

ALESSANDRO LODA

EVOLUZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA DI CREMA

L'articolo ricostruisce la storia del monitoraggio della qualità dell'aria nella città di Crema, così come risulta dall'analisi delle serie storiche della concentrazione d'inquinanti registrate a partire dal 1992 dalle stazioni di misura collocate in città.

L'argomento offre lo spunto per fornire alcune informazioni sull'origine e gli effetti dei singoli inquinanti monitorati e qualche considerazione sul problema dell'inquinamento atmosferico e delle politiche di controllo e prevenzione attualmente in atto.

■ **Le origini del controllo della qualità dell'aria.**

L'inquinamento atmosferico è definito come "ogni modifica dell'aria atmosferica dovuta all'introduzione nella stessa di una o di più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o costituire un pericolo per la salute umana o per la qualità dell'ambiente, oppure tali da ledere i beni materiali o compromettere gli usi legittimi dell'ambiente".¹

Da sempre l'attività vulcanica e l'attività biologica contribuiscono all'emissione di sostanze inquinanti in aria. Tuttavia è solo con l'avvento della rivoluzione industriale, fondata sull'energia fornita dalla combustione di fonti energetiche fossili, che l'attività dell'uomo diventa capace di modificare significativamente e su vasta scala la composizione dell'atmosfera.

La nascita delle politiche e delle azioni di contrasto dell'alterazione della qualità dell'aria viene comunemente fatta risalire agli anni '50 del secolo scorso. Alcuni episodi particolarmente allarmanti registrati negli Stati Uniti ed in Inghilterra portarono il problema degli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico all'attenzione di scienziati, politici e cittadini.

In particolare si ricorda il terribile inverno del 1952 in Inghilterra. Le autorità sanitarie inglesi stimano che la cappa di smog che avvolse la città di Londra dal 5 al 9 dicembre di quell'anno abbia causato, solo in quelle giornate, più di 4000 morti.

1. Definizione tratta dalla parte PARTE QUINTA del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale".

Sull'onda dell'evidenza dei crescenti problemi sanitari legati all'inquinamento dell'aria, l'Italia approva la prima normativa nazionale di settore, la legge 13 luglio 1966 n. 615: "*Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico*".

La legge si concentrò sul controllo delle sorgenti di inquinamento individuando tre fonti: impianti termici, impianti industriali, veicoli a motore.

Il controllo delle emissioni fu affidato agli allora esistenti Laboratori Provinciali di Igiene e Profilassi (LPIP), presso i quali dovevano essere costituiti i Servizi di analisi e controllo dell'inquinamento dell'aria. Nonostante il pericolo sanitario rappresentato dagli episodi acuti, la legge n. 615 non prevedeva la costruzione di reti di monitoraggio a tutela della salute della popolazione. Eventuali iniziative furono lasciate alle singole amministrazioni locali, come ad esempio fu il caso della rete di Milano e provincia, le cui prime stazioni di misura risalgono al 1957.

Nel 1970, con l'avvio dell'autonomia regionale, anche le competenze sul controllo ambientale furono trasferite alle regioni. Pochi anni dopo la Lombardia poté promulgare la legge regionale del 23 agosto 1974 n. 49: *Interventi per il controllo e la prevenzione dell'inquinamento atmosferico ed acustico per gli anni 1974-75*. La legge, oltre a finanziare le amministrazioni provinciali per l'acquisto di apparecchiature destinate ai Servizi di analisi e controllo dell'inquinamento atmosferico dei LPIP, prevede finalmente interventi a sostegno del controllo pubblico della qualità dell'aria. Nella legge si assegna alla Giunta regionale l'incarico di predisporre un Piano per la costruzione di un sistema integrato di monitoraggio meteorologico e di inquinamento dell'aria a scala regionale.

Pochi mesi dopo, nel febbraio del 1975, l'Assessorato all'Ecologia, Caccia e Pesca presenta il *Piano per l'istituzione della rete automatica di rilevamento chimico e meteorologico*, che sarà però approvato dalla Giunta solo nel 1978.

Il piano, di notevole modernità ed ambizione, definiva i presupposti tecnici e culturali che sono ancora alla base di numerose realtà della rete regionale di controllo della qualità dell'aria.

Nel dettaglio il piano prevedeva la realizzazione di un centro regionale di raccolta, memorizzazione, esame ed elaborazione dei dati rilevati e di una rete di stazione di monitoraggio meteo e dell'inquinamento oculatamente distribuita sulla regione in funzione delle criticità ambientali presenti. La rete si basava sull'integrazione in un unico sistema delle reti già esistenti realizzate da altri enti pubblici (es. Provincia di Milano), delle stazioni realizzate da aziende pubbliche o private in seguito a convenzioni o obblighi autorizzativi, delle eventuali nuove stazioni che si fossero eventualmente rese necessarie.

Tra le molte sostanze inquinanti emesse dall'attività umana si prevedeva di monitorare quelle sostanze che già all'epoca l'esperienza e la ricerca scientifica avevano individuato come più significative per la conoscenza della qualità dell'aria. In particolare i criteri adottati erano la larga diffusione, la significatività degli effetti sull'uomo e sull'ambiente, la possibilità tecniche del loro rilevamento automatico, l'importanza della conoscenza della loro concentrazione.

Le sostanze inquinanti individuati erano: i composti dello zolfo (SO_2 , SO_3 , H_2S ; sostanza di riferimento per il monitoraggio era il biossido di zolfo SO_2); composti dell'azoto (NO_x ovvero NO e NO_2 ; sostanza di riferimento NO_2); i composti del carbonio (sostanza di riferimento il monossido di carbonio (CO); lo stato ossidante dell'aria (O_3); le polveri totali sospese (PTS).

Le stazioni di rilevamento erano previste di tre classi. Le stazioni di prima classe dovevano essere dotate di analizzatori per la misura di tutti gli inquinati sopra elencati, quelle di seconda classe comprendevano apparecchiature per il rilevamento solo di alcuni inquinanti soltanto; le stazioni di terza classe con apparecchiature per rilievi particolari.

Per la collocazione delle nuove stazioni o l'eventuale ricollocazione delle esistenti, si doveva fare ricorso all'esperienza territoriale dei Direttori dei LPIP. Nella nostra provincia erano previste: 2 stazioni a Cremona, una di 2^a e una di 3^a classe; una stazione di 2^a classe a Crema, affiancata da una stazione meteorologica.

Nonostante un avvio così promettente, ancora nel 1984, non solo Crema non disponeva di nessun stazione di misura, ma tutta la rete regionale, escluse le storiche centraline della provincia di Milano, era praticamente ancora da costruire. Tuttavia nel frattempo sono avvenuti importanti mutamenti nello scenario nazionale e regionale. Nel 1978 la legge n. 833 sopprime il sistema mutualistico e istituisce il Servizio Sanitario Nazionale, con decorrenza del 1 gennaio 1980. Le competenze sul controllo alle emissioni, insieme a tutto il vecchio laboratorio di Igiene e Profilassi, passano dalle province alle nuove USSL. Resta tuttavia in capo alle province il compito di provvedere alla realizzazione e gestione delle reti di rilevamento della qualità dell'aria.

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 marzo 1983 fissa per la prima volta standard di qualità dell'aria in ambiente esterno.

Sulla base di questi nuovi impulsi e di specifici finanziamenti regionali, la provincia di Cremona nell'autunno 1984 assegnò al CISE, prestigioso istituto di ricerca scientifico con sede a Segrate (MI) partecipato da ENEL e altri soggetti pubblici, l'incarico di progettare una rete di centraline per il controllo dell'inquinamento atmosferico sul proprio territorio provinciale.

Lo studio, consegnato nel giugno 1985, definì l'ossatura della rete provinciale di monitoraggio della qualità dell'aria di Cremona, così come la conosciamo oggi.

Sulla base della ricognizione dei principali fattori di pressione esistenti in provincia: strade, insediamenti produttivi, impianti di riscaldamento e delle condizioni meteorologiche lo studio arrivò a individuare al necessità di nove stazioni di misura, di cui due nell'area urbana di Crema: la prima centralina nella zona ovest della città, la seconda al margine est dell'abitato di Offanengo.

L'effettiva entrata in servizio della rete di qualità dell'aria della provincia di Cremona, avverrà comunque solo nella seconda metà del 1992. Sono stati necessari poco meno di 20 anni per passare dalla dichiarazione della necessità di collocare una centralina a Crema alla sua effettiva realizzazione.

Non bisogna comunque dimenticare che negli anni a cavallo tra 80 e 90 vengono finalmente completate le rete di rilevamento di ogni province. Il frutto del decentramento è però una gestione frammentata e disomogenea delle rete che comporta non pochi problemi nella ricostruzione dei dati. Nel 1999, con l'istituzione dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA Lombardia), tutte le rete provinciale sono trasferite al nuovo soggetto.

Oggi la Rete di rilevamento della Qualità dell'Aria della Regione Lombardia è composta da 151 stazioni fisse (tra stazioni pubbliche e stazioni private) che forniscono i livelli di concentrazione in aria ad intervalli temporali regolari (generalmente a cadenza oraria). La sub rete provinciale è composta da 7 centraline collocate nei comuni di: Crema, Soresina, Corte dei Cortesi, Pizzighettone, Piadena e Cremona (questa con 2 centraline).

■ *La rete di controllo della qualità dell'aria a Crema*

Nel 1992 furono finalmente installate a Crema due stazioni automatiche di controllo della qualità dell'aria. Il disegno originale prevedeva una centralina a Crema ed una ad Offanengo. Tuttavia, in fase di realizzazione, fu deciso di collocare entrambe le stazioni nel territorio comunale cremasco. Le centraline furono posizionate a nord di Crema, grosso modo agli estremi est ed ovest dell'abitato, a cavallo della linea ferroviaria. La prima cabina (CREMA 1), fu posta in via XI Febbraio, nel quartiere di San Bernardino, la seconda cabina (CREMA 2), in via del Picco, vicino al bocciodromo, in una trasversale di Via Indipendenza (**fig. 1**).

Le due centraline furono allineate lungo la direzione orizzontale est-ovest, quella dei venti dominanti, ai due lati dell'area contenente gli insediamenti produttivi dello stabilimento delle Ferriera di Crema e della Van den Bergh, oggi Bakemark.

La scelta localizzativa riflette le valutazioni tecniche che venivano fatte in quegli anni, in cui il controllo della qualità dell'aria avveniva privilegiando la significatività locale del punto di misura, ovvero la sua vicinanza alle grosse sorgenti di inquinamento, rispetto alla necessità di disporre di dati utili alla costruire modelli di diffusione degli inquinanti.

Il principale obiettivo delle stazioni si riteneva fosse quello di controllare la ricaduta delle emissioni del comparto produttivo, in particolare dei grossi stabilimenti responsabili delle emissioni di SO₂ (come ad esempio la Ferriera di Crema), all'epoca ancora uno degli inquinanti atmosferici più pericolosi.

L'esatta collocazione delle stazioni fu ovviamente anche determinata da necessità pratiche quali: disponibilità dei suoli, accessibilità, assenza di ostacoli, possibilità di collegamento alle reti elettrica e telefonica.

Per le due stazioni fu scelto un guscio in vetroresina, secondo uno schema tipico, basato sulla qualità dei materiali, destinati a essere esposti alle intemperie e sulla modularità dell'allestimento, predisposto così ad accogliere eventuali evoluzioni (fig. 2). Infatti una stazione fissa per la misura degli inquinanti atmosferici, ed eventualmente dei dati meteorologici, è costituita da più parti. Gli strumenti di misura, analizzatori e sonde meteo; il sistema delle apparecchiature di servizio per la visualizzazione, l'elaborazione e la trasmissione dei valori rilevati; la struttura interna di supporto ed infine il sistema di contenimento e protezione.

Le cabine dovettero essere allacciate alla rete elettrica e telefonica. Il collegamento alla rete elettrica di una cabina è indispensa-

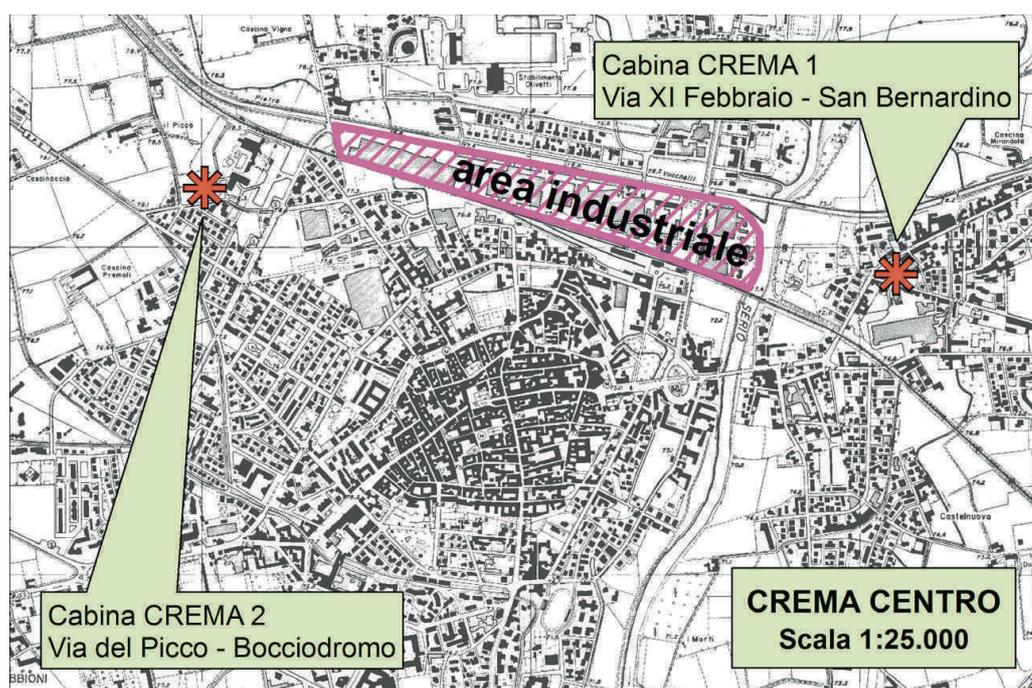


Figura 1.
Localizzazione nell'abitato di Crema delle stazioni di rilevamento della qualità dell'aria della rete provinciale. (Estratto carta tecnica regionale CTR, 1:10 000, aggiornata al 1994).

bile, non tanto per le apparecchiature, il loro consumo contenuto, ma per il sistema di climatizzazione. Infatti per garantire la precisione delle misure è necessario mantenere costante la temperatura interna. A causa dei progressi della telefonia mobile, ai giorni nostri è venuta meno la necessità di provvedere ad un collegamento diretto alla linea telefonica.

Resta il fatto che le cabine della rete di Crema risultarono periferiche rispetto al centro, situazione che nel corso degli anni è stata causa di perplessità e critiche da parte di associazioni e cittadini. La posa e l'allestimento delle cabine avvenne nella primavera del 1992. Nei mesi successivi si procedette alla stabilizzazione e alla calibrazione degli strumenti e alla messa a punto del sistema di registrazione e trasmissione dati. Le serie dei dati di concentrazione validi iniziano nel settembre-ottobre 1992, secondo il tipo di analizzatore o la cabina considerata. Bisogna ricordare che la messa a regime riguardò non solo le cabine di Crema, ma tutta la rete provinciale, che come abbiamo visto era in corso di allestimento nello stesso periodo.

L'elenco degli analizzatori installati ed attivi nelle centraline è riportato nella **tabella 1**.

Come facilmente si potrà vedere, da subito la cabina di CREMA 1 fu considerata la cabina principale, in attesa dell'integrazione strumentale da effettuarsi a CREMA 2 che avrebbe dovuto avvenire a spese della Ferriera di Crema. Questo ha comportato un numero più rilevante di discontinuità nelle serie storiche di CREMA 2, spesso "cannibalizzata" nell'urgenza di garantire il continuo funzionamento di CREMA 1 in caso di guasti.

Un primo adeguamento della rete avvenne nel 1996, con l'inserimento nella cabina di CREMA1 di due nuovi analizzatori per la misura del monossido di carbonio (CO) e dell'ozono (O₃) e venne potenziato il numero dei parametri meteo rilevati.

Negli anni Novanta la crisi e la chiusura della Ferriera di Crema fece venir meno il senso e la funzione di CREMA2. Un tentativo di trovare una nuova funzione a questa centralina fu eseguito nel

CABINA	Ott-1992	Mar-1996	Ott-1999	Gen-2004	Set-2007
CREMA 1	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x
	PTS	PTS	PTS	PTS	
	Meteo	Meteo ⁽⁺⁾	Meteo	Meteo	Meteo
		CO	CO	CO	CO
		O ₃	O ₃	O ₃	O ₃
CREMA 2					PM ₁₀
	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂	
			CO	CO	
			NO _x	NO _x	
			PM ₁₀		

Tabella 1.
Parametri rilevati dalle centraline. In questa occasione si procedette anche ad un potenziamento dei sensori meteo.

1999, provando a trasformarla in una cabina per il rilievo dell'inquinamento da traffico. Nella cabina furono pertanto inseriti gli analizzatori per il CO e NO_x. Sempre in questa ottica, nel 2004 il nuovo campionario per la misura della concentrazione del PM₁₀ fu posizionato anch'esso nella centralina di CREMA2.

Constatata lo stretto parallelismo tra le concentrazioni registrate per lo stesso inquinante nelle due cabine, nel 2006 la stazione di CREMA 2 venne definitivamente disattivata,. A seguito della chiusura, l'analizzatore di PM₁₀ fu spostato a CREMA 1.

■ *Il clima di Crema*

Prima di analizzare in dettaglio i dati di concentrazione misurati dalla rete di Crema, è utile fornire alcune indicazioni sul regime climatico dell'area di misura. Infatti se la qualità dell'aria dipende dalla quantità delle emissioni, sono però le caratteristiche meteo-climatiche di una zona a determinare in modo significativo i livelli di inquinamento atmosferico presente. L'andamento dei venti, l'irraggiamento solare, le precipitazioni, la temperatura dell'aria... influiscono significativamente sulla velocità con cui gli inquinanti emessi sono trasportati, trasformati, dispersi e/o depositati al suolo.

La situazione climatica di Crema coincide con quella della Pianura Padana centrale. Questa è una vasta zona pianeggiante circondata su tre lati da montagne: a ovest e a nord dalle Alpi e a sud dagli Apennini. La lontananza dal mare e le barriere montuose determinano un clima di spiccata continentalità, con inverni piuttosto rigidi ed estati calde. Le precipitazioni sono concentrate in primavera ed autunno, con picchi temporaleschi durante i mesi estivi. Nel **grafico 1** sono rappresentati la temperatura e le precipitazioni annue, ottenuta dall'elaborazione delle medie mensili registrate dal 1961 al 2007. I dati dal 1961 al 1990 sono tratti dal Capitolo 8 "*Climatologia*" dello "*Studio geologico a supporto della redazione del P.R.G.*" di Crema, redatto nel 2004 dal dott. Giuseppe Malerba. I dati dal 1993 al 2007 sono quelli registrati dalle sonde meteo della cabina di CREMA 1.

Il regime dei venti è abbastanza debole tutti i mesi dell'anno, con condizioni di stabilità atmosferica che possono protrarsi anche per più settimane. La direzione predominante è quella grosso modo orizzontale, con andamento est-ovest. Poiché le perturbazioni sono nella gran parte dei casi di provenienza atlantica, la loro evoluzione è fortemente influenzata dalla presenza della barriera alpina. Nella maggioranza dei casi l'instabilità o è trattenuta dal rilievo alpino o, se lo scavalca, "scivola sopra" gli strati d'aria a contatto col suolo della pianura. In presenza di venti in genere molto deboli, il ristagno dell'umidità prodotta dal suolo

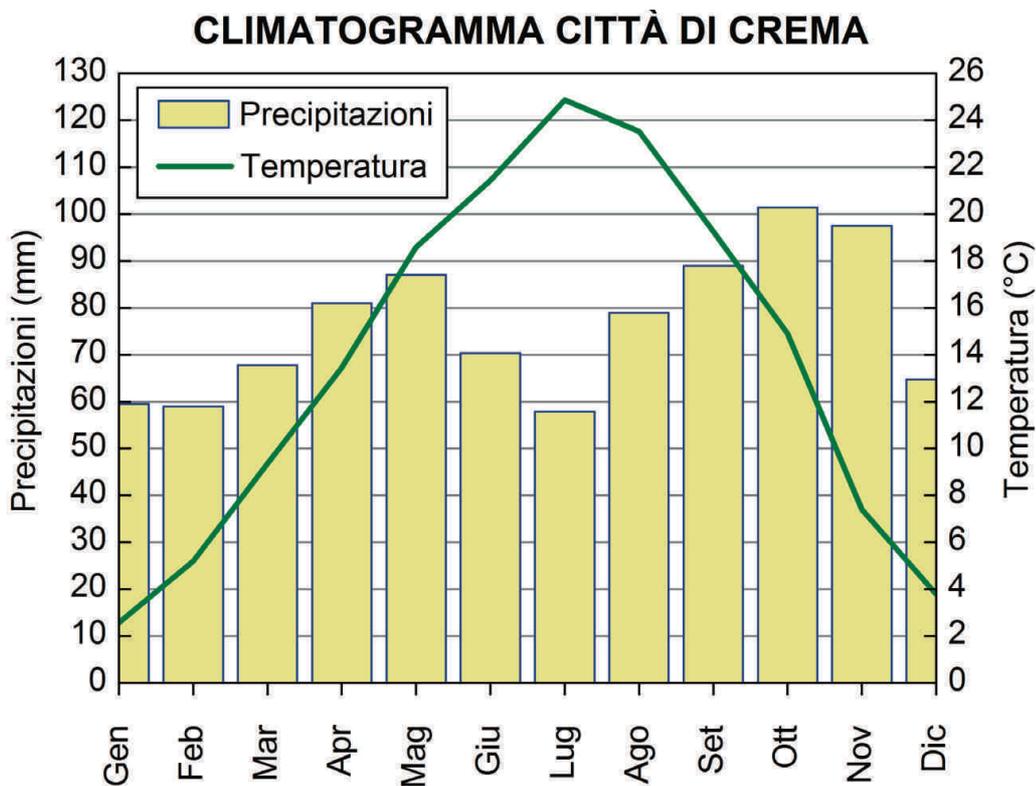


Grafico 1.
Climatogramma della città di Crema.

nei primi strati dell'atmosfera conduce ai fenomeni ben noti delle nebbie invernali e dell'afa estiva.

Si tratta quindi di un clima con caratteristiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti. Il mancato rimescolamento dei bassi strati dell'atmosfera favorisce l'accumulo delle emissioni nel volume limitato del catino padano. I periodi di maggiore concentrazione sono quelli invernali ed estivi, in cui le condizioni di stabilità atmosferica sono maggiori.

Particolarmente significativo durante le calme di vento è nella Pianura Padana il fenomeno dell'inversione termica. Si tratta di un fenomeno che comporta un riscaldamento dell'aria con l'aumentare della quota, anziché un suo raffreddamento. In condizioni di inversione termica si crea uno strato orizzontale di aria più calda di quella sottostante, una sorta di "coperchio" esteso su tutta la pianura che limita in senso verticale il rimescolarsi e il diluirsi degli inquinanti.

I meccanismi che portano al fenomeno dell'inversione termica sono diversi. Il più tipico e sfavorevole è quello detto dell'inversione termica al suolo, in cui la quota dello strato può essere anche solo a qualche decina di metri dal piano campagna. In condizioni anticicloniche di cielo sereno e in assenza di rimescolamento, dopo il tramonto il terreno si raffredda più rapidamente dell'aria. Questo raffreddamento sottrae calore agli strati più vicini al suolo che risultano quindi più freddi di quelli sovrapposti

(fig. 3). Nei mesi più freddi l'energia solare non è sufficiente a ristabilire il gradiente naturale, per cui l'inversione tende a mantenersi e a perdurare tutto il giorno e anche per più giorni consecutivi, se non intervengono perturbazioni o rinforzi del vento.

Nel periodo invernale, durante l'inversione al suolo, il volume a disposizione per la diluizione degli inquinanti è estremamente ridotto. In questa situazione si rilevano le concentrazioni di inquinanti più elevate, poiché alle emissioni usuali si sommano quelle degli impianti di riscaldamento.

L'inversione termica è riconoscibile visivamente per la formazione di uno strato di foschia, caligine o nebbia, nettamente separato da condizioni superiori di cielo estremamente limpido.

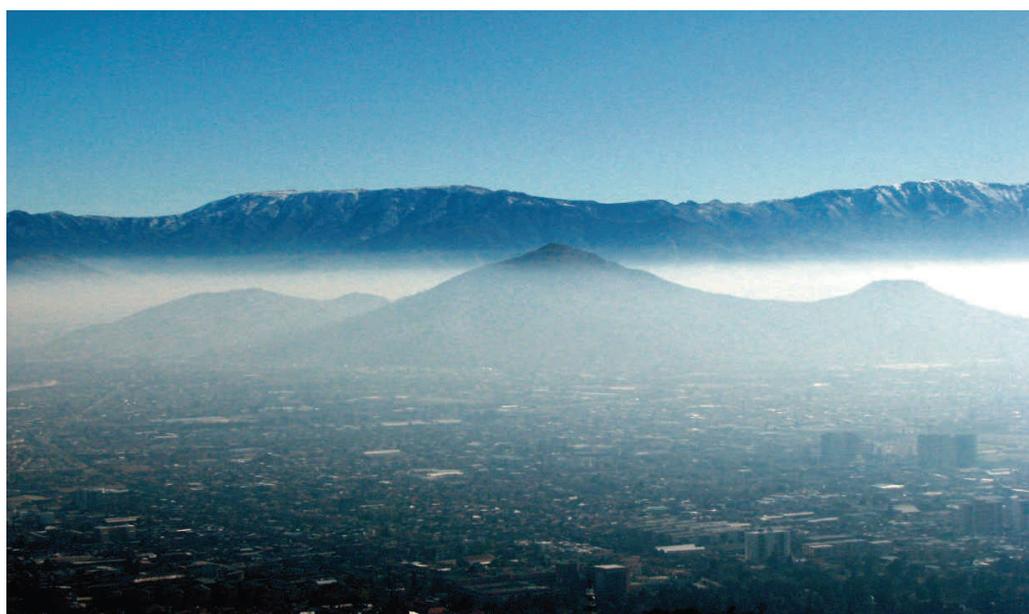
■ *La qualità dell'aria a Crema*

L'andamento negli anni delle concentrazioni in aria degli inquinanti rilevati dalle centraline della rete di Crema è visualizzato nei grafici successivi. La rappresentazione del fenomeno va dall'entrata in funzione dello specifico analizzatore a tutto giugno 2008.

Poiché gli analizzatori di ARPA Lombardia forniscono un dato orario, è impossibile rappresentare in un grafico le decina di migliaia di valori misurati in più di quindici anni di servizio. Per avere una rappresentazione più chiara ed espressiva, nei grafici sono stati rappresentati solo i valori medi mensili ed annuali. L'operazione di media ha consentito inoltre di smussare le fluttuazioni casuali di breve periodo dovute a situazioni contingenti (riducendo ad esempio la variabilità meteorologica), facendo emergere gli andamenti dominanti del fenomeno sul lungo periodo.

Per ogni inquinante, insieme al valore medio annuo e mensile della concentrazione in aria, è anche rappresentato l'andamento del

Figura 3.
Effetto del fenomeno dell'inversione termica sopra la città di Santiago del Cile sulla diffusione degli inquinanti prodotti al suolo.



valore medio annuo ottenuto dalle stazioni della rete di Milano. Questo confronto permette di contestualizzare la qualità dell'aria di Crema in rapporto alla situazione di una grande metropoli caratterizzata da elevati livelli di inquinamento atmosferico. I dati milanesi iniziano dal 1990, in modo da ampliare la visione storica delle dinamiche all'interno delle quali si collocano i risultati della rete di Crema. L'unica eccezione è rappresentata dai dati di PM10, i cui rilievi sono iniziati anche a Milano successivamente, a partire dalla fine del 1997.

Nei periodi in cui uno stesso inquinante è stato simultaneamente monitorato in entrambe le stazioni di Crema, i valori puntuali di ogni grafico sono la media dei due valori registrata nello stesso periodo da entrambe le cabine. A maggior ragione questo vale per Milano, dove il numero di cabine presenti è decisamente superiore. Per questa ragione nei grafici ci si riferisce a "Crema città" e "Milano città".

Per ogni inquinante, la rappresentazione grafica dell'andamento delle concentrazioni rilevate negli anni è preceduta da una breve introduzione sulla natura dell'inquinante, le sorgenti, i suoi effetti sulla salute e i limiti che devono essere rispettati.

Biossido di zolfo (SO₂)

Il biossido di zolfo (SO₂), o anidride solforosa, è un gas incolore, non infiammabile, molto solubile in acqua e dall'odore pungente. A basse concentrazioni è un gas irritante per la pelle, gli occhi e le mucose dell'apparato respiratorio. A concentrazioni più elevate può provocare patologie respiratorie come asma e bronchiti.

Reagisce con l'umidità dell'atmosfera producendo acido solforico, causa prima del fenomeno delle piogge acide, con conseguenti danni a manufatti, vegetazione e ecosistemi acquatici.

Piccole quantità di SO₂ derivano in natura da emissioni vulcaniche e da processi biochimici microbici, ma la fonte principale è l'ossidazione dello zolfo durante la combustione dei combustibili di origine fossile (gasolio, carbone, oli combustibili).

Fino agli anni '80, il biossido di zolfo è stato l'inquinante principale e più pericoloso, all'origine dei peggiori effetti sanitari, ambientali ed economici dell'inquinamento atmosferico. L'origine dei gravi problemi di qualità dell'aria registrati durante le recenti olimpiadi di Pechino è da imputare al massiccio utilizzo in Cina del carbone fossile come combustibile per gli usi domestici e la produzione di energia.

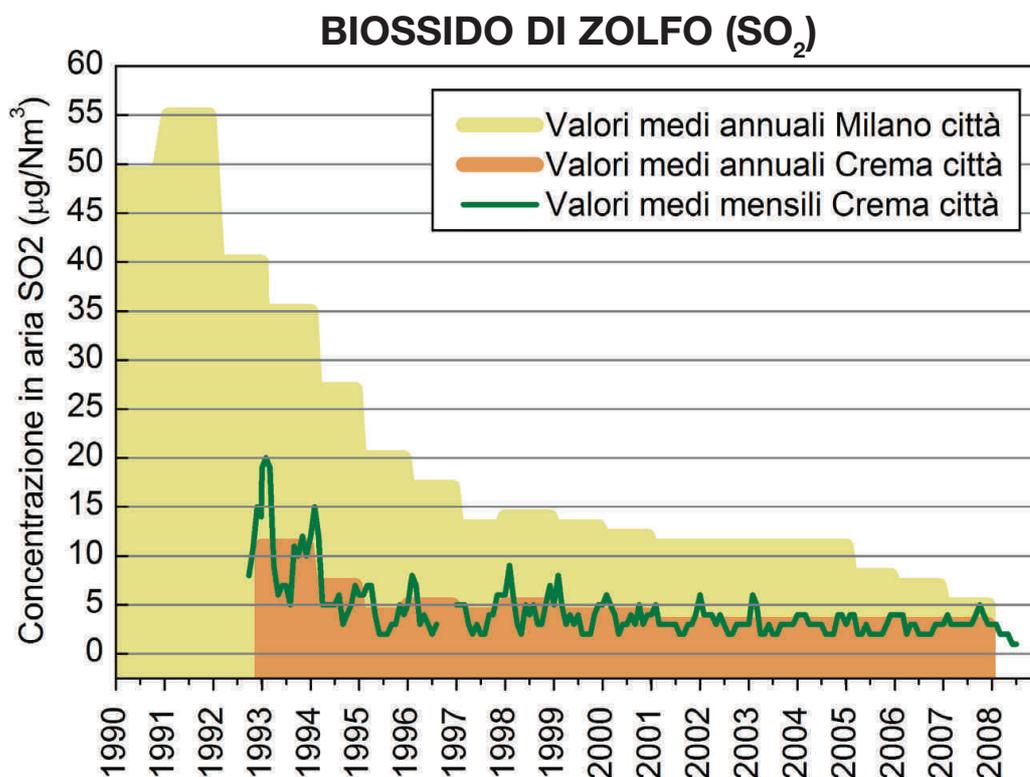
In Europa l'eliminazione dello zolfo dai carburanti, la sostituzione della nafta con il gasolio, la diffusione del metano per il riscaldamento, l'obbligo per industrie e centrali termoelettriche di dotarsi di impianto di abbattimento dello zolfo dai fumi (desolforatori) hanno praticamente eliminato il problema di questo inquinante.

Tabella 2.
Valori per la concentrazione di SO₂ in aria ai fini della tutela della popolazione (DM 02/04/2002 n. 60).

Valore limite (µg/Nm ³)	Periodo di media	
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile)	350	1 ora
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	125	24 ore
Valore limite per la protezione degli ecosistemi	20	Anno civile e inverno (1 ott - 31 mar)
Soglia di allarme	500	3 ore consecutive

L'analisi del **grafico 2**, relativo all'andamento nel tempo del biossido di zolfo permette di formulare le seguenti osservazioni. Le centraline di Crema sono entrate in funzione sulla "coda" del trend di riduzione della concentrazione in aria (ben visibili nelle concentrazioni milanesi), frutto del successo delle politiche nazionali e regionali di riduzione delle emissioni. Da sempre i valori misurati sono pertanto sempre stati molto bassi ed ampiamente sotto i limiti di legge. Si consideri che a metà degli anni '70, la concentrazione media annuale di SO₂ a Milano superava ampiamente i 250 µg/Nm³. Dal 2000 la concentrazione è scesa praticamente al limite di rilevabilità strumentale. Solo negli ultimi anni la concentrazione media di Milano sta avvicinandosi ai valori di quella di Crema.

Grafico 2.
Andamento delle concentrazioni media mensile e annuale di biossido di zolfo (SO₂) rilevata nel corso degli anni dalla rete della qualità dell'aria di Crema, confrontata con la concentrazione annua media rilevata dalla rete di Milano.



Ossidi di azoto (NO_x)

Si stima che le emissioni di ossidi di azoto naturali e di origine antropica siano dello stesso ordine di grandezza (circa 200 milioni di tonnellate/anno).

Le sorgenti naturali sono costituite essenzialmente dalle decomposizioni organiche anaerobiche, con un piccolo contributo dovuto a fulmini, incendi ed emissioni vulcaniche. La principale fonte umana di ossidi di azoto è costituita dalle combustioni ad alta temperatura, come quelle che avvengono nei motori degli autoveicoli. L'elevata temperatura che si origina durante lo scoppio provoca la reazione fra azoto dell'aria e ossigeno formando monossido di azoto, che successivamente si ossida in biossido di azoto. In generale i motori diesel emettono più ossidi di azoto e particolati (fumo) rispetto ai motori a benzina, i quali però emettono più ossido di carbonio e idrocarburi. Si stima che in Lombardia circa la metà degli ossidi di azoto provenga dalla combustione dei motori a scoppio. Altre fonti sono gli impianti termici, le centrali termoelettriche e la produzione dei fertilizzanti azotati.

Il biossido di azoto (NO_2) è il più pericoloso degli ossidi di azoto. Per questo è stato assunto come elemento guida di questa categoria di composti, indicati complessivamente come NO_x .

NO_2 è un gas di colore rosso bruno, dall'odore pungente, altamente tossico e corrosivo. È un inquinante secondario che si produce per ossidazione del monossido di azoto (NO).

L' NO_2 contribuisce alla formazione dello smog fotochimico, in quanto precursore dell'ozono troposferico. Concorre al fenomeno delle piogge acide, reagendo con l'acqua e originando acido nitrico. L'inalazione del biossido di azoto determina una forte irritazione delle vie aeree. L'esposizione continua a concentrazioni elevate può causare bronchiti, edema polmonare, enfisema.

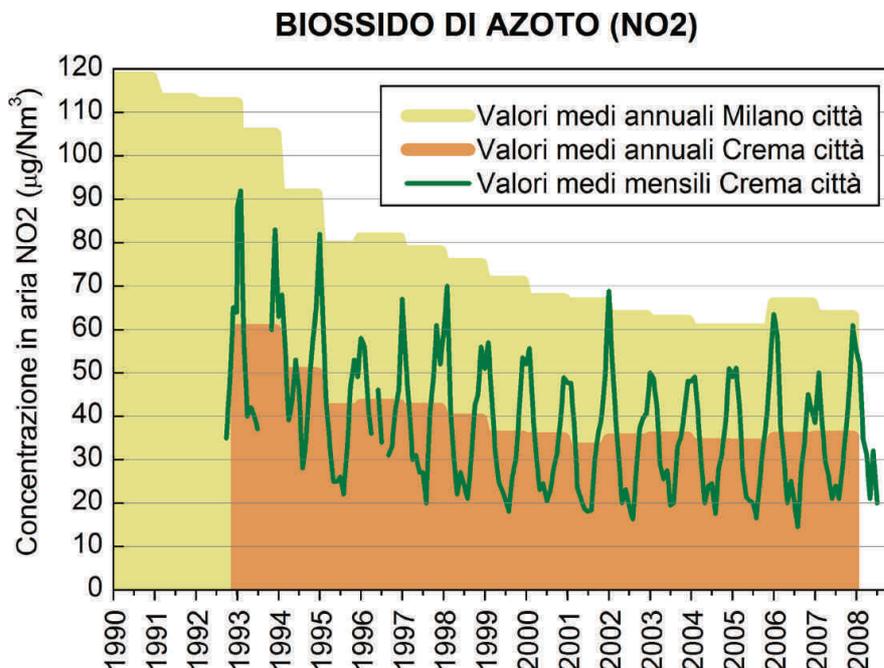
Nel **grafico 3** può osservare l'andamento della concentrazione media di NO_2 nel tempo. Anche in questo caso i valori degli ultimi anni sono sempre stati inferiori ai limiti previsti dal DM 2 aprile 2002 n. 60.

Valore limite ($\mu g/Nm^3$) per NO_2	Periodo di media	
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	230	1 ora
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	40	Anno civile
Soglia di allarme	400	3 ore consecutive

Tabella 3.
Principali valori per la concentrazione di NO_2 in aria ai fini della tutela della popolazione (DM 02/04/2002 n. 60).

Grafico 3.

Andamento delle concentrazioni media mensile e annuale di biossido d'azoto (NO_2) rilevata nel corso degli anni dalla rete della qualità dell'aria di Crema, confrontata con la concentrazione annua media rilevata dalla rete di Milano.



Rispetto all' SO_2 è molto più evidente la stagionalità di questo inquinante, con picchi di concentrazione centrati sui mesi autunnali ed invernali, quando il ristagno atmosferico causa un progressivo accumulo degli inquinanti emessi dal traffico e dagli impianti di riscaldamento.

Monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas incolore, inodore, infiammabile che si forma dalla combustione incompleta degli idrocarburi presenti in carburanti e combustibili.

In natura il CO è prodotto in seguito a incendi, eruzioni dei vulcani ed emissioni da oceani e paludi. Poco meno della metà delle emissioni artificiali derivano dai gas di scarico degli autoveicoli, con aumento in relazione a condizione di traffico intenso e rallentato. Per questa ragione la sua concentrazione in aria è strettamente legate ai flussi di traffico locali. Altre fonti sono agli impianti di riscaldamento e i processi industriali come la raffinazione del petrolio, la produzione di acciaio e ghisa, l'industria del legno e della carta.

A causa dell'elevata affinità con l'emoglobina del sangue è un gas molto tossico: si lega all'emoglobina in sostituzione dell'ossigeno impedendone così il trasporto a tessuti, muscoli e cervello, con conseguenti effetti acuti (senso di affaticamento, sonnolenza, mal di testa) e alla lunga effetti cronici (diminuzione delle prestazioni fisiche ed intellettuali, aumento di cardiopatie e di disturbi circolatori).

Nel **grafico 4** è possibile osservare come a partire dall'inizio degli anni '90 le concentrazioni di CO siano in calo, soprattutto

Valore limite ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) per CO		Periodo di media
Valore limite protezione salute umana	10	8 ore

grazie all'introduzione delle marmitte catalitiche sui veicoli e al miglioramento della tecnologia dei motori a combustione interna (introduzione di veicoli Euro 4). In tutti i casi i valori rilevati sono nettamente inferiori ai relativi limiti di legge.

Ozono (O_3)

L'ozono è un gas altamente reattivo, di odore pungente e ad elevate concentrazioni di colore blu, dotato di un elevato potere ossidante.

L'ozono è un inquinante secondario, che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo. La sua formazione avviene in seguito a reazioni chimiche in atmosfera tra i suoi precursori (soprattutto ossidi di azoto e composti organici volatili), favorite dalle alte temperature e dall'irraggiamento solare. Tali reazioni causano la formazione di un insieme di diversi composti, tra i quali, oltre all'ozono, nitrati e solfati (costituenti del particolato fine), perossiacetilnitrato (PAN), acido nitrico e altri ancora. L'insieme di queste sostanze costituisce il tipico inquinamento estivo detto "smog fotochimico".

La rimozione dell'ozono avviene per deposizione al suolo, ma so-

Tabella 4.
Principali valori limite per la concentrazione di CO in aria ai fini della tutela della popolazione (DM 02/04/2002 n. 60).

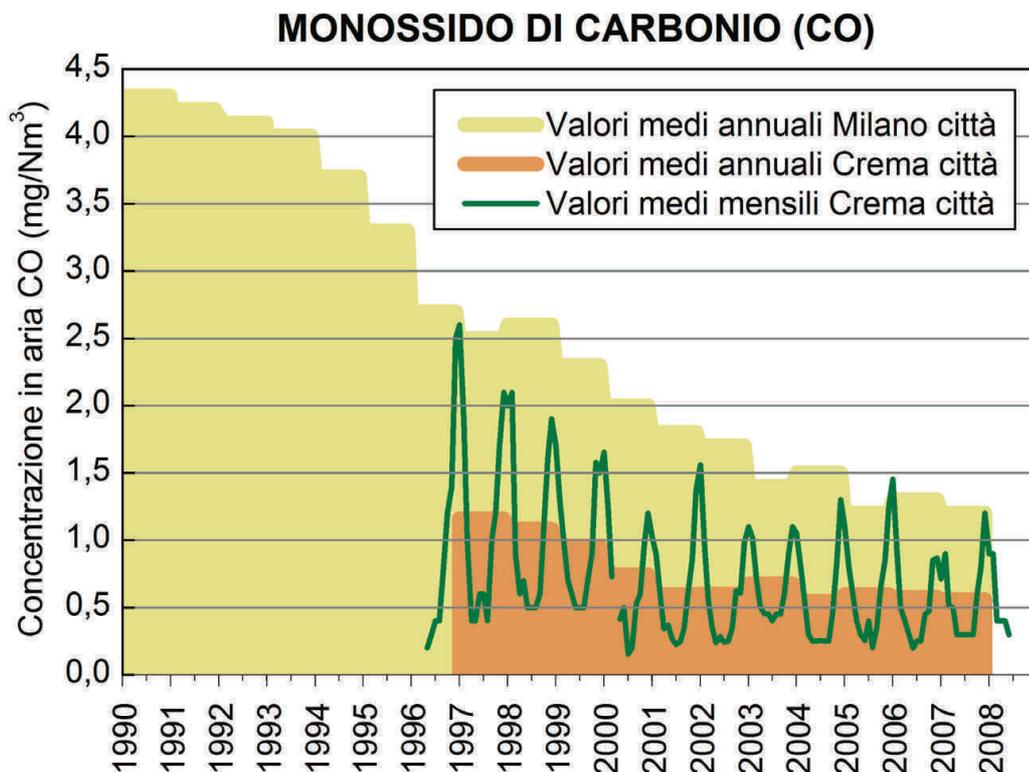


Grafico 4.
Andamento delle concentrazioni medie mensile e annuale di monossido di carbonio (CO) rilevata nel corso degli anni dalla rete della qualità dell'aria di Crema, confrontata con la concentrazione annua media rilevata dalla rete di Milano.

prattutto per reazione chimica, in particolare con il monossido d'azoto. Per questa ragione in prossimità di strade ad alta percorrenza i livelli di ozono sono molto più bassi, essendo l'ozono consumato dalla reazione con l'ossido di azoto generato dal traffico. Essendo fortemente ossidante, l'ozono può attaccare tutte le classi delle sostanze biologiche con cui entra in contatto. Particolarmente esposti sono i tessuti delle vie respiratorie. Si riscontrano in soggetti sani disagi e patologie dell'apparato respiratorio (al naso e alla gola), irritazioni agli occhi e mal di testa già a partire da esposizioni a concentrazioni medie orarie di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e decrementi della funzionalità respiratoria nei bambini e nei giovani a concentrazioni orarie nell'intervallo 160÷300 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Tabella 5.
Principali valori per la concentrazione di O_3 in aria ai fini della tutela della popolazione e della vegetazione (D.L.vo n. 183 21/5/04).

Valore limite ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) per O_3		Periodo di media
Valore bersaglio per protezione della salute umana	120	8 ore
Valore bersaglio per protezione della vegetazione	18.00 0	AOT40 (maglug) su 5 anni
Soglia di informazione	180	1 ora
Soglia di allarme	240	1 ora

Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate. Inoltre, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovento rispetto ai centri urbani principali, come può essere considerata in, condizioni meteorologiche sfavorevoli, Crema rispetto a Milano. Nelle città, inoltre, la presenza di NO tende a far calare le concentrazioni di ozono, soprattutto in vicinanza di strade con alti volumi di traffico.

Questi fenomeno sono ben evidenziati nel **grafico 5**. La spiccata stagionalità della produzione di O_3 è messa in evidenza dal confronto tra le medie mensili e quelle annue. A partire dal 2000 i valori di ozono presenti a Crema sono superiori a quelli di Milano, il cui ozono è allontanato da brezze leggere verso l'hinterland, o consumato in loco dall'NO prodotto dal traffico urbano. In termini generali l'ozono rappresenta un inquinante in costante aumento, con valori di concentrazione spesso superiori a quelli della soglia di informazione. Nel 2006 a Crema è stata superata una volta anche la soglia di allarme.

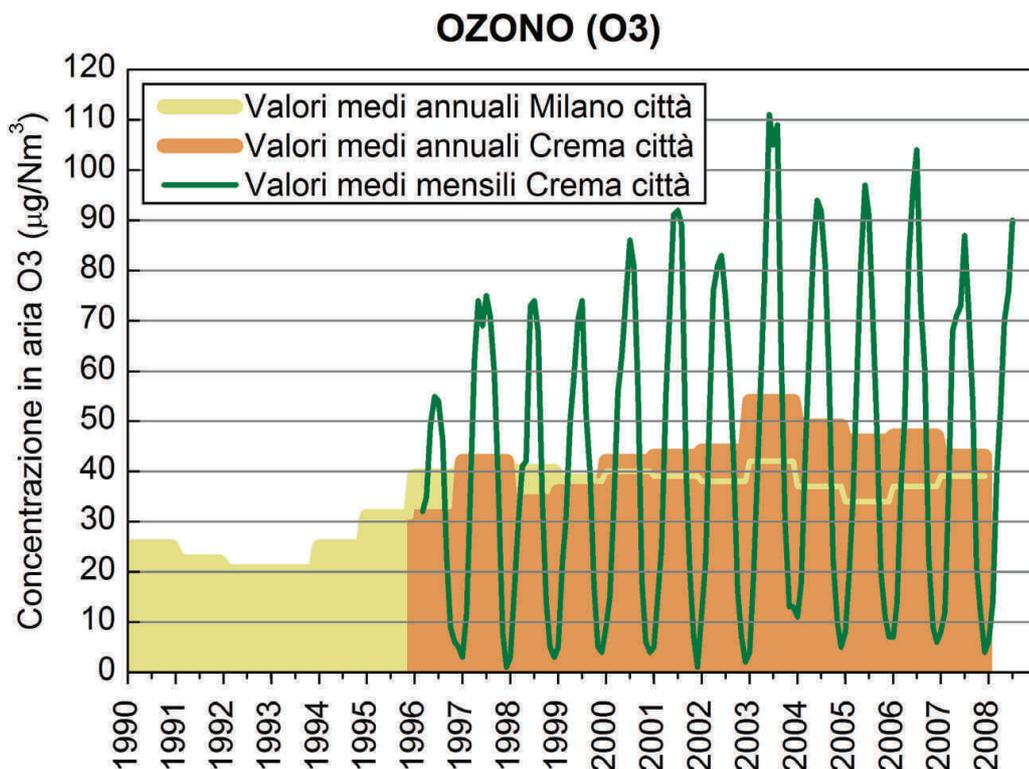


Grafico 5.
Andamento delle concentrazione media mensile e annuale di ozono (O₃) rilevata nel corso degli anni dalla rete della qualità dell'aria di Crema, confrontata con la concentrazione annua media rilevata dalla rete di Milano.

Polveri Totali Sospese (PTS) e loro frazione inferiore a 10 µm (PM10)

L'insieme delle particelle sospese in atmosfera è chiamato PTS (Polveri Totali Sospese). Al fine dell'impatto sulla salute umana, ci si è accorti che è utile distinguere tra la frazione delle polveri in grado di penetrare nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) e la frazione in grado di giungere fino alle parti più interne dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). La prima frazione corrisponde a particelle con diametro aerodinamico massimo di 10 µm (PM10), la seconda a particelle con diametro aerodinamico massimo di 2.5 µm (PM2,5).

Attualmente la legislazione europea e nazionale ha definito valori limite sulle concentrazioni giornaliere e sulle medie annuali solo per PTS e PM10, mentre per il PM2,5 sono ancora in corso le necessarie valutazioni.

Le polveri sospese hanno origine da fenomeni naturali (processi di erosione al suolo, incendi boschivi, dispersione di pollini etc.) e, in gran parte, da attività antropiche. Le principali sorgenti sono i processi di combustione e il traffico veicolare. Quest'ultimo produce particolato durante l'emissione dei gas di scarico (soprattutto da parte veicoli diesel) e dall'usura di pneumatici e freni. Per effetto del loro movimento, tutti i veicoli concorrono ad usurare il manto stradale ed a riportare in sospensione le polveri eventualmente sedimentatosi.

Inoltre, esiste un particolato di origine secondaria dovuto alla compresenza in atmosfera di altri inquinanti come l'NO_x e l'SO₂

che, reagendo fra loro e con altre sostanze presenti nell'aria, danno luogo alla formazione di solfati, nitrati e sali di ammonio.

Le polveri sono composte da: carbonio elementare ed inorganico, metalli di varia natura (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu), nitriti e solfati (responsabili della componente acida del particolato), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), polveri di carbone e di cemento, fibre di amianto, sabbie, ceneri.

La tossicità del PTS è legata alla sua composizione chimica, al suo potere adsorbente e alla sua dimensione. L'inalazione di particelle metalliche può danneggiare il sistema nervoso e quello circolatorio. Sostanze organiche come gli IPA o le fibre d'amianto possono favorire lo sviluppo di tumori, mentre quelle inorganiche possono fungere da vettori per virus e batteri.

Il periodo dell'anno compreso tra ottobre e marzo risulta essere il più critico in quanto oltre all'aumento dei fattori di emissione (riscaldamento) rappresenta il pericolo di maggior stabilità atmosferica.

Tabella 6.
Principali valori per la concentrazione di PM10 in aria ai fini della tutela della popolazione (D.M. n. 60 del 2/4/02).

Valore limite ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) per PM10		Periodo di media
Valore limite protezione salute umana (non superare più di 35 volte per anno civile)	50	24 ore
Valore limite protezione salute umana	40	Anno solare

Le polveri totali sospese sono uno dei primi inquinanti rilevati a Crema. Nel **grafico 6** è riportato il loro andamento, che evidenzia dopo una iniziale discesa nei primi anni '90 una sostanziale stabilità della concentrazione. La serie storica dei dati mensili presenta numerose interruzioni dovute a guasti e fermi macchina dell'analizzatore. Nonostante questi problemi è possibile osservare come l'andamento sia sostanzialmente simile a quello di diversi inquinanti già analizzati: livelli più elevati concentrati nella stagione invernale, valori di Milano città più elevati, sostanziale stabilità del fenomeno.

A fronte dell'evidenza scientifica del pericolo rappresentato dalla frazione del particolato più fine da gennaio 2004 è iniziata il campionamento del PM10 μm a Crema. Nel 2006, verificata la funzionalità del campionatore per il PM10, l'analizzatore del PTS è stato spento. Come si può osservare nel **grafico 7**, anche i rilevamenti nella rete di Milano sono partiti pochi anni prima, a fine 1997.

■ Conclusioni

I cambiamenti che sono avvenuti dal 1992 nella dotazione della rete di misura della qualità dell'aria di Crema e l'andamento del-

POLVERI TOTALI SOSPESE (PTS)

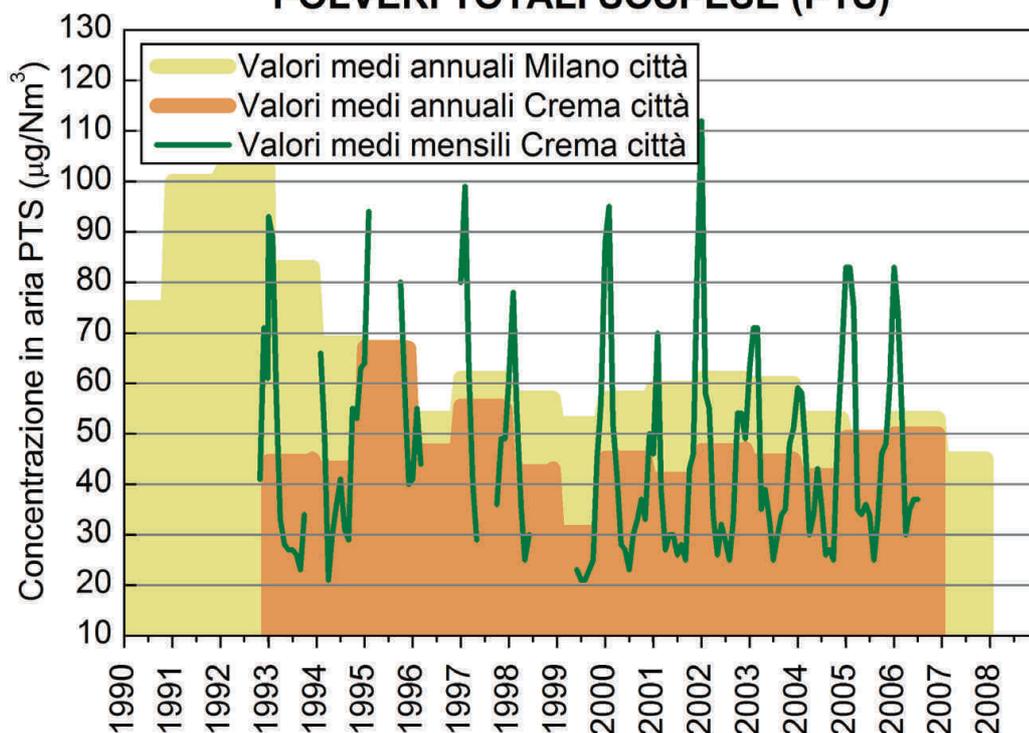


Grafico 6.
Andamento delle concentrazione media mensile e annuale delle polveri totali sospese (PTS) rilevata nel corso degli anni dalla rete della qualità dell'aria di Crema, confrontata con la concentrazione annua media rilevata dalla rete di Milano.

PARTICOLATO INFERIORE A 10 μm (PM10)

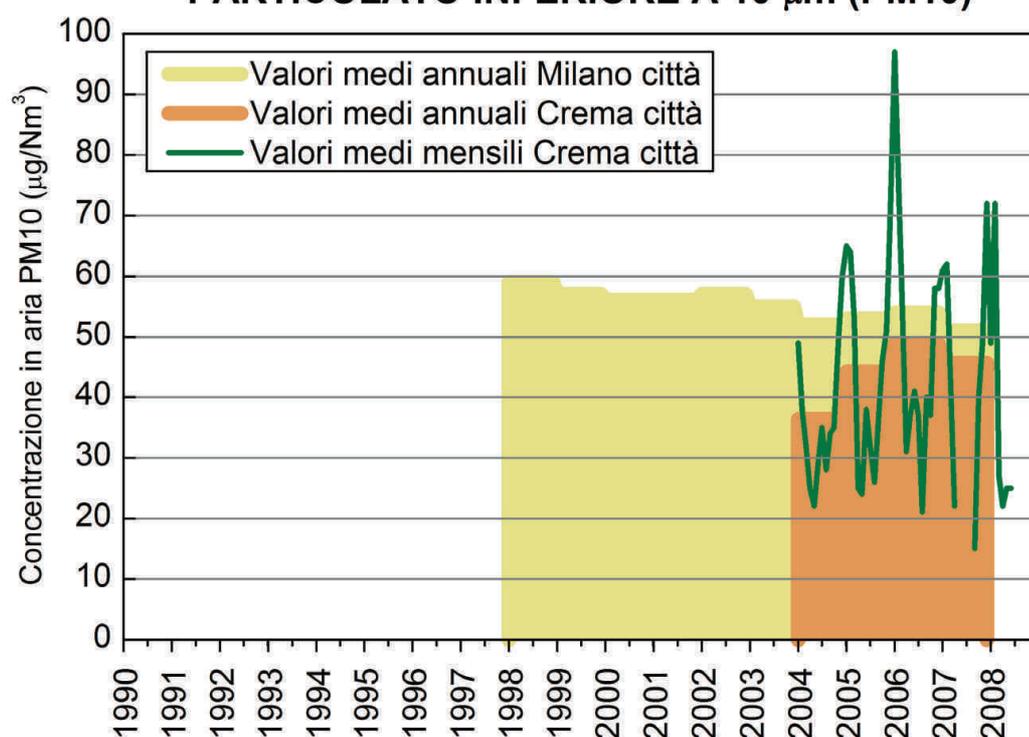


Grafico 7.
Andamento delle concentrazione media mensile e annuale della frazione di particolato inferiore a 10 μm (PM10) rilevata nel corso degli anni dalla rete della qualità dell'aria di Crema, confrontata con la concentrazione annua media rilevata dalla rete di Milano.

le serie storiche degli inquinanti misurati, riflettono a scala locale trasformazioni economiche, sociali e scientifiche di interesse più generale.

In termini generali si osserva da una parte una generale riduzione degli inquinanti "storici", dall'altra la crescita di ozono e polveri sottili.

Il primo fenomeno testimonia del successo delle politiche di contenimento delle emissioni che hanno portato, al controllo degli inquinati storici. Si segnala in particolare la soluzione del problema dell'inquinamento da biossido di zolfo (SO_2). Le politiche di riduzione del tenore di zolfo in combustibili e carburanti, l'obbligo per le centrali termoelettriche e per le industrie di dotarsi di impianti di desolforizzazione hanno portato la concentrazione di questo inquinante a valori estremamente bassi.

- Modifica delle cause del problema qualità dell'aria. Da una parte diminuzione delle emissioni dal settore produttivo a causa di: dismissioni industriali, adozione di cicli produttivi a minor impatto, diffusione dei sistemi di abbattimento e disinquinamento, dall'altra comparsa di nuove problematiche legate all'aumento del traffico su gomma per lo spostamento di persone e merci, anche su piccole percorrenze in ambito urbano. La crescita del trasporto privato ha reso più importante il controllo dei precursori dell'inquinamento fotochimico.

- Aumento delle conoscenze scientifiche sull'importanza sanitaria della frazione più sottile delle polveri sospese. Questo ha portato all'abbandono della misura delle polveri totali (PTS) a favore della sola misura della frazione di diametro aerodinamico inferiore ai $10 \mu\text{m}$ (PM10).

- Riduzione del numero dei punti di misura a favore di modelli matematici di previsione. Si tratta di una necessità sia economica, la gestione delle centraline è molto onerosa, sia scientifica. Sebbene indicazioni in tal senso fossero già presenti nell'ambizioso piano regionale del 1975, solo negli ultimi anni l'evoluzione nei sistemi di trasmissione, i catasti informatizzati dei punti di emissione, il costo decrescente dell'elaborazione e dell'archiviazione dei dati ha reso possibile passare da una conoscenza puntuale ad una spazializzazione quasi in tempo reale della concentrazione degli inquinanti in aria su tutto il territorio.

■ **Bibliografia**

Il controllo della qualità dell'aria è uno dei principali argomenti della tutela dell'ambiente. Si tratta di attività eminentemente svolta da organizzazioni pubbliche nell'interesse della cittadinanza, per questo documentazioni e dati sono in genere distribuiti liberamente.

A causa dei costi di produzione, tutte le pubblicazioni più recenti sono disponibili solo in formato elettronico, mentre sono praticamente scomparse le edizioni a stampa. Il metodo più veloce per procurarsi questo materiale è quindi quello di accedere via internet ai siti istituzionali. La ricerca in rete garantisce inoltre informazioni costantemente aggiornate.

Si ricorda che per quanto riguarda la storia della qualità dell'aria a Crema, non risultano all'autore pubblicazioni specifiche. Tuttavia, per chi fosse interessato, dal sito della qualità dell'aria di ARPA Lombardia è possibile scaricare la serie storica dei valori di concentrazione misurati da ogni analizzatore della rete di Crema dalla sua entrata in funzione ad oggi.

Siti internet sulla qualità dell'aria

<http://www.arpalombardia.it/qaria/home.asp>

<http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>

<http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Aria/>

http://ec.europa.eu/environment/air/index_en.htm

<http://www.epa.gov/air/>

<http://www.euro.who.int/air>

Per la situazione della qualità dell'aria in Lombardia si segnala il documento "Qualità dell'aria e salute", del marzo 2007, redatto a cura di ARPA, Direzione Generale Sanità, Direzione Generale Qualità dell'Ambiente della Regione Lombardia. Il documento è scaricabile al seguente indirizzo:

http://www.arpalombardia.it/qaria/doc_QualitaAriaSalute.asp



FIGURA 2.

Stazione di rilevamento di CREMA 1. Si osservi sul fianco del guscio la finestra prevista per il posizionamento di un monitor video per la visualizzazione dei dati rilevati alla popolazione. Adesso lo stesso servizio è svolto attraverso internet accedendo al sito di ARPA Lombardia.