

1. INTRODUZIONE

La tutela dell'ambiente nel suo complesso e in particolare il controllo della qualità dell'aria, che ne rappresenta uno degli aspetti principali, sono problematiche che hanno visto crescere il loro interesse in maniera cospicua in questi ultimi tempi [1].

Questo delicato problema è evidentemente molto complesso, in quanto dipende dall'interazione di numerosi fattori difficili da trattare, come ad esempio le condizioni climatiche, che influenzano in modo determinante i tassi di inquinamento atmosferico.

Ne deriva che la relazione tra l'intensità di emissione della sorgente inquinante e l'inquinamento risultante non è affatto immediata [2].

1.1 Inquinamento atmosferico

L'aria è una miscela eterogenea formata da gas e particelle di varia natura e dimensioni. La sua composizione si modifica nello spazio e nel tempo per cause naturali e dovute all'uomo, cosicché risulta arduo definirne le caratteristiche di qualità. L'impossibilità di individuare le proprietà di un ambiente incontaminato di riferimento induce ad introdurre il concetto di inquinamento atmosferico stabilendo uno standard convenzionale per la qualità dell'aria. Si ritiene quindi inquinata l'aria la cui composizione eccede limiti stabiliti per legge, allo scopo di evitare nocivi effetti sull'uomo, sugli animali, sulla vegetazione, sui materiali o sugli ecosistemi in generale.

I fenomeni di inquinamento sono il risultato di una complessa competizione tra fattori che portano ad un accumulo degli inquinanti ed altri che invece determinano la loro rimozione e diluizione in atmosfera. L'entità e le modalità di emissione (sorgenti puntiformi, sorgenti diffuse, altezza

Introduzione

dell'emissione, ecc.), i tempi di persistenza degli inquinanti, il grado di mescolamento, sono alcuni dei principali fattori che producono variazioni spazio-temporali della composizione dell'aria [2].

1.1.1 Caratteristiche della troposfera

La troposfera ed in particolare la sua parte vicina al suolo è una porzione di atmosfera in cui hanno luogo il trasporto e la diffusione degli inquinanti emessi nei pressi della superficie terrestre.

Anche se a rigore tale fenomeno non è confinato in una porzione ben definita di atmosfera, l'evidenza sperimentale mostra che la maggior parte dell'inquinamento atmosferico derivante da sorgenti che emettono in prossimità del suolo resta intrappolato in una porzione limitata di troposfera. La troposfera è quello strato d'aria, dello spessore medio di circa 11 chilometri alle nostre latitudini, a contatto diretto con la superficie terrestre, con caratteristiche chimico-fisiche molto differenti da quelle tipiche delle parti più elevate dell'atmosfera. La ragione di tale individualità risiede nel fatto che le grandezze meteorologiche che la contraddistinguono sono fortemente influenzate dalla presenza della superficie terrestre e sono variabili con la quota. Quando, dentro alla troposfera, si analizza l'atmosfera a quote inferiori rispetto allo spessore massimo, si notano, nei profili verticali delle principali variabili meteorologiche, discontinuità e variazioni tanto significative da evidenziare nelle immediate vicinanze della superficie terrestre uno strato d'aria (dello spessore dell'ordine del chilometro) con caratteristiche chimico-fisiche ben definite (figura 1.1).

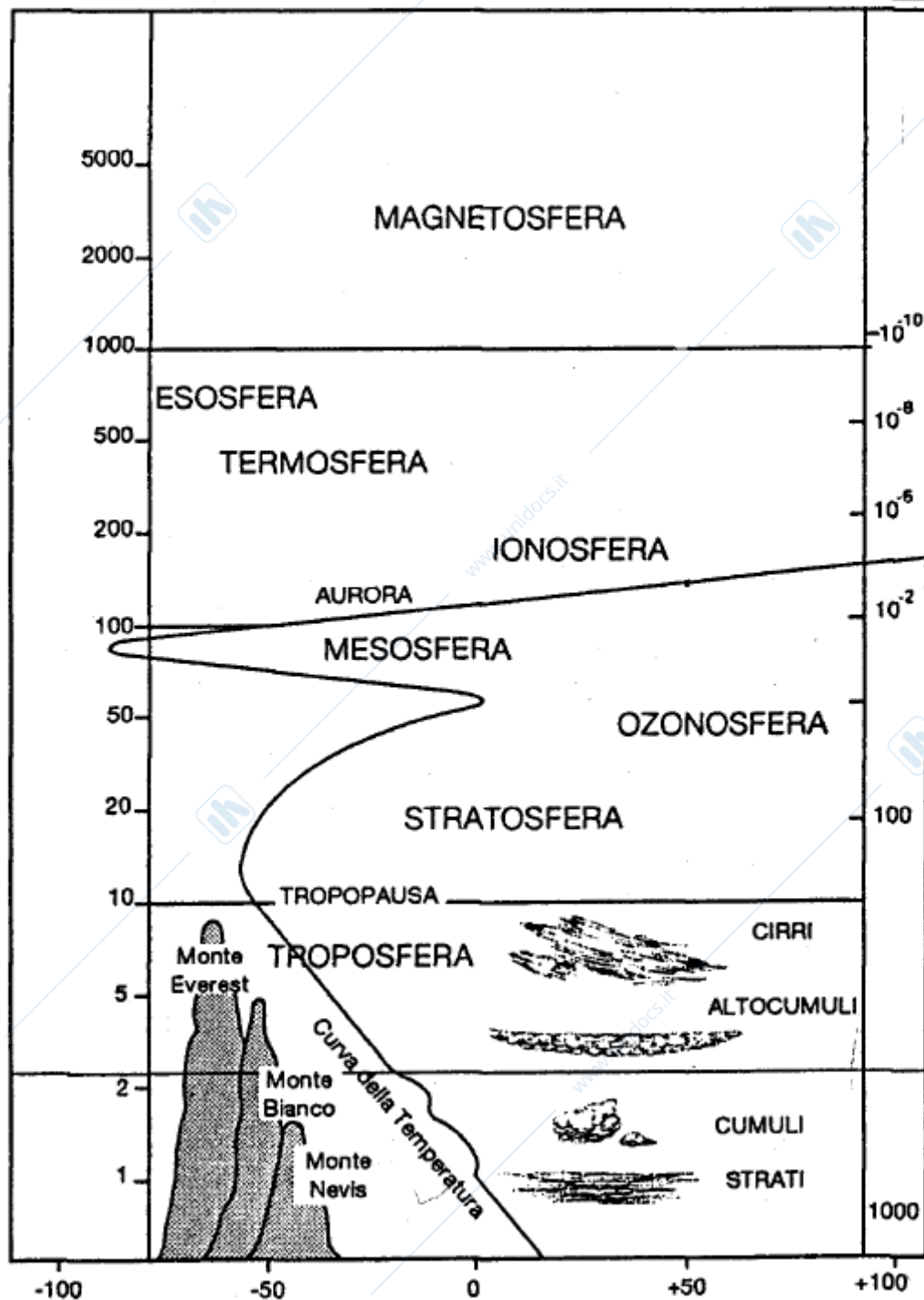


Figura 1.1 Gradiente termico verticale in atmosfera

In questo particolare strato d'aria la presenza del suolo genera una serie di comportamenti tra i quali i più importanti sono i fenomeni vorticosi turbolenti meccanici e termici, ossia quelli che producono una distorsione del movimento delle masse d'aria in presenza di una particolare orografia

Introduzione

superficiale e quelli che producono vortici convettivi legati all'alternarsi del ciclo terrestre giorno – notte.

1.1.1.1 Il Planetary Boundary Layer

Abbiamo definito precedentemente la troposfera, sottolineando il suo comportamento differente man mano che ci si avvicina al suolo, e abbiamo rilevato che ad una altezza di circa 1-2 Km dalla superficie le variabili meteorologiche cambiano in modo sostanziale.

Tale strato di troposfera viene generalmente indicato col termine Planetary Boundary Layer (PBL) o Atmospheric Boundary Layer (ABL) per contrapporlo al resto della troposfera sovrastante denominata Free Atmosphere (FA).

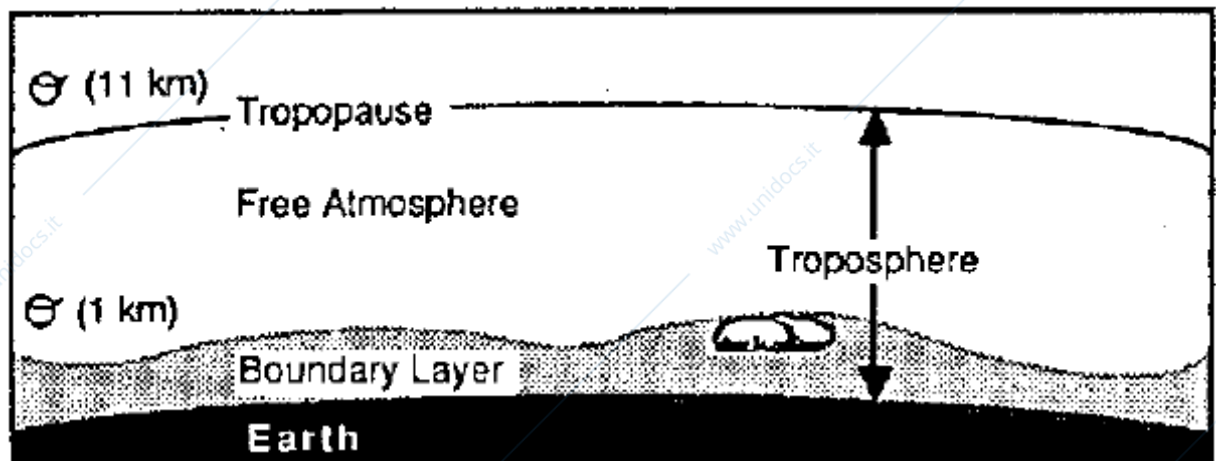


Figura 1.2 Struttura verticale della troposfera [1].

Una possibile prima definizione di PBL, considerando i termini fin qui introdotti, è la seguente:

il PBL è quella porzione di troposfera direttamente influenzata dalla superficie terrestre e che risponde alle immissioni di energia da essa provenienti con scale temporali dell'ordine dell'ora.

Introduzione

Le perturbazioni indotte dal suolo sono di vario tipo; le principali includono resistenze di attrito al movimento delle masse d'aria dovute al tipo di orografia presente, fenomeni di evaporazione e traspirazione indotti dalla presenza di acqua e piante, trasferimento e perdita di calore dovuto al ciclo giorno – notte ed emissione di inquinanti.

La scala temporale oraria introdotta nella definizione trae origine da un diverso comportamento della free atmosphere rispetto al planetary boundary layer, in risposta alle perturbazioni superficiali. Questa risposta viene analizzata con scale temporali dell'ordine dei 15 - 60 minuti nel PBL, perché è in questo intervallo di tempo che hanno inizio delle alterazioni significative delle variabili meteorologiche in risposta alle perturbazioni, a differenza di quanto avviene nella "free atmosphere" dove non si riscontra questo comportamento legato alla stessa scala temporale. Ciò comunque non implica che il PBL raggiunga uno stato di equilibrio in questo intervallo di tempo.

Analizzando l'evoluzione verticale del PBL, partendo dalla superficie, si riscontra che lo spessore di tale strato è variabile nel tempo e nello spazio, e può andare da alcune centinaia di metri a qualche chilometro. Normalmente tale variabilità temporale è legata all'alternarsi del giorno e della notte. La presenza di un evidente ciclo diurno nell'evoluzione dello spessore del PBL e nella temperatura dell'aria suggerisce che, in pratica, il PBL trasforma l'energia solare disponibile in movimento delle masse d'aria [1].

Durante la notte e nel corso della stagione fredda, il PBL tende ad assottigliarsi, mentre durante il giorno e la stagione calda, esso tende ad ispessirsi. Le due cause di ciò risiedono nella velocità del vento e nello spessore dell'aria in funzione della temperatura. Venti di forte intensità consentono un maggiore rimescolamento convettivo. Questo rimescolamento convettivo determina l'espansione del PBL. Di notte, il PBL si contrae a causa della riduzione del numero di termiche risalenti dalla

Introduzione

superficie terrestre. L'aria fredda è più densa di quella calda, di conseguenza il PBL tenderà ad essere meno profondo durante la stagione fredda [3].

1.2 Meteorologia dell'inquinamento atmosferico

I più importanti fattori meteorologici che interessano i fenomeni di inquinamento atmosferico nel PBL sono [4]:

- il vento, che nel PBL è turbolento e soffia a raffiche. L'attrito superficiale dovuto alla vegetazione ed alla topografia provoca piccoli vortici turbolenti e lo sviluppo di vento con caratteristiche caotiche. Al di sopra del PBL, la velocità del vento è molto più uniforme e forte in relazione ad una netta diminuzione dell'influenza dell'attrito. Procedendo dalla base fino alla sommità del PBL, è comune notare la rotazione del vento o il suo rinforzarsi. Ciò spesso è dovuto alla diminuzione della grandezza della forza attrito con l'altezza.
- la stabilità atmosferica, che è un indicatore della turbolenza atmosferica alla quale si devono i rimescolamenti dell'aria e quindi il processo di diluizione degli inquinanti. Il livello di turbolenza del PBL cresce al crescere della velocità del vento, della rugosità della superficie terrestre e dell'instabilità atmosferica;
- la temperatura che nel PBL è dominata in maggior misura dall'avvezione e dalle cessioni di energia termica rispetto ai livelli ad esso soprastanti. La più netta variazione di temperatura si verifica entro il PBL. Esso può riscaldarsi in maniera significativa durante il giorno, e raffreddarsi di notte, mentre il resto dell'atmosfera permane ad una temperatura abbastanza uniforme. Il PBL è il maggior fornitore di calore e di umidità dei temporali. Per questo è importante monitorare le avvezioni di temperatura e le

Introduzione

avvezioni di umidità. Un incremento di umidità e calore nel PBL determinerà una maggiore instabilità nell'atmosfera [3].

- le inversioni termiche, che determinano l'altezza del PBL [5]; l'inversione termica è un particolare fenomeno atmosferico e meteorologico. Normalmente, all'aumentare della quota altimetrica la temperatura dell'aria diminuisce, perché, al contatto con il suolo l'aria si riscalda e tende a diminuire il suo peso specifico e ad alzarsi. Questo ha come risultato che, una volta riscaldata e salita di quota, l'aria è sottoposta a una pressione inferiore, essa pertanto si espande e si raffredda nuovamente. La temperatura del suolo e quella dell'aria sono dunque in ogni caso strettamente legate. Durante un'inversione termica accade il fenomeno opposto: salendo, l'aria si riscalda, invece di raffreddarsi. Ciò può accadere sia in quota che al suolo.



Figura 1.3 Una colonna di fumo a Lochcarron viene bloccata da uno strato di aria calda sovrastante [6].



Figura 1.4 Smog invernale a Shanghai con una chiara mancata dispersione verticale dell'aria [6].

Condizioni instabili si verificano quando il trasporto di calore dal suolo verso l'alto è notevole, come accade nella giornate assolate.

L'inversione termica, invece, genera aria fortemente stabile, quindi blocca ogni rimescolamento verticale [6]. Le condizioni stabili, che si verificano tipicamente in limpide notti continentali con vento debole, sono più favorevoli ad un ristagno ed accumulo degli inquinanti.

I più gravi fenomeni di inquinamento si verificano proprio in condizioni di inversione termica; in questi casi, infatti, gli inquinanti emessi al di sotto della quota di inversione (a meno di possedere un'energia meccanica sufficiente a forare l'inversione), non riescono ad innalzarsi poiché risalendo si trovano ad essere comunque più freddi e dunque più pesanti dell'aria circostante [7].

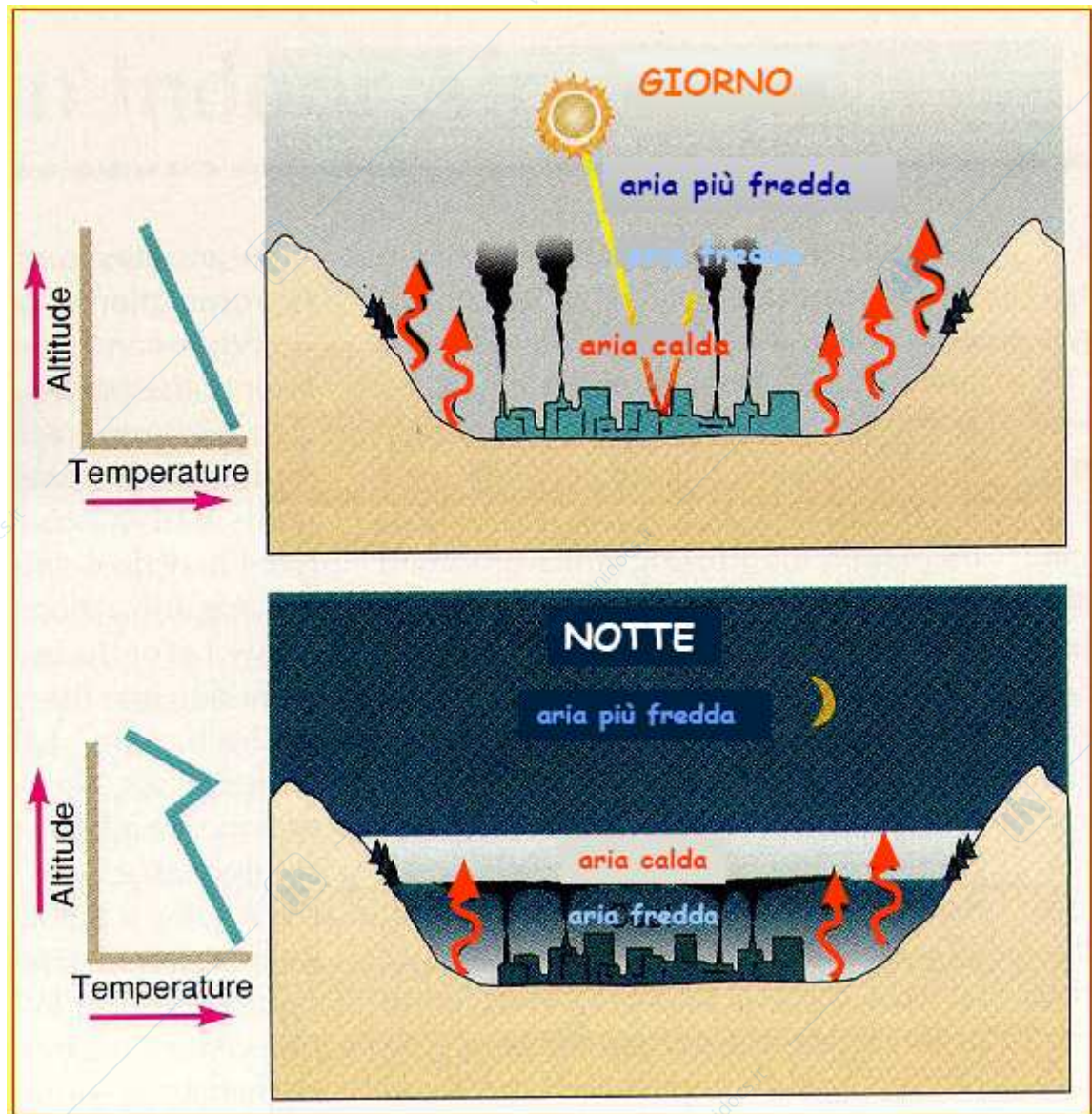


Figura 1.5 Inversione termica

1.2.1 Ambiente urbano

Il problema dell'inquinamento atmosferico di origine antropica è legato alla scarsa diffusione degli inquinanti; questi rimangono concentrati in aree limitate sia a causa di barriere geomorfologiche o artificiali che ne limitano la diffusione laterale, come i canyon stradali cittadini, sia per le caratteristiche meteorologiche della zona considerata [2]. Questo problema desta particolari preoccupazioni nelle aree urbane dove è elevata la

Introduzione

produzione di inquinanti e maggiore è la popolazione esposta al rischio di danni alla salute.

Le emissioni diffuse dei piccoli impianti e degli scarichi del traffico autoveicolare avvengono all'interno dei centri urbani e spesso nelle condizioni peggiori (stati di inversione termica a bassa quota, funzionamento non a regime dei motori nel traffico congestionato e nei canyon stradali, ecc.). Il grado di esposizione della popolazione è pertanto assai elevato, soprattutto perché gli inquinanti vengono rilasciati a livello del suolo (autoveicoli) o a livello del primo piano delle abitazioni (autobus) o dei tetti (riscaldamento domestico) [7].

Gli episodi acuti di inquinamento urbano si manifestano prevalentemente in inverno; queste situazioni si verificano in concomitanza di situazioni meteorologiche caratterizzate da regime anticiclonico e forte stabilità al suolo. Tipiche del periodo invernale sono le inversioni termiche notturne determinate dal raffreddamento del suolo che, provocando un abbassamento della temperatura degli strati d'aria prossimi al terreno, causano un aumento della temperatura con la quota e un conseguente ristagno degli inquinanti al suolo. Questa situazione risulta estremamente critica nelle aree urbane dove abbiamo in concomitanza la cosiddetta "isola di calore", ovvero una cappa che trattiene tutti gli inquinanti emessi all'interno dell'area urbana.

Si instaura sulla città una cupola di aria (la cui altezza massima si ha in corrispondenza delle zone più densamente abitate) ad andamento irregolare, con attenuazioni e rinforzi legati alla morfologia urbana sottostante. Se d'inverno l'isola di calore umana è essenzialmente imputabile al riscaldamento degli edifici, d'estate essa trae origine soprattutto dal particolare tessuto cittadino, costituito prevalentemente da cemento e asfalto, materiali che, rispetto ad un suolo ricoperto di vegetazione, assorbono il 10% in più di energia solare. Ad accrescere il calore nella città, poi, contribuisce anche al tipica conformazione urbana, con prevalenza di

Introduzione

strade relativamente strette in confronto all'altezza degli edifici. In un tale ambiente, rispetto ad una superficie non edificata, viene catturata una maggior quantità di radiazione solare poiché intrappolata nei canyon cittadini dalle riflessioni multiple subite dai raggi sulle pareti dei fabbricati. Inoltre la verticalizzazione degli edifici è responsabile di una sensibile attenuazione del vento [2].

1.3 Variazione della concentrazione degli inquinanti aerodispersi nel tempo

Le concentrazioni delle sostanze inquinanti in aria hanno un andamento nel tempo e nello spazio che dipende dalle quantità di inquinanti immesse, dalla distanza dalle sorgenti, dalle condizioni fisiche del mezzo in cui sono disperse e dalle loro caratteristiche di emissione/formazione. Ogni inquinante assume in media andamenti temporali tipici perché i fenomeni e le caratteristiche dell'ambiente che ne influenzano le concentrazioni avvengono o si ripetono (giornalmente, annualmente) in base ad una certa ciclicità o stagionalità. Mentre i valori mediati su tempi brevi (orari o giornalieri) risentono fortemente della variabilità prodotta da tutti questi fattori, e quindi possono dipendere significativamente dagli eventi particolari ed eccezionali (questo avviene ad esempio per gli episodi acuti), le medie relative a lunghi intervalli di tempo (e sull'intero ciclo di ripetizione dei fenomeni, ad esempio annuali) non risentono che minimamente delle fluttuazioni cicliche di questi fattori e delle loro particolari deviazioni su tempi brevi. Affinché siano osservabili variazioni sulle medie annuali si richiedono forti e prolungate variazioni o anomalie dei fattori da cui dipendono le concentrazioni. Tra questi fattori, come discusso nel paragrafo precedente, assumono una notevole rilevanza le condizioni

Introduzione

meteorologiche, nel senso di condizioni fisiche del mezzo nel quale le sostanze inquinanti vengono immesse. L'intervento di tali condizioni influenza le concentrazioni di sostanze inquinanti in modo complesso, in quanto concorre a definire le concentrazioni modulando e caratterizzando i fenomeni di diffusione e dispersione in aria, ed incide anche nella quantità di determinate sostanze che si formano [5]. I fattori che determinano la variazione di concentrazione degli inquinanti aerodispersi possono influenzare la massa dell'inquinante o il volume di aria in cui tale massa è presente. Alcuni di questi fattori riguardano le emissioni, le trasformazioni chimico-fisiche e le deposizioni, altri riguardano invece le condizioni meteorologiche. Tali considerazioni possono essere formalizzate esprimendo la variazione della concentrazione C di un generico inquinante i nel tempo t mediante la seguente equazione:

$$\partial C_i / \partial t = \alpha[\Phi_i(t)] - \beta\{C_i\} + Adv + \sum F_i - \sum R_i - D_s$$

nella quale vengono presi in considerazione sia i fattori che influenzano la massa delle specie inquinanti sia i fattori, di tipo meteorologico, che influenzano il volume a disposizione degli inquinanti. In particolare i diversi termini dell'equazione che rappresentano le variazioni di massa sono:

- *emissione primaria*, attraverso il termine $[\Phi_i(t)]$ che rappresenta i flussi emissivi dovuti alle sorgenti
- *trasformazioni chimico-fisiche*, attraverso il termine $\sum F_i$ che tiene conto dei processi di formazione e il termine $\sum R_i$ che rappresenta processi di rimozione chimica
- *deposizione*, attraverso il termine D_s che tiene conto delle perdite per deposizione sulle superfici.

Introduzione

I termini che rappresentano le variazioni di volume sono invece:

- *il trasporto orizzontale* delle masse d'aria (fenomeni avvettivi), attraverso Adv , un parametro descrittivo dei processi di trasporto
- *il rimescolamento verticale* delle masse d'aria (fenomeni convettivi), attraverso α , un \square parametro descrittivo delle condizioni di stabilità dello strato superficiale e $\beta\{C_i\}$, un parametro descrittivo dei processi di rimescolamento.

Questa equazione è del tutto generale ed è pertanto valida per tutti gli inquinanti aerodispersi. La complessità dell'equazione ed il numero di termini in essa presenti dipende dal numero di possibili sorgenti emissive, dalla reattività chimica e dai processi di deposizione possibili per ciascun inquinante. Ad esempio, nel caso di inquinanti gassosi primari e non reattivi (come il CO e il benzene), l'equazione risulta molto semplificata ed assume la forma:

$$\partial C_i / \partial t = \alpha[\Phi_i(t)] - \beta\{C_i\} + Adv$$

In questi casi, la variabilità temporale della concentrazione dell'inquinante è influenzata solo dalla variazione dei flussi emissivi e dalle capacità di dispersione dell'inquinante nell'atmosfera e quindi da parametri di natura meteorologica.

Nella figura 1.6 è riportato, a titolo di esempio, l'andamento temporale della concentrazione di CO a Roma durante un breve periodo (1-5 dicembre 1999) [8]. Un comportamento del tutto simile può essere osservato anche per il benzene.

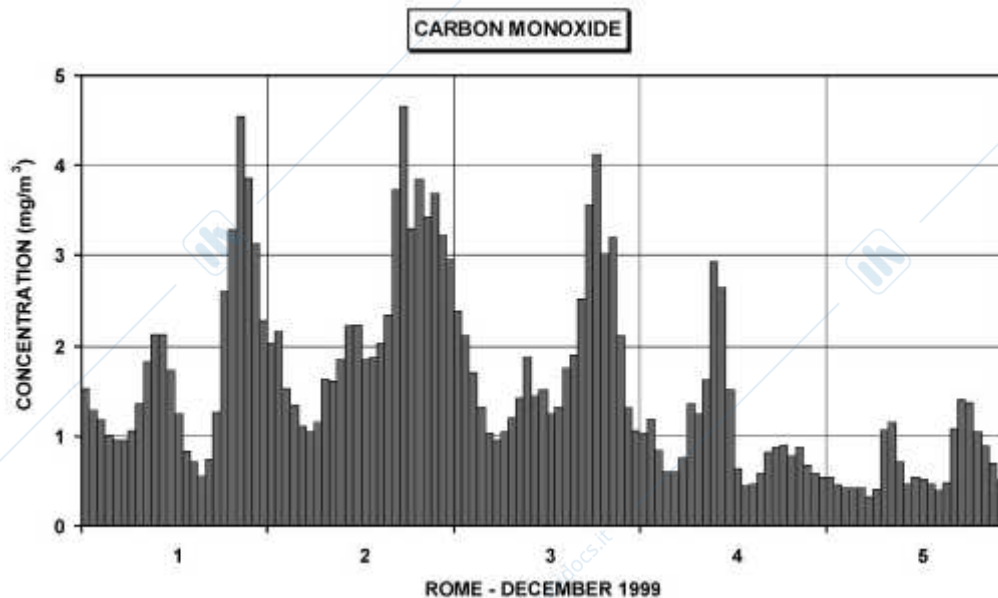


Figura 1.6 Andamento temporale della concentrazione di CO a Roma

Le linee verticali sono poste in corrispondenza della mezzanotte di ciascun giorno. Si può notare innanzi tutto come le concentrazioni medie giornaliere (ottenibili dalla media nelle 24 ore dei valori misurati a risoluzione oraria in ciascun giorno) siano abbastanza variabili. Da questa semplice osservazione viene una prima conferma dell'importanza dei parametri meteorologici sulle concentrazioni degli inquinanti primari in atmosfera. Infatti, nella città di Roma, le sorgenti emissive predominanti di CO sono il traffico veicolare e, con contributi nettamente inferiori, il riscaldamento domestico. Entrambe le sorgenti emissive non presentano una variabilità da un giorno all'altro tale da poter giustificare le variazioni delle concentrazioni di monossido di carbonio. Osservando poi le variazioni di concentrazione all'interno delle 24 ore, si può notare come, nei giorni considerati, si osservino in generale due picchi di concentrazione nelle fasce orarie 7-13 e 17-21, con un andamento che è caratteristico delle variazioni della concentrazione di CO in ambienti urbani. Tali variazioni potrebbero essere imputate alla variazione dei flussi di traffico, principale sorgente emissiva del CO, anche se, come mostrato in figura 1.7 la diminuzione dei flussi di traffico veicolare nell'orario 13-15 nei giorni feriali è molto poco accentuata. Osservando con attenzione

Introduzione

l'andamento del CO, si può inoltre notare come la valle tra i due picchi di concentrazione sia più accentuata i giorni 1, 4 e 5 appena accennata il giorno 3 e quasi totalmente assente il giorno 2 e come nei giorni 1 e 2 la concentrazione di CO rimanga elevata anche in orario notturno. Tali variazioni di concentrazione non possono essere direttamente correlate alla variazione del flusso emissivo di CO da parte del traffico veicolare, che, come già notato, non presenta variazioni rilevanti in funzione dei giorni. E' quindi evidente che i due termini di origine meteorologica $\beta\{C_i\}$ e Adv rivestono un ruolo fondamentale nel determinare gli andamenti temporali della concentrazione di CO.

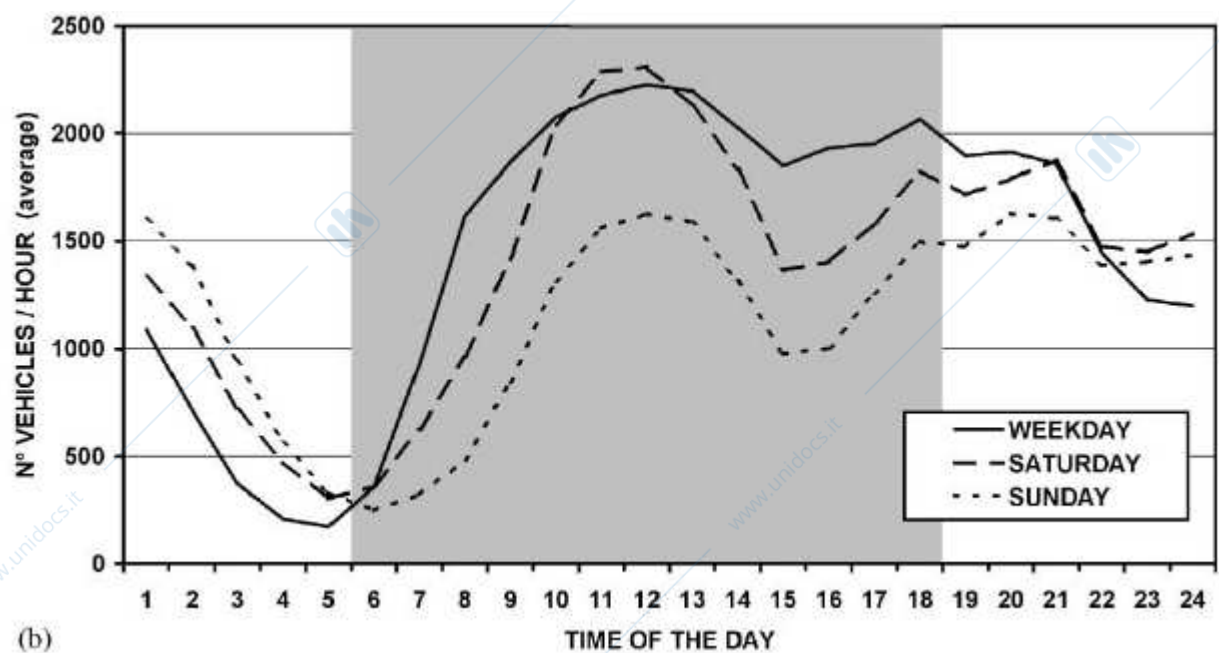


Figura 1.7 Flussi di traffico nei giorni lavorativi, il sabato e la domenica.

In sostanza, l'andamento nel tempo del CO potrà essere correttamente valutato ed associato alle variazioni del flusso di immissione in atmosfera solo mediante il confronto con la misura indipendente dei termini legati alle condizioni meteorologiche.

In base a quanto precedentemente esposto, è chiaro come per poter comprendere la genesi e lo sviluppo di un fenomeno di inquinamento

Introduzione

atmosferico, nonché per effettuare delle previsioni di massima sulla sua evoluzione futura, è necessario non solo determinare la concentrazione degli inquinanti, ma, come precedentemente visto, avere anche informazioni sulla dinamica degli strati inferiori dell'atmosfera, ovvero sul volume d'aria disponibile per la dispersione degli inquinanti. Combinando queste informazioni di carattere meteorologico con la misura delle concentrazioni degli inquinanti e con la conoscenza dei principali processi di trasformazione chimico-fisica di queste specie, è possibile mettere a punto degli strumenti che consentono di interpretare, ed in parte di prevedere, i fenomeni di inquinamento atmosferico misure della concentrazione di inquinanti primari e secondari integrate con misure di altezza dello strato rimescolato. Tale misura può essere effettuata mediante diversi sistemi, uno dei quali, particolarmente interessante a causa della sua semplicità di utilizzo, consiste nella misura della radioattività naturale associata al Radon 222 [9].

1.4 La radioattività naturale

Si definisce radioattività la proprietà che hanno gli atomi di alcuni elementi di emettere spontaneamente radiazioni ionizzanti.

La radioattività non è stata inventata dall'uomo, anzi, al contrario, l'uomo è esposto alla radioattività fin dal momento della sua apparizione sulla Terra. Solo recentemente (circa 100 anni fa), con i lavori dello scienziato francese Henry Becquerel, l'uomo ha scoperto l'esistenza della radioattività. Fin dalla formazione della Terra, circa cinque miliardi di anni fa, la materia era formata da atomi stabili non radioattivi e atomi instabili radioattivi. Col trascorrere dei millenni, la maggior parte degli elementi radioattivi, attraverso il processo di decadimento, hanno cessato di essere tali. Tuttavia, esistono ancora oggi in natura alcuni isotopi radioattivi, e non è cessato

Introduzione

l'apporto esterno di radioattività prodotto dal bombardamento di raggi cosmici a cui siamo tuttora sottoposti. Ecco perché tutto quello che ci circonda è "naturalmente" radioattivo.

Alcuni isotopi naturali, e quasi tutti gli isotopi artificiali, presentano nuclei instabili, a causa di un eccesso di protoni e/o di neutroni. Tale instabilità provoca la trasformazione spontanea in altri isotopi, e questa trasformazione si accompagna con l'emissione di radiazioni ionizzanti per cui essi sono chiamati isotopi radioattivi, o anche radioisotopi, o anche radionuclidi. La trasformazione di un atomo radioattivo porta alla produzione di un altro atomo, che può essere anch'esso radioattivo oppure stabile. Essa è chiamata disintegrazione o decadimento. Tale trasformazione, a seconda dei casi, può completarsi in tempi estremamente brevi o estremamente lunghi. Una misura di tale tempo è data dal tempo di dimezzamento, o tempo di vita media, che esprime il tempo alla fine del quale la metà degli atomi radioattivi inizialmente presenti ha subito una trasformazione spontanea. Un campione contenente radioisotopi si caratterizza per la sua quantità di radioattività, che viene espressa con il numero di disintegrazioni nell'unità di tempo di nuclei radioattivi. L'unità di misura è il becquerel, con simbolo Bq. $1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ disintegrazione al secondo}$.

I processi alla base del fenomeno di decadimento radioattivo sono diversi e portano a differenti tipi di radioattività, ciascuno caratterizzato da un proprio "potere penetrante" e diverse "modalità di schermatura". Possiamo distinguere tra:

- Radioattività alfa
- Radioattività beta
- Radioattività gamma

Atomi nei cui nuclei sono contenute quantità eccessive di protoni e neutroni emettono di solito una *radiazione alfa*, costituita da un nucleo di elio (due protoni + due neutroni), e avente due cariche positive. Tale disintegrazione

Introduzione

porta alla formazione di un isotopo di altro elemento chimico, avente numero atomico diminuito di due unità e numero di massa diminuito di quattro unità. Le radiazioni alfa, per la loro natura, sono poco penetranti e possono essere completamente bloccate da un semplice foglio di carta.

Atomi nei cui nuclei sono contenute quantità eccessive di neutroni emettono di solito una *radiazione beta*, costituita da un elettrone. In particolare, uno dei neutroni del nucleo si disintegra in un protone e in un elettrone, che viene emesso. Tale disintegrazione porta alla formazione di un isotopo di altro elemento chimico, avente numero atomico aumentato di una unità (il protone in più) e numero di massa invariato (il protone si è sostituito al neutrone). Le radiazioni beta sono più penetranti di quelle alfa, ma possono essere completamente bloccate da piccoli spessori di materiali metallici (ad esempio, pochi millimetri di alluminio). Le radiazioni alfa e beta sono di tipo corpuscolare e dotate di carica (positiva le alfa, negativa le beta).

La *radiazione gamma* è una onda elettromagnetica come la luce o i raggi X, ma assai più energetica. La radiazione gamma accompagna solitamente una radiazione alfa o una radiazione beta. Infatti, dopo l'emissione alfa o beta, il nucleo è ancora eccitato e si libera rapidamente del surplus di energia attraverso l'emissione di una radiazione gamma. Al contrario delle radiazioni alfa e beta, le radiazioni gamma sono molto penetranti, e per bloccarle occorrono rilevanti spessori di materiali ad elevata densità come il piombo.

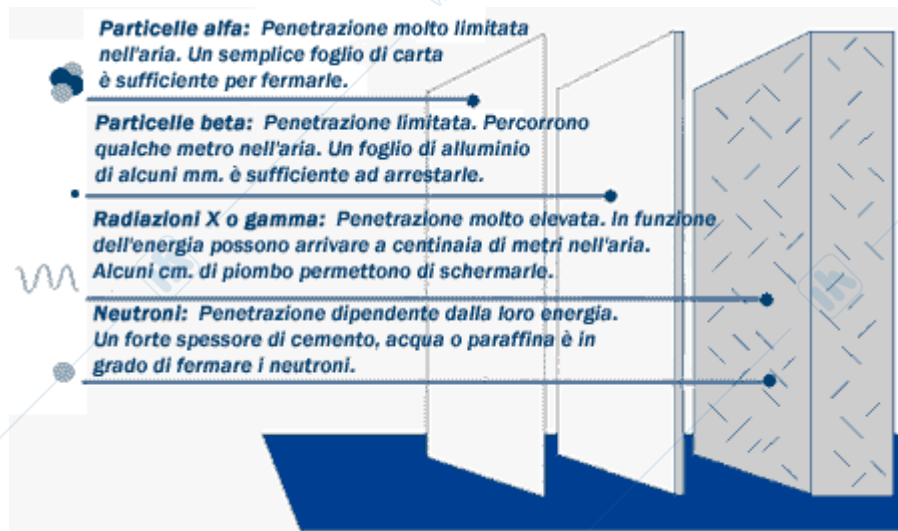


Figura 1.8 Diversa penetrazione delle radiazioni alfa, beta e gamma.

1.4.1 Le applicazioni ambientali del radon

Le radiazioni hanno un campo di applicazione molto proficuo nello studio e nella protezione dell'ambiente. L'uso dei traccianti radioattivi, come il radon, consente di monitorare la dispersione e la diffusione degli inquinanti [10]. Il radon è un elemento chimico naturale, radioattivo, appartenente alla famiglia dei cosiddetti gas nobili o inerti. È incolore, inodore e insapore, quindi non può essere avvertito dai sensi. Il Radon 222, il principale isotopo di questo gas, viene prodotto per "decadimento nucleare" dal radio 226, presente nelle rocce e nei terreni, che a sua volta proviene dal decadimento dell'Uranio 238. L'uranio è il capostipite di una catena naturale che attraverso successivi decadimenti del nucleo si trasforma in elementi e isotopi diversi fino a raggiungere l'elemento stabile del Piombo 206. Durante tutto il processo vengono emesse ad ogni trasformazione nucleare radiazioni ionizzanti di diverso tipo (alfa, beta o gamma o combinazioni tra esse).

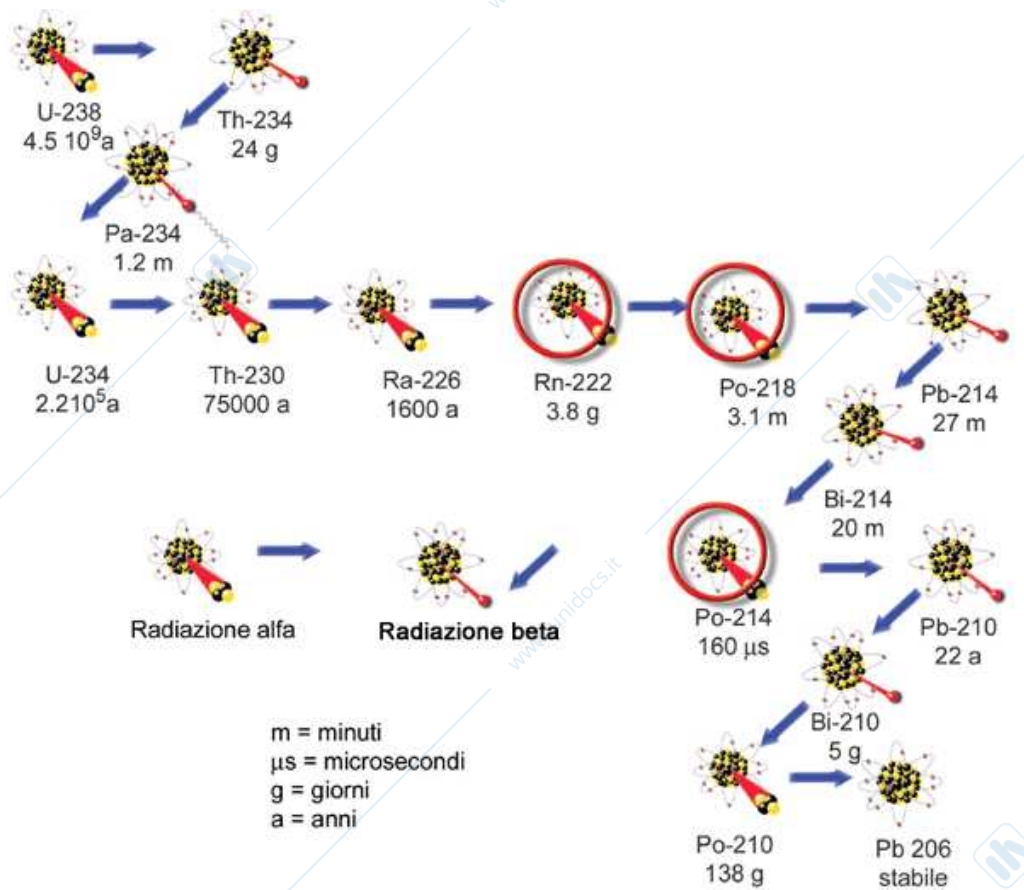


Figura 1.9 La catena di decadimento dell'U-238. Tutti gli isotopi descritti sono radioattivi, tranne il Piombo-206 che è stabile. Alcuni elementi sono molto più radioattivi del prodotto di partenza, e sono sempre presenti in tracce insieme all'U-238
[http://www.apat.gov.it/site/_images/schema_decadimento_u_238.gif]

Mentre gli altri elementi della serie radioattiva sono solidi, il Radon è un gas e, in quanto tale è in grado di muoversi; inoltre il suo tempo di dimezzamento è di circa quattro giorni, sufficiente a permettergli di fluire all'esterno dai pori delle rocce o dagli spazi interstiziali dei terreni o del materiale in cui si è prodotto. La sua unità di misura è il Bq/m³ (Becquerel per metro cubo) che rappresenta il numero decadimenti radioattivi di atomi di radon che avvengono in un secondo in 1 m³ d'aria. In aria libera, per effetto della diluizione e della dispersione in atmosfera, le sue concentrazioni non superano in genere i 10-20 Bq/m³ di aria.

Introduzione

Anche il radon emette radiazioni e si trasforma in altri elementi. Questi ultimi sono definiti "prodotti di decadimento" o "figli" del radon e sono a loro volta radioattivi ed emettono ancora radiazioni. In particolare, oltre al Radon-222, anche il Polonio-218 e il Polonio-214 emettono radiazioni alfa [11].

La misura della concentrazione in atmosfera del radon 222 fornisce una valutazione della stabilità dell'atmosfera, del formarsi di inversioni termiche, dei moti di turbolenza convettiva e dello spostamento delle masse d'aria e appare di rilevante attualità per la comprensione dei processi di dispersione degli inquinanti atmosferici. Il Radon viene emesso dal sottosuolo in maniera stabile nel tempo ed omogenea nello spazio, almeno nella scala di tempi e distanze caratteristica dei fenomeni di inquinamento urbano [12, 13], e quindi la sua concentrazione in atmosfera dipende solo dall'efficacia del processo di dispersione; intuitivamente, se gli strati inferiori dell'atmosfera sono ben rimescolati (rimescolamento verticale del Planetary Boundary Layer), i radionuclidi potranno diluirsi e la radioattività naturale si manterrà su valori costantemente bassi, mentre in caso di atmosfera stabile con scambi fra gli strati inferiori e quelli superiori limitati o assenti (inversione termica), i radionuclidi subiranno un fenomeno di accumulo e la radioattività naturale assumerà valori crescenti nel tempo. La misura della concentrazione di questo gas può quindi essere impiegata come tracciante naturale [14-18] per caratterizzare in tempo reale il grado di stabilità o di rimescolamento dell'atmosfera stessa. La radioattività naturale costituisce un utilissimo parametro-spia che consente di individuare quelle variazioni nella concentrazione degli inquinanti che dipendono da variazioni dell'altezza dello strato rimescolato (ovvero dal volume di aria utilizzabile per la loro dispersione) e di distinguerle da quelle che dipendono invece da modifiche nei flussi di emissione o da reazioni chimiche. Questo parametro è stato

Introduzione

quindi utilizzato come indice delle capacità dispersive della bassa atmosfera [9].

In casi di mescolamento dell'atmosfera di tipo avvertivo o convettivo la concentrazione in aria del radon non ha modo di crescere, mentre in caso di stabilità il radon si accumula negli strati più bassi dell'atmosfera e la sua concentrazione cresce.

Nelle figure 1.10 e 1.11 [8] è mostrato l'andamento della radioattività naturale durante i mesi di agosto dell'anno 2000 e dicembre dell'anno 1999.

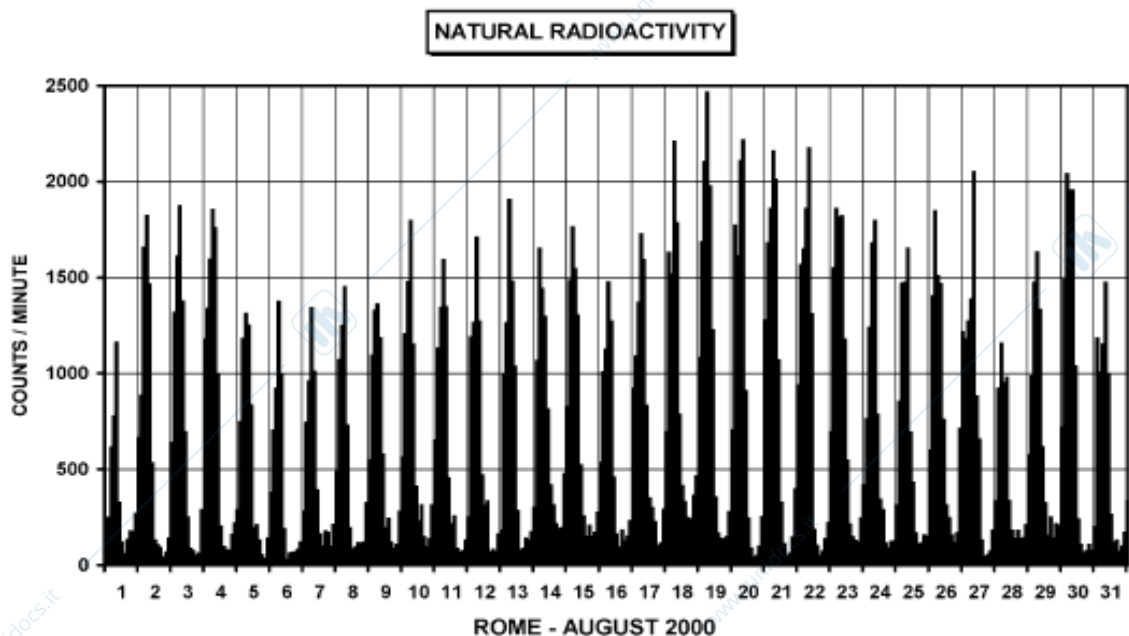


Figura 1.10 Andamento della radioattività naturale a Roma nel mese di agosto 2000 nella stazione di fondo urbano di Villa Ada [8]

Durante agosto e durante tutti i mesi caldi, che in Italia sono caratterizzati generalmente da sistemi di alta pressione su larga scala, la radioattività mostra un andamento temporale ben definito e modulato, e tutti i giorni risultano molto simili. L'andamento mostra valori minimi durante le ore diurne (mescolamento convettivo della bassa atmosfera che rimuove lo strato di inversione) che si alternano a valori massimi durante la notte

Introduzione

(stabilità atmosferica notturna). I periodi di mescolamento cominciano molto presto la mattina e proseguono fino a tarda sera.

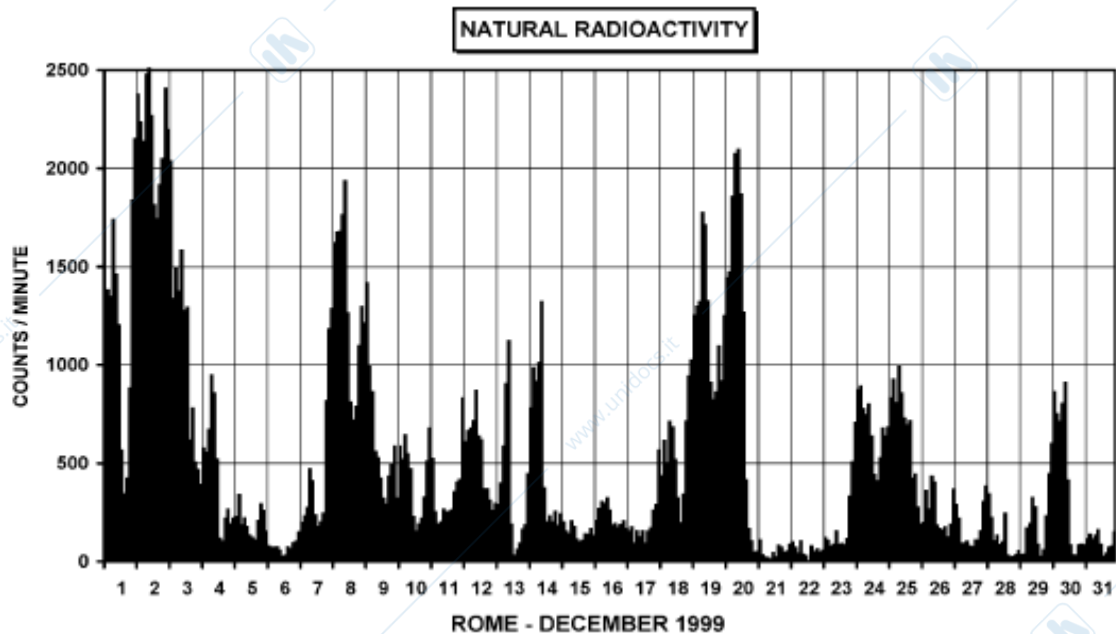


Figura 1.11 Andamento della radioattività naturale a Roma nel mese di dicembre 1999 nella stazione di fondo urbano di Villa Ada [8]

Durante dicembre e, in generale durante i mesi freddi, invece, periodi lunghi di alta pressione sono rari, mentre avvengono spesso moti di avvezione ed è stata osservata qualche volta lunga stabilità atmosferica persistente anche durante le ore diurne. In presenza di moti avvevativi la radioattività naturale mostra sempre valori molto bassi (vedi giorni 5-6, 15, 21-22, 28 e 31 dicembre). Durante periodi di stabilità prolungata, invece, la radioattività naturale diminuisce solamente durante le ore diurne, ma in alcuni casi mantiene valori elevati anche durante il giorno (vedi giorni 2, 8, 19, 24 dicembre). Durante il periodo invernale il mescolamento non solo è debole ma anche di durata limitata e permane per poche ore dalla tarda mattinata al primo pomeriggio.

Introduzione

1.4.1.1 Applicazione allo studio della variabilità temporale di un inquinante primario non reattivo

Alla luce di quanto esposto, si può tentare un'interpretazione più approfondita dell'esempio riportato nel paragrafo 1.3 [8].

Innanzitutto occorre notare che la diversa ampiezza della finestra solare registrata nei periodi estivo ed invernale riveste un'importanza fondamentale nella modulazione dell'inquinamento primario. Nella città di Roma, come mostrato nelle figure 1.12 (a) e 1.12 (b), il flusso del traffico veicolare inizia ad aumentare tra le 7 e le 8 del mattino, per poi mantenersi elevato durante l'intera giornata e diminuire tra le 20 e le 22. Le variazioni tra estate e inverno sono abbastanza ridotte. Osservando la sovrapposizione tra gli andamenti del flusso veicolare e quelli della radioattività in periodi di stabilità atmosferica, si può però notare come nei periodi estivi (figura 1.12 (a)) all'aumento del flusso veicolare corrisponde la diminuzione della radioattività naturale causata dall'innalzamento del PBL. L'abbassamento del PBL inizia poi quando i flussi di traffico sono già in diminuzione. In queste condizioni le concentrazioni di inquinanti emessi dalla circolazione veicolare possono allontanarsi dal suolo abbastanza rapidamente e non si osservano in genere accumuli consistenti. Nel periodo invernale (figura 1.12 (b)) l'aumento dei flussi di traffico veicolare avviene prima che vengano raggiunte le condizioni di rimescolamento convettivo diurno ed anche nelle ore serali, la formazione dello strato di inversione termica avviene prima che il traffico veicolare inizi a ridursi. Nei periodi di sovrapposizione tra la stabilità notturna e la presenza di flussi di traffico veicolare sostenuti, si osservano i picchi di concentrazione tipici degli inquinanti primari da traffico veicolare.

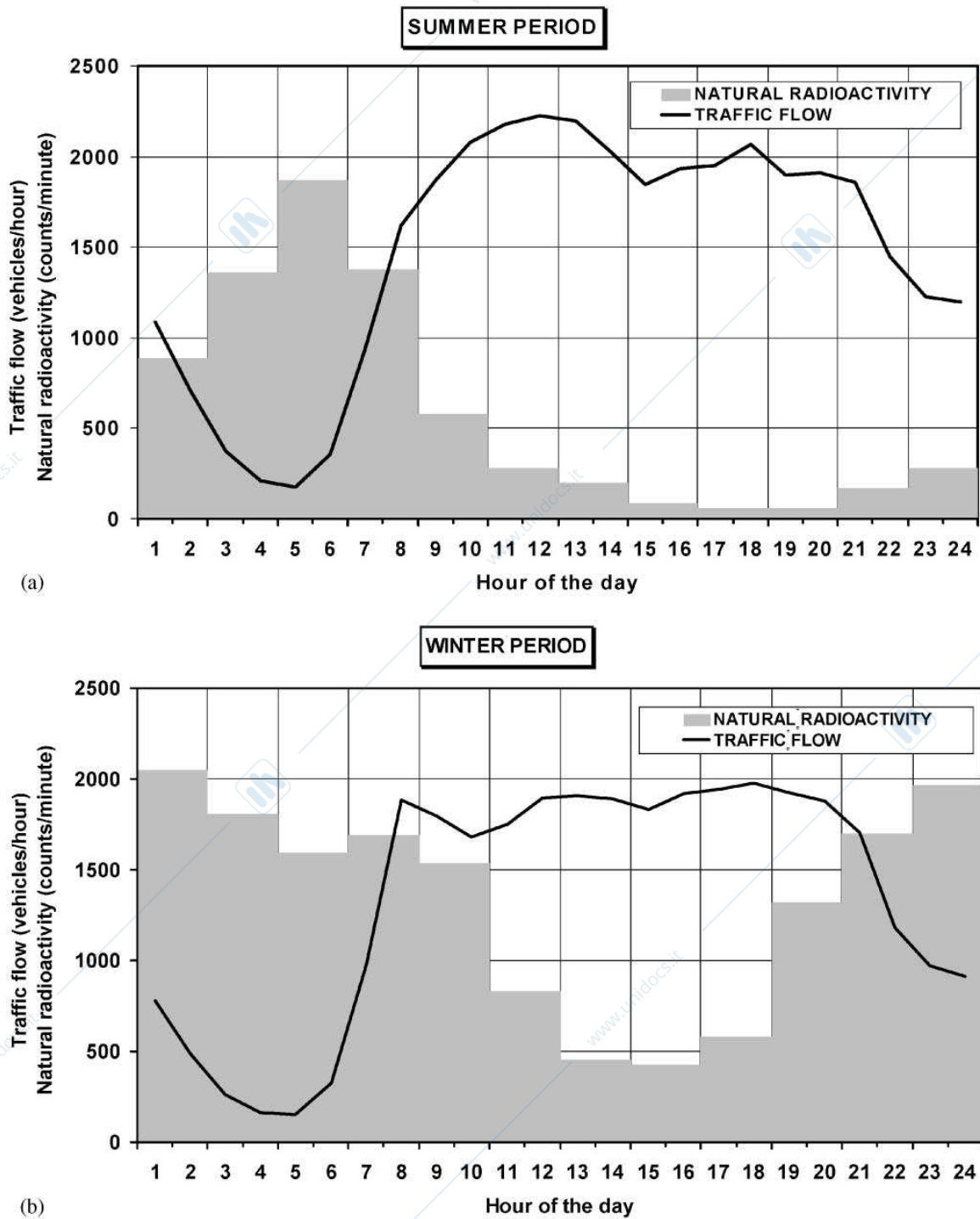


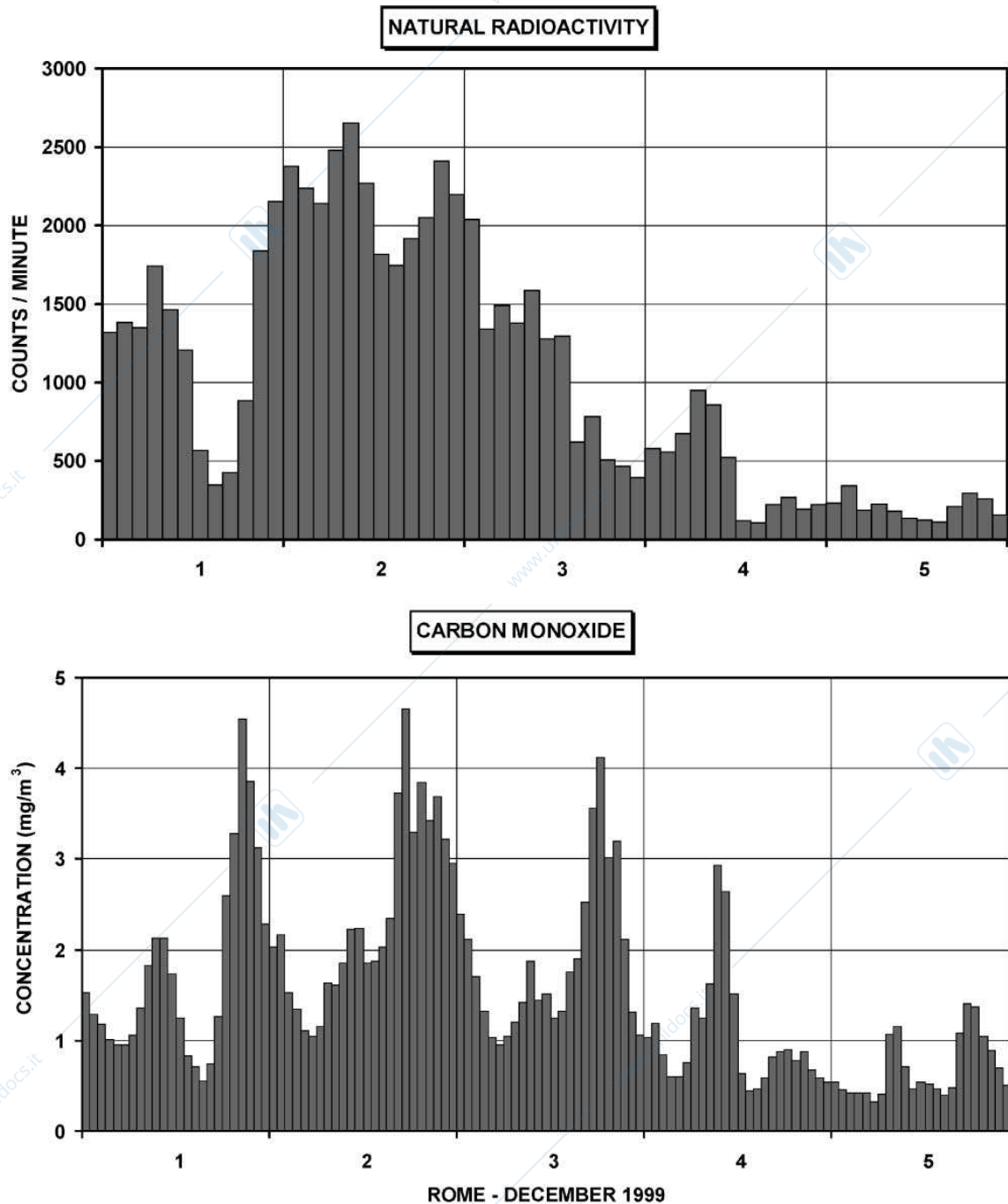
Figura 1.12 (a)

Per chiarire meglio queste considerazioni, si possono osservare le figure xx, nelle quali sono riportati gli andamenti relativi alla radioattività naturale ed alle concentrazioni di CO misurate nel periodo precedentemente esaminato. I cinque giorni selezionati riflettono le differenti condizioni metrologiche

Introduzione

comunemente riscontrate nel periodo invernale. Si può infatti notare dal grafico relativo alla radioattività naturale come il giorno 1 dicembre sia caratterizzato da una situazione di stabilità notturna e da un rimescolamento convettivo diurno. Come conseguenza, la concentrazione di CO mostra l'andamento tipico di questo inquinante, con un primo picco mattutino ed un secondo picco serale. Il giorno 2 dicembre, il rimescolamento convettivo diurno è invece molto scarso, come indicato dalla scarsa diminuzione dei valori di radioattività naturale nelle ore diurne. Come conseguenza, la concentrazione di CO si mantiene a valori elevati durante tutta la giornata, fino alla mattina successiva. Nei giorni 3 e 4 dicembre le condizioni meteorologiche sono state intermedie tra le due situazioni precedentemente illustrate e, a partire dal pomeriggio del 4 dicembre, si osserva un periodo avvevativo, con la radioattività naturale costantemente bassa. Come atteso, durante questo periodo avvevativo, le concentrazioni di CO si mantengono a valori estremamente bassi e si osservano aumenti molto ridotti solo nelle ore mattutine e serali. La stretta correlazione tra le variazioni delle concentrazioni nel tempo e l'andamento della radioattività naturale, costituisce un valido esempio di come i parametri meteorologici giochino un ruolo fondamentale sull'inquinamento registrato.

Introduzione



Sulla base di queste considerazioni, è stato sviluppato un indice di stabilità atmosferica [8], mediante il quale è possibile prevedere in modo abbastanza realistico le variazioni delle concentrazioni degli inquinanti primari in funzione delle misure di radioattività naturale. Nella figura xx è riportato un esempio applicativo del confronto tra valori calcolati sulla base della radioattività naturale e i valori sperimentalmente misurati del benzene a Roma nel periodo da ottobre 1999 a settembre 2000. Si può notare come la

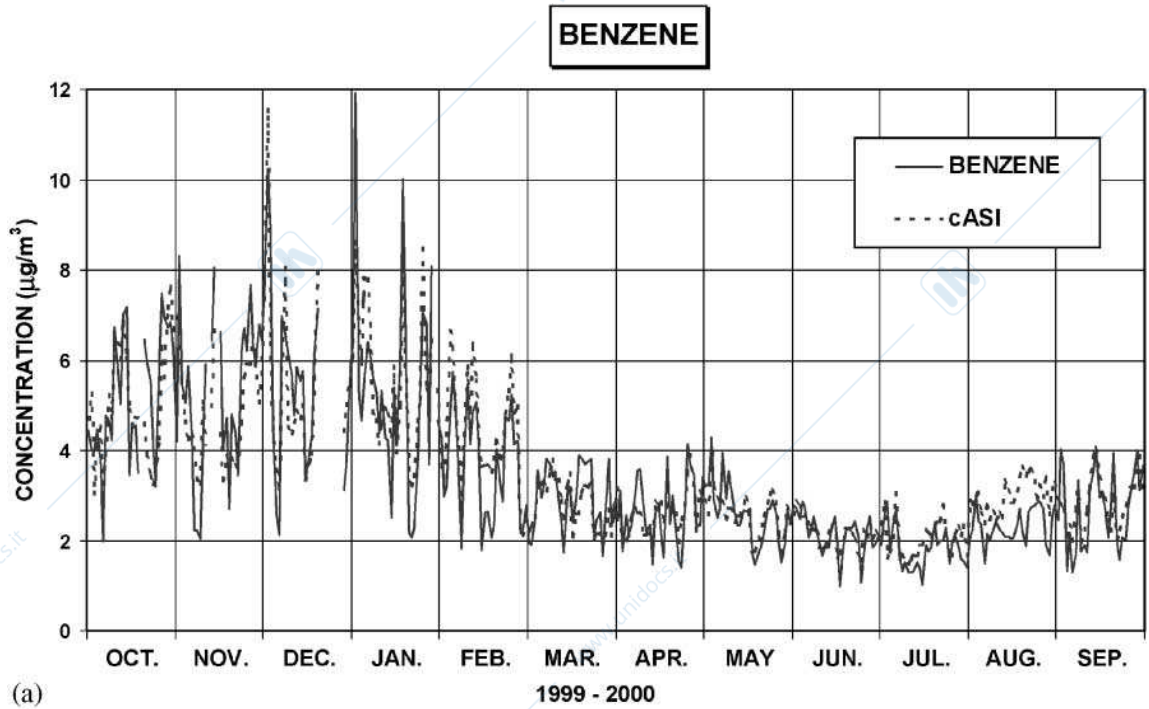
Introduzione

stima dei livelli di concentrazione sia abbastanza rappresentativa dei valori sperimentali, con la sola eccezione del mese di agosto, nel quale le concentrazioni misurate sono sensibilmente inferiori di quelle calcolate sulle sole basi meteorologiche. Tale discordanza può essere semplicemente spiegata considerando la riduzione dei flussi di traffico veicolare caratteristica di questo mese.

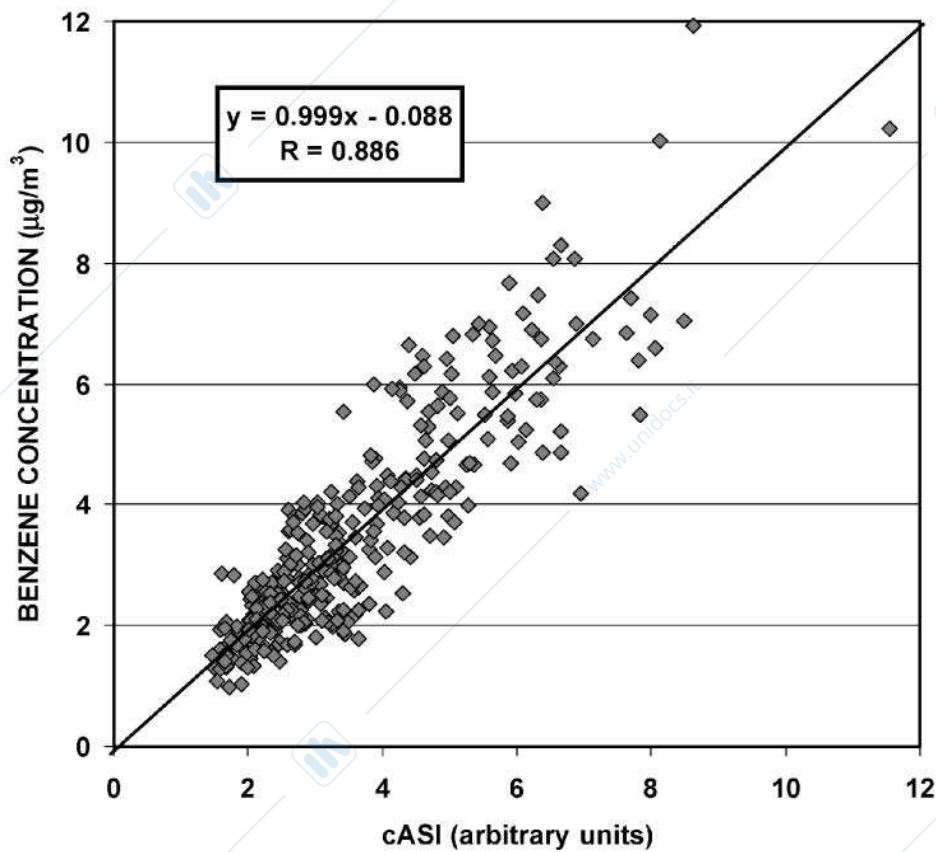
Da quanto detto risulta decisamente chiaro come non sia possibile interpretare le variazioni delle concentrazioni di inquinanti senza disporre di appropriati sistemi di osservazione dei parametri meteorologici, che costituiscono di fatto il parametro nettamente più rilevante nella variabilità dei livelli di inquinamento. E' anche chiaro come la possibilità di gestire queste informazioni sia strettamente legata alla disponibilità di dati ad elevata risoluzione temporale, poiché è necessario confrontare la velocità di variazione dei dati con quella di variazione delle condizioni atmosferiche.

Infine occorre notare che all'aumentare della complessità del sistema in osservazione, aumenta anche la complessità dell'interpretazione dei dati rilevati. Ad esempio nel caso del particolato atmosferico (vedi paragrafo successivo), occorre considerare anche i numerosissimi parametri, quali le trasformazioni chimico fisiche ed i fenomeni di deposizione che rendono ulteriormente variabili le concentrazioni misurate e la loro dipendenza dai fenomeni meteorologici.

Introduzione



(a)



(b)