



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL
RESOURCES

TRASPORTO DEGLI INQUINANTI GASSOSI NELL'ATMOSFERA URBANA

Dana PERNIU, Ileana MANCIULEA

Transilvania University of Brasov

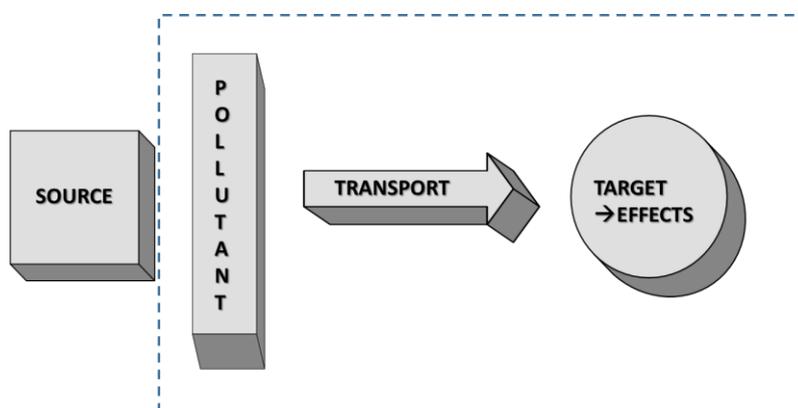
d.perniu@unitbv.ro, i.manciulea@unitbv.ro



1. INTRODUZIONE GENERALE SUL TRASPOSTO DI CONTAMINANTI GASSOSI NELL'ATMOSFERA

Come è stato presentato nelle sezioni precedenti, la comprensione del concetto di inquinamento viene affrontata in modo integrato, considerando la fonte di inquinamento, l'inquinante rilasciato, il suo trasporto e gli effetti sulla salute umana, sull'ambiente naturale e costruito.

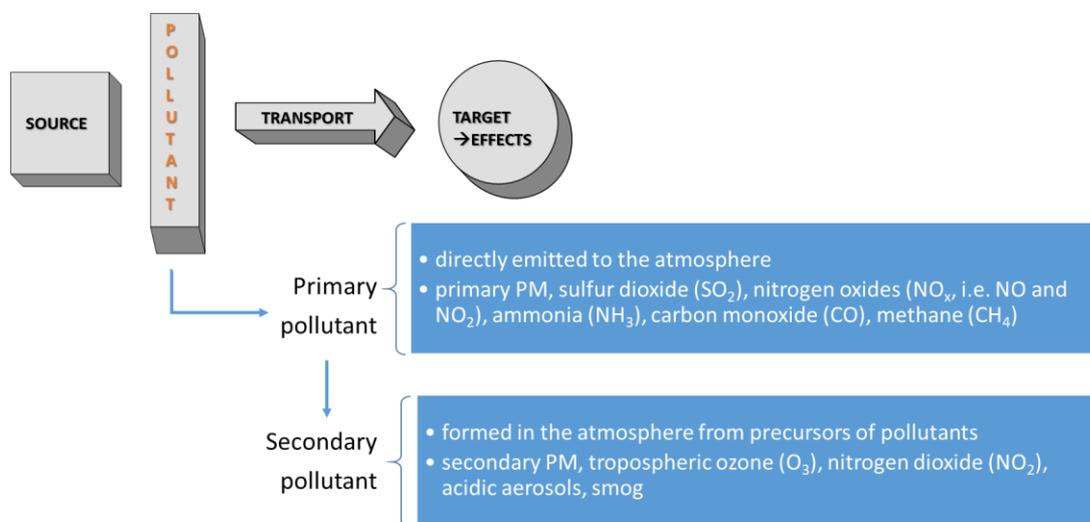
Lo scopo di questa unità è di presentare il trasporto di inquinanti in ambiente, sulla base di processi fisici e chimici in cui sono coinvolti gli inquinanti atmosferici. Direttamente collegato al trasporto, ci troviamo di fronte alla domanda "dove arrivano gli inquinanti?" Questo è tradotto dall'analisi degli effetti degli inquinanti sulla salute umana e sull'ambiente naturale e/o costruito.



Gli inquinanti atmosferici possono essere emessi direttamente nell'atmosfera o si formano come risultato di reazioni tra componenti atmosferici. Gli inquinanti primari sono emessi direttamente in atmosfera, come particelle primarie, biossido di zolfo, ammoniaca, monossido di carbonio, metano.

Gli inquinanti secondari sono quelli formati da reazioni chimiche tra sostanze precursori che possono essere inquinanti. Tra gli inquinanti secondari citiamo: particolato secondario, ozono troposferico, biossido di azoto, aerosol acidi e lo smog.

Nei documenti dell'Unione Europea i principali inquinanti atmosferici sono quelli che producono gli effetti più dannosi sulla salute umana, e sono: particolato, biossido di azoto, ozono troposferico. Nelle seguenti sezioni dell'unità saranno descritti questi inquinanti, insieme al biossido di zolfo come principale inquinante atmosferico.



Gli inquinanti gassosi sono trasportati a livello atmosferico per dispersione, causati da movimenti di masse d'aria. I processi atmosferici si distinguono nei processi fisici e chimici, ed entrambi i tipi possono operare simultaneamente in modi complicati e interdipendenti. I processi fisici di trasporto da parte dei venti atmosferici e la formazione di nubi e precipitazioni influenzano fortemente i modelli e le velocità di deposizione acida, mentre le reazioni chimiche governano le forme dei composti che si formano.

Considerando la stabilità delle specie chimiche, queste possono essere trasportate su varie distanze dalla fonte, generando inquinamento locale/regionale o globale. Il trasferimento della sostanza nell'aria alle superfici, compreso il suolo, la vegetazione, l'acqua superficiale o le superfici interne, fatte con processi secchi o umidi, è chiamato deposizione atmosferica. La deposizione a secco coinvolge sostanze

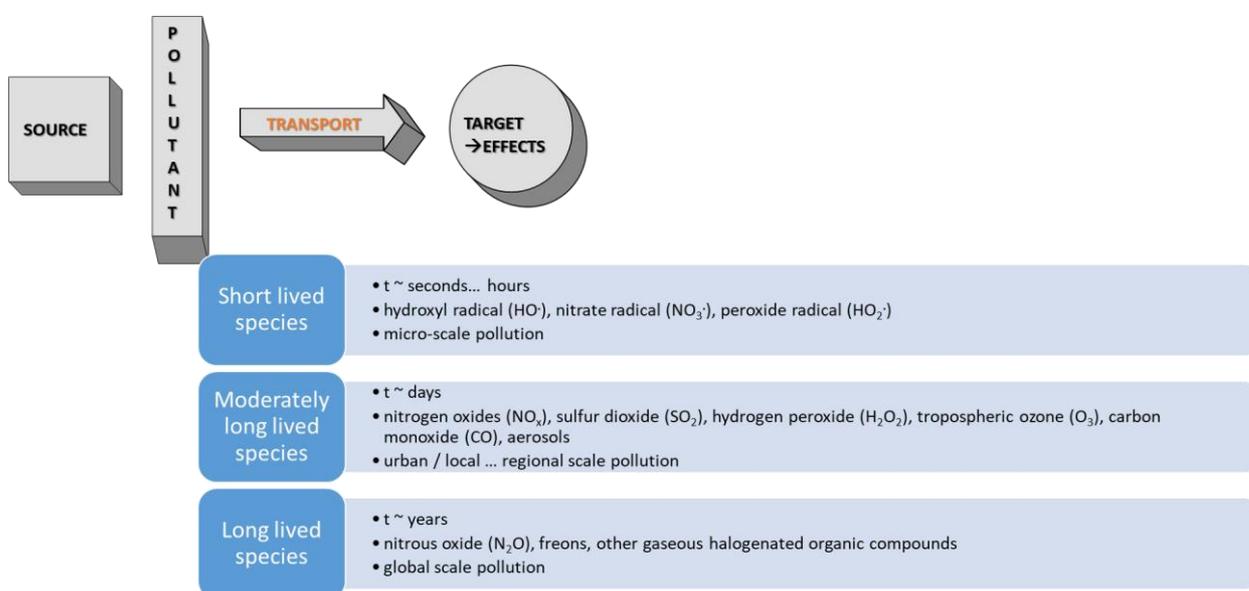
chimiche non acquose, di solito con molecole non polari. La deposizione umida è il processo che comprende il trasferimento di sostanze inquinanti sulla superficie terrestre mediante pioggia, neve o nebbia, mediante una soluzione acquosa. Se l'atmosfera è contaminata da sostanze inquinanti acide (ossidi di zolfo, solfati, ossidi di azoto, nitrati, composti di ammonio), la deposizione è chiamata deposizione acida e può essere sia umida (speculazione inquinante disciolta nell'acqua atmosferica e precipitazione acida) o secco (gli inquinanti acidi sono adsorbiti in particelle e depositati in forma nonaqueous).

Nell'atmosfera, si verifica un numero enorme di reazioni chimiche. Diversi esempi sono:

- processi fotochimici, che sono reazioni chimiche causate dall'energia luminosa del sole; come esempio, la reazione di ossidi di azoto con idrocarburi in presenza di luce solare per formare ozono; ozono troposferico, lo smog fotochemical sono esempi rilevanti di inquinanti secondari formati da questo tipo di reazioni;
- reazioni acido-base che si verificano in presenza di acqua, tra specie acide (come CO_2 , SO_2 , NO_x , ecc.) e specie basiche (principalmente NH_3); precipitazione acida, aerosol solfato sono pr rilevanti di questo tipo di processi;
- le reazioni redox si verificano tra specie di carattere opposto. Specie come O_2 , perossido di idrogeno, radicale idrossile, ozono agiscono come ossidanti, biossido di zolfo, monossido di azoto, monossido di carbonio sono / possono essere ossidati in atmosfera generando inquinanti secondari.

A causa delle radiazioni della luce del sole nell'atmosfera vengono generate specie aggressive, con alta reattività, con vita molto breve, nell'intervallo da secondi a diverse ore. Queste specie causano inquinamento a livello micro-ambientale, essendo coinvolte in reazioni che generano inquinanti secondari. Ad esempio, il radicale idrossilico coinvolto in numerosi processi chimici e foto-chimici con composti organici o inorganici, è chiamato "il detergente per l'atmosfera".

Le specie a vita mediamente longeva, nel range di giorni, sono inquinanti primari o secondari, causano inquinamento a livello locale, urbano o rurale. Le specie più stabili (con una reattività molto bassa), quelle con una lunga vita nel range di anni possono essere trasportate su lunghe distanze a livello della troposfera o ad alta quota, producendo inquinamento a livello globale. L'esempio include il protossido di azoto e il biossido di carbonio, che sono gas a effetto serra con un contributo significativo ai cambiamenti climatici.



Gli effetti dell'inquinamento atmosferico possono raggiungere diversi target/recettori. In generale, a livello di salute umana, l'inquinamento atmosferico causa un grave rischio per malattie respiratorie, cardiovascolari e può anche influire sulle funzioni del sistema nervoso centrale. L'esposizione umana è definita come l'evento quando una persona entra in contatto con un inquinante di una certa concentrazione durante un certo periodo di tempo. L'esposizione avviene dove le persone trascorrono il loro tempo nell'ambiente inquinato. Dipende dal livello di inquinamento dell'aria nell'ambiente in cui le persone trascorrono il tempo, dalla quantità di tempo trascorso nell'ambiente inquinato e anche dall'attività personale.

La World Health Organization menziona i seguenti effetti come risultato di sintomi specifici:

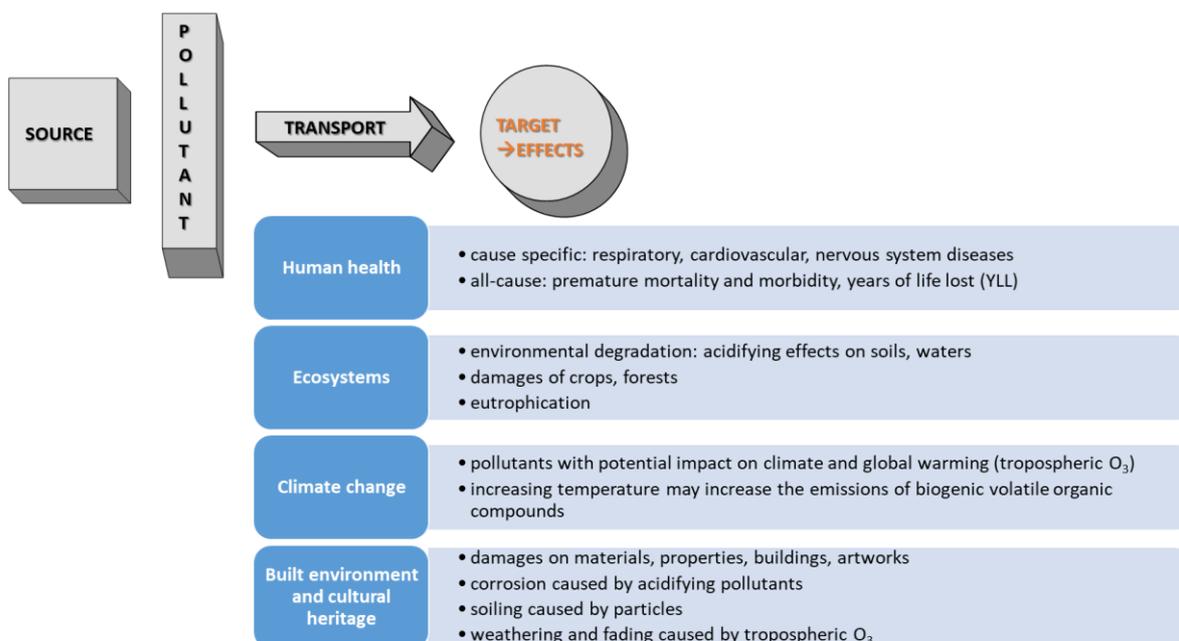
- **dopo breve tempo** di esposizione (in alcuni anni o giorni) - legati ad effetti dell'accumulo di calore (come respiro sibilante, tosse, produzione di flemma, infezioni respiratorie, cambiamenti fisiologici delle funzioni polmonari): mortalità giornaliera, ricoveri respiratori e cardiovascolari, respiratoria visite di pronto soccorso cardiovascolare, visite di pronto soccorso respiratorio e cardiovascolare, uso di farmaci respiratori e cardiovascolari, giornate di attività limitata, assenteismo lavorativo, assenteismo scolastico;
- **dopo esposizione prolungata** (in mesi o anni) - legata a malattie croniche: mortalità dovuta a malattie cardiovascolari e respiratorie, malattie respiratorie croniche, incidenza e scompenso delle malattie respiratorie croniche, come asma, alterazioni croniche delle funzioni fisiologiche, cancro ai polmoni, cronica malattia cardiovascolare, restrizione intrauterina.

La valutazione globale dell'impatto della cattiva qualità dell'aria sulla salute umana è quantificata da indicatori, come mortalità, morbilità, morti premature, anni di vita persi.

La *mortalità* riflette la riduzione dell'espletamento della vita a causa di morti premature come risultato dell'esposizione all'inquinamento atmosferico. La *morbilità* si riferisce al verificarsi di malattie e anni vissuti con una malattia e disabilità, che vanno da effetti e sintomi subclinici come tosse a condizioni croniche che richiedono l'ospedalizzazione. *L'aspettativa di vita* è il numero di anni che una persona può aspettarsi di vivere in media, basato sulla stima dei dati sui tassi di mortalità della popolazione.

Le morti premature sono morti che avvengono prima che una persona raggiunga l'età prevista. L'età prevista è in genere l'età dell'aspettativa di vita standard per un paese o genere. Le morti premature sono considerate prevenibili se la loro causa può essere eliminata.

Gli anni di vita persi (YLL) sono definiti come il numero di anni di potenziale perdita della vita a causa di una detenzione prematura. È una stima del numero medio di anni che una persona avrebbe vissuto se lui/lei non fosse morto prematuramente.



A livello dei paesi membri dell'Unione Europea, è stato stimato l'impatto dei principali inquinanti atmosferici PM_{2.5}, NO₂, O₃ utilizzando parametri sanitari specifici - morti premature e anni di vita persi.

Per gli inquinanti, è stata stimata la percentuale della popolazione urbana esposta nel periodo 2013-2015 agli inquinanti in concentrazione superiore ai limiti imposti dall'Unione europea e dall'Organizzazione mondiale della sanità. Nella tabella seguente viene presentata la stima dei valori per gli anni di vita persi per 100.000 persone nei paesi dell'UE-28 nel periodo 2013-2015, come risultato dell'esposizione a un inquinante. I dati sono stati presi in considerazione "Rapporto sulla qualità dell'aria in Europa- 2017". Il rapporto ha concluso che esiste l'evidenza della correlazione diretta tra l'indicatore e la concentrazione di inquinanti atmosferici nell'aria.

<p>Exposure to PM_{2.5} 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 25 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 8% 	<p>Exposure to PM_{2.5} 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 10 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 82– 85% 	<p>Years of life lost – PM_{2.5} (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 708 years of life lost / 100 00 inhabitants
<p>Exposure to NO₂ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 40 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 9 % 	<p>Exposure to NO₂ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 40 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 9 % 	<p>Years of life lost – NO₂ (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 486 years of life lost / 100 00 inhabitants
<p>Exposure to O₃ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 120 µg/m³ (8 - hour) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 30 % 	<p>Exposure to O₃ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 100 µg/m³ (8 - hour) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 95 – 98 % 	<p>Years of life lost – O₃ (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 29 years of life lost / 100 00 inhabitants

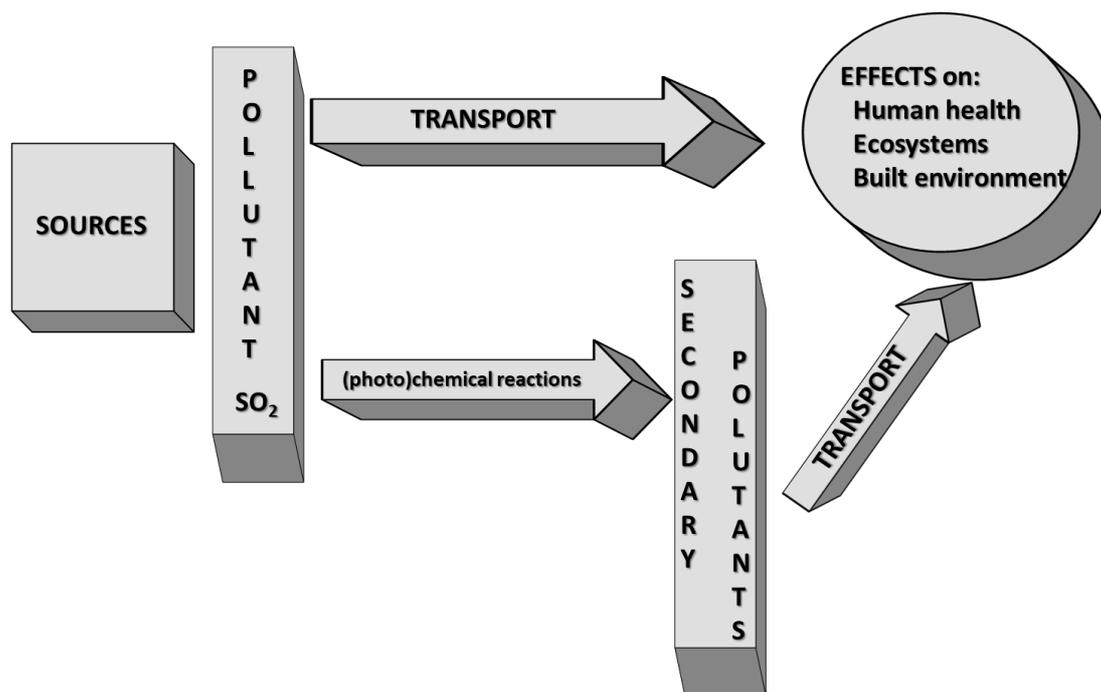
L'impatto dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi si manifesta con il degrado della qualità dei fattori ambientali, come il suolo, l'acidificazione dei laghi o dell'acqua, i danni delle colture, delle foreste o dell'eutrofizzazione.

I componenti dell'atmosfera inquinata hanno un impatto sui cambiamenti climatici, influenzando l'aumento della temperatura globale media.

L'inquinamento atmosferico colpisce anche l'ambiente edificato, il patrimonio culturale da danni dei materiali da costruzione, corrosione dei materiali metallici, sporcizia delle superfici, agenti atmosferici e / o sbiadimento.

2. ANIDRIDE SOLFOROSA/BIOSSIDO DI ZOLFO

Il biossido di zolfo è un inquinante primario dell'atmosfera, essendo direttamente emesso da fonti di inquinamento. In atmosfera, può essere trasportato dalle masse d'aria, o può partecipare a processi fisici, chimici o foto-ossidanti, generando inquinanti secondari con alti effetti avversi sulla salute umana e sull'ambiente naturale e costruito.



2.1. Sorgenti della emissione di SO₂

Il biossido di zolfo può essere emesso da fonti naturali o antropiche.

Per eruzione vulcanica, come fonte di inquinamento naturale localizzata, in atmosfera vengono rilasciate enormi quantità di anidride solforosa. Ad esempio, durante l'eruzione del vulcano Pinatubo nelle Filippine, nel giugno 1991, nell'atmosfera sono stati rilasciati 20 mega-tonnellate di anidride solforosa. Un'altra fonte naturale di emissione di biossido di zolfo è la decomposizione biologica di sostanze organiche contenenti zolfo dalle proteine. Il prodotto della decomposizione è l'idrogeno solforato, che viene ossidato in biossido di zolfo.

Dalle fonti antropiche, la più importante è la combustione dei combustibili fossili. Sia il carbone che il greggio contengono zolfo, che per combustione genera anidride solforosa insieme ad altri inquinanti primari e/o secondari. Con i processi di raffinazione il contenuto di zolfo nella benzina è ridotto, quindi le emissioni di SO₂ dovute al trasporto su strada non sono molto elevate. Le emissioni provenienti dal settore dei trasporti non stradali hanno un contributo leggermente maggiore, poiché per il petrolio greggio di spedizione (con un più alto contenuto di zolfo) viene bruciato

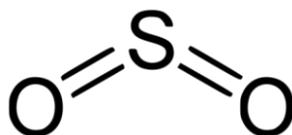
favorendo il rilascio di SO₂. Il più alto contributo delle emissioni derivanti dalla combustione di combustibili fossili appartiene alla combustione del carbone, poiché questo vettore energetico ha un alto contenuto di zolfo. Va notato che negli ultimi decenni l'emissione di SO₂ diminuisce, principalmente a causa degli sviluppi tecnologici nella rimozione dello zolfo dal carburante e/o dai gas di scarico.

Un'importante fonte di anidride solforosa è l'industria della fusione non ferrosa. In questo caso, il processo di arrostitore i minerali di solfuro genera l'anidride solforosa.

volcanic eruption	<ul style="list-style-type: none"> Localized natural source e.g. Mt. Pinatubo, Philippines, June 1991 	
biogenic emissions	<ul style="list-style-type: none"> Oxidation of sulfur gases (e.g. H₂S) produced by decomposition of plants 	
	coal combustion	<ul style="list-style-type: none"> Depending on geographic area from which is mined, coal contains 1...9% S Coal burning for energy production is the major source for SO₂ atmospheric emissions
	oil combustion	<ul style="list-style-type: none"> Shipping burns residual fuel oil, thus non-road transportation like maritime transportation is source for SO₂ atmospheric emission
	non ferrous smelting industry	<ul style="list-style-type: none"> During conversion of Copper, Nickel, Zinc sulfide ores, large quantities of SO₂ are emitted in atmosphere

2.2. Proprietà di SO₂

L'anidride solforosa è un composto gassoso, incolore e con odore specifico. È una molecola non polare, che consente la deposizione a secco. È anche solubile in acqua, permettendo anche la deposizione umida, per precipitazione. Reagisce con l'acqua, il risultato è l'acido solforoso, un acido debole che genera due tipi di anioni: bisolfito e solfito.



Incolore, acuto, odore acre

SO₂ molecola non polare → deposizione a secco

Altamente solubile in acqua → Deposizione umida



2.3. Limiti della concentrazione di SO₂ in atmosfera

In atmosfera non inquinata l'anidride solforosa dovrebbe avere una concentrazione di una parte per milione in volumi. A causa delle emissioni antropiche la sua concentrazione è aumentata. I limiti imposti dalla direttiva sulla qualità dell'aria e quelli raccomandati dall'Organizzazione mondiale della sanità sono stabiliti per proteggere la salute umana.

Standard di qualità dell'aria della Commissione europea (EU-AQD):

350 µg/m³ per 1 media oraria

125 µg/m³ per una media di 24 ore

Linee guida per la qualità dell'aria dell'OMS (WHO-AGQ):

20 µg/m³ per una media di 24 ore

500 µg/m³ per una media di 10 minuti

Secondo il rapporto UE sulla qualità dell'aria, nel 2015 il 30% di tutte le stazioni SO₂ registrava concentrazioni superiori alle linee guida giornaliere dell'OMS, il 38% della popolazione urbana dell'UE-28 era esposta a livelli di SO₂ superiori al limite per la protezione della salute. Va detto che è stato registrato un calo significativo, dal momento che nel 2000 l'80% della popolazione totale dell'UE era esposta a livelli superiori di SO₂.

2.4. Trasporto di SO₂ in atmosfera

Dall'atmosfera,, il biossido di zolfo può essere trasportato mediante deposizione a secco, aderendo al particolato. In presenza di acqua atmosferica e di specie ossidanti,

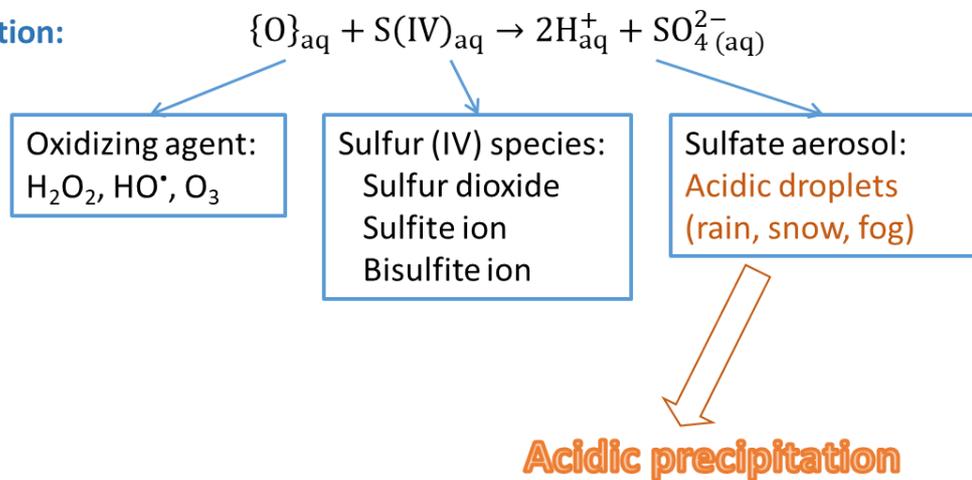
come il perossido di idrogeno, il radicale idrossile, l'ozono, lo zolfo tetra-valente da anidride solforosa o anioni solfiti, viene ossidato allo zolfo esavalente, agli anioni solfato. Il processo di ossidazione avviene per un periodo di ore o giorni. Nei processi ossidativi si forma anche lo ione idrogeno, quindi il prodotto di reazione è l'acido solforico disciolto nell'acqua atmosferica. Così, gli aerosol acidi vengono generati e depositati da precipitazioni acide come pioggia, neve, nebbia, ecc. Si chiama precipitazione acida quella con il valore pH inferiore a 5. Naturalmente, in atmosfera non inquinata, la pioggia ha il pH valore di 5,6.

L'acido può subire una reazione acido-base con ammoniaca, con conseguente sale solfato di ammonio. Inizialmente generati in goccioline acquose, si può verificare l'evaporazione dell'acqua e si formano particelle solide di solfato di ammonio. Gli aerosol dominati da composti di zolfo ossidati sono spesso chiamati aerosol di solfato.

Deposizione a secco: $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{PM}(\text{s}) \rightarrow \text{PM}(\text{s})$

Deposizione umida: $\{\text{O}\}_{\text{aq}} + \text{S}(\text{IV})_{\text{aq}} \rightarrow 2\text{H}_{\text{aq}}^+ + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$

Wet deposition:



L'atmosfera urbana può essere inquinata con anidride solforosa e anche con particelle, come ceneri o fuliggine. Questi inquinanti sono emessi soprattutto come risultato di attività in cui il carbone viene utilizzato come fonte di energia. Questo tipo di inquinamento si chiama smog industriale.

La parola smog si forma combinando due parole inglesi: fumo e nebbia. Lo smog industriale è prodotto in centri industrializzati, dove l'energia è prodotta dalla combustione del carbone, di solito in inverno, in condizioni di clima umido e freddo.

Smog industriale

Una miscela di cenere volante, fuliggine, SO₂ e alcuni VOCs

SMOG = SMOKE + FOG: FUMO + NEBBIA

Prodotto in centri industriali, tipicamente in inverno, in condizioni di clima umido e freddo

2.5. Effetti di SO₂ sulla salute umana

L'esposizione della popolazione al biossido di zolfo è solo per inalazione. I gruppi più vulnerabili all'azione del diossido di zolfo sono i bambini, gli anziani e coloro che hanno già affezioni polmonari. Tra gli effetti avversi del biossido di zolfo sulla salute umana esemplifichiamo le irritazioni agli occhi, i problemi respiratori, l'aumento del rischio di infarto.

Durante la prima metà o il XX secolo sono riportati episodi di inquinamento acuto causati dallo smog industriale (come nel 1930 nella valle della Mosa, nel 1939 a Saint Louis, nel 1948 a Donora, ecc.). È noto il caso dello smog industriale a Londra (smog di Londra), nel dicembre del 1952, quando 4000 di morti furono registrate a causa di malattie respiratorie e cardiovascolari come risultato dell'esposizione allo smog contenente principalmente biossido di zolfo e particolato.



Smog a Londra

2.6. Effetto di SO₂ sull'ecosistema

Una volta a contatto con la superficie del suolo o dell'acqua (laghi e fiumi), l'anidride solforosa produce la loro acidificazione. È dannosa per alberi e piante, danneggiando il fogliame e influenzando la loro crescita. Inoltre, favorisce la perdita di biodiversità.



2.7. Effetto di SO₂ sull'ambiente costruito

L'anidride solforosa porta un impatto negativo sull'ambiente costruito, dalla degradazione dei monumenti storici, a causa delle reazioni di carbonato di calcio e magnesio con gli aerosol acidi.

Gli aerosol acidi danneggiano i materiali da costruzione come calcare, dolomia, marmo da edifici ordinari, ma anche da siti culturali e storici.



3. Ossidi nitrosi - NO_x

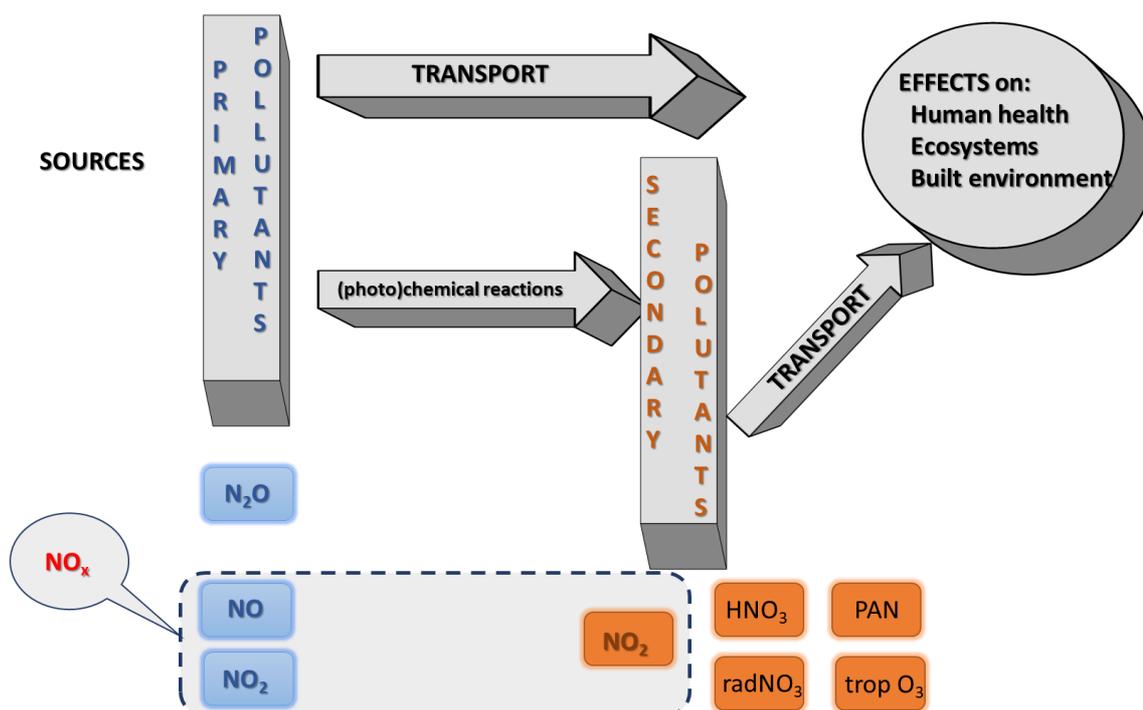
Un numero significativo di composti azotati è presente nell'atmosfera. Citiamo gli ossidi come:

- ossido di azoto, noto come "gas esilarante" (a causa dei suoi effetti euforici sull'inalazione, usato come medicina sicura e come ossidante nei propellenti a razzo, nelle corse automobilistiche, ecc.), un inquinante primario dell'atmosfera;
- ossido di azoto e biossido di azoto, principali inquinanti atmosferici, indicati collettivamente come NO_x.

In pratica, l'ossido di azoto rilasciato nell'atmosfera viene rapidamente ossidato in biossido di azoto. Quindi, l'ossido di azoto è un inquinante primario e il biossido di azoto è secondario. Quantità molto basse di biossido di azoto vengono rilasciate direttamente nell'atmosfera.

Gli ossidi di azoto partecipano ai processi chimici e fotochimici, generando inquinanti secondari come: acido nitrico, radicali di nitrati, perossiacetil nitrato e ozono troposferico.

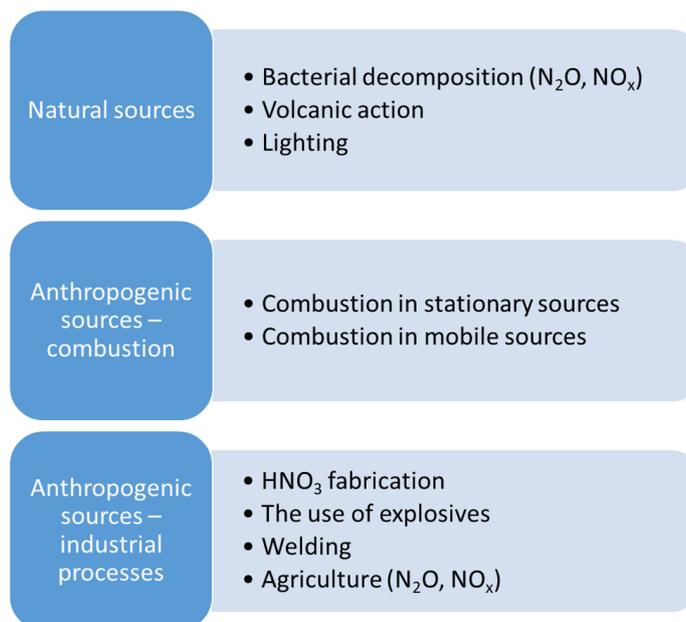
Gli inquinanti contenenti azoto primario o secondario sono noti come generatori di effetti avversi sulla salute umana, sull'ambiente naturale o costruito.



3.1. Sorgenti dell'emissione di NO_x

Le sorgenti naturali dell'emissione di ossidi di azoto hanno un importante contributo alla loro presenza nella troposfera. Come risultato dei processi naturali, la concentrazione di fondo di biossido di azoto è 0,02 ppmv. La decomposizione biochimica di materia organica è una delle fonti naturali per la formazione di ossidi di azoto (come N_2O , NO_x). L'eruzione vulcanica e il fulmine durante le tempeste rilasciano ossidi di azoto nella troposfera.

Tra le fonti antropiche, l'importante contributo appartiene alla produzione di energia da combustione di combustibili fossili, sia nelle fonti fisse che mobili. I processi industriali come la produzione di acido nitrico, l'uso di esplosivi, la saldatura, sono anche fonti per le emissioni di ossidi di azoto. Il settore agricolo deve essere menzionato, poiché l'uso di fertilizzanti sintetici a base di azoto, durante la denitrificazione, rilascia una quantità importante di azoto nella troposfera.



I documenti ufficiali emessi dall'Unione Europea e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità impongono i limiti per la concentrazione atmosferica di biossido di azoto a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media oraria.

3.2. Proprietà di NO_2

Tra gli ossidi, l'inquinante più aggressivo è il biossido di azoto. A temperatura inferiore a $-11,2^\circ\text{C}$ è un solido incolore, formato da molecole dimeriche. Nella gamma di temperature da $-11,2^\circ\text{C}$ a $21,2^\circ\text{C}$ è un liquido bruno-giallastro e al di sopra di $21,2^\circ\text{C}$ è un liquido bruno-rossastro. Sia in forma liquida che gassosa ha una struttura radicale, perché altera l'elettrone all'atomo di azoto. Ciò conferisce al biossido di azoto un'elevata reattività. Il biossido di azoto ha un caratteristico odore pungente, la sua presenza in atmosfera ad alta concentrazione può essere notata a causa della ridotta visibilità come foschia bruno-rossastra. Con l'acqua atmosferica forma una miscela di acidi nitrici e nitrosi che possono essere neutralizzati dall'ammoniaca, se presente.

Il biossido di azoto ha proprietà ossidanti, può reagire con l'idrossile, formando specie acide. È un precursore dell'ozono troposferico e svolge un ruolo importante nella formazione dello smog fotochimico.

Temperatura (°C) -11.2°C	-11.2°C.....21.2°C	21.2°C.....
Stato	solido	liquido	gas
Forma	diazoto tetrossido N ₂ O ₄ (dimero)	Azoto diossido NO ₂ (radical libero)	Azoto diossido NO ₂ (radical libero)
Colore	incolore	Marrone giallastro	Marrone rossastro

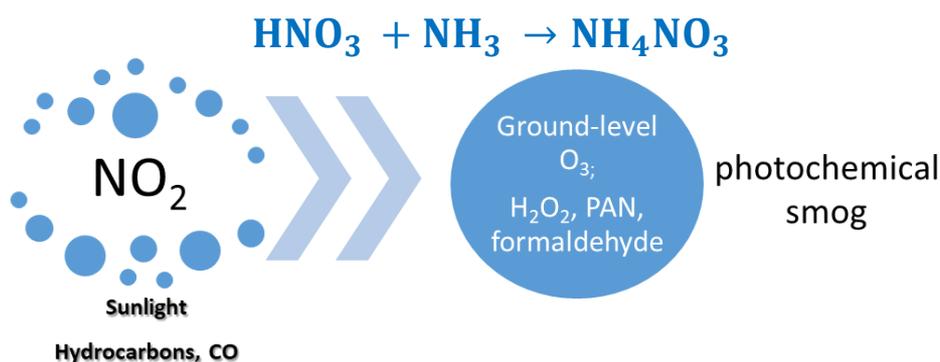
- Caratteristico odore pungente
- Assorbe la radiazione solare visibile
- Contribuisce a ridurre la visibilità atmosferica
- Reagisce con acqua ◇ acido nitrico + acido nitroso
- In presenza di ammoniaca ◇ nitrato di ammonio
- Il regolatore della capacità ossidante della troposfera ◇ reagisce con i radicali idrossilici
- Svolge un ruolo fondamentale nella formazione/rimozione dell'ozono nella smog fotochimica della troposfera

3.3. NO₂ – Precursore chiave di una serie di contaminanti secondari

Come risultato della sua reattività, il biossido di azoto è responsabile di almeno due problemi principali dell'inquinamento atmosferico:

- aerosol acido
- smog foto-chimico.

Lo smog fotochimico si forma sotto radiazione solare, in regioni con intenso traffico stradale e attività industriale. I precursori dello smog fotochimico sono il biossido di azoto, i composti organici volatili, gli idrocarburi, che sotto la luce solare subiscono una serie di reazioni fotochimiche per formare inquinanti secondari come l'ozono troposferico, il nitrato di perossiacetile, la formaldeide. Pertanto, lo smog fotochimico è una combinazione complessa di sostanze inquinanti sviluppate come una foschia giallo-marrone in città calde e soleggiate dove il traffico automobilistico è congestionato (è anche noto come smog di Los Angeles).



3.4. Effetti di NO_2

Il biossido di azoto esercita una serie di effetti avversi sulla salute umana riducendo le funzioni respiratorie e polmonari quando la popolazione è esposta per inalazione.

Quando viene depositato dall'atmosfera, il biossido di azoto, ma anche il protossido di azoto, contribuisce allo squilibrio nei nutrienti azotati negli ecosistemi acquatici, causando l'eutrofizzazione.

Una volta depositati sul suolo e/o in acque superficiali, gli ossidi di azoto generano l'acidificazione.

A contatto con i componenti dell'ambiente costruito, a causa dell'acidità, gli inquinanti gassosi a base di azoto portano anche a danni.

È importante ricordare che il protossido di azoto non ha effetti negativi diretti sulla salute umana, ma è un gas a effetto serra e contribuisce al cambiamento climatico.

Human health	<ul style="list-style-type: none"> • Effects on respiratory system • Reducing pulmonary function
Ecosystems	<ul style="list-style-type: none"> • Aquatic ecosystems: eutrophication • Soil, lakes, rivers: acidification • Reduce atmospheric visibility
Built environment	<ul style="list-style-type: none"> • Damages on construction materials, due to acid precipitation

N_2O is a green-house gas, contributing to climate change

4. OZONO TROPOSFERICO

4.1. Ozono nell'atmosfera

Nell'atmosfera terrestre, l'ozono è naturalmente presente nella stratosfera, a circa 25 chilometri di altitudine. È formato dalla foto-ossidazione dell'ossigeno bimolecolare, sotto la radiazione UV-solare. Quindi, l'ozono stratosferico è benefico per la Terra, perché assorbe la dannosa radiazione solare UV.

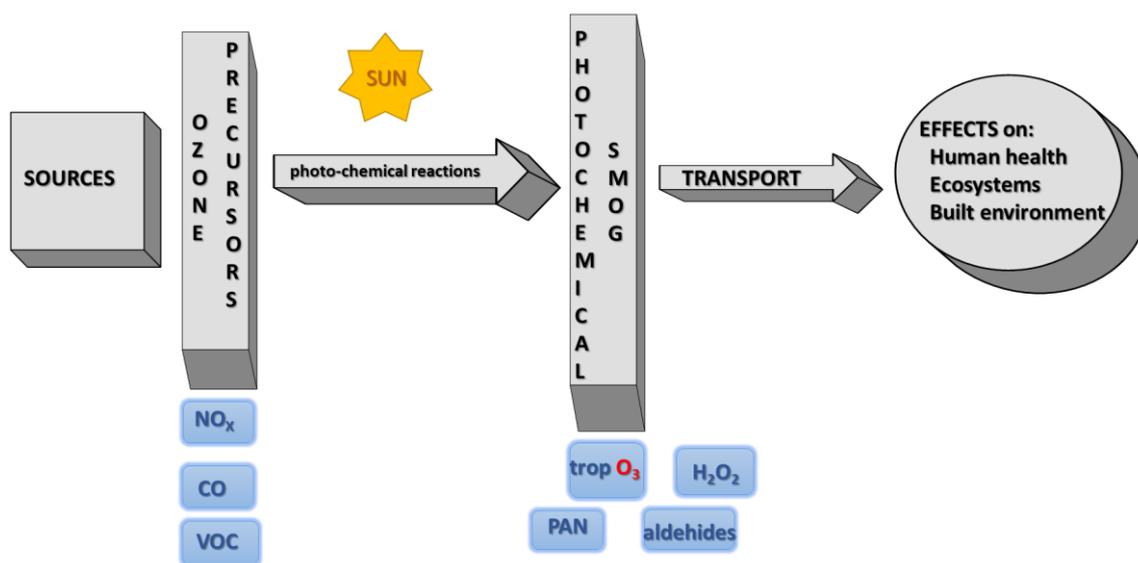
Nella *troposfera*, a livello del suolo, l'ozono è un inquinante gassoso con effetti negativi sulla salute umana e sull'ambiente naturale e costruito. È noto come l'inquinante più rappresentativo e tossico della classe degli ossidanti ambientali. L'ozono troposferico è un inquinante secondario, non viene emesso direttamente da una fonte:

- *stratosfera*
 - strato di ozono
 - (+) assorbe le radiazioni solari UV dannose
- *troposfera*
 - \neg ozono troposferico (ozono troposferico)
 - \neg (-) inquinante pericoloso

Applicando il modello di inquinamento, si può spiegare che l'ozono troposferico è un inquinante secondario. I precursori dell'ozono, inquinanti emessi dalle loro specifiche fonti, sotto la radiazione solare, producono lo smog fotochimico. A livello

locale ha effetti negativi sulla salute umana, sull'ambiente naturale e costruito. Lo smog fotochimico è definito come la combinazione di nebbia e sostanze chimiche derivante dal trasporto su strada e da fonti industriali, che reagiscono in presenza della radiazione solare.

Nello smog fotochimico, il biossido di azoto, in presenza di radiazione solare e alcuni idrocarburi (dalla famiglia di composti organici volatili), forma monossido di azoto e ossigeno atomico. L'ossigeno atomico reagisce con altri inquinanti rilasciati dalle automobili, come il monossido di carbonio, formando una grande varietà di prodotti, tra cui l'ozono. Si deve anche menzionare il perossido di idrogeno, i composti organici come i nitrati di perossiacetile, le aldeidi, come la formaldeide.



4.2. Ozono troposferico: sorgente di precursori

Le fonti di produzione dei precursori dell'ozono troposferico possono essere naturali: le piante che emettono sostanze dalla categoria dei terpeni o antropogeniche come il traffico urbano, ma anche alcune attività specifiche nel settore agricolo.

Fonti naturali

- Emissioni biogeniche di precursori

- esempio Emissioni di VOC dalla vegetazione

Fonti antropogeniche

- Reazioni fotochimiche di precursori emessi da fonti proprie
- per es .: traffico urbano, agricoltura

4.3. Ozono troposferico: proprietà

L'ozono è una forma triatomica di ossigeno, è un gas instabile, incolore, con odore pungente, altamente reattivo e un forte agente ossidante.

La concentrazione limite per la protezione della salute umana è stata calcolata come 100 microgrammi per metro cubo come media di 8 ore.

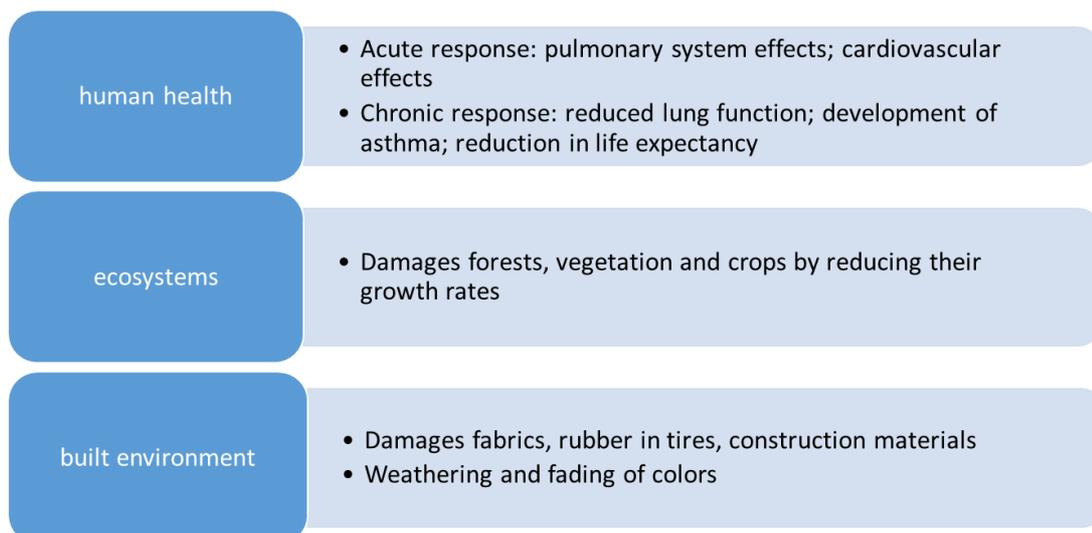
4.4. Ozono troposferico: effetti

Tra gli effetti sulla salute umana derivanti dall'esposizione all'atmosfera inquinata dall'ozono, citiamo quelli acuti, a livello dei sistemi respiratorio e cardiovascolare. Tra le malattie croniche si segnalano la diminuzione della funzionalità polmonare, lo sviluppo dell'asma, la riduzione dell'aspettativa di vita.

Gli ecosistemi sono anche influenzati negativamente, dai danni sulla vegetazione e dalla riduzione del tasso di crescita. L'ozono troposferico è considerato più dannoso per la vegetazione e l'esposizione delle piante a qualsiasi altro inquinante.

La presenza di ozono troposferico porta alla degradazione di fibre, gomma, materiali da costruzione. Inoltre produce la suppurazione (*watering*) e lo sbiadimento delle superfici e dei materiali da costruzione.

L'ozono troposferico è un gas a effetto serra, che contribuisce al cambiamento climatico.



Ground-level ozone is a green-house gas, contributing to climate change

5. MATERIALE PARTICOLATO

L'atmosfera, naturalmente o come risultato di attività antropiche, è caratterizzata dalla presenza di particelle, provenienti da fonti sia naturali che artificiali, con dimensioni comprese tra 0,5 mm per polveri, sabbia o nebbia e dimensioni molecolari per quelle rilasciate dall'attività antropica.

5.1. Simboli del material particolato

Definiamo il particolato (simbolo PM) la miscela di particelle solide e / o liquide disperse nell'aria. Il particolato consiste in una miscela di particelle fini solide e liquide sospese nell'aria. Nel valutare l'impatto del particolato sull'ambiente e sulla salute umana, la questione più importante è la loro dimensione.

PM_{diametro aerodinamico}

All'acronimo PM è associato come pedice il numero che denota la frazione di dimensione, o diametro aerodinamico. Sulla base di questa caratteristica, il particolato è classificato in:

Materia sospesa totale (un nome piuttosto vecchio) che indica tutte le particelle aventi dimensioni inferiori a 100 micrometri; queste particelle possono essere viste ad occhio nudo, sapendo che il limite di visibilità è di circa 50 micrometri;

La frazione di particelle grossolane contiene quelle con un diametro compreso tra 2,5 e 10 micrometri,

La frazione *particolata fine* contiene quelli con diametro fino a 2,5 micrometri

La *frazione di particolati ultrafini*, o particolati nanometrici, sono quelli con diametro inferiore a 0,1 micrometri.

Tutte le particelle con dimensioni inferiori a 10 micrometri non possono essere viste ad occhio nudo, sono visibili con i microscopi.

Per descrivere la materia particolare, o semplicemente, il particolato, si usano termini come:

Aerosol, definiti dal sistema di solidi e liquidi dispersi nell'aria;

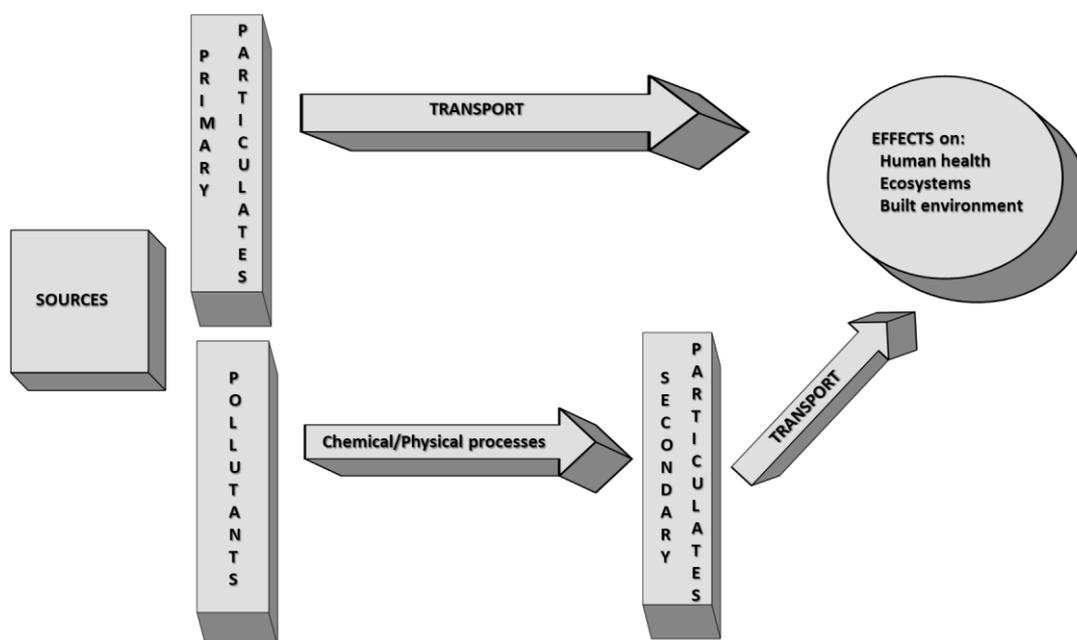
Polvere, fuliggine - per particelle solide disperse nell'aria

Foschia, nebbia - per le particelle liquide disperse nell'aria.

Frazione	Intervallo del diametro aerodinamico	Simbolo	Note
Particelle totali sospese	$\leq 100\mu m$	TSP	Può essere visto ad occhio nudo
Particelle grossolane	$d \leq 10\mu m$ $2.5\mu m \leq d \leq 10\mu m$	PM ₁₀ PM _{2.5-10}	Possono essere rivelato solo con il microscopio
Particelle fini	$d < 2.5\mu m$	PM _{2.5} PM ₁	
Particelle ultrafini	$d < 0.1\mu m$	UFP	

Considerando l'emissione di particelle, si può distinguere tra particelle primarie, particelle direttamente emesse e particelle secondarie, quelle che si formano nell'atmosfera come risultato di processi fisici e chimici tra inquinanti gassosi come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, che sono rilasciati da fonti specifiche.

Una volta entrati nell'atmosfera, i particolati vengono trasportati da movimenti di masse d'aria o depositati. In funzione delle loro dimensioni, ci sono variazioni nella durata atmosferica delle particelle e, di conseguenza, la loro distanza di trasporto. La composizione del particolato, a seconda della fonte di emissione, ne determina la dimensione, il trasporto e anche l'effetto che hanno sulla salute umana, sull'ambiente naturale e/o costruito.



5.2. Sorgente delle emission di PM

I particolati sono emessi da un enorme numero di fonti, sia naturali che antropiche.

Naturalmente, il particolato esiste come risultato dell'erosione del suolo, la polvere trasportata dalle masse d'aria.

Gli aerosol marini, noti come spray per il mare, sono ricchi di sali e sostanze organiche.

Il particolato ha anche origine biologica, come il polline, la muffa.

Un'importante quantità di particolato viene emessa durante l'eruzione vulcanica.

La fonte più importante per l'emissione di particelle è la combustione di combustibili fossili, anche se si tratta di carbone, petrolio, prodotti petroliferi o biomassa.

Tra le fonti industriali citiamo il settore delle costruzioni, minerario, cemento, fabbricazione di materiali ceramici, industria di fusione. Un'importante fonte di particolato è l'erosione della strada da parte del traffico, e non ultimo almeno le attività in agricoltura.

I precursori dei particolati secondari sono inquinanti gassosi dell'atmosfera come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, l'ammoniaca, che generano sostanze a bassa volatilità, come acido solforico, solfato di ammonio, nitrato di ammonio che condensano, coagulano generando aerosol. Sono trasportati come particelle inorganiche o depositati come crosta su particelle carboniose.

Gli inquinanti gassosi possono essere organici, rilasciati da fonti naturali, come i terpeni, o da fonti antropiche, come gli idrocarburi aromatici policiclici. Possono generare aerosol organici secondari (SOA), mediante reazioni di ossidazione. Rispetto al particolato primario, i processi chimici coinvolti nella formazione di quelli secondari sono relativamente lenti e la loro persistenza nell'atmosfera è prolungata.

Fonti naturali

- Suolo e polvere trasportati dal vento
- Generazione di aerosol marino (spray marino)
- Polline, spore di muffa, parti di piante
- Cenere vulcanica

Emissione antropogenica di PM primaria

- Combustione di combustibili fossili (carbone, petrolio, benzina, biomassa),
- Cantieri,
- Edilizia, estrazione mineraria, produzione di cemento, ceramica,
- Industria fusoria,
- Strade non asfaltate, erosione della pavimentazione stradale.

Formazione PM secondaria



- Formazione nell'aria attraverso reazioni di inquinanti gassosi → sostanze a bassa volatilità che si condensano in fase solido/liquido → PM.
- Fonti di inquinanti gassosi inorganici primari (SO₂, NO_x) o composti organici (naturalmente emessi - monoterpeni o risultanti da attività antropiche - idrocarburi aromatici).

5.3. Composizione di PM

Considerando il loro meccanismo di formazione, il particolato ha una composizione diversa e, di conseguenza, dimensioni diverse. Il particolato fine contiene di solito specie inorganiche, acqua e un nucleo di carbonio elementare, idrocarburi aromatici policiclici, aerosol organici secondari e anche sostanze organiche biologiche. Di solito queste particelle contengono aerosol di fuliggine o solfato / nitrato e il loro carattere è prevalentemente acido. Le particelle grossolane contengono principalmente polvere, ceneri, ossidi metallici, cloruro di sodio da aerosol marino, componenti biologici. In generale, queste particelle contengono principalmente fuliggine o composti inorganici simili a quelli presenti nel suolo, di conseguenza hanno un carattere prevalentemente alcalino.

PM_{2,5}

- Specie Inorganiche:
 - Anioni: solfati, nitrati, cloruri,
 - Cationi: Ammonio, Idrogeno, Sodio, Potassio, Calcio, Magnesio,
 - Metalli di Transizione (Cadmio, Rame, Nichel, Zinco).
- Acqua particellare,
- Carbonio organico, carbonio elementare (EC),
- Idrocarburi policiclici aromatici,
- Aerosol organici secondari,
- Prodotti organici biogenici,
- Principalmente: aerosol di fuliggine o solfato / nitrato,
- Solitamente acidi (acidi non neutralizzati).

PM₁₀

- Polvere di risospensione, polvere del terreno, polvere di strada,

- Ceneri volanti di carbone e petrolio,
- Ossidi di Si, Al, Mg, Fe; CaCO₃; NaCl,
- Sale marino,
- Componenti biologici: polline, spore di muffa,
- Prevalentemente: fuliggine o inorganico - come il suolo,
- Di solito di base (contenuto del suolo).

5.4. Trasporto di PM

Il trasporto di materiale particolato mediante il movimento delle masse d'aria dipende dalla dimensione delle particelle. I particolati fini e ultrafini hanno una durata atmosferica piuttosto lunga, essendo trasportati su lunghe distanze, centinaia di chilometri, quindi il loro impatto è percepito a livello regionale.

Le particelle grossolane hanno una minore durata di vita nell'atmosfera, da un minimo di un paio d'ore, quindi hanno una velocità di sedimentazione più elevata. Il loro trasporto con le masse d'aria avviene su brevi distanze, sotto i 10 chilometri, quindi l'impatto si manifesta a livello locale.

PM fine e ultrafine	PM grossolano
Tempo di vita: giorni e settimane	Tempo di vita: da minuti a ore
100 – 1000 km distanza di trasporto	1 – 10 km distanza di trasporto
Interessa aree regionali e più ampie	Interessa aree a scala locale

5.5. Concentrazione in aria di PM per la protezione della salute umana

Le concentrazioni atmosferiche stabilite dalla direttiva sulla qualità dell'aria a livello dell'Unione europea sono di 25 microgrammi per metro cubo, come media annuale per particelle con diametro aerodinamico fino a 2,5 micrometri. Per particelle con diametro aerodinamico fino a 10 micrometri, i limiti sono 40 microgrammi per metro cubo di media annuale e 50 microgrammi per metro cubo, media annuale.

I limiti proposti dall'Organizzazione mondiale della sanità sono più rigorosi, i valori sono inferiori a quelli raccomandati dall'Unione europea.

	PM _{2,5}	PM ₁₀
Limiti EU (AQD):	25 µg/m ³ -anno	40 µg/m ³ -anno 50 µg/m ³ - 24 ore
Limiti WHO (line guida WGO):	10 µg/m ³ - anno	20 µg/m ³ -anno 20 µg/m ³ - 24 ore

5.6. Effetti di PM sulla salute umana

Gli effetti del particolato sulla salute umana dipendono dalle loro dimensioni.

Anche in Europa, le emissioni di particolato sono diminuite nel periodo 2000-2015, esiste ancora una percentuale significativa di popolazione esposta al particolato (anche PM_{2,5}, anche PM₁₀), in concentrazioni superiori ai limiti imposti dall'UE o raccomandati dall'Organizzazione mondiale della sanità .

Considerando la penetrazione nel corpo umano, per inalazione, i particolati grossolani sono considerati particelle inalabili o toraciche, penetrando nel sistema respiratorio e filtrati dal naso e dalla gola.

Il particolato fine, il particolato respirabile, penetra in profondità nei polmoni, negli alveoli e nei bronchioli.

Nel caso delle particelle grossolane, con una velocità di sedimentazione più elevata, l'esposizione a lungo tempo per inalazione è ridotta, ma l'esposizione a breve tempo causa una malattia respiratoria.

Esiste un gran numero di studi che dimostrano il fatto che le particelle fini sono responsabili della malattia del sistema respiratorio, cardiovascolare e anche a livello del sistema nervoso centrale.

PM_{2,5}

EU-28 livelli della esposizione della popolazione alle PM_{2,5} (2015):

Sopra i limiti EU (25 µg/m³-anno): 7%

Sopra i limiti WHO (10 µg/m³ – anno): 82%

- Particelle respirabili: di solito viaggiano verso i polmoni, in profondità nelle porzioni di scambio di gas (alveoli e bronchioli terminali) e possono essere assorbite dalle superfici delle cellule

- Morbilità respiratoria e cardiovascolare (aggravamento dell'asma, sintomi respiratori)
- Mortalità da malattie cardiovascolari e respiratorie, cancro ai polmoni
- Costantemente implicato in processi neurologici avversi, essendo correlato a malattie del sistema nervoso centrale

PM₁₀

EU-28 livelli della esposizione della popolazione alle PM₁₀ (2015):

Sopra i limiti EU (50 µg/m³-giorno): 20%

Sopra i limiti WHO (20 µg/m³ – anno): 62%

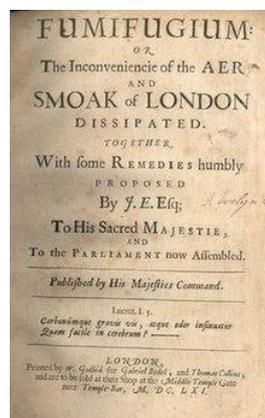
- Particelle inalabili, particelle toraciche: se inalate, vengono filtrate efficacemente dal naso e dalla gola,
- Penetrano solo nel sistema respiratorio inferiore
- Si depositano rapidamente - l'esposizione a lungo termine per l'uomo attraverso l'inalazione è ridotta
- Esposizione a breve termine: effetti sulla salute respiratoria

5.7. Effetti di PM sull'ambiente

Gli effetti negativi del fumo rilasciato dalla combustione del carbone sono stati citati dal 13° secolo. Nel corso dei secoli, sono stati registrati un gran numero di episodi di inquinamento causati da particelle. Con lo sviluppo tecnologico, le particelle emesse nell'atmosfera hanno una composizione più complessa, quindi il loro effetto si manifesta in modi più diversi.

Nell'atmosfera, la presenza di particelle è percepita dalla visibilità ridotta.

Come conseguenza della loro dimensione e composizione, i particolati sono secchi o umidi depositati, quindi al livello del suolo o si verificano cambiamenti di superficie dell'acqua.



Il Fumo dalla combustione del carbone già conosciuto nel Regno Unito dal 13° secolo riduce fortemente la visibilità.



Dopo la deposizione (umido/secco) - acidificazione di suolo/acque superficiali
Cambio del bilancio dei nutrienti nelle acque di superficie
Sostanze nutritive in via di esaurimento nel suolo



5.8. Effetti di PM nell'ambiente edilizio

La presenza di particelle nell'atmosfera porta a danni dei materiali da costruzione, degrado di oggetti e persino di monumenti storici. Le superfici sporche, l'irrigazione, la corrosione dei materiali metallici, sono solo alcuni esempi di danni prodotti dal particolato sull'ambiente costruito.

Danni sui materiali da costruzione, compresi gli oggetti culturalmente importanti per degradazione e sporcizia.

Danni legati alle piogge acide: agenti atmosferici, corrosione.



6. BIBLIOGRAFIA

<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

<https://www.eea.europa.eu/help/glossary>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Fumifugium>

<https://ca.news.yahoo.com/mystery-of-1952-great-smog-which-killed-12000-londoners-has-been-solved-093408147.html>

<https://www.thetimes.co.uk/article/most-children-in-britain-are-exposed-to-illegal-air-pollution-levels-d3l5rqlms>

<https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/may/06/observer-view-on-curbing-air-pollution-diesel-car-scrappage-health>

<https://www.greenoptimistic.com/top-10-polluted-places-blacksmith-institute-20131107/#.WkOb8t-WZPY>

<https://saferenvironment.wordpress.com/2008/09/05/coal-fired-power-plants-and-pollution/>

<http://www.cruiselawnews.com/2016/12/articles/pollution-1/deliberate-dumping-coverup-and-lies-doj-fines-princess-cruises-40000000/>

<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

<http://www.history.com/news/the-killer-fog-that-blanketed-london-60-years-ago>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:-_Acid_rain_damaged_gargoyle_.jpg

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

<https://ca.news.yahoo.com/mystery-of-1952-great-smog-which-killed-12000-londoners-has-been-solved-093408147.html>

Module 4. Environmental Pollutants

Topic 4.1. Gaseous pollutants

Unit 2. Gaseous pollutants transport in urban atmosphere



<https://toxoeer.com>

<https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/may/06/observer-view-on-curbing-air-pollution-diesel-car-scrappage-health>



This work is licensed under a Creative Commons attribution – non commercial 4.0 international license



**VNIVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences



**Universitatea
TRANSILVANIA
din Braşov**



**UNIVERZITA
KARLOVA**



ИКИТ

<https://toxoeer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales
Headquarters office in Salamanca.
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.
Contact Phone: +34 663 056 665