

Smog fotochimico

Le cause: i fattori d'impatto

Nelle aree popolate del pianeta (aree urbane e suburbane ed aree rurali inquinate) interessate dalla presenza di inquinanti primari antropogenici il principale meccanismo di produzione dell'ozono è costituito dal processo chimico-fisico che prende il nome di smog fotochimico. Per smog fotochimico si intende il prodotto di reazioni tra ozono, ossidi di azoto e COV (composti organici volatili, tra cui gli idrocarburi) catalizzate dalla radiazione solare che avviene nella troposfera¹.

I processi di rimozione degli inquinanti presenti nella troposfera sono rappresentati da processi di deposizione al suolo, trasformazione in altri costituenti atmosferici e trasporto verso gli strati alti dell'atmosfera. La concentrazione locale di un inquinante può inoltre diminuire per effetto della dispersione o diluizione. L'andamento temporale della concentrazione di ozono al suolo è caratterizzato da due componenti principali:

- 1) una forte componente stagionale correlata con le variazioni stagionali dei processi meteorologici, principalmente con il ciclo stagionale dell'irraggiamento solare. I massimi si osservano nei mesi estivi;
- 2) una componente giornaliera. La variabilità giornaliera dipende dal bilancio dei fattori che influenzano la formazione, il trasporto e la rimozione dell'ozono. Questi andamenti variano da luogo a luogo.

Nelle aree densamente popolate e fortemente industrializzate, dove l'atmosfera è caratterizzata da elevate concentrazioni di inquinanti primari precursori dello smog fotochimico, si manifestano frequentemente episodi di elevata concentrazione di ozono al suolo detti "episodi di Ozono" o "episodi di smog fotochimico".

La presenza di precursori (rapporto COV/NOx) è normalmente tale da consentire la produzione di ozono fotochimico ovunque nella regione europea, densamente popolata e pesantemente industrializzata. In questa situazione il fattore limitante dei processi fotochimici è costituito dalle condizioni meteorologiche ed in particolare dall'irraggiamento solare. Indicativamente, da aprile a settembre sono sempre possibili superamenti dei livelli di riferimento.

Le conseguenze: i danni ambientali

Lo smog fotochimico costituisce un problema rilevante sia per la salute umana che per l'ambiente.

Effetti sulla salute umana. L'ozono entra a contatto con il corpo umano principalmente attraverso le vie respiratorie dove reagisce con gli acidi grassi polinsaturi, con vari donatori di elettroni (vitamina E ed ascorbati) e con le proteine e i gruppi amminici con basso peso molecolare. I meccanismi che spiegano gli effetti biochimici e fisiologici dell'esposizione all'ozono sono complessi e, spesso, coinvolgono sia l'azione diretta sui tessuti polmonari, sia le reazioni con prodotti biochimici secondari formati da radicali liberi o da reazioni di tipo fisiologico. Un'ampia varietà di effetti tossicologici viene collegata all'esposizione ad ozono, tra cui infiammazione polmonare e cambiamento della permeabilità, cambiamenti nei meccanismi di difesa, decremento della funzione polmonare, cambiamenti nei processi biochimici polmonari ed eventuale cancerogenicità.

Effetti sulla vegetazione. Il danno alla vegetazione è stato uno dei primi effetti osservati dell'inquinamento fotochimico dell'aria. Alcuni di questi impatti hanno conseguenze economiche dirette

¹ In allegato al presente capitolo il box 1 contiene una nota esplicativa sulla presenza di ozono nell'atmosfera.

e quantificabili, per altri è più difficile determinarne la gravità.

La componente di una pianta con cui l'ozono principalmente reagisce è la foglia. Gli effetti dei danni a livello cellulare nelle foglie si possono accumulare e propagare fino a colpire l'intera pianta. Si tratta di effetti di tipo fisiologico che includono danni visibili alle foglie, ma anche non evidenti come i processi di invecchiamento prematuro, la riduzione dell'attività di fotosintesi e della produzione e immagazzinamento dei carboidrati, la riduzione del vigore, della crescita e della riproduzione. Da ciò ne conseguono una serie di danni economici oltre che ambientali sui quali si va sempre più focalizzando l'attenzione da parte dei paesi industrializzati.

Effetti sui materiali. I danni ai materiali creati dagli ossidanti fotochimici, specie dall'ozono, sono un fenomeno noto da molti anni anche se il quadro generale della situazione risulta ancora incompleto. Si conoscono infatti di alcuni effetti le cause, le condizioni in cui si verificano, le concentrazioni ambientali responsabili delle alterazioni, ma ancora pochi dati sono disponibili riguardo alla portata del fenomeno e alla perdita economica che produce. Quest'ultimo aspetto porta come conseguenza la difficoltà ad approntare piani di protezione adeguati all'effettiva gravità del problema. I danni ai materiali sono dovuti essenzialmente a esposizioni a lungo termine piuttosto che ad elevate concentrazioni in brevi periodi. Il deterioramento dei prodotti è un fenomeno di tipo cumulativo ed irreversibile perciò risulta inappropriato parlare di valori critici di concentrazione. I materiali che si sanno essere maggiormente esposti ad attacchi da parte dell'ozono sono sicuramente i polimeri organici; soprattutto la gomma e le fibre tessili naturali e sintetiche.

I rimedi: le politiche in atto

In Italia i limiti di protezione alla salute e all'ambiente sono stabiliti mediante leggi o decreti che recepiscono, in parte o totalmente, precedenti direttive della Comunità Europea (CE). Il processo che porta alla formulazione dei livelli di riferimento per gli inquinanti atmosferici è un processo complesso, articolato in varie fasi che implicano la preparazione di criteri guida di qualità dell'aria, l'individuazione di valori limite di esposizione, basati sull'analisi delle relazioni tra la concentrazione di inquinanti e gli effetti nocivi da essi prodotti, e l'emanazione delle leggi applicative. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha formulato i criteri guida per l'Europa. I criteri guida di qualità dell'aria costituiscono documenti di riferimento per la redazione di Direttive Comunitarie. "Sull'inquinamento dell'aria provocato da ozono" la Comunità Europea ha emanato la Direttiva 92/72/CEE del 21 settembre 1992. La legislazione italiana ha recepito tale direttiva emanando il DM 16 maggio 1996 "Attivazione di un sistema di sorveglianza di inquinamento da ozono". In tale DM sono definiti e stabiliti i livelli di riferimento per la concentrazione di ozono nell'aria.

Gli indicatori: gli indici aggregati

Per la valutazione del contributo dei composti organici volatili (SOV) alla formazione di ozono troposferico, come indice di rischio di smog fotochimico, viene spesso utilizzata un'unità di misura, il *Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)*. Il POCP di un'emissione è calcolato come il rapporto tra la variazione nella quantità di ozono prodotta da un cambiamento nelle emissioni di un determinato SOV e la rispettiva relazione esistente per una sostanza di riferimento, scelta nell'etilene (C₂H₄). I fattori di POCP, stabiliti dall'UNECE (United Nation – Economic Commission for Europe), sono definiti per i singoli SOV e per famiglia di composti (valore medio, ad esempio, per gli alcool, i chetoni, gli idrocarburi

aromatici) associando a ciascun fattore un intervallo abbastanza ampio che definisce il campo di incertezza associato al medesimo fattore (*in* 1992, CML). Nella tab. 7 vengono indicati i fattori POCP per alcune sostanze e loro categorie.

Tabella 7 – Valori di POCP per alcune sostanze

Categoria	Sostanza	Fattore POCP	Categoria	Sostanza	Fattore POCP
Alcan	valore	0,39		n-	0,32
	metan	0,00		iso-	0,33
	etan	0,08	Olefine	valore	0,22
	propan	0,42		etilen	1,00
	n-	0,41		propilen	1,03
	iso-	0,31		1-	0,95
	n-	0,40		2-	0,99
	iso-	0,29		1-	1,05
	n-	0,42		2-	0,93
	2-	0,52		2-metil-1-	0,77
	3-	0,43		2-metil-2-	0,77
	2,2-	0,25		3-metil-1-	0,89
	2,3-	0,38		isobuten	0,64
	n-	0,52	Acetile	valore	0,16
	2-	0,49	Aromati	valore	1,16
	3-	0,49		benzen	0,18
	n-	0,49		toluen	0,56
	2-	0,46		o-	0,66
	n-	0,46		m-	0,99
	2-	0,50		p-	0,88
	n-	0,46		etilbenzen	0,59
	2-	0,44		1,2,3-	1,17
	n-	0,43		1,2,4-	1,20
	n-	0,41		1,2,5-	1,15
Idrocarburi	valore	0,02		o-	0,66
	cloruro di	0,01		m-	0,79
	metilclorofor	0,00		p-	0,72
	tricloroetile	0,06		n-	0,49
	tetracloroetile	0,00		i-	0,56
Alcool	valore	0,19	Aldeidi	valore	0,44
	metanol	0,12		formaldeid	0,42
	etanol	0,26		acetaldeid	0,52
Cheton	valore	0,32		propionaldei	0,60
	acetón	0,17		butiraldeid	0,56
	metil-	0,47		i-	0,63
Ester	valore	0,22		valeraldeid	0,68
	metilacetat	0,02		benzaldeid	-
	etilacetat	0,21	Idrocarburi	valore	0,37
	isopropilaceta	0,21	Idrocarburi senza	valore	0,41