

Tab. 2.3. *Definizione delle categorie di stabilità in funzione della fluttuazione della direzione orizzontale del vento e del gradiente termico verticale*

<i>Grado di stabilità</i>	<i>Categoria di Pasquill</i>	<i>Deviazione standard s(q)</i>	<i>Gradiente termico verticale $\frac{\Delta T}{\Delta z}$ (°C/100 m)</i>
INSTABILITÀ FORTE	A	$\geq 22.5^\circ$	< -1.9
INSTABILITÀ MEDIA	B	da 17.5° a 22.5°	da -1.9 a -1.7
INSTABILITÀ DEBOLE	C	da 12.5° a 17.5°	da -1.7 a -1.5
NEUTRALITÀ	D	da 7.5° a 12.5°	da -1.5 a -0.5
STABILITÀ DEBOLE	E	da 3.75° a 7.5°	da -0.5 a +1.5
STABILITÀ FORTE	F	< 3.75°	> +1.5

Le diverse definizioni, in effetti, non sono del tutto coincidenti (soprattutto perché le grandezze che individuano le classi hanno significati diversi) per cui può accadere che la medesima situazione atmosferica venga attribuita, a seconda del metodo utilizzato, a due classi di stabilità distinte.

2.5. L'ambiente urbano

Il problema dell'inquinamento atmosferico desta particolari preoccupazioni nelle aree urbane dove è elevata la produzione di inquinanti e maggiore è la popolazione esposta al rischio di danni alla salute.

Le fonti diffuse, soprattutto autoveicolari, rappresentano dal punto di vista sanitario il rischio principale. Infatti, mentre i grandi impianti termoelettrici ed industriali sono generalmente localizzati alla periferia delle città o lontano da esse, e le loro emissioni avvengono attraverso alti camini che ne facilitano la diluizione, 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 in bassa quota, funzionamento non a regime dei motori nel traffico congestionato e nei *canyon* cittadini, ecc.).

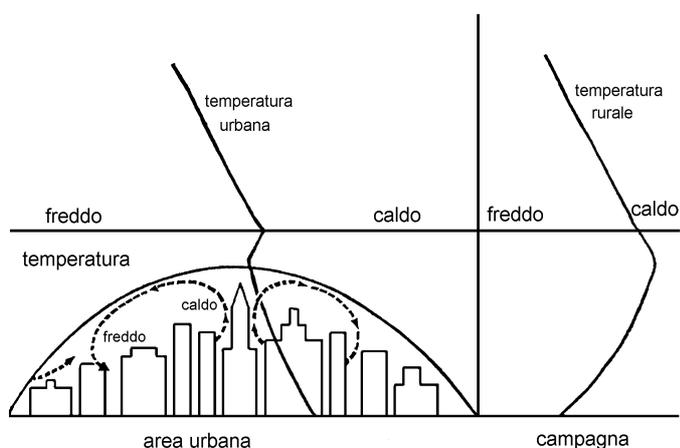
Il grado di esposizione della popolazione è pertanto assai elevato, soprattutto perché gli inquinanti vengono rilasciati al livello del suolo (autoveicoli), o del primo piano delle abitazioni (autobus) o dei tetti (riscaldamento domestico).

2.5.1. L'isola di calore

Gli episodi acuti di inquinamento di una città spesso si verificano in concomitanza di particolari condizioni meteorologiche che portano alla formazione della cosiddetta 'isola di calore', ovvero di una cappa che trattiene tutti gli inquinanti emessi all'interno dell'area urbana.

Questo fenomeno, illustrato in figura 2.2, si verifica in giornate con presenza di regime anticiclonico in quota e forte stabilità al suolo. In tali condizioni il calore prodotto da tutte le attività antropiche (traffico, attività industriali, riscaldamento degli edifici, ecc.) contrasta l'inversione termica presente nella campagna circostante, senza però riuscire a distruggerla completamente. Si instaura così sulla città una cupola di aria (la cui altezza massima si ha in corrispondenza della zona più densamente abitata) ad andamento irregolare, con attenuazioni e rinforzi legati alla morfologia urbana sottostante.

Fig. 2.2. Isola di calore



Se d'inverno l'*isola di calore urbana* è essenzialmente imputabile al riscaldamento degli edifici, d'estate essa trae origine soprattutto dal particolare tessuto cittadino, costituito prevalentemente da cemento e da asfalto, materiali che, rispetto ad un suolo ricoperto da vegetazione, assorbono circa il 10% in più di

energia solare. Ad accrescere il calore della città, poi, contribuisce anche la tipica conformazione urbana, con prevalenza di 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 perché 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.

2.5.2. Le sorgenti inquinanti

Nelle aree urbane le principali sorgenti di inquinamento sono il traffico veicolare e il riscaldamento degli edifici. A queste sorgenti di tipo diffuso spesso si aggiungono sorgenti puntuali quali industrie, inceneritori di rifiuti, impianti per la produzione di energia, ecc., che per la loro localizzazione, interna o relativamente prossima all'area urbana (come nel caso di Venezia), contribuiscono all'inquinamento della zona.

In ambiente urbano il **traffico veicolare**⁵ è responsabile della quasi totalità delle emissioni di monossido di carbonio (CO), della maggior parte degli ossidi di azoto (NO_x) e dei composti organici volatili non metanici (COVNM) nonché di buona parte delle particelle totali sospese (PTS) con granulometria inferiore ai 2 µm (RSA; 1992⁶).

A causa di una combustione mai perfetta i motori a combustione interna producono emissioni inquinanti, soprattutto idrocarburi, monossido di carbonio e ossidi di azoto. A questi inquinanti, poi, si aggiungono, per le emissioni delle autovetture a gasolio, ossidi di zolfo (SO₂) e particolato costituito in prevalenza da particelle carboniose e solfati, mentre, per le emissioni da motori a benzina, contaminanti tossici come benzene, butadiene, aldeidi ed idrocarburi policiclici aromatici (IPA), tra cui il benzo(α)pirene.

La recente eliminazione del piombo dalle benzine non ha quindi risolto il problema dell'emissione di 'veleni' dalle automobili; anzi, le cosiddette benzine 'verdi' si stanno rivelando più insidiose rispetto a quelle tradizionali poiché contengono una maggior quantità di idrocarburi aromatici (benzene, toluene, xileni, ecc.) in grado di esercitare effetti tossici sull'organismo anche a basse concentrazioni (Bressa, 1995).

Il **riscaldamento degli edifici** nelle aree non servite da gas metano contribuisce in maniera sostanziale alle emissioni di biossido di zolfo ed è comunque responsabile di una parte non trascurabile di ossidi d'azoto. In quartieri in cui è ancora in uso il carbone anche l'inquinamento dovuto al particolato può essere notevole.

⁵ In Italia il settore dei trasporti, i cui consumi sono per il 90% imputabili alla circolazione autoveicolare, contribuisce per il 91% alle emissioni di CO, per l'88% ai VOC, per 55% alle PTS e per il 63% agli NO_x (Gardin, Pazienti, 1992).

⁶ RSA, 1992. *Relazione sullo Stato dell'Ambiente*. Ministero dell'Ambiente, Roma, cit. in ISTISAN 93/36, *Modelli ad integrazione delle reti per la gestione della qualità dell'aria*, cit., pag. 62.

2.5.3. Tossicità dei principali inquinanti

Il **monossido di carbonio** è un gas tossico, invisibile e inodore. La pericolosità del CO è dovuta al suo rapido assorbimento per via polmonare, dove si fissa all'emoglobina del sangue impedendo il trasporto dell'ossigeno ai tessuti corporei. Si determinano così danni ai tessuti ad alta richiesta di ossigeno quali cervello e cuore. Il tempo di comparsa dei sintomi di intossicazione è dovuto, oltre alla concentrazione, anche all'attività fisica, poiché l'assunzione del CO aumenta con la ventilazione polmonare.

L'inalazione del **biossido d'azoto** determina un'intensa irritazione delle vie aeree. L'inspirazione del gas a concentrazioni elevate può portare a bronchiti, edema polmonare, enfisema o fibrosi. Inoltre studi sperimentali hanno dimostrato che l'esposizione ad NO₂ indebolisce il sistema immunitario perché riduce il numero di cellule produttrici di anticorpi nella milza (Bressa, 1995).

A causa della sua elevata volatilità il **benzene** viene facilmente inalato ed assorbito dagli eritrociti e dalle proteine plasmatiche e trasferito a tutti gli organi e tessuti ricchi di lipidi esercitando effetti tossici. In particolar modo esso colpisce il sistema nervoso centrale inducendo euforia, vertigini, cefalea, nausea e depressione. L'*International Agency for Research on Cancer* (IARC, 1988) ha classificato il benzene nel gruppo 1, cioè tra le sostanze per le quali esiste un'evidenza accertata sull'induzione di tumori nell'uomo.

A differenza del benzene, **Toluene** e **Xileni** non inducono lo sviluppo di cellule cancerogene, ma svolgono anch'essi azione depressiva sul sistema nervoso centrale, con effetti di tipo inebriante e anestetico. L'esposizione al toluene durante il periodo di gravidanza può provocare malformazioni teratogeniche.

Il **biossido di zolfo** è un potente agente broncocostrittore. La gravità dell'intossicazione dipende da vari fattori quali la concentrazione e l'umidità dell'aria inalata, il grado di reattività individuale, ecc. L'associazione del biossido di zolfo con il particolato atmosferico è in grado di produrre fenomeni fisiopatologici anche a bassissime concentrazioni.

Il **3-4-benzo(a)pirene**, della famiglia degli idrocarburi policiclici aromatici, una volta emesso (soprattutto dal gas di scarico dei veicoli) diffonde nell'aria sotto forma di

fuliggine o legato al particolato. Il 3-4-benzo(α)pirene che si associa al particolato più fine può venire facilmente inalato poiché i tempi di sospensione sono piuttosto lunghi. L'*International Agency for Research on Cancer* ha riconosciuto il 3-4-benzo(α)pirene come causa certa di mortalità per cancro al polmone (IARC, 1983).

L'**ozono** è un gas a forte azione irritante per le mucose. Fra gli effetti acuti, dipendenti dalla concentrazione e dalla durata dell'esposizione, si evidenziano irritazione agli occhi, al naso, alla gola e all'apparato respiratorio. In caso di sforzi fisici l'azione irritante risulta più intensa. Per gli effetti a lungo termine esistono indicazioni in base alle quali esposizioni ripetute e frequenti all'ozono, in concomitanza con altri inquinanti spesso ad esso associati, quali aldeidi e perossiacetilnitrato, possono avere un'influenza sull'insorgere e sul decorso di malattie dell'apparato respiratorio. Inoltre, le più recenti indagini mostrano che lo smog fotochimico e l'inquinamento atmosferico in generale possono portare ad una maggiore predisposizione alle allergie delle vie respiratorie.

Elevate concentrazioni di ozono in atmosfera arrecano danni anche alla vegetazione e ai prodotti agricoli. L'ozono viene infatti assorbito dalle piante a livello fogliare ed esplica un'azione dannosa sul metabolismo della fotosintesi clorofilliana. Infine vi è pure una lunga serie di materiali la cui durata viene limitata dall'esposizione ad elevate concentrazioni di ozono atmosferico. Negli Stati Uniti è stato calcolato un danno annuale di due miliardi di dollari su materie plastiche, gomme, fibre tessili e vernici.

2.5.4. Le prospettive di intervento

I rapporti causali tra le caratteristiche dei profili delle emissioni inquinanti, le condizioni meteorologiche, i diversi comparti ambientali, da una parte, e i rischi sanitari per la popolazione, dall'altra, assieme agli stress a cui sono continuamente sottoposti l'ambiente, i manufatti ed il patrimonio artistico, sono ormai stati messi in chiara evidenza dalle attuali conoscenze scientifiche e dai numerosi dibattiti tecnici e scientifici. Il miglioramento della qualità dell'aria può essere ottenuto soltanto con adeguate strategie di controllo e di riduzione delle emissioni. I piani di riduzione delle emissioni, però, risultano in generale molto onerosi poiché implicano la sostituzione di intere tecnologie,

la variazione di cicli produttivi e di sistemi di approvvigionamento nonché la costruzione o ristrutturazione di impianti e infrastrutture.

È proprio in un tale scenario che divengono essenziali per programmare piani di intervento efficaci due strumenti tra loro complementari e relativamente ‘economici’: i modelli matematici e le reti di misura dei dati ambientali, rispettivamente per l’interpretazione e per il monitoraggio dei fenomeni fisici coinvolti. Certamente questi due strumenti, di per sé, non riducono l’inquinamento atmosferico, ma costituiscono un’opportunità irrinunciabile, per i decisori politici, di predeterminare costi e benefici degli interventi.

Le strategie di intervento possono essere schematizzate in due classi principali, a seconda che mirino alla riduzione pianificata su medio e lungo periodo dei livelli di inquinamento, oppure alla limitazione su tempi brevi degli effetti sanitari e ambientali dovuti agli episodi acuti. Modelli matematici adeguati risultano indispensabili sia nella scelta, pianificazione e stima dell’efficacia dei provvedimenti sul medio e lungo periodo, sia, sul breve periodo, nella previsione degli episodi di inquinamento acuto.

Certamente non possono esistere soluzioni semplici per il fenomeno dell’inquinamento atmosferico urbano che è altamente complesso, tuttavia attuare con un certo anticipo appropriati provvedimenti a carattere contingente (come ad esempio la chiusura al traffico veicolare di determinate aree) può limitare sia l’esposizione della popolazione al rischio sanitario, sia lo sviluppo di episodi acuti.

L’efficacia degli interventi dipende innanzitutto dalle caratteristiche degli inquinanti coinvolti. Infatti, mentre le concentrazioni degli inquinanti primari hanno un comportamento che dipende molto strettamente dalla localizzazione a microscala delle emissioni, quelle degli inquinanti secondari presentano un andamento spaziale più omogeneo e meno dipendente dalla posizione delle singole sorgenti. Interventi sulle sorgenti di emissione locali permettono quindi di ottenere degli effetti diretti su inquinanti primari come il monossido di carbonio, ma per la riduzione delle concentrazioni degli inquinanti secondari quali l’ozono sono necessari interventi con campo d’azione più vasto. Infatti la formazione di O₃ avviene in periodi di tempo che possono variare da alcune ore a parecchi giorni, in dipendenza dalle condizioni meteorologiche (in special modo irraggiamento solare, temperatura, direzione e velocità

del vento, condizioni di stabilità atmosferica e altezza dello strato di rimescolamento). Alte concentrazioni di ozono e PAN possono essere rilevate anche a distanza di centinaia di chilometri dall'origine (le perdite degli inquinanti per deposizione possono essere compensate dalla loro produzione lungo la traiettoria compiuta dalle masse d'aria), mentre i più alti valori solitamente si registrano sottovento alle grandi aree urbane a distanze dell'ordine delle decine di chilometri. Ciò accade perché ozono e PAN vicino alla sorgente sono abbattuti dalle grandi quantità di NO, emesso dai processi di combustione e da sorgenti veicolari, o da altre reazioni concorrenti.