

INQUINANTI ATMOSFERICI, NON SOLO TOSSE

Stefano Montanari – Nanodiagnosics – Modena

Antonietta M. Gatti – Laboratorio dei Biomateriali – Università di Modena e Reggio Emilia

Qualche appassionato di un certo tipo di musica potrebbe, magari, ricordare una canzone di Woody Guthrie risalente al 1938 intitolata “Dust Pneumonia Blues”, vale a dire il blues della polmonite da polvere, e, chissà, potrebbe anche ricordare come il medico che compare nel testo non dia speranza di lunga vita al protagonista. Del resto, pronosticare altrimenti negli anni Trenta, nella zona centro-meridionale degli Stati Uniti chiamata popolarmente Pan Handle, il manico della padella, dove i maschi morivano mediamente a 58 anni e le donne a 62, avrebbe significato sfidare la statistica. In quegli anni e in quei territori imperversarono a lungo vere e proprie tempeste di vento e la sabbia che costituiva, allora come oggi, lo strato più superficiale del suolo veniva sollevata, trasportata in atmosfera e, per forza di cose, inevitabilmente inalata. Tosse stizzosa e una condizione irritativa a livello bronco-alveolare che simulavano una polmonite, non di rado seguite da uno stato di delirio erano i sintomi più vistosi, e la morte sopravveniva per insufficienza respiratoria. La terapia, a dir poco rozza, era puramente sintomatica: spugnature fredde per dominare la febbre e dita incrociate. Qualcuno si salvava; molti, no.

Restando negli Stati Uniti, quando l'11 settembre 2001 crollarono a New York le Torri Gemelle, quantità immense di polvere invasero l'atmosfera della città. L'EPA, l'ente di protezione ambientale statunitense, in qualche modo e con le dovute proporzioni omologabile alla nostra ARPA, si affrettò immediatamente a rassicurare tutti comunicando che quella polvere non costituiva alcun pericolo per la salute. Alla base di un'affermazione del genere non c'era nulla di scientifico e neppure c'erano i più elementari rilevamenti ambientali, ma fu così che pompieri, gruppi di soccorso istituzionali, diversi corpi organizzati di volontari e persone che si prestavano più o meno occasionalmente si misero all'opera per cercare eventuali superstiti imprigionati sotto i cumuli di macerie e poi per sgombrare l'area interessata. Fidando nelle parole tranquillizzanti dell'EPA, nessuno indossava guanti, abiti adatti alla circostanza e nemmeno una maschera a protezione di bocca e naso. Fu solo dopo parecchi giorni che si cominciarono a vedere le prime bombole e i primi respiratori, ma nessuno era stato addestrato ad impiegare quelle apparecchiature e così la loro efficacia fu drasticamente ridotta dall'ignoranza dei potenziali utilizzatori. Nessuno, poi, fu informato sul fatto che, portando gli abiti impolverati a casa, questi sarebbero stati un efficace veicolo per introdurre le polveri in ambiente domestico. Né ci si premurò di far spegnere gli impianti di condizionamento dell'aria i cui filtri e le cui condutture si sporcarono e s'intasarono rapidamente. Come è ovvio che accada in condizioni del genere, tutti cominciarono a soffrire di tosse, una tosse persistente ribelle a qualsiasi trattamento farmacologico. E non furono soltanto i soccorritori a soffrirne, ma, in modo più o meno intenso, gran parte della popolazione di New York. Va detto che molto spesso alla tosse si accompagnavano sintomi diversi e disomogenei, dalla piressia a disturbi gastrointestinali che potevano andare dalla nausea alla dissenteria, ad attacchi di asma a faringo-tracheiti fino a turbe neurologiche che agivano da elementi confondenti per una diagnosi corretta.

Per valutare quella polvere occorre ricordare che due aerei attraversarono le Torri disintegrandosi, che quegli aerei contenevano, come molti velivoli, contrappesi di uranio impoverito e che questo metallo, stante la sua piroforicità, genera all'urto una temperatura che supera i 3.000 °C. E occorre pure ricordare che di lì a poco altri edifici ormai pericolanti furono abbattuti con un'ulteriore aggiunta di polveri alla già satura atmosfera. Il coinvolgimento di milioni di tonnellate dei materiali più disparati, dove forse sarebbe difficile individuare un elemento contenuto nella tavola periodica che non fosse presente, mantenne alta la temperatura per tempi lunghissimi, tanto che oltre un anno dopo i resti restavano ancora fumanti, e, dunque, le combustioni continuarono.

Una nozione fondamentale per la comprensione dei fenomeni che da qui originarono è che tutte le combustioni, nessuna esclusa, generano gas e polveri e che, in generale, le polveri sono tanto più fini quanto più è alta la temperatura alla quale si sono formate. A 3.000 °C la maggior parte dei materiali sublima per poi ricondensare nuovamente sotto forma particolata nel giro di pochi secondi, e quelle particelle hanno una composizione che dipende dagli elementi che si sono trovati casualmente a collidere. Alcuni di quei granelli sono veri e propri composti chimici; nella grande

maggioranza, invece, sono leghe introvabili in qualsiasi manuale di metallurgia proprio per la maniera tutt'altro che deliberata con cui si sono generate.

I gas che escono dalle combustioni sono in larga misura anidride carbonica, ossidi d'azoto, ossidi di zolfo, ammoniaca e un'enorme varietà di gas organici (i cosiddetti NMVOC o Non-Methane Volatile Organic Compounds) la cui composizione deriva da ciò che è occasionalmente entrato nella reazione chimica. Dunque, quando la combustione non è strettamente controllata in ogni sua componente come, magari un po' ottimisticamente, avviene invece in certi procedimenti industriali, di questi gas manca sempre una caratterizzazione chimica, se non per un'infima frazione. Ognuna di queste sostanze gassose esplica un'attività nociva sulle vie respiratorie e, naturalmente, la tosse è spesso il primo segno della risposta all'aggressione. I gas, almeno quelli non organici, reagendo con il vapore d'acqua atmosferico, si trasformano in acidi per loro stessa natura nocivi all'albero respiratorio, e favoriscono la formazione di ozono, una forma allotropica dell'ossigeno che esplica notoriamente un'attività irritante a carico delle vie respiratorie dove induce una risposta infiammatoria insieme con alterazioni della permeabilità tanto degli epitelii di rivestimento quanto degli endotelii vascolari. Le alterazioni combinate determinano una riduzione della funzione polmonare e la comparsa di iper-reattività bronchiale, potendo arrivare ad una possibile insorgenza di edema polmonare.

Ma uno dei problemi più gravi, di cui solo da poco si comincia, e con circospezione, a tener conto è la formazione di quelle che si chiamano polveri secondarie. I gas di cui si è detto entrano in contatto con l'umidità atmosferica, con l'ozono, con i tanti radicali liberi sospesi in aria e, grazie alla catalisi della frazione ultravioletta della luce solare, si condensano formando, appunto, altre polveri. Queste particelle secondarie che nascono spesso ad una distanza di chilometri dall'origine possono superare in massa anche di 6-8 volte la quantità generata primariamente dalla combustione e hanno come aggravante il fatto di poter trasportare, adesi alla loro superficie, altri inquinanti come, ad esempio, le diossine, i furani, i policlorobifenili, gli idrocarburi policiclici aromatici e quant'altro.

Tutte queste polveri, primarie e secondarie, hanno la capacità di restare sospese in atmosfera e di compiere tragitti anche relativamente lunghi, e di particolare interesse sono le particelle inorganiche in lega di cui si è fatto cenno. Stante la loro composizione, queste non sono quasi mai biodegradabili e, dunque, permangono nell'ambiente in pratica in eterno. La loro dimensione varia da qualche decina di micron giù fino alle decine di nanometri e il loro comportamento è tanto più assimilabile a quello dei gas quanto minore è la loro grandezza. Per questo, una polvere del genere nata in un determinato punto geografico può essere poi rintracciata anche a migliaia di chilometri di distanza. Basti pensare alla sabbia del Sahara, di dimensioni enormi (una sessantina di micron) rispetto alle micro e nanopolveri di nostro interesse, che si trova sotto forma delle cosiddette "piogge rosse" in Europa e perfino sulle coste orientali nordamericane. Oppure ai pollini, ancor più grossolani, che, come ogni paleontologo sa, viaggiano dall'Europa al continente antartico dove si ritrovano imprigionati nel ghiaccio.

A proposito di dimensioni, è opportuno considerare come si valutano le polveri presenti in atmosfera. Semplificando un po', si prende un metro cubo d'aria, si separano le polveri presenti e si eliminano tutte quelle che hanno un diametro aerodinamico equivalente superiore ai 10 micron. Il diametro aerodinamico equivalente è il diametro di una particella sferica avente densità unitaria (1 g/cm^3) e un comportamento aerodinamico uguale (in pratica stessa velocità di sedimentazione) a quello della particella considerata, nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa. A questo punto, tutto il particolato solido di dimensione aerodinamica equivalente uguale o inferiore a 10 micron (il cosiddetto PM10) viene valutato in massa in quel metro cubo e, per legge, questa massa non può superare i 40 microgrammi a pena di sanzioni nei riguardi della comunità che ha provocato l'instaurarsi dell'inquinamento. Valutare in massa significa attribuire un valore via via rapidamente decrescente alle particelle progressivamente più minute, dato che, per motivi di geometria elementare, una particella da 10 micron di diametro equivale in massa a 1.000 particelle di diametro 1 micron o ad un milione di particelle di diametro 0,1 micron. Dunque, pesare significa omologare una particella da 10 micron di diametro ad un milione di particelle di diametro appena cento volte inferiore. È un dato di fatto, però, che più la particella è piccola, maggiore è la sua capacità d'insinuarsi nell'organismo. Polveri grossolane, tra i 5 e i 10 micron di diametro, pur potendolo fare come nel caso citato della Dust Pneumonia, faticeranno assai di più ad introdursi nell'albero respiratorio di quanto non facciano le polveri di calibro inferiore, e i nostri studi,

corroborati da quelli ormai divenuti frequenti di altri centri di ricerca, dimostrano che particelle nanometriche sono in grado di transitare dall'alveolo polmonare al torrente circolatorio entro poche decine di secondi. Dal sangue, dove, in soggetti predisposti, le polveri innescano fenomeni ipercoagulativi, a tutti gli altri tessuti dell'organismo il passaggio è questione di decine di minuti e - ormai la nostra casistica è ricca di parecchie centinaia di esempi - è chiaro come queste particelle, nella maggior parte dei casi non biodegradabili né biocompatibili, inducano reazioni infiammatorie tipiche del corpo estraneo con tutte le conseguenze note in medicina che una forma patologica del genere, cronicizzata, è capace d'indurre.

Il nostro laboratorio ha in diverse occasioni fotografato al microscopio elettronico a scansione di tipo ambientale (FEG-ESEM) particelle insinuate nel nucleo di cellule senza ledere la membrana cellulare né indurre apoptosi, così come ha individuato particelle di natura esogena in diversi feti malformati, indizio di un passaggio del tutto possibile tra madre e feto.

Dunque, valutare l'inquinamento particolato limitandosi a misurarne la massa non dà indicazioni particolarmente utili sulla sua eventuale patogenicità. Dal punto di vista sanitario, la misura sarebbe significativa se le polveri fossero ordinate in classi dimensionali (meglio ancora, valutando anche il rapporto tra volume e superficie), le particelle di ogni classe fossero contate, e si attribuisse loro una caratterizzazione chimica. Riguardo quest'ultima caratterizzazione, si tenga a mente il fatto che esistono composti chimici o elementi (ad esempio il nichel) capaci d'indurre stati allergici, eventualmente con asma, e la tosse può essere una delle manifestazioni precoci e vistose di una simile situazione.

È ovvio che l'organismo cerca di mettere in atto condizioni di difesa verso questo attacco esterno, e un mezzo eccellente è quello della tosse, capace di espellere meccanicamente quote anche ragguardevoli di particolato. Come accennato all'esordio, moltissimi abitanti di New York hanno sperimentato per periodi più o meno prolungati una tosse persistente e ancora oggi, a distanza di oltre sei anni dall'episodio che ha innescato la patologia, non pochi, anche tra coloro che non hanno ricevuto cure mediche, continuano a manifestare il sintomo.

Un problema di portata tutta da indagare con maggiore approfondimento, tuttavia, è quello dell'aggressione da polveri in cui non subentra la difesa della tosse. Quando l'esposizione è meno acuta e meno rilevante dal punto di vista della densità delle polveri nell'aria inalata, queste, soprattutto se le dimensioni sono nanometriche, vengono inalate per restare solo un tempo brevissimo all'interno dell'alveolo polmonare e il riflesso della tosse non viene sollecitato o, per lo meno, non lo è in maniera incisiva. L'unica difesa, peraltro solo parziale, resta quella di atti respiratori efficaci e di cellule con ciglia vibratili in grado di evacuare il muco e di far espettorare il soggetto. Per la frazione di poveri che saranno state capaci di raggiungere l'alveolo, invece, non sarà più possibile alcun tipo d'intervento di "pulizia".

Accade, dunque, che l'albero bronchiale costituisca solo un distretto di passaggio per le micro e, soprattutto, per le nanopolveri, e di queste, pur inalate, vi si trovi poca o nessuna traccia ad eventuali indagini biotiche o autotiche.

Condizioni patogenetiche simili si riscontrano sempre più frequentemente in tutto il Pianeta. Se è vero che la Natura è una produttrice di polveri - e lo è, per esempio, attraverso i vulcani attivi, con gli incendi boschivi, con la sabbia sollevata dal vento - è altrettanto vero che quelle polveri sono relativamente scarse e molto grossolane. Sono le polveri di origine antropica, quelle generate dall'impiego di calore diventato sempre più accessibile dalla Prima Rivoluzione Industriale settecentesca, a costituire un grave pericolo per la salute. Queste sono quantitativamente soverchianti rispetto a quelle naturali non solo in massa ma anche, e in particolare, per numero, essendo quasi sempre di dimensioni di gran lunga inferiori. Inoltre, la loro composizione chimica comprende non di rado elementi dotati intrinsecamente di grande tossicità (mercurio, piombo, arsenico, cadmio, ecc.) a differenza della maggior parte delle polveri naturali costituite spesso principalmente da silicio, magnesio, calcio e sodio. I produttori più rilevanti di questi inquinanti antropici sono i motori a scoppio, gli inceneritori (indipendentemente dalla tecnologia impiegata), i cementifici, le fonderie e, non ultima, almeno in certe zone, i poligoni di tiro e la guerra con le esplosioni che le azioni correlate comportano. Pur fuori di quel contesto, notevole è anche l'apporto del tabacco da fumo sulle cui foglie si posano, concentrandosi con l'essiccazione che precede il consumo, polveri in quantità rilevante. Di questo tipo d'inquinante occorrerà senz'altro tenere conto nelle valutazioni dei danni da tabagismo.

Da anni il nostro laboratorio è impegnato nella ricerca di frontiera in questo campo che studia le interazioni tra polveri ed organismo ed è nel suo ambito che si sono scoperte le interazioni tra organismo e particelle inorganiche da questo sequestrate a livello tissutale.

7° Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana per lo Studio della Tosse – Bologna, 8-9 febbraio 2008