal tratto respiratorio per effetto della tosse o/e dei starnuti.
- Essi vengono veicolati dall'aria trasportati su particelle di polvere, in goccioline che rimangono sospese per breve periodo oppure in nuclei di goccioline.

Inquinamento biologico degli ambienti confinati

- Le particelle veicolanti microrganismi presentano un diametro di circa 15 micron e possono essere costituite da scaglie epidermiche, frammenti di peli oppure microparticolato di vapore d'acqua definito come "goccioline di di Flugge".
- Il controllo microbiologico dell'aria consente di verificare il grado di contaminazione microbiologica di un ambiente confinato.

Inquinamento biologico

CLASSE IMA	INDICE IMA	IGIENE ARIA	GRUPPO A RISCHIO	ESEMPIO DI UTILIZZO
1	0 - 5	OTTIMA	MOLTO ALTO	-ULTRA CLEAN ROOM -IMPIANTI E TRAPIANTI
2	6 - 25	BUONA	ALTO	-OPERAZIONI ASETTICHE -REPARTO INTENSIVO -PICCOLA CHIRURGIA
3	26 - 50	MEDIOCRE	MEDIO	- AMBIENTI CON PARTICOLARE RILEVANZA D'IGIENE AMBIENTALE
4	51 - 75	CATTIVA	BASSO	- AMBIENTI SENZA PARTICOLARE RILEVANZA DI IGIENE AMBIENTALE
5	> 76	PESSIMA	NULLO	- ALTRI AMBIENTI