scienza attiva®

Introduzione all'inquinamento e alla modellistica ad esso collegata

Claudio Cassardo

Università di Torino – Dipartimento di Fisica Generale

L’inquinamento atmosferico

- È un problema antico quanto l’umanità: già nel 400 a.C. Ippocrate notava il maggiore inquinamento delle città rispetto alle campagne

- La rivoluzione industriale diede un grosso contributo alla crescita dell’inquinamento e lo rese (e purtroppo lo rende tuttora) un problema cronico in Europa ed in Nord America

L’inquinamento atmosferico

Lo stesso paesaggio visto in condizioni pulite ed inquinate

- Le città si svilupparono grazie alle nuove industrie ed all’arrivo di immigrati attratti dalle prospettive di lavoro nelle industrie
- Le industrie più inquinanti alla fine del 1800 erano le fonderie. A quell’epoca, il fumo era considerato segnale di economia prospera e non si conoscevano gli effetti dell’inquinamento sulla salute umana
- Al giorno d’oggi, le maggiori preoccupazioni sono gli effetti sulla salute, sulla produttività agricola e su tempo e clima

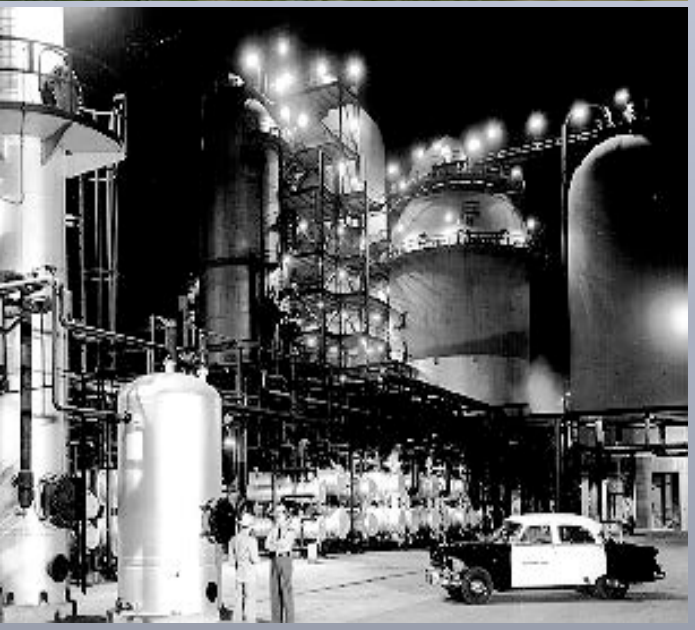
Prevenzione del deterioramento della qualità dell'aria

"the prevention of any future, and the remedying of existing, impairment of visibility in Class I areas in which impairment results from manmade air pollution"

(Clean Air Act Amendments, 1977, USA)

Visibilità nelle Great Smoky Mountains durante un giorno "pulito" e con smog

Le sostanze inquinanti

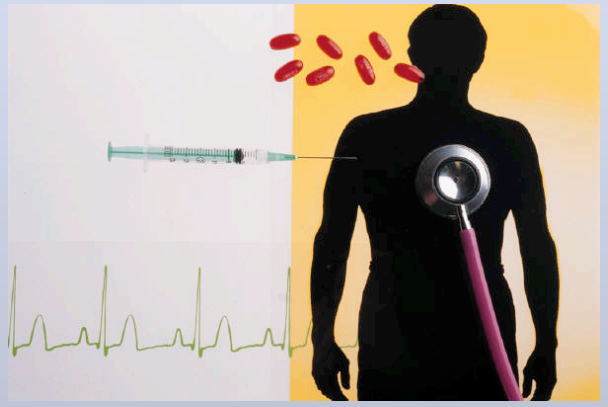


- Molti gas o aerosol esistono da sempre in natura
- Essi diventano inquinanti quando la loro concentrazione sale a livelli tali da minacciare l'esistenza degli esseri viventi
- In tali condizioni possono verificarsi situazioni a rischio: ad esempio, le zone con scarsa ventilazione (valli, depressioni naturali, zone circondate da montagne, ecc.) oppure situazioni meteorologiche che provocano un rimescolamento limitato dell'aria (condizioni invernali caratterizzate da alta pressione e presenza di inversioni termiche al suolo molto sviluppate)

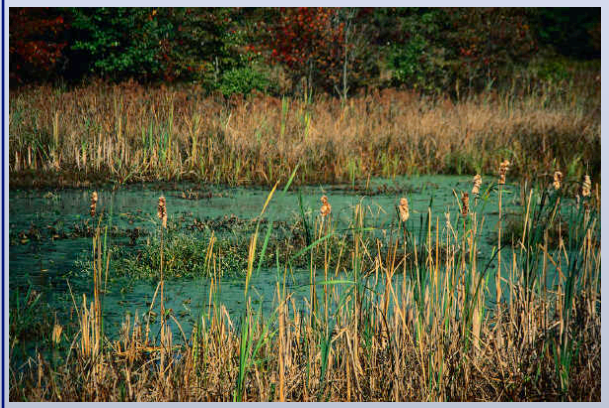
Perché studiare la dispersione atmosferica degli inquinanti?

Qualità dell'aria urbana

Salute pubblica



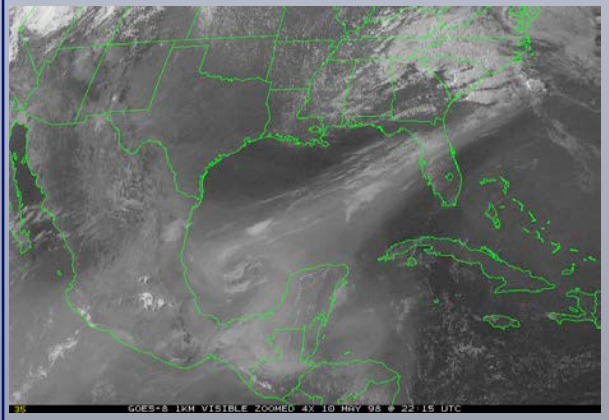
Salvaguardia dell'ambiente



Visibilità

Controllo degli incendi

Trasporto a lunga distanza



Unità di misura

- Normalmente la concentrazione di un inquinante gassoso si esprime in **parti per milione** (**ppm**), cioè il numero di molecole di inquinante per milione di molecole di aria (per concentrazioni minori si usa anche **ppb** – parti per bilione o miliardo – e **ppt** – parti per trilione -); tale valore è detto anche rapporto di mescolamento (*mixing ratio*)
- La concentrazione di un aerosol (anche detta concentrazione in massa) si esprime invece generalmente in termini di densità ($\mu g/m^3$), cioè massa dell'inquinante per volume di aria
- Il modo più semplice di convertire i $\mu g\ m^{-3}$ ai ppm o viceversa è di usare l'equazione di stato dei gas (la costante dei gas vale $R=8.314\ Kg\ m^2\ s^{-2}\ mol^{-1}\ K^{-1}$):
  - [Conc. in massa ($\mu g\ m^{-3}$)] = [Vol. Mixing Ratio (ppm)] Pressione (Massa Molare) / (RT)
  - [Vol. Mixing Ratio (ppm)] = [Conc. in massa ($\mu g\ m^{-3}$) RT] / [Pressione] [Massa Molare]

I principali inquinanti atmosferici

Ossidi di Carbonio

- CO (conc. media: **0.15 ppm**) è prodotto dall'attività umana (combustione incompleta di combustibili fossili dovuti alle industrie ed al traffico veicolare) e da eventi naturali (incendi, eruzioni vulcaniche). È consumato da microorganismi e da reazioni chimiche che lo trasformano in CO_2. È molto pericoloso (anche perché inodore).

- CO_2 (conc. media: **375 ppm**, trend: **17 ppm/decade**) è prodotto dalla respirazione di animali e piante, dall'attività vulcanica, da incendi e dalla bruciatura di combustibili fossili. È consumato dalle piante. È un gas serra.

I principali inquinanti atmosferici

Composti organici volatili ed idrocarburi

- CH_4 (conc. media: **1.74 ppm**, trend: **0.09 ppm/decade**) è prodotto dalla decomposizione di materiale organico in assenza di ossigeno (es: risaie, paludi, concimi, …). È un gas serra

- Terpene (conc. media **< 0.1 ppm**), responsabile dell'aroma delle conifere, altamente reattivo

- Molti altri composti emessi dalla combustione dovuta al traffico veicolare.

I principali inquinanti atmosferici

Danni su un polmone provocati da esposizione prolungata a NO

Ossidi di Azoto

- NO ed NO_2 sono prodotti da batteri che vivono nel sottosuolo (per il 90%) e da attività umane o dal traffico veicolare (solo 10% in media, ma spazialmente molto localizzato)

NO si trasforma in NO_2 che è molto più tossico e produce danni consistenti sugli organismi viventi se in alte concentrazioni.

Inoltre può essere inglobato nelle goccioline di acqua e formare acido nitrico (HNO_3), altrettanto dannoso

I principali inquinanti atmosferici

Composti dello zolfo

- Prodotti da sorgenti naturali (per il 67%) come eruzioni vulcaniche (SO_2), evaporazione dallo spray marino (S_2) e decomposizione di materia organica in assenza di ossigeno (acido solfidrico H_2S), e da attività umane (per il 33%) correlate con l'uso di combustibili fossili e processi industriali.

  In atmosfera $SO_2 \rightarrow SO_3$ ed in presenza di umidità $SO_3 \rightarrow H_2SO_4$ acido solforico, molto corrosivo.

  Tutti i composti dello zolfo hanno alto potere infiammatorio.

Smog fotochimico

- Si forma per effetto dell'insolazione.

  In città NO_x, idrocarburi ed altri inquinanti formano miscele di aerosol e gas (O_3, formaldeide CH_2O, nitrati, …) molto irritanti per la salute

I principali inquinanti atmosferici

Particolato sospeso

Moltitudine di sottilissime particelle solide o liquide sospese in atmosfera (spray marino, erosione del suolo, attività vulcanica, emissioni industriali e reazioni tra gas). Tra i più comuni:

- **Polveri**: prodotte dall'erosione del suolo (favorite dalle pratiche agricole)
- **Fuliggini**: composte da particelle solide di carbone, emesse durante la combustione incompleta di combustibili fossili
- **Aerosol urbani**: metalli (Pb, Ni, Fe, Zn, Cu, Mg, Cd), polvere di amianto, pesticidi, fertilizzanti (a seconda della zona), spore di funghi, pollini. Se in alte concentrazioni, possono essere molto irritanti.

Lo smog

- Che cosa è lo smog? L'inquinamento atmosferico in grandi città industriali (o nelle regioni urbane) è denominato smog.
- Il termine "***smog***" è derivato dalle parole inglesi ***smoke*** (fumo) e ***fog*** (nebbia).
- Esistono almeno due tipi distinti di smog: quello di zolfo (detto anche smog 'del tipo di Londra'), e quello fotochimico (detto anche smog 'del tipo di Los Angeles')

Foto "storica" di New York

Smog di zolfo e fotochimico

- Lo **smog di zolfo** deriva da un'alta concentrazione di ossidi di zolfo nell'aria, ed è causato dall'uso dei combustibili fossili ricchi di zolfo, specialmente carbone.

- Lo **smog fotochimico**, che si presenta di più nelle aree urbane che hanno tantissime automobili, non è associato né a fumo né a nebbia.

  Questo tipo di smog ha origine negli ossidi dell'azoto e nei vapori di idrocarburi emessi dalle automobili e da altre fonti, che subiscono le reazioni fotochimiche nella bassa atmosfera.

Lo smog di zolfo

- Lo smog di zolfo si presenta nelle regioni dove l'emissione dei residui contenenti zolfo è alta (dovuto alla combustione del carbone per generare calore ed energia), e dove l'aria ha un alto contenuto liquido (per esempio, in zone con nebbia)
- La combustione del carbone produce anidride solforosa, fuliggine ed altri gas e particelle, che sono denominati fumo; lo smog tipico di Londra deriva dall'accumulo di fumo generato dalla combustione del carbone, che ha un elevato contenuto di zolfo, e contribuisce a produrre alte concentrazioni di acido solforico nelle goccioline della nebbia

Lo smog di zolfo

In atmosfera, le particelle dell'acido solforico si possono formare in due modi:

- Dissoluzione diretta di SO_2 in goccioline di acqua e successiva ossidazione in fase acquosa a solfato
- Conversione in fase gassosa di SO_2 in gas di acido solforico (H_2SO_4), che ha una bassa pressione di vapore e quindi, condensa facilmente sulle particelle.

La conversione in fase gassosa avviene in tre step:

$$SO_2 + OH + M \rightarrow HSO_3 + M$$

$$HSO_3 + O_2 \rightarrow SO_3 + HO_2$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

(M è un catalizzatore, che favorisce la reazione)

Lo smog fotochimico

- Lo smog fotochimico si presenta in regioni dove vi sono contemporaneamente:
  - alte emissioni (dovute alle automobili)
  - grandi concentrazioni di idrocarburi reattivi (RH) (per esempio dallo scarico dell'automobile o da altre fonti naturali o antropogeniche)
  - abbondanza di luce solare (livello elevato di radiazione UV)
- Esso si forma soprattutto come conseguenza delle interazioni fra gli ossidi dell'azoto (NO_x = NO + NO_2), gli idrocarburi reattivi e la luce solare.

Lo smog fotochimico

- Dapprima la sostanza inquinante primaria NO ed i vapori organici reattivi (RH) sono emessi dalle automobili.
- In primo luogo, RH si trasforma chimicamente in un radicale denotato R° (NB: R° può essere composto da molti atomi ed avere una struttura molecolare complessa):

$$RH + OH \rightarrow R^\circ + H_2O$$

$$R^\circ + O_2 + M \rightarrow RO_2^\circ + M$$

- Successivamente il radicale organico reagisce con NO formando NO_2:

$$RO_2^\circ + NO \rightarrow RO^\circ + NO_2$$

Lo smog fotochimico

- Nell'atmosfera urbana, la radiazione solare favorisce le seguenti reazioni:

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M \qquad (\text{per } \lambda < 0{,}42\ \mu m)$$

- Quindi, il processo generale di formazione dello smog fotochimico è ricapitolabile come:

$$RH + HO + NO + h\nu \rightarrow \ldots \rightarrow O_3 + NO_2 + HC$$

- La maggior parte della produzione di energia nel mondo proviene dalla combustione di composti organici, sia sotto forma di materia organica (legno) che di idrocarburi di gas naturale, di carbone, di petrolio e di altri combustibili fossili

Gli idrocarburi

- La **benzina** è una miscela di circa cento diversi alcani, alcheni ed idrocarburi aromatici, in modo da formare un combustibile efficace per il motore a combustione interna.
- Gli **alcani** (o paraffine) sono idrocarburi con un singolo legame carbonio-carbonio. La formula generale per gli alcani è C_nH_{2n+2} . Miscele di alcani si trovano sia nel petrolio che nel gas naturale. Il gas naturale è una miscela di metano (CH_4, 60-95%) e contiene una quantità minima di etano (C_2H_6), propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}) e pentano (C_5H_{12}), mentre il petrolio contiene una miscela di alcani più complessa.
- Gli **alcheni** sono idrocarburi con un doppio legame carbonio-carbonio. La formula generale per gli alcheni è C_nH_{2n} .
- Gli **alchini** sono idrocarburi con un triplice legame carbonio-carbonio. La formula generale per gli alchini è C_nH_{2n-2} .

Gli idrocarburi

- Gli **idrocarburi aromatici** sono idrocarburi che contengono almeno un anello di sei atomi di carbonio (benzene). Le specie organiche più ampiamente emesse come inquinanti sono metano, toluene, pentano, butano ed etano.
- Nel caso dell'**etano**, lo schema funziona nella maniera seguente: in primo luogo, l'etano (CH_3CH_3) è emesso dalle automobili. Allora un radicale dell'ossidrile attacca l'etano sottraendo un atomo di idrogeno per formare il radicale etilico $CH_3CH_2^{\circ}$. Quindi tale radicale etilico reagisce rapidamente con l'ossigeno per formare un radicale di etilperossido, ed infine il radicale di etilperossido reagisce allora con l'ossido nitrico formando biossido di azoto:

$$CH_3CH_3 + OH \rightarrow CH_3CH_2^{\circ} + H_2O$$

$$CH_3CH_2^{\circ} + O_2 + M \rightarrow CH_3CH_2O_2 + M$$

$$CH_3CH_2O_2 + NO \rightarrow NO_2 + CH_3CH_2O^{\circ}$$

Gli idrocarburi

- Quindi NO_2 va a formare O_3 ed il radicale entra in una catena delle reazioni. Centinaia di residui differenti possono essere prodotti dalle reazioni di RH. Uno dei più importanti è il **perossiacetilnitrato** (PAN). Quindi, gli idrocarburi secondari sono componenti importanti dello smog fotochimico.
- Insieme a NO_x ed ai gas organici, anche **CO** è un componente chiave dell'aria inquinata. La reazione chimica che coinvolge il CO in atmosfera è molto semplice:

$$CO + OH \rightarrow CO_2 + H$$

- Riassumendo, allo stadio iniziale vi sono NO, CO e RH; allo stadio finale si formano O_3, NO_2, CO_2 e PAN, insieme ad altri idrocarburi, alla foschia ed ad altri aerosol.

Le emissioni tipiche dello smog fotochimico

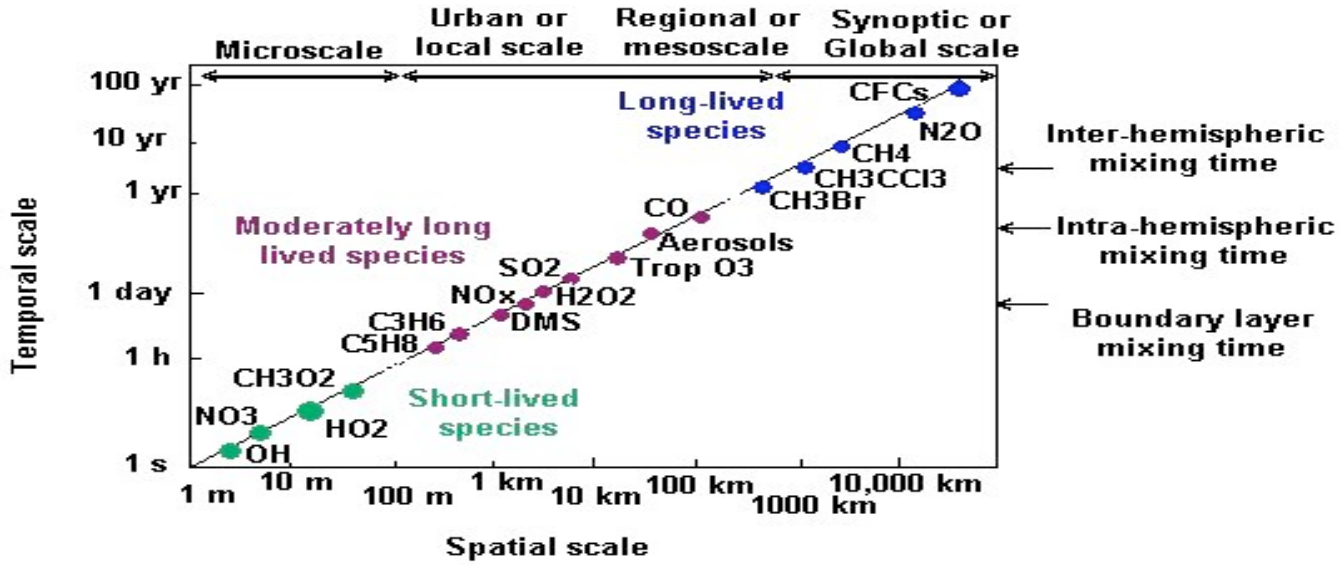
In molte grandi città è presente smog fotochimico. Tra le maggiori e più inquinate, ci sono: Città del Messico, Tokyo, Johannesburg ed Atene. Nella tabella seguente sono riportati i valori percentuali di CO, NO_x=SO+SO_2, SO_x=SO_2+SO_3 e le emissioni organiche reattive dei gas (ROG) per una città tipica

	CO	*NOx*	*SOx*	*ROG*
Sorgenti fisse				
Combustione del combustibile	**1,56**	**22,1**	**17,28**	**1,22**
Combustione di immondizia	**0,06**	**0,14**	**0,34**	**0,08**
Uso di solventi	**0,00**	**0,02**	**0,00**	**33,72**
Storage del petrolio	**0,13**	**0,75**	**14,40**	**7,75**
Processi industriali	**0,14**	**0,96**	**5,66**	**2,99**
Costruzione, ecc.	**0,11**	**0,06**	**0,06**	**4,19**
Totale sorgenti fisse	**2,00**	**24,03**	**37,74**	**49,95**
Sorgenti mobili				
Veicoli su strada	**87,47**	**54,97**	**23,53**	**43,96**
Altri veicoli mobili	**10,53**	**21,0**	**38,73**	**6,09**
Fonti mobili totali	**98,0**	**75,97**	**67,26**	**50,05**

Confronto tra tipi di smog

Caratteristiche	Tipo di zolfo	Tipo fotochimico
Riconosciuto per primo nel	Secoli fa	Intorno al 1940
Inquinanti primari	SO_2, particelle di soot	NO_x, particelle organiche
Inquinanti secondari	H_2SO_4, aerosol solfati, ecc.	O_3, PAN, particelle organiche, acidi, aerosol, ecc.
Temperatura	Freddo (< 2°C)	Caldo (> 24°C)
Umidità relativa	Alta, di solito condizioni nebbiose	Bassa, di solito calda e secca
Tipo di inversione termica	Inversione per radiazione	Inversione per subsidenza
Picco di inquinamento	Prima mattina	Da mezzogiorno a sera

Le scale dei processi atmosferici



Fenomeno	Scale di lunghezza (Km)
Inquinamento urbano dell'aria	1 - 100
Inquinamento dell'aria a scala regionale	10 - 1000
Deposizioni e piogge acide	100 - 2000
Inquinanti tossici dell'aria	0.1 - 100
Riduzione dell'ozono stratosferico	1000 - 40000
Incremento dell'effetto serra	1000 - 40000
Aerosol-climate interactions	100 - 40000
Trasporto troposferico e processi di ossidazione	1 - 40000
Scambi stratosfera-troposfera	0.1 - 100
Stratospheric transport and oxidation processes	1 - 40000

Si distinguono in linea di massima le seguenti scale:

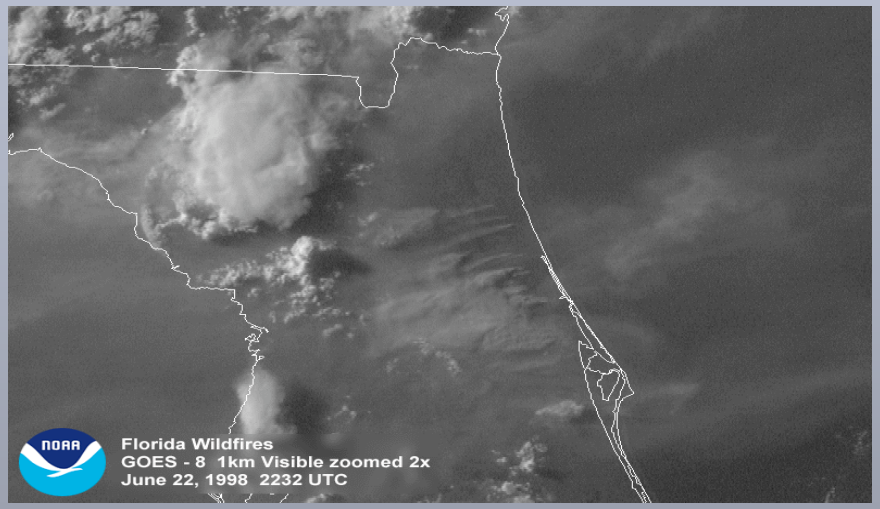
- Microscala (0-100 m) – ad es. i meandri e la dispersione di un pennacchio
- Mesoscala (10-100 Km) – ad es. brezze, fronti atmosferici
- Scala sinottica (100-1000 Km) – ad es. i sistemi atmosferici
- Scala globale (> 5000 Km)

Le scale dei modelli

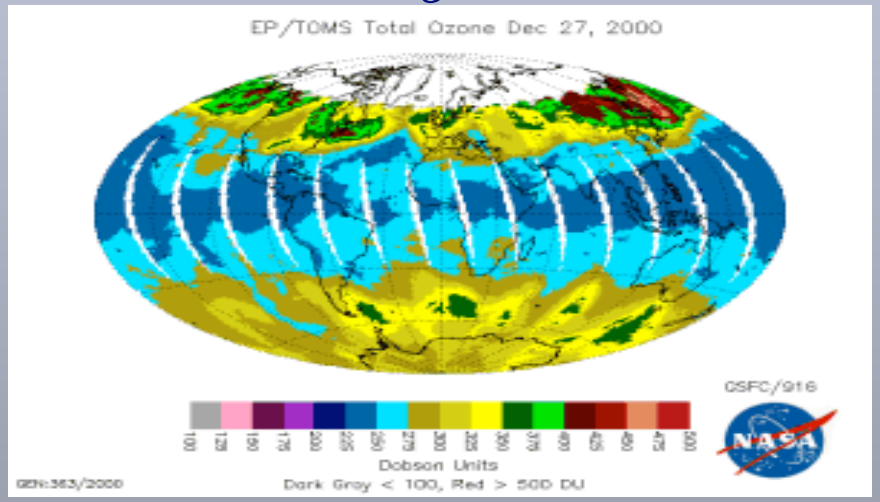
Microscala 0-1 Km

Scala locale 1-10 Km

Scala regionale o mesoscala 10 – 1000 Km

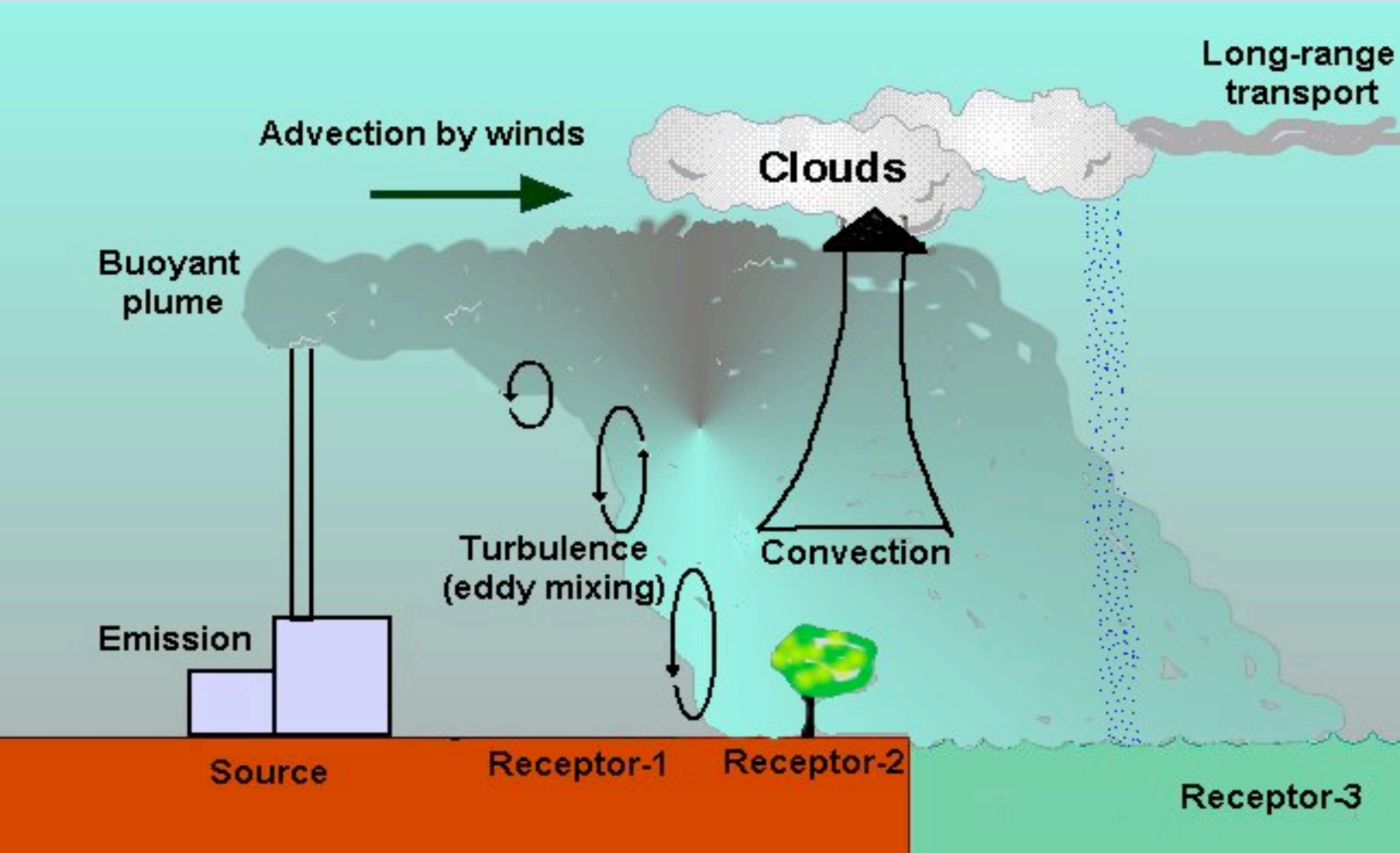


Scala sinottica - globale >1000 Km



I processi atmosferici di trasporto

Gli inquinanti sono dispersi da una varietà di processi che coinvolgono i movimenti dell'aria. Tra di essi: diffusione, turbolenza, convezione ed avvezione.



La diffusione

- La diffusione (molecolare) rappresenta il moto medio delle particelle (ad es.: molecole) causato dalle collisioni con le altre particelle.
- La distanza media tra due urti dipende dalla frequenza delle collisioni
- Tale processo non è molto efficace ai fini del trasporto a causa dell'alta frequenza delle collisioni stesse (in condizioni di atmosfera standard cioè per pressioni $p \approx 1013$ hPa e temperature $T \approx 23°C$ si hanno circa 10^9 collisioni/s)
- Un inquinante può essere diffuso da un punto all'altro soltanto se non è uniformemente rimescolato in atmosfera (cioè se c'è un gradiente)

La diffusione

- In presenza di turbolenza (o di diffusione turbolenta), si ha un movimento irregolare delle particelle dovuto al fatto che il vento cambia costantemente velocità e direzione
- Questo movimento è molto complesso e può di solito essere scomposto in vortici individuali
- La turbolenza è prodotta dalla combinazione di tutti i vortici agenti simultaneamente.
- Essa rimescola e ridistribuisce il vapore acqueo, gli inquinanti e l'energia.

La convezione

- È un moto verticale guidato dalle forze di galleggiamento
- È un fenomeno localizzato, generato *in primis* dal riscaldamento superficiale diurno
- I vortici convettivi di tutte le dimensioni che formano la turbolenza "collaborano" a creare lo strato rimescolato diurno
- L'altezza dello strato rimescolato dipende dal grado di riscaldamento superficiale e dalla stabilità atmosferica. Più la superficie è calda e meno l'atmosfera è stabile, più lo strato rimescolato è spesso.
- Di notte, o con climi più freddi, o ancora sugli oceani, la forza di galleggiamento che favorisce la convezione genera turbolenza più debole e quindi moti convettivi più deboli
- La convezione "solleva" gli inquinanti dalla superficie
- In una colonna di aria ascendente, la precipitazione può formare e ripulire gli inquinanti solubili
- La convezione trasporta alcuni inquinanti ai livelli più alti dove i venti prevalenti sono sufficientemente intensi per disperderli

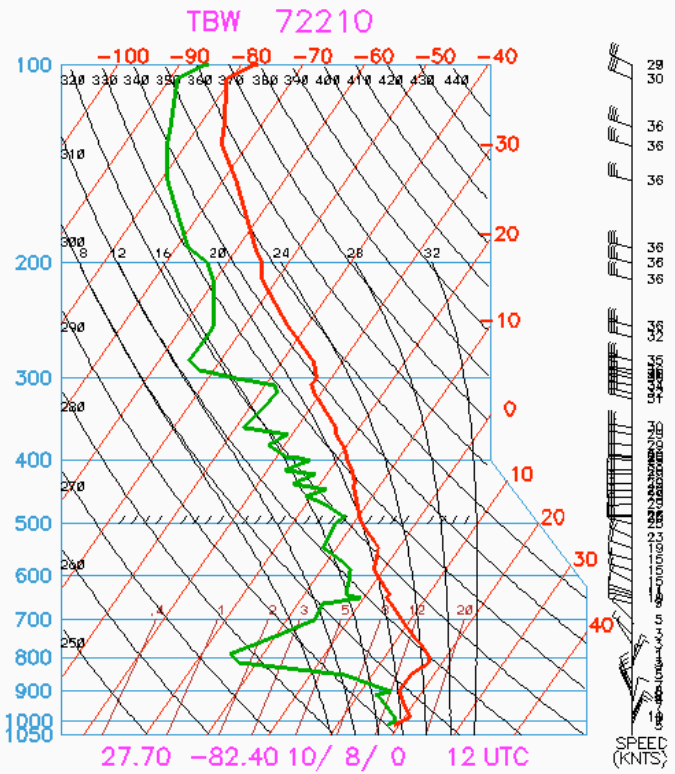
L'avvezione ed il trasporto a grande distanza

- L'avvezione è dovuta prevalentemente ai movimenti orizzontali dell'atmosfera, ed i venti prevalenti sono noti come venti avvettivi
- I venti più intensi si trovano nell'alta troposfera, vicino alla tropopausa, e più specificatamente nelle correnti a getto, dove la loro velocità può anche raggiungere i 400 Km/h (mentre alla superficie di solito variano in media tra 10 e 20 Km/h)
- Importanza del trasporto avvettivo degli inquinanti:
  - L'avvezione elimina gli inquinanti vicino alla sorgente, trasportandoli a "grande" distanza da essa
  - L'avvezione agisce diluendo la concentrazione degli inquinanti
  - L'avvezione è il processo responsabile del trasporto "a grande distanza" degli inquinanti sottovento alle sorgenti

I fattori che influenzano il trasporto

- I profili verticali di temperatura, di umidità relativa, pressione, velocità e direzione del vento
- Il flusso di energia termica (la radiazione solare)
- L'albedo (= la riflettività) superficiale, il rapporto di Bowen (cioè il rapporto tra il flusso di calore sensibile ed il flusso di calore latente), la rugosità superficiale
- L'orografia e le caratteristiche del terreno

I flussi turbolenti di calore sono flussi di energia dovuti alla convezione; quello di calore sensibile è provocato da una differenza di temperatura, mentre quello di calore latente è provocato da una differenza di contenuto di vapore acqueo



Profili verticali di temperatura (in rosso), temperatura di rugiada (in verde) e vento (a destra) relativi alla località di Tampa, in Florida, alle ore 12 UTC

I processi di rimozione: la sedimentazione

L'inquinamento viene rimosso dall'atmosfera per sedimentazione gravitazionale, deposizione secca e deposizione umida

- La **sedimentazione gravitazionale** è rappresentata dal moto verso il basso delle particelle inquinanti (sia gas che aerosol) dovuto alla forza gravitazionale, ed interessa principalmente le particelle (o molecole) con dimensioni maggiori di 1 μm (per le particelle di dimensioni inferiori, la forza gravitazionale non è sufficiente a vincere le forze di galleggiamento); ovviamente, la sedimentazione è tanto più rapida quanto maggiore è il raggio delle particelle

I processi di rimozione: la deposizione

- La **deposizione secca** è un processo che favorisce l'eliminazione di gas e particelle fini dallo strato superficiale dell'atmosfera; tali particelle si depositano su qualsiasi superficie aderendo ad essa. Ad esempio, le particelle possono depositarsi su alberi, edifici, erba, superfici marine, finestrini delle automobili ed ogni altra superficie
- La **deposizione umida** è un processo nel quale le goccioline di acqua presenti nelle nubi, oppure quelle di pioggia, cadendo verso la superficie, inglobano la particelle e/o i gas. La capacità da parte delle goccioline di eliminare gli inquinanti dipende dalla loro concentrazione (nel caso della pioggia, dall'intensità della pioggia), dalle dimensioni delle gocce, dalla loro elettricità statica e dalla loro solubilità in acqua

La deposizione secca

- Rappresenta il “trasporto di gas e particelle verso la superficie in assenza di precipitazione”
- I fattori che governano la deposizione secca sono:
  - La turbolenza atmosferica
  - Le proprietà chimico-fisiche dell’inquinante atmosferico
  - La natura della superficie

La velocità di deposizione

- Nello strato di pochi metri al di sopra della superficie, il flusso di deposizione secca è proporzionale alla concentrazione della specie in deposizione (legge di flusso-gradiente):

$$F = -v_d C$$

dove

F è il flusso verticale (massa per unità di area e tempo)

C è la concentrazione (massa per unità di volume: è una densità)

v_d è una costante di proporzionalità ed ha le dimensioni di una velocità di deposizione (lunghezza per unità di tempo)

C e v_d sono funzioni dell'altezza z

Il segno tiene conto del fatto che un flusso F verso il basso è per definizione negativo, e quindi v_d è positivo per le specie in deposizione

I modelli a resistenza per la deposizione secca dei gas

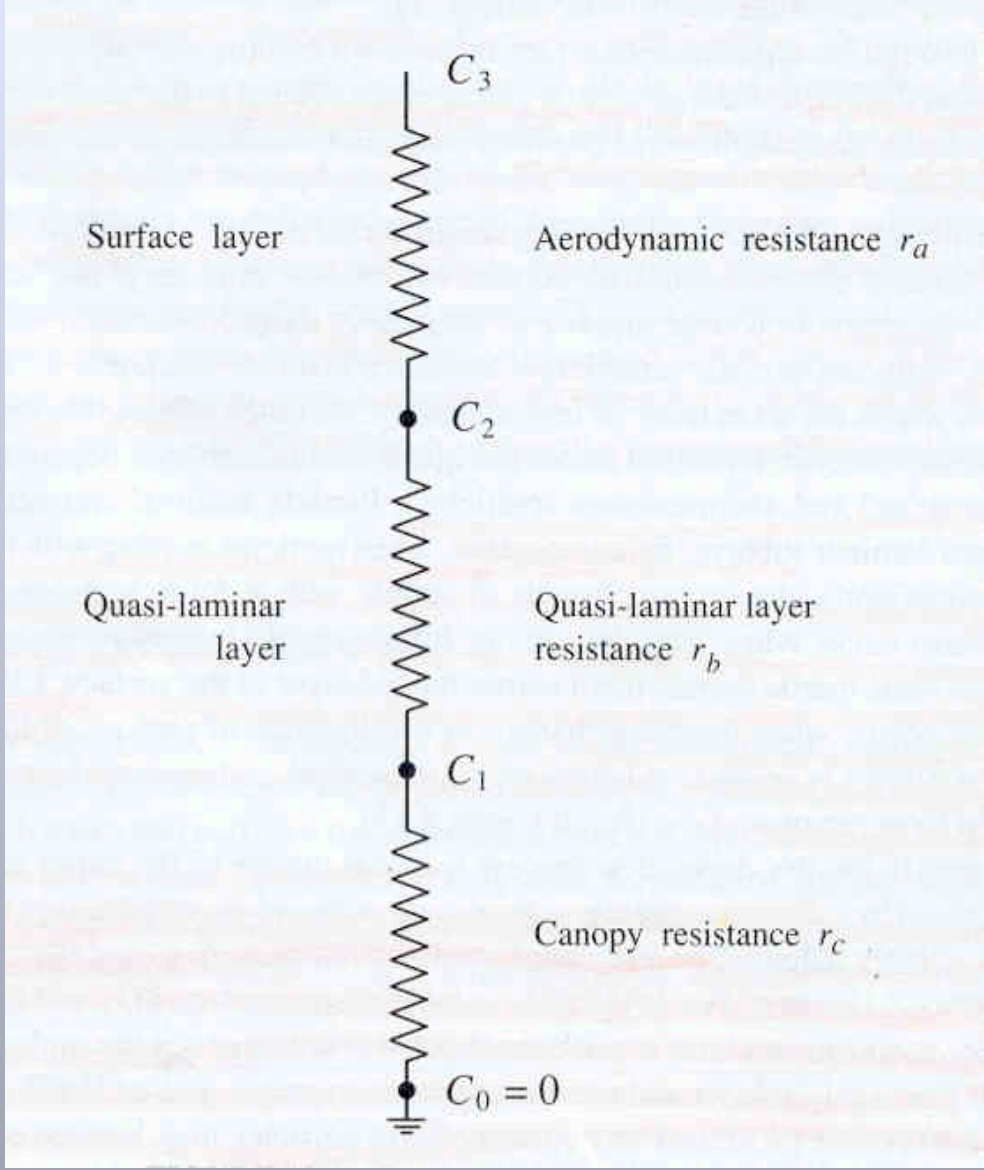
- La resistenza è calcolata in analogia con I circuiti elettrici come serie di tre resistenze

$$v_d^{-1} = r_t = r_a + r_b + r_c$$

- Il flusso è dato dal rapporto tra differenze di concentrazioni e resistenze

$$F = \frac{C_3 - C_2}{r_a} = \frac{C_2 - C_1}{r_b} = \frac{C_1 - C_0}{r_c} = \frac{C_3 - C_0}{r_t}$$

dove $C_0 = 0$

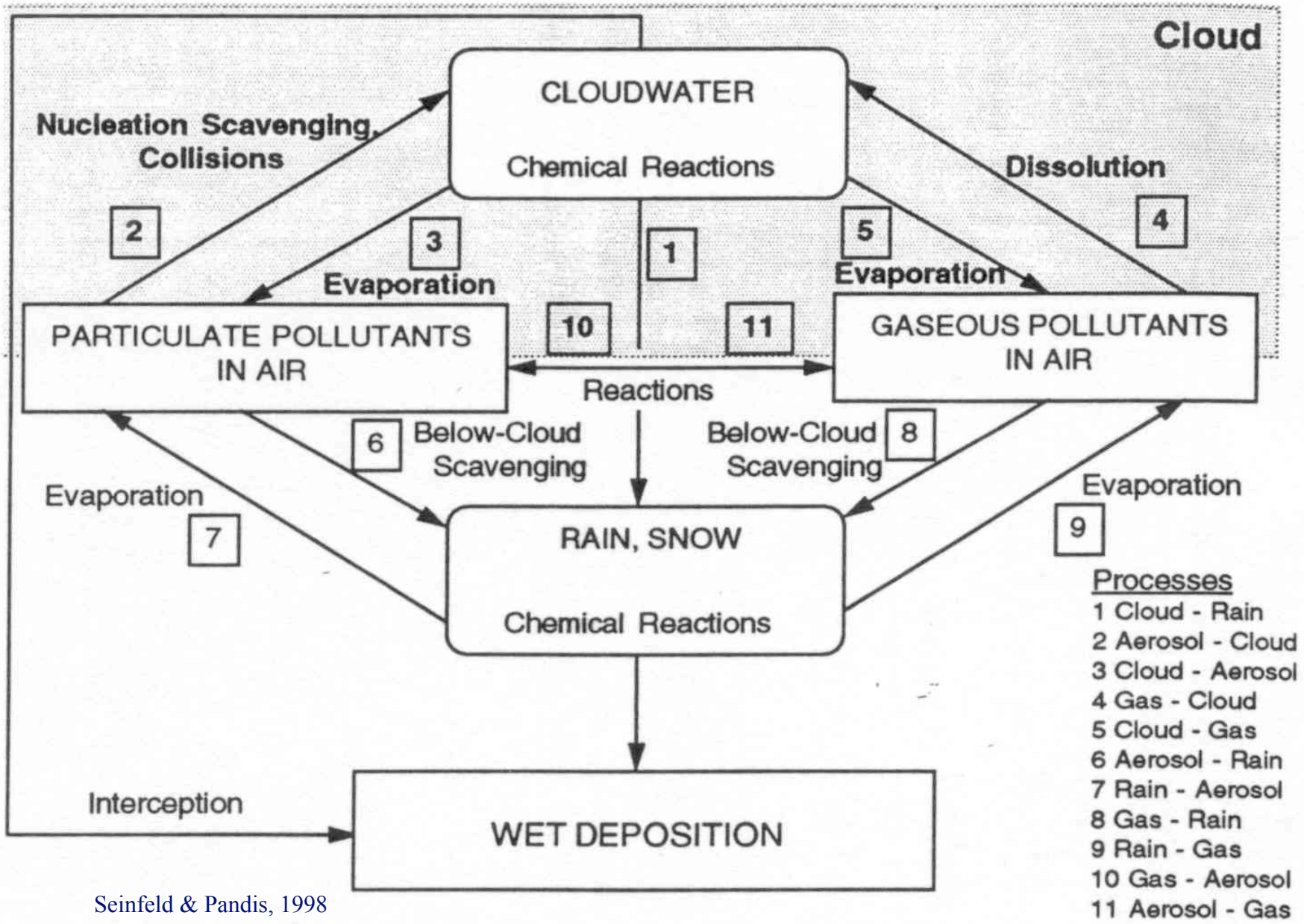


Seinfeld & Pandis, 1998

La deposizione umida

- Gli inquinanti atmosferici possono essere “lavati” dall'aria ad opera delle idrometeore (pioggia, nubi, nebbia, neve, ghiaccio)
- Sinonimi di deposizione umida sono dilavamento per precipitazioni (*precipitation scavenging*), rimozione umida (*wet removal*), lavaggio (*washout* e *rainout*)
- Perchè si verifichi la deposizione umida:
  1. I gas o gli aerosol devono essere trasportati in prossimità della zona interessata dalle idrometeore
  2. I gas o gli aerosol devono essere trasferiti, catturati o dilavati dalle idrometeore
  3. Le idrometeore devono raggiungere la superficie terrestre
- È un processo a multifase (gas, aerosol, acqua, ghiaccio)
- La fase “acquosa” include acqua liquida nelle nubi, pioggia, neve, cristalli di ghiaccio, grandine
- Gli aerosol e le fasi acquose hanno distribuzioni di grandezze
- I processi avvengono in modo diverso nelle nubi e sotto le nubi
- Molti processi sono reversibili

I processi coinvolti nella deposizione umida



Seinfeld & Pandis, 1998

Il rapporto ed il coefficiente di dilavamento

Definito:

w_r = concentrazione di materiale della precipitazione al livello superficiale / concentrazione di materiale nell'aria al livello superficiale

il flusso di deposizione umida vale:

$$F_w = C_{i,precip}(x, y, 0, t)p_0$$

p_0 = intensità di precipitazione, pari a 0.5 mm h^{-1} per pioviggini ed a 25 mm h^{-1} per piogge intense e violente

I coefficienti di dilavamento (scavenging) Λ sono definiti per gas ed aerosol come:

$$W^i_{gas/rain} = \Lambda_{ig} C_{i,gas}$$

$$W^i_{aerosol/rain} = \Lambda_{ip} C_{i,particle}$$

dove le grandezze W rappresentano i ratei di trasferimento di un gas solubile o di una particella sotto le nubi

Chi produce l'inquinamento atmosferico?

Le prime cose da sapere sono le caratteristiche degli "inquinatori" :

- Sorgenti puntiformi o non puntiformi?
- Sorgenti stazionarie o mobili?
- La geometria dell'emissione (su un punto, una superficie, una linea, un volume)?
- Le emissioni galleggiano o non galleggiano?
- Le emissioni sono istantanee o stazionarie?

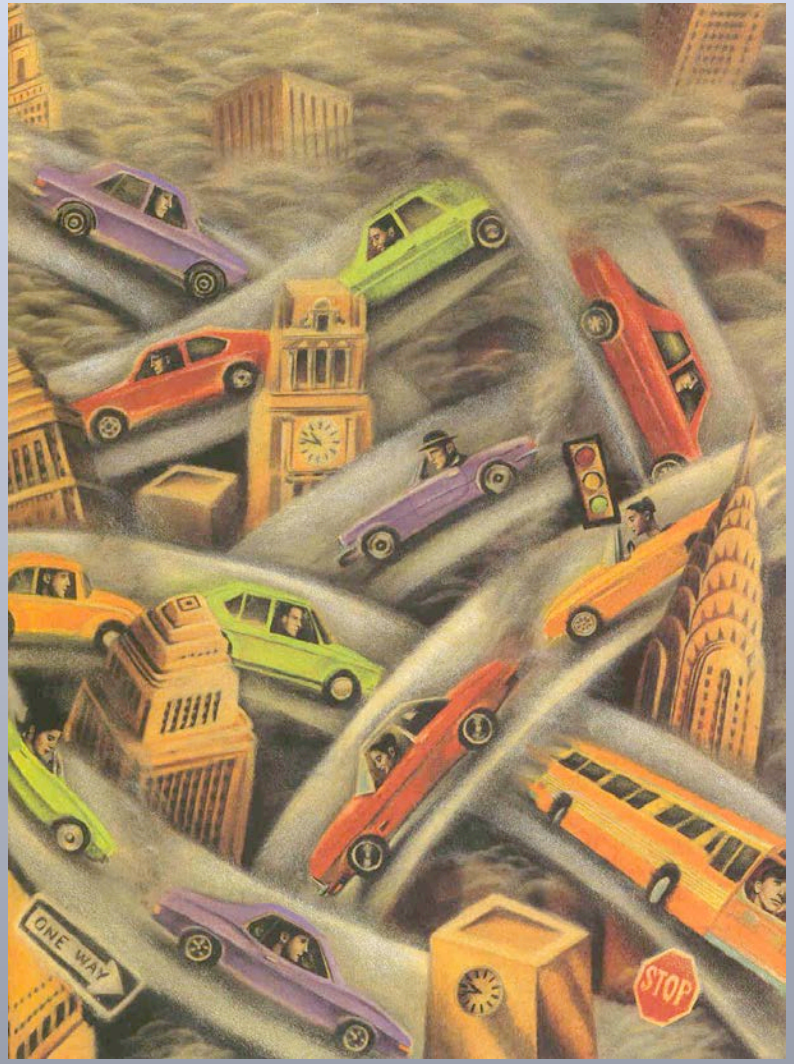
Sorgenti puntiformi o non puntiformi

- Puntiforme
- Non puntiforme

Sorgenti stazionarie o mobili

- Stazionaria

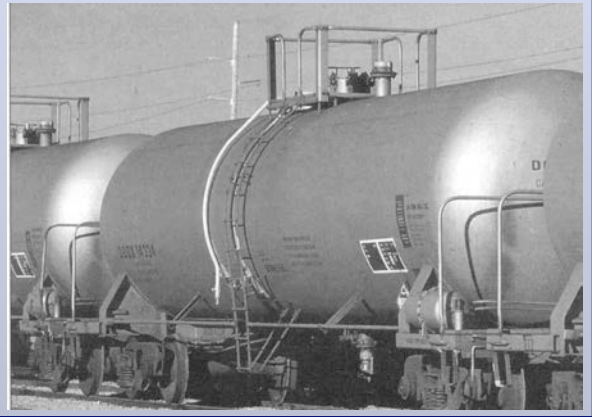
- Mobile



Geometria di rilascio

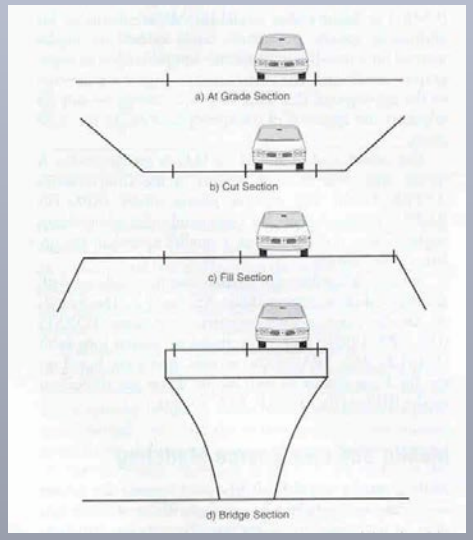
Puntiforme

Volume



Area

Lineare



Lineare

Scarico attraverso una valvola aperta

Le emissioni galleggiano o non galleggiano

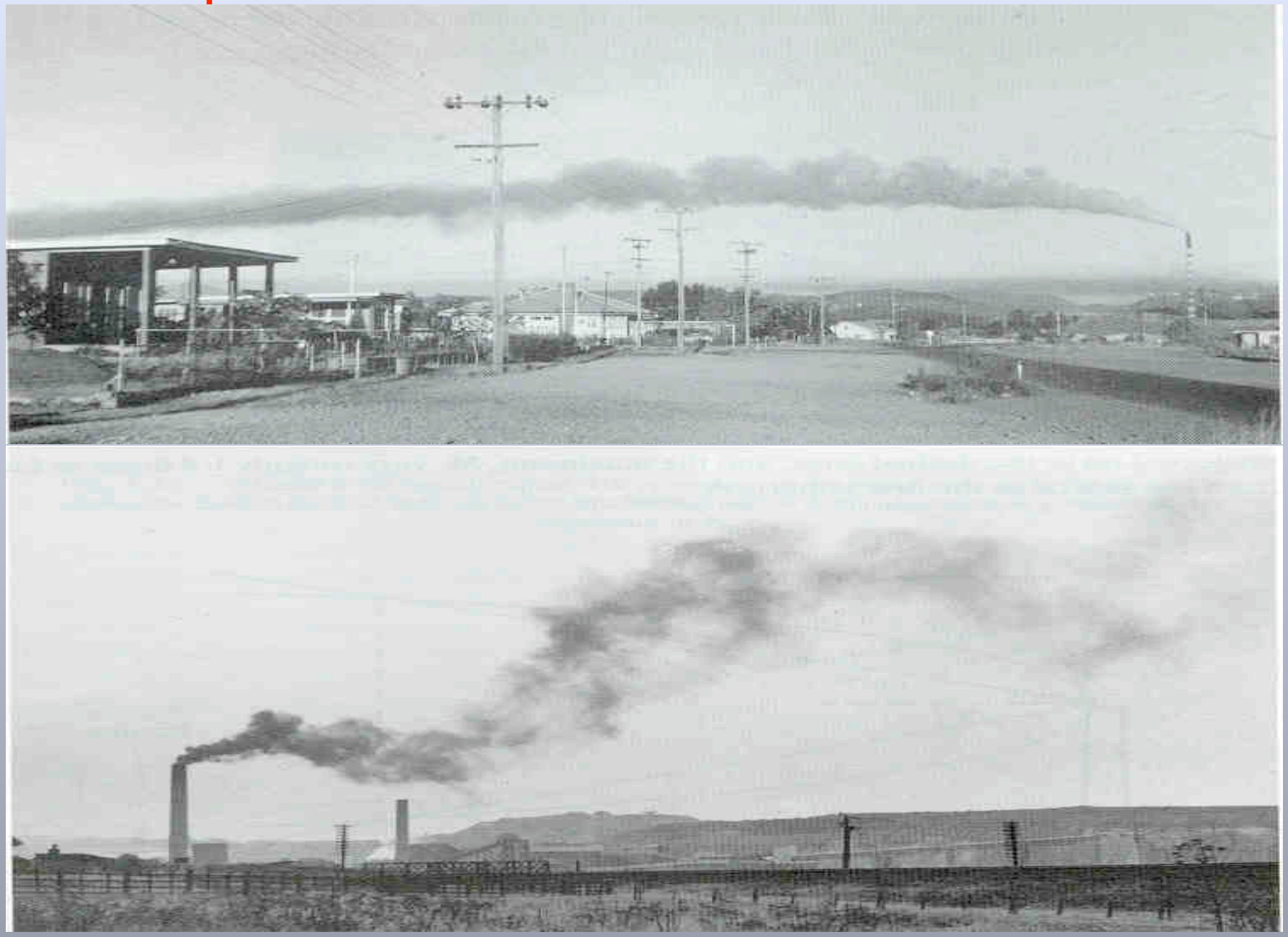
- Galleggiano

- Non galleggiano

Emissioni istantanee o stazionarie

- Istantanee
- Stazionarie

Importanza della stabilità atmosferica



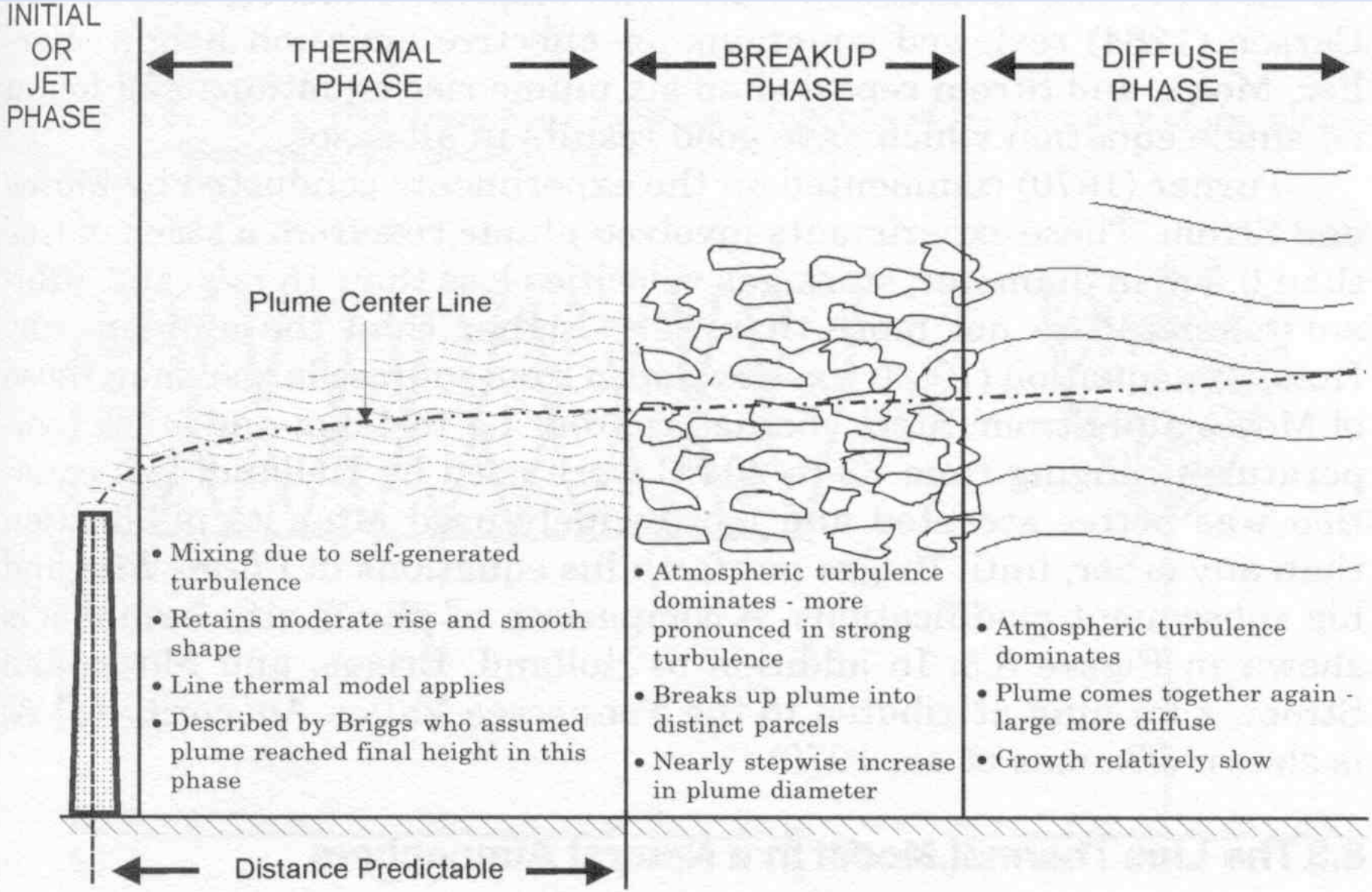
Fattori da considerare nella modellistica

- Scopo della modellazione
- Distanza dalla sorgente
- Elevazione
- Area coperta
- Stazioni di monitoraggio
- Collocazione geografica
- Caratteristiche del sito
- Concentrazione e composizione dell'inquinante
- Densità dei gas, velocità del vento, temperatura, pressione, …
- Altezza e diametro della ciminiera

Tipi di pennacchio

- Galleggiante
  galleggiamento iniziale >> quantità di moto iniziale
- Forzato
  galleggiamento iniziale ≅ quantità di moto iniziale
- A getto
  galleggiamento iniziale << quantità di moto iniziale

Descrizione del pennacchio



I dati di emissione

- Tassi di emissione reali e consentiti (g/s)
- Carico massimo di emissioni progettato a breve termine
- Caratteristiche associate emissioni/ciminiera:
  - Posizione
  - Altezza della ciminiera, diametro di uscita, velocità, temperatura
- Area sorgente delle emissioni (rateo, dimensioni, altezza)
- Posizione e dimensioni degli edifici
- Previsione della variazione delle crescite

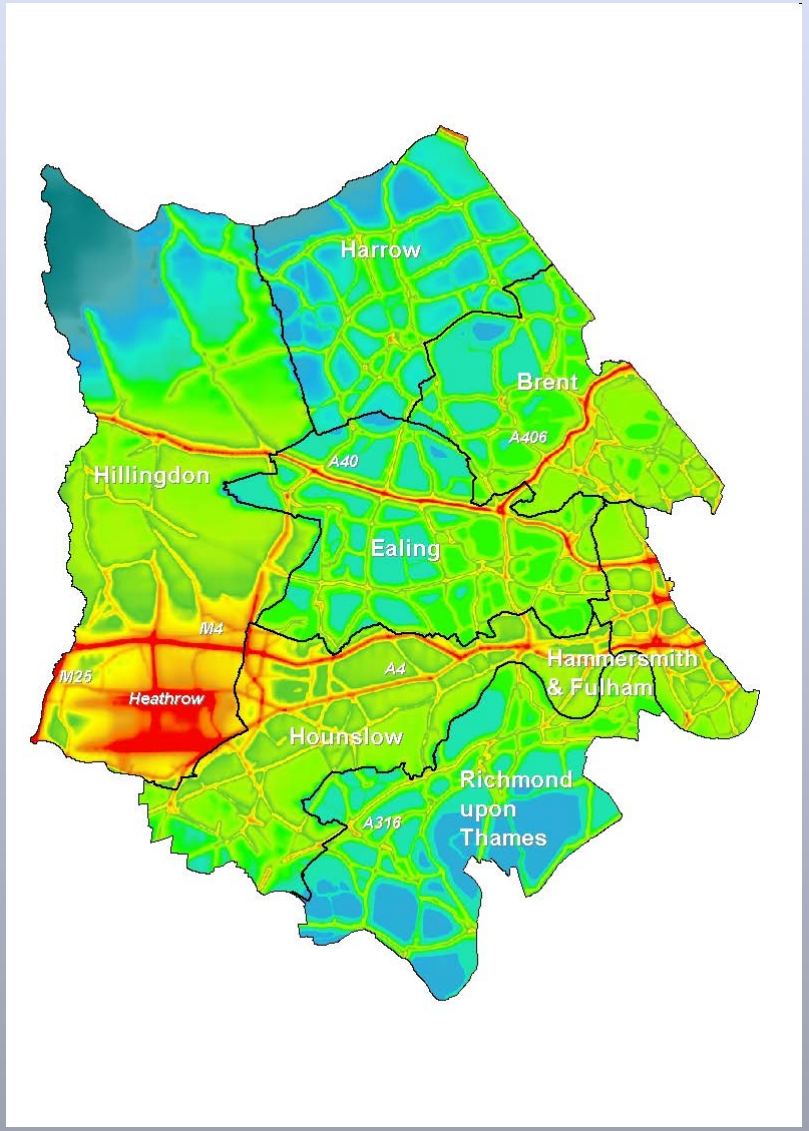
La tossicità dell'aria

- Emissioni accidentali e gestione del rischio
- Rilascio di gas più densi dell'aria
- Esposizione e valutazione dei rischi
- Stato delle norme sulla qualità dell'aria ambientale

Foto di Chernobyl, Russia: impianto nucleare dopo l'esplosione del 1986

Analisi di mappe di qualità dell'aria

- Aree Urbane
- Prevenzione di deterioramento significativo (PSD) nelle aree di classe I
- Aree di non realizzazione
- Caratteristiche topografiche
- Principali fonti esistenti/ proposte
- Osservazioni meteorologiche del sito
- Staizoni di monitoraggio della qualità dell'aria



Inventario dell'analisi di qualità dell'aria

- Mappa della posizione delle sorgenti
- Informazioni sulle caratteristiche urbane / rurali
- Inventario delle emissioni e parametri di funzionamento/ progetto per le principali fonti all'interno della regione di impatto ambientale significativo per il sito proposto
- Dati di monitoraggio della della qualità dell'aria
- Dati meteorologici
- Analisi della modellistica di qualità dell'aria
- Confronto con i livelli accettabili di qualità dell'aria
- Documentazione e linee guida per le metodologie modellistiche