I principali inquinanti outdoor ed indoor

Trento,
XV Giornata Italiane Mediche dell'Ambiente (GIMA)
Aria, clima e salute : dalla evidenza scientifica
all'azione.
9.40-10.00 Claudio Della Volpe UniTn

Cosa è l’inquinamento atmosferico?

- **L’inquinamento atmosferico è un’alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche dell’aria, che è una miscela gassosa complessa e variabile ed è definito rispetto ad un’aria cosiddetta «pura»**

- Può riguardare l’aria esterna (outdoor) o ambienti confinati (indoor)

- Può essere dovuto
- - **alla alterazione delle proporzioni della miscela gassosa**
- - **all’aggiunta di sostanze estranee alla miscela o per reazioni**

Come si definisce l’inquinamento?

- Outdoor: È la presenza nell'aria aperta di sostanze **inquinanti** generate da sorgenti naturali (come eruzioni vulcaniche o incendi boschivi) e antropiche (come traffico veicolare, impianti industriali, riscaldamento domestico e agricoltura)

- Indoor: la presenza nell'aria di ambienti confinati (abitazioni, uffici, scuole, ospedali, mezzi di trasporto) di **inquinanti** chimici, fisici o biologici non presenti naturalmente o presenti a concentrazioni più elevate rispetto all'aria esterna es.: emissioni residue da manufatti, sostanze naturali che si accumulano

Gli inquinanti sono definiti solo dalle loro proprietà chimiche?

- NO → concentrazione; posizione o distretto corporeo o ambientale anche una sostanza «naturale» può essere tossica e diventare inquinante
- **Ossigeno è un diradicale e costituisce una sostanza vitale ma anche un potente veleno** è potenzialmente tossico per **tutti gli organismi viventi**, **batteri anaerobi obbligati**, ma anche per **organismi aerobi (compresi gli esseri umani e i mammiferi)** se inalato a concentrazioni troppo elevate o a pressioni parziali superiori a **1,3–1,4 atmosfere**
- **Diossido di carbonio, CO_2,** necessario alle piante per la fotosintesi, e implicato nei processi respiratori, ma **tossico per insetti ed animali oltre una soglia compresa fra 1000 e 2000 ppm** e costituisce anche un inquinante climatico (ossia altera il comportamento climatico dell'aria)
- **Ozono** è un componente fondamentale dell'atmosfera naturale **ma in stratosfera!**
- **In troposfera a 0.01 ppm è GIA' un inquinante**

Inquinante: dose, distretto.



Paracelso

Omnia venenum sunt: nec sine veneno quicquam existit. Dosis sola facit, ut venenum non fit.»
«Tutto è veleno: nulla esiste di non velenoso. Solo la dose fa in modo che il veleno non faccia effetto.»

A questo occorre aggiungere che certi veleni lo sono se distribuiti nel distretto corporeo opportuno

questo è vero anche per gli inquinanti a seconda del **distretto ambientale** opportuno

Es:Ozono in stratosfera, difende dagli UV

Ozono al suolo, tossico

Cosa definisce/regolamenta l’ inquinamento? Leggi, norme.

- Outdoor: In Europa **Direttive sulla qualità dell'aria** (Direttiva UE 2008/50/CE e i aggiornamenti del Green Deal europeo), fissano i valori limite e i target per i principali inquinanti (PM10, PM2.5, NO_2, SO_2, CO, benzene, ozono), recepite tramite decreti legislativi nazionali (es. D.Lgs. 155/2010) e controllate a livello locale dalle Agenzie Regionali o Provinciali per la Protezione dell'Ambiente (**ARPA o APPA**).
- Indoor: L'inquinamento indoor **non è disciplinato da un testo unico europeo o nazionale** organico e onnicomprensivo, ma da un insieme di norme tecniche e di sicurezza.

DPCM 26 luglio 2022 l’unica fonte legislativa attualmente (prima solo Accordi Stato Regioni 2001 e 2010).

Norma tecnica **UNI EN 16798-1**, la qualità dell'aria interna (IAQ - *Indoor Air Quality*) in 4 categorie e stabilisce i tassi minimi di ventilazione.

Per i luoghi di lavoro, **Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro** (D.Lgs. 81/2008) fissa limiti istantanei e di durata per molte sostanze anche di sintesi.

Componenti inquinamento outdoor/indoor

- In tutti i casi si fa riferimento alla composizione media dell’atmosfera secca o umida che subisce continue variazioni significative e misurabili che conosciamo dettagliatamente da solo 80 anni (dal 1956 primo anno geofisico internazionale).
- Composizione media aria: La composizione dell'aria è variabile a seconda della quota. Per una quota fissata, il **rapporto tra azoto e ossigeno** rimane pressoché costante grazie all'equilibrio associato al ciclo dell'ossigeno e al ciclo dell'azoto;
- **invece le concentrazioni di vapore acqueo e di anidride carbonica sono variabili.**
- Aria privata dal vapore acqueo, viene detta "aria secca", in caso contrario si parla di "aria umida".
- In aria si considera anche la presenza di particelle solide o liquide di dimensioni submillimetriche, **il particolato**

Come si leggono le misure

- Nella chimica dell'atmosfera, quando si usano i termini **ppm** e **ppb** per i gas, ci si riferisce quasi sempre a frazioni **in volume (ppm_v / ppb_v)** e non in massa. Questo accade perché, per la legge dei gas ideali, il volume occupato dipende dal numero di molecole e non dal loro peso.
- Per questo motivo, la conversione esatta tra mg/m³ e ppm non è sempre 1:1, ma varia in base al **peso molecolare del gas** specifico.
- Stesso discorso **per μg/m³** e **ppb**

$$\mathrm{mg/m^3} = \frac{\mathrm{ppm} \times \mathrm{PM}}{24,45}$$

$$\mathrm{ppm} = \frac{\mathrm{mg/m^3} \times 24,45}{\mathrm{PM}}$$

Composizione media aria «secca»

Alcune note specifiche su

Anidride carbonica (meglio **diossido di carbonio**)

Radon

Nell’aria umida il vapor d’acqua diventa il terzo componente dell’aria per abbondanza

Composizione dell'aria secca			
Nome	**Formula**	**Proporzione o frazione molare**[ppm 1]	**% (m/m)**
Azoto	N_2	78,084%	75,37%
Ossigeno	O_2	20,9476%	23,1%
Argon	Ar	0,934%	1,41%
Anidride carbonica	CO_2	413.93 ppm (Ottobre 2021)[8]	
Neon	Ne	18,18 ppm	
Elio	He	5,24 ppm	
Monossido di azoto	NO	5 ppm	
Kripton	Kr	1,14 ppm	
Metano	CH_4	1 - 2 ppm	
Idrogeno	H_2	0,5 ppm	
Ossido di diazoto	N_2O	0,5 ppm	
Xeno	Xe	0,087 ppm	
Diossido di azoto	NO_2	0,02 ppm	
Ozono	O_3	da 0 a 0,01 ppm	
Radon	Rn	6×10^{-14}ppm	

Particolato atmosferico naturale.

- Esiste anche nell'aria «pulita»:
  Spray marino: minuscole gocce di acqua salata evaporate lasciate in sospensione.
- **Suolo e polveri minerali:** polveri sollevate dal vento, tempeste di sabbia o erosione delle rocce (come le polveri desertiche).
- **Incendi boschivi:** fumi e ceneri generati da roghi naturali.
- **Eruzioni vulcaniche:** ceneri e gas emessi dai vulcani.
- **Origine biologica:** pollini, spore fungine e frammenti di detriti vegetali o animali.



tempesta di sabbia
dal Sahara del 17 luglio 2003
che ha colpito il bacino centro-occidentale

Valori limite inquinanti outdoor

- fissati dalla normativa vigente (D.Lgs. 155/2010 e direttive europee) sono i seguenti:
- **Biossido di azoto (NO_2)**:
  - Media oraria: **200 µg/m³** (da non superare più di 18 volte all'anno).
  - Media annuale: **40 µg/m³**.

  Cosa sono gli NOx: Rappresentano la somma totale di monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO_2) prodotti dai processi di combustione (motori d'auto, caldaie, impianti industriali).

  Limite NOx (30 µg/m³): PERCHE'? Protezione vegetazione in aree rurali!!!
- **PM10 (Polveri sottili)**:Media giornaliera: **50 µg/m³** (da non superare più di 35 volte all'anno).
- Media annuale: **40 µg/m³** (con nuove direttive europee in transizione verso limiti più severi a partire dal 2030).
- **PM2.5 (Particolato fine)**:Media annuale: **25 µg/m³** (limite attuale di legge, in via di ulteriore riduzione secondo i nuovi standard UE).
- **Anidride solforosa (SO_2)**:Media oraria: **350 µg/m³** (da non superare più di 24 volte all'anno).
- Media giornaliera: **125 µg/m³** (da non superare più di 3 volte all'anno).

Per confronto

- **Nuovi limiti europei (in arrivo dal 1° gennaio 2030)**
- In seguito alla Direttiva (UE) 2024/2881, recepita o in fase di recepimento in Italia, i parametri saranno progressivamente irrigiditi:
- **$PM_{2,5}$:** il limite annuale scenderà a **10 µg/m³** e verrà introdotto un limite giornaliero di 25 µg/m³ (da non superare più di 18 volte l'anno).
- **PM_{10}:** il limite annuale scenderà a **20 µg/m³** e quello giornaliero a 45 µg/m³ (da non superare più di 18 volte l'anno).
- *(Per confronto, le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità - OMS raccomandano soglie ancora più stringenti, pari a una media annua di 5 µg/m³ per il PM2,5 e di 15 µg/m³ per il PM10).*

- *Logica degli sforamenti annuali: perché ci sono? Motivi meteorologici*

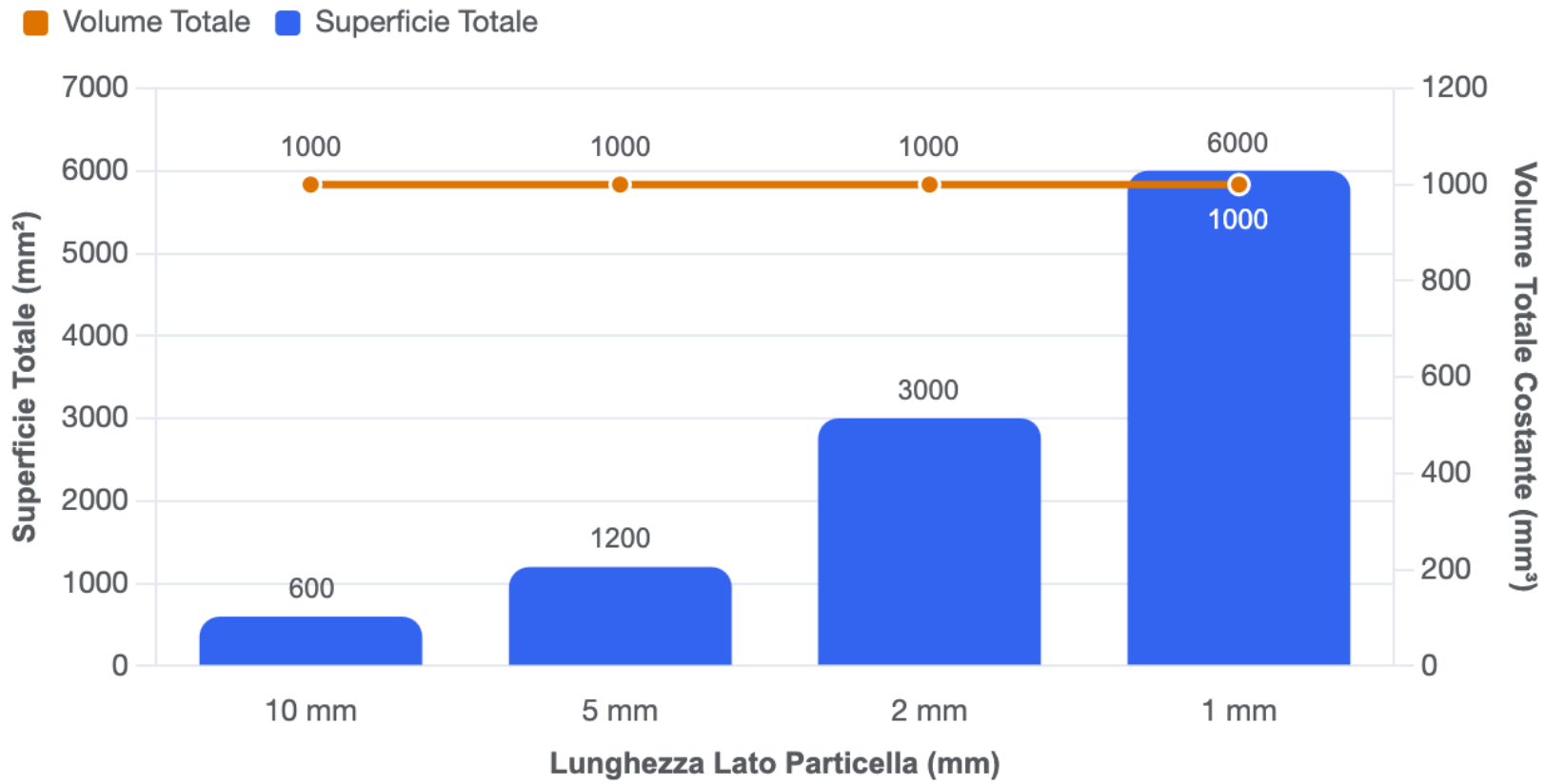
Valori limite inquinanti indoor

- **Anidride carbonica (CO_2):**Soglia di gestione consigliata: **1.000 ppm** (parti per milione).
- Valore massimo tollerato in uffici o scuole: **1.500 ppm** (oltre indica scarso ricambio d'aria).
- **Composti Organici Volatili Totali (TVOC / COV):**Soglia di sicurezza consigliata: **500 µg/m³**, mentre livelli superiori a 1–3 mg/m³ indicano la presenza di emissioni anomale (vernici, solventi, arredi).
- **Formaldeide:**Valore guida OMS: **0,1 mg/m³** (100 µg/m³) a lungo termine.
- **Monossido di carbonio (CO):**Limite guida (media su 8 ore): **9 ppm** (circa 10 mg/m³).
- **Particolato (PM_{10} e $PM_{2.5}$):**Parametri di riferimento interni: max **50 µg/m³** per il PM_{10} e **25 µg/m³** per il **e $PM_{2.5}$** (anche se l'OMS raccomanda valori molto più bassi, pari a **5 µg/m³** annui per il **e $PM_{2.5}$**
- **Tasso di ventilazione minimo:** Deve essere superiore a **4 l/s per persona** per garantire la diluizione degli inquinanti.

Il particolato

- **1. Particolato Naturale (~94% del totale globale)**
- **Origine:** Polveri desertiche (tempeste di sabbia), spray marino (sale), incendi boschivi naturali ed emissioni biologiche (pollini, spore e composti organici volatili delle foreste).
- **Impatto:** Rappresenta la stragrande maggioranza della massa complessiva di particelle sospese nell'atmosfera su scala planetaria.
- **2. Particolato Antropico (Attività Umane)**
- **Origine:** Combustioni di combustibili fossili, traffico veicolare, riscaldamento domestico (biomasse e pellet), processi industriali e allevamenti intensivi (tramite precursori gassosi come l'ammoniaca).
- **Impatto:** Sebbene costituisca una percentuale minore sul totale globale rispetto alle fonti naturali, è **altamente concentrato nelle aree urbane ed industriali** ed è particolarmente tossico per la salute umana (classificato come cancerogeno dallo IARC/OMS)

Particolato e dimensioni: massa e superficie



Particolato e dimensioni: massa e superficie

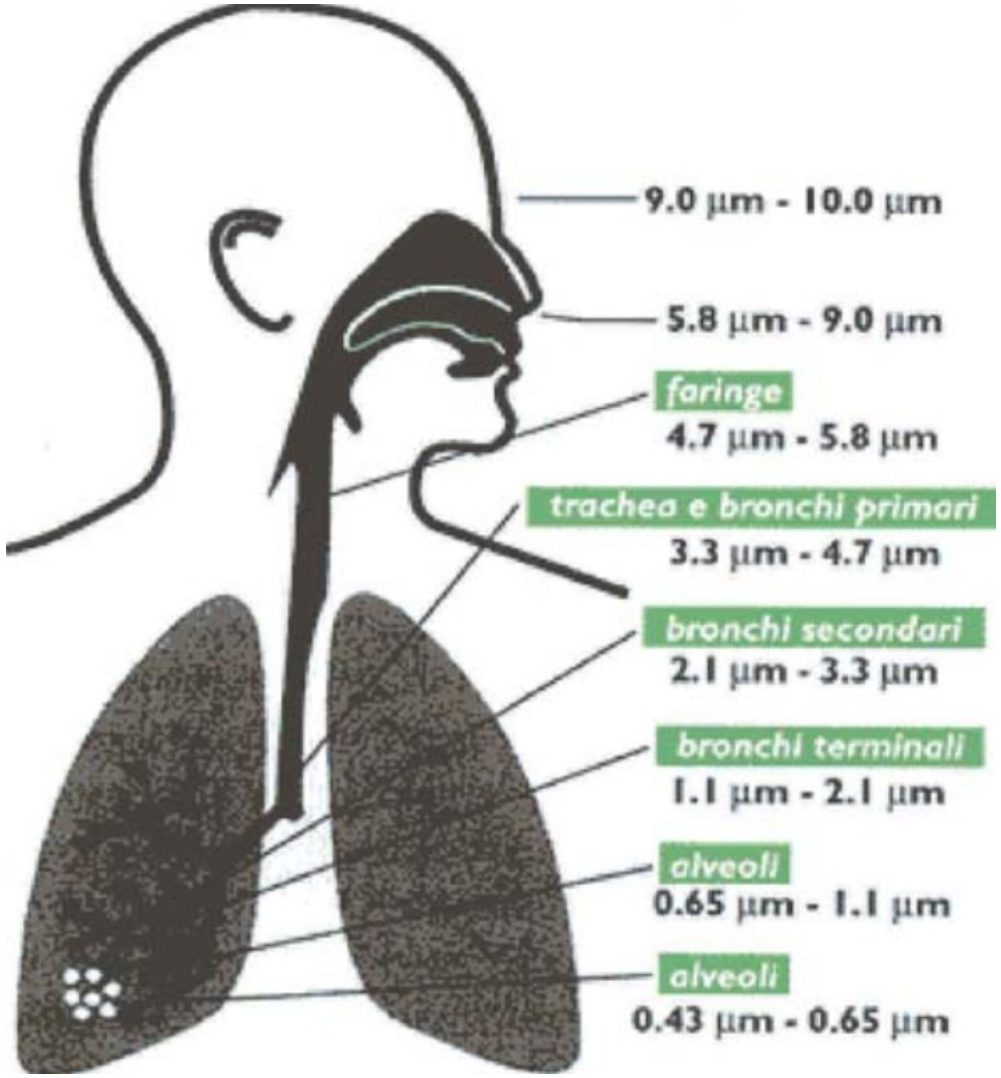
Scala e Lunghezza Lato	Numero di Cubetti	Superficie Totale Esposta	Equivalenza Visiva dell'Area
10 mm (Maccro)	1	**600 mm^2**	Una scatolina di fiammiferi
5 mm	8	**1.200 mm^2**	Una cartolina
1 mm	1.000	**6.000 mm^2**	Un foglio di carta piccolo
0,1 mm (Spessore capello)	1 Milione	**60.000 mm^2**	Un intero schermo di un laptop
1 μm ($0,001$ mm - Microparticelle/Batteri)	1 Miliardo	**6.000.000 mm^2** ($6\ m^2$)	Una grande **porta di casa**
10 nm ($0,00001$ mm - Nanoparticelle/Virus)	100 Milioni di Miliardi	**600.000.000 mm^2** ($600\ m^2$)	Tre interi **campi da tennis**
1 nm ($0,000001$ mm - Scala Atomica)	1 Milione di Miliardi di Miliardi	**6.000.000.000 mm^2** ($6.000\ m^2$)	Un intero **campo da calcio regolamentare**

L’umanità è il principale produttore di particolato fine

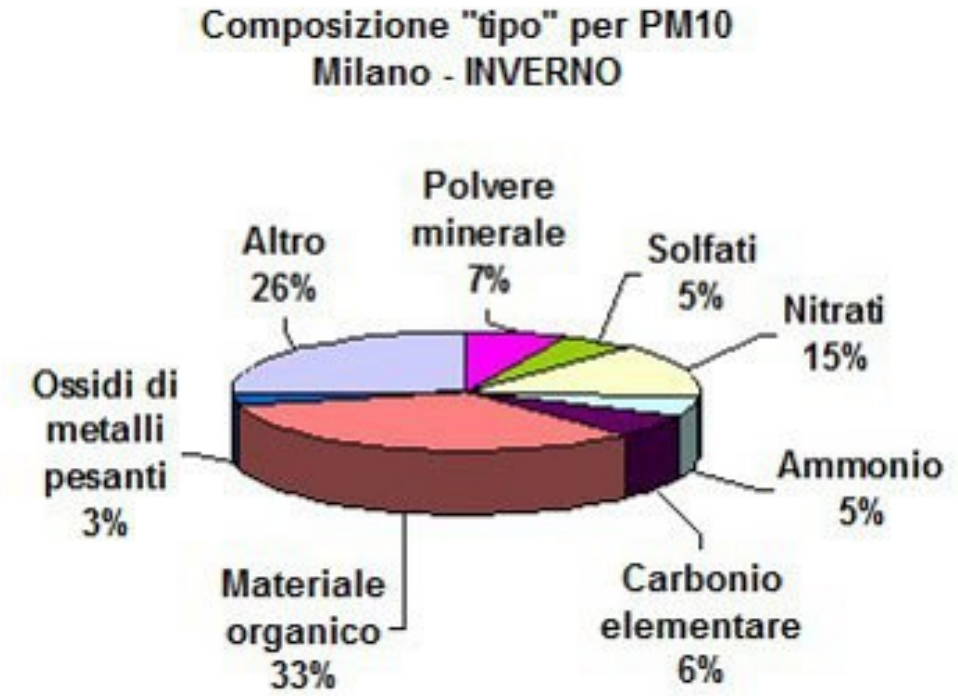
- l particolato atmosferico non ha una dimensione unica, ma è suddiviso in tre principali modalità in base al diametro aerodinamico e ai meccanismi di formazione:
- **Moda Nucleazione / $PM_{0.1}$**:*Origine*: Condensazione di vapori caldi durante processi di combustione o per nucleazione gas-particella in atmosfera.
- Rappresenta la stragrande maggioranza del **numero** totale di particelle, ma contribuisce in minima parte alla massa totale.
- **Moda Accumulazione da $PM_{0.1}$ a $PM_{2.5}$)**:*Origine*: Coagulazione delle particelle ultrafini, reazioni chimiche gassose (aerosol secondari come solfati, nitrati e ammonio) e emissioni industriali o veicolari.
- Costituisce la gran parte della **superficie** specifica e una quota molto rilevante della **massa**
- **Moda Grossolana o *Coarse* da $PM_{2.5}$ a PM_{10} e oltre)**:*Origine*: Processi meccanici, polveri del suolo risospese, aerosol marino, pollini, detriti di usura (pneumatici, asfalto).
- Domina la **massa** totale del particolato pur avendo un numero di particelle relativamente basso.

Valori limite particolato

- Secondo l'Istituto Superiore di Sanità (ISSalute), il particolato di origine antropica è **più tossico** rispetto a quello naturale, poiché contiene idrocarburi, metalli pesanti (arsenico, cadmio, nickel) e composti chimici derivati da combustioni incomplete.
- **Primario e secondario:** Buona parte del PM antropico è di tipo *secondario* (si forma nell'atmosfera attraverso reazioni chimiche di gas inquinanti come ossidi di zolfo e azoto), caratteristica che ne rende molto difficile l'abbattimento



Particolato antropico



- **Traffico veicolare:** gas di scarico (soprattut
diesel), usura di pneumatici, freni e asfalto,
sollevamento della polvere dalle strade.
- **Riscaldamento domestico:** combustione d
legnosa (stufe, camini, pellet) e combustibili fossili.
- **Attività industriali:** emissioni da cementifici, fonderie, centrali elettriche e siti minerari, **degrado satellitare**.
- **Agricoltura e allevamenti:** lavorazioni dei terreni, spandimento di fertilizzanti e pratiche di combustione dei residui agricoli.

Conclusione

- L’aria ha costituzione complessa e contiene molti gas « pericolosi»
- Molti componenti naturali **possono essere** pericolosi se superano le soglie a cui la selezione naturale ci ha adattato dotandoci di opportuni enzimi e meccanismi di reazione
- **I componenti più pericolosi sono tuttavia i composti di sintesi, per i quali il nostro organismo non ha difesa basata geneticamente.**
- **Fra i componenti pericolosi occorre considerare in particolare il particolato antropico di dimensioni inferiori**
- **Per questo particiolato occorrerebbero unità di misura ad-hoc per valutare la superficie per unità di volume**