



*Laudato si', mi' Signore, per sora nostra madre Terra,
la quale ne sustenta et governa, et produce diversi
fructi con coloriti fiori et herba.*

(CANTICO DELLE CREATURE: FONTI FRANCESCANE 263)

Il problema dell'inquinamento nasce con l'uomo, che già dalla sua comparsa sulla Terra ha trovato diverse fonti inquinanti naturali: ne sono un esempio i vulcani attivi che immettevano nell'aria polveri, anidride carbonica, ammoniacca, ossidi di azoto e di zolfo, oltre a sorgenti che esalavano acido solfidrico, anidride carbonica (mofete), radon. Quello che però oggi più interessa è l'inquinamento di derivazione antropica, che negli ultimi decenni è diventato fonte di preoccupazione perché sono stati raggiunti livelli di inquinamento allarmanti che non fanno ben sperare per il futuro. Sono state immesse nell'ambiente oltre centomila nuove sostanze chimiche, per molte di esse è stata dimostrata la pericolosità.

Di pari passo con l'inquinamento nascono profonde riflessioni, ne sono un esempio le alterazioni ambientali che prima avvenivano in milioni di anni, mentre ora, per lo squilibrio indotto, possono avvenire in poche decine di anni, con ripercussioni negative sugli esseri viventi. Si sta mettendo a dura prova il limite di resistenza del nostro pianeta e della sua atmosfera, quanto più acceleriamo il flusso di energia e di materia attraverso il sistema Terra, tanto più accorciamo il tempo reale a disposizione della nostra specie. È in questo quadro che si inseriscono le urgenze maggiori che sono andate profilandosi sul pianeta: in primis la questione dell'acqua, bene primario a cui molte persone non hanno accesso e sempre più inquinata. Tutto ciò provoca ferite irreparabili alla biodiversità, con il conseguente deterioramento della qualità della vita degli esseri viventi.

Con maggior frequenza, dai media apprendiamo notizie riguardanti gli sforamenti dei limiti fissati per i contaminanti che interessano le matrici ambientali, tra i quali particolato atmosferico (PM10, PM2,5), monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO₂) e ozono (O₃). Purtroppo, poco si fa per stimare in maniera corretta dal punto di vista scientifico l'impatto sanitario con la lunga sequela di esiti che vanno dai problemi a carico delle vie respiratorie (effetti acuti e cronici) alla mortalità per patologie cardiache.

Spesso, si creano mix di sostanze di cui poco si conosce, soprattutto per quanto concerne il particolato che può racchiudere in sé sostanze organiche ed inorganiche particolarmente pericolose per la salute, ne sono esempi gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), il benzene e i metalli tossici.

POLITICA ED INQUINAMENTO

Da tempo, l'inquinamento di origine antropica è oggetto di discussione da parte della politica a livello mondiale, quello atmosferico rappresenta, forse, il problema più importante ed è uno dei principali fattori di rischio ambientale e sanitario. Senza andare molto indietro nel tempo ricordo la quinta Conferenza Ministeriale su Ambiente e Salute, che si svolse a Parma nel 2010 e vide riuniti i Ministri della Salute e dell'Ambiente dei Paesi della Comunità europea e l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), in cui la discussione fu incentrata sulle emissioni di gas serra, sul riscaldamento globale e sull'impatto del cambiamento climatico sulla salute e sull'ambiente. I partecipanti si impegnarono, ognuno per il proprio Paese di appartenenza, a ridurre entro i dieci anni successivi, l'impatto ambientale sulla salute, anche attraverso la realizzazione (entro il 2020) di programmi tendenti a creare i presupposti per migliorare la qualità dell'aria e liberare l'ambiente dagli inquinanti chimici tossici. Tra gli obiettivi, che i decisori si prefissarono, era compreso anche il perseguimento di politiche adeguate in settori come lo sviluppo urbano e i trasporti; una decisione dettata dal fatto che la maggior parte della popolazione vive nelle aree urbane. È proprio in queste aree che si accumulano le più elevate concentrazioni di inquinanti atmosferici, rappresentati per lo più dalle emissioni veicolari ed industriali.

Purtroppo, la conoscenza delle problematiche legate all'inquinamento atmosferico è ancora inadeguata, forse è per questo che non può essere fatta una corretta pianificazione ai fini della tutela della salute pubblica.

Oltre agli inquinanti "tradizionali", che cominciano a destare preoccupazione e verso i quali i decisori politici cominciano a prestare attenzione, ce ne sono altri denominati "microinquinanti" e non ancora regolati dalle normative. Sono inquinanti che, nonostante siano presenti in atmosfera a concentrazioni estremamente basse, mostrano una rilevante pericolosità per la salute dell'uomo. Tra essi annoveriamo i metalli pesanti, i composti organici volatili (COV), gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), le policlorodibenzodiossine (PCDD), i policlorodibenzofurani (PCDF) ed i policlorobifenili (PCB).

Il legislatore è stato attento nella valutazione dei microinquinanti e per alcuni di essi ha fissato limiti e proposto "obiettivi di qualità", tutti recepiti dalle normative comunitarie ed italiane. Ne è un esempio il D.Lgs. 155/2010 che ha stabilito i valori massimi per nichel, cadmio, arsenico, piombo e benzo(a)pirene,¹ riferiti al tenore totale di ogni inquinante contenuto nel PM10. L'obiettivo doveva essere raggiunto entro il 31 dicembre 2012. Il monitoraggio dei suddetti inquinanti prevedeva l'impiego di centraline di misurazione

TAB. 1.1. Rilevamenti effettuati dall'Istituto Superiore di Sanità. Concentrazioni di microinquinanti di maggiore interesse igienico-sanitario. La stazione di monitoraggio fu posizionata a Roma in una zona ad elevato traffico veicolare.²

Inquinante	Concentrazione media annuale PM10 (ng/m ³)					Limite annuale/ valore guida	Riferimento
	2005	2006	2007	2008	2009		
Arsenico	0,78	0,78	0,45	0,45	0,61	6,0 ng/m ³	D.Lgs. 155/2010
Cadmio	0,26	0,44	0,24	0,27	0,12	5,0 ng/m ³	D.Lgs. 155/2010
Piombo*	9,5	27	13	8,4	7,0	0,5 µ/m ³	D.Lgs. 155/2010
Nichel	5,1	6,2	8,0	3,7	6,8	20,0 ng/m ³	D.Lgs. 155/2010
Benzo[a]pirene	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	1,0 ng/m ³	D.Lgs. 155/2010
COV µg/m³							
Benzene	3,0	2,7	2,5	2,9	2,7	5,0 µ/m ³	D.Lgs. 155/2010
Toluene	12	11	10	10	8,5	260 µ/m ³	OMS
Xileni	4,5	4,0	4,0	4	3,5	–	OMS

*In µ/m³. COV, composti organici volatili.

1. Inteso come indicatore degli IPA.

2. http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_navigazioneSecondariaRelazione_2_listaCapitoli_capitoliItemName_0_scarica.pdf

per determinare la loro concentrazione nell'atmosfera. Ma poco è stato fatto. Un raro esempio è quello dell'Istituto Superiore di Sanità che effettuò dei rilievi nel periodo 2005-2009 (Tab. 1.I).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) si sono impegnate per tutelare le fasce di popolazione più vulnerabili come quella pediatrica e geriatrica, il tutto è riportato nel sito ufficiale dell'ISS. Dal documento "Air pollution and child health: prescribing clean air", pubblicato dall'Oms nell'ottobre 2018, emergono aspetti interessanti: in questo documento viene data importanza all'inquinamento atmosferico (outdoor ed indoor) ed alle ricadute sulla salute dei bambini. Le stesse problematiche evidenziate nella Conferenza Ministeriale Ambiente e Salute dei Paesi della Comunità europea e l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) tenutasi a Ostrava nel 2017, nel corso della quale la soluzione a questi problemi fu ritenuta una delle priorità più importanti di sanità pubblica e da sostenere in osservanza delle linee guida Oms, attraverso processi di miglioramento della qualità dell'aria.

Un'ampia letteratura scientifica evidenzia la maggior vulnerabilità dei bambini nei confronti dell'inquinamento atmosferico *outdoor* ed *indoor*, dovuta soprattutto alla maggiore attività metabolica, all'elevata frequenza degli atti respiratori e all'elevata attività di replicazione cellulare. Anche l'organizzazione mondiale della sanità ha confermato l'impatto negativo dell'inquinamento atmosferico (outdoor e indoor) sulla salute infantile, ritenendo che sono circa 700.000 i decessi prematuri nella fascia al di sotto dei 5 anni.

Anche in Italia c'è una situazione di forte criticità, perché la maggior parte dei bambini al di sotto dei 5 anni di età vivono in aree dove le concentrazioni di PM_{2.5} sfiorano i livelli raccomandati dall'Oms. I dati concernenti la qualità dell'aria nelle aree urbane (2016) mostrano che le concentrazioni medie annuali di PM_{2.5} superano il valore di 10 µg/m³ stabilito dall'Oms, difatti, si parla di concentrazioni medie di 18 µg/m³ nelle regioni del nord, su questi territori incide molto l'inquinamento della Pianura Padana; concentrazioni medie di 16 µg/m³ nelle regioni centrali e di 13 µg/m³ nel Sud.

Questo comporta ricadute negative sulla salute dei bambini, infatti, sono loro che più facilmente vanno incontro a ridotta funzionalità respiratoria, asma, infezioni acute delle vie respiratorie, problemi dello sviluppo neurocomportamentale, obesità ed altro. Non vanno dimenticati alcuni tumori infantili, tra i quali leucemie e retinoblastomi, si ritiene che essi possano essere correlati all'esposizione della madre agli inquinanti durante il periodo prenatale. L'esposizione agli xenobiotici in età infantile non causa malattie solo nell'immediato, ma pone le basi per la loro insorgenza anche in età più avanzata. Assumono importanza tutte le possibili azioni di prevenzione poste in essere prima e durante la gravidanza.

L'OMS per dare seguito agli impegni assunti nelle conferenze ministeriali, in particolare quelli del Piano di Azione europeo per l'Ambiente e la salute dei bambini,³ ha sottoscritto la Dichiarazione di Parma in cui tutti i Paesi, per tutelare i minori, si sono impegnati a ridurre l'esposizione al rischio ambientale. In questo modo si è voluto ribadire l'importanza dell'attuazione di misure strategiche finalizzate alla riduzione delle esposizioni agli inquinanti dei bambini, sono stati messi in campo sia interventi strutturali di prevenzione primaria finalizzati alla riduzione delle emissioni di inquinanti demandate agli amministratori pubblici locali e alle politiche nazionali, sia attività di educazione, comunicazione e formazione, per consentire alle famiglie, ai pediatri e ai docenti, di individuare le pratiche scorrette che possono esporre i bambini agli inquinanti.

Quella della salute del bambino è una tematica rilevante, tanto che presso il Dipartimento Ambiente e Salute dell'ISS è stata istituita la Struttura di Missione Temporanea Interdipartimentale (Smti) dedicata all'infanzia, la finalità è quella di individuare soluzioni per tutelare i bambini nei confronti degli inquinanti delle matrici ambientali e della catena alimentare. Rispetto al passato, negli ultimi anni, molte più cose si stanno realizzando. A dimostrazione del crescente interesse dei decisori politici, nel gennaio 2017, presso il ministero della Salute, si è insediata una task force nazionale per promuovere il dialogo e l'integrazione in tema di ambiente e salute,⁴ il team ha come obiettivi principali il supporto alle politiche di miglioramento della qualità dell'aria, dell'acqua e del suolo; il potenziamento della sorveglianza epidemiologica;

3. Children's Environment and Health Action Plan for Europe-CEHAPE. Documento tradotto in italiano disponibile al seguente url: https://www.epicentro.iss.it/ambiente/pdf/Piano_SaluteAmbienteBambini.pdf

4. https://www.quotidianosanita.it/governo-e-parlamento/articolo.php?articolo_id=63488

l'acquisizione della disponibilità di strumenti e percorsi interdisciplinari validi per la valutazione preventiva degli impatti sulla salute dei fattori inquinanti; formazione degli operatori del settore sanitario e ambientale e comunicazione del rischio in modo strutturato e sistematico. La relazione, a firma della dottoressa Annamaria de Martino della Direzione Generale della Prevenzione sanitaria del Ministero della Salute, riporta alcuni passaggi interessanti in particolare sul “modello di politica europea per la salute adottato dalla regione europea dell'Oms nel 2012 (Salute 2020)”.⁵

L'inquinamento delle matrici ambientali rientra tra i principali determinanti dello stato di salute della popolazione, questo è un aspetto importante se si considera che, secondo le ultime stime, circa il 24% di tutte le malattie ed il 23 % di tutte le morti premature nel mondo sono conseguenza dell'esposizione ai fattori ambientali (in particolare agli inquinanti chimici); oltre un terzo delle malattie in ambito pediatrico (sotto i 5 anni) è correlato a fattori ambientali. Nella sola Europa, gli inquinanti chimici mietono un milione e quattrocentomila vittime, compresi i casi di morte prematura.⁶

Assume importanza il fatto che si comincia a sostenere la tesi epigenetica, cioè di come l'ambiente sia in grado di modificare l'espressione genica con anche cambiamenti potenzialmente trasmissibili alle generazioni successive (anche fino alla quarta). Ormai, ci si è resi conto della necessità di mettere in atto buone politiche ambientali. Dall'ultima indagine statistica della Commissione Europea sulla percezione riguardo l'ambiente, è stato rilevato che da parte dei cittadini europei c'è una tendenza a considerare la protezione dell'ambiente un aspetto prioritario;⁷ sono i cittadini a ritenere che non si stia facendo abbastanza.

L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile,⁸ sottoscritta nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU, dando seguito ai risultati degli *Obiettivi di Sviluppo del Millennio* (Millennium Development Goals), affronta un insieme di questioni determinanti per portare il mondo sulla strada della sostenibilità. I 17 obiettivi (*Sustainable Development Goals* – SDGs) includono i pilastri economico, ambientale e sociale dello sviluppo sostenibile. Sottolineano che la salute è indissolubilmente legata a fattori come povertà, disuguaglianza, cambiamenti climatici ed inquinamento, e pongono una forte attenzione all'equità “*senza lasciare indietro nessuno*”. L'Italia si è impegnata a declinare gli obiettivi dell'Agenda 2030 nell'ambito della programmazione economica, sociale ed ambientale.

LA SITUAZIONE ITALIANA

Negli ultimi anni, il problema dell'inquinamento dell'ambiente, acuito dal fenomeno della “terra dei fuochi” e dall'Ilva di Taranto, è stata fonte di preoccupazione per gli italiani, soprattutto per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico; infatti, i dati provenienti dal monitoraggio evidenziano numerosi sforamenti dei limiti imposti dalle normative europee. L'Agenzia Europea dell'Ambiente ha stimato (2013) che in Italia ci sono stati 66.630 decessi prematuri conseguenti all'esposizione (a lungo termine) al PM_{2,5}, all'NO₂ e all'O₃ (Air quality in Europe-2016 Report). A tutto questo ha contribuito soprattutto il peggioramento delle condizioni climatiche degli ultimi anni, specialmente in aree come la pianura padana. Non va trascurato il fenomeno dell'inversione termica.⁹

5. http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_publicazioni_1819_allegato.pdf

6. Report “Healty environment, Healty People”, 2016 UNEP.

7. Commissione Europea (2017) – Special Eurobarometer 468 “Attitudes of European citizens towards the environment”.

8. <https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onu-italia.pdf>

9. L'inversione termica è una particolare condizione del profilo termico verticale dell'atmosfera terrestre, che si caratterizza per un gradiente termico verticale invertito (positivo) rispetto a quello normale (negativo). La temperatura atmosferica, anziché diminuire, aumenta con la quota. L'inversione termica generando uno strato d'aria stabile limita qualsiasi rimescolamento verticale, il mancato o nullo rimescolamento più il raffreddamento inducono la formazione di foschie dense e persistenti e/o smog nello strato inferiore dell'atmosfera (più fredda a contatto con il suolo). Queste condizioni favoriscono il ristagno degli inquinanti al suolo con pesanti ricadute sulla salute umana. Il fenomeno si può osservare, soprattutto in inverno, quando i contadini danno fuoco alle sterpaglie e i fumi, invece di salire, ripiegano in basso verso il terreno che è più freddo rispetto agli strati superiori dell'atmosfera.

In Italia ci sono carenze normative rispetto alle raccomandazioni internazionali sull'applicazione della Valutazione di Impatto Sanitario (VIS), pertanto la valutazione della "componente salute" è incompleta o del tutto carente. L'obbligo della Valutazione di Impatto Sanitario nell'ambito della Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) è stato introdotto dopo il recepimento della Direttiva 2014/52/UE; la stessa prevede che gli Stati membri possano avere la facoltà di stabilire misure di protezione più rigorose. Il D.Lgs. 16 giugno 2017, n. 104 ha recepito la Direttiva 2014/52/UE e ha modificato il Codice ambientale (D.Lgs. n. 152/2006) nell'ambito VIS in materia di VIA. Le attuali linee guida sulla VIS elaborate dall'ISS (Rapporto ISTISAN 17/4), non ancora recepite con decreto ministeriale, risultano non sufficientemente esplicative e poco aderenti alle nuove esigenze normative, soprattutto non specificano nel dettaglio le informazioni obbligatorie che i proponenti sono tenuti a fornire per consentire alle istituzioni di effettuare la VIS, tenuto conto anche dell'abrogazione del DPCM 27/12/1988, unico atto normativo in cui venivano esplicitate tali informazioni.

Attualmente c'è la necessità di riqualificare le valutazioni preventive per facilitare il compito dei decisori politici ad amministrare e fornire indicazioni più puntuali e precise per tutelare la componente salute nell'ambito delle procedure di valutazione di impatto ambientale. Per concretizzare una strategia nazionale e per stabilire le azioni da porre in atto per l'ambiente e per la salute, la politica ha costituito presso la Direzione Generale della prevenzione sanitaria del ministero della salute un'apposita Task Force Ambiente e Salute (TFAS). La Task Force si prefigge di migliorare la qualità dell'aria, dell'acqua e del suolo, migliorare la sorveglianza epidemiologica, definire le linee guida nei diversi ambiti, avvalendosi del supporto di istituzioni scientifiche ambientali e sanitarie in linea con il PNP 2014-2018.

INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Per avere un'idea della definizione di inquinamento atmosferico è utile quanto estrapolato dall'articolo 268 D.Lgs 152/2006: "[...] *Ogni modificazione dell'aria atmosferica, dovuta all'introduzione nella stessa di una o di più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o da 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*". Oppure "*emissione in atmosfera di qualsiasi sostanza solida, liquida o gassosa introdotta nell'atmosfera che possa causare inquinamento atmosferico e, per le attività di cui all'articolo 275, qualsiasi scarico, diretto o indiretto, di composto organico volatile (COV) nell'ambiente*".

Il particolato disperso in atmosfera è costituito da un mix di particelle solide e liquide, aventi dimensioni comprese in un range che va dai 0,005 ai 150 μm , costituite da carbonio, piombo, nichel, nitrati, solfati, composti organici, etc. Le polveri totali vengono solitamente distinte in tre classi dimensionali che dipendono dalla capacità di penetrazione nelle vie respiratorie; minore è la dimensione, maggiori saranno gli effetti nocivi: **PM10** – particolato costituito da particelle con diametro < 10 μm , polvere inalabile in grado di interessare il tratto respiratorio superiore (naso, faringe e laringe). **PM2.5** – particolato fine con diametro < 2.5 μm , è in grado di penetrare nel tratto tracheobronchiale (trachea, bronchi, bronchioli). **PM0.1** – particolato ultrafine: diametro < 0.1 μm , è una polvere in grado di penetrare fino agli alveoli (10).

Le particelle solide sono particelle primarie, generate per emissione diretta o per reazione con composti chimici dispersi in atmosfera, quali ossidi di azoto e di zolfo, ammoniaca e composti organici (particelle secondarie). Le sorgenti del particolato possono essere naturali o antropiche, come quelle derivanti dalla combustione dei motori, dagli impianti di riscaldamento, dal manto stradale (residui della sua usura), dai freni e dalle gomme delle autovetture, emissioni di impianti industriali e altro. L'interazione tra il particolato sospeso e l'uomo avviene prevalentemente attraverso la respirazione. Nel particolato fine ed ultrafine possono essere presenti metalli pesanti, solfati, IPA, benzo(a)pirene (BaP), sappiamo che molti di essi sono considerati possibili agenti cancerogeni; soprattutto il benzo(a)pirene che è considerato il più pericoloso per la salute umana. Un altro IPA di cui è stato riconosciuto il potere cancerogeno è il benzo(a)antracene.

Alcuni inquinanti, come ad esempio gli ossidi di azoto trasportati nelle zone in cui vi è solo l'emissione di sostanze biogeniche,¹⁰ reagiscono tra loro e dalle reazioni chimiche (in atmosfera) possono essere generate

10. Ad esempio i composti organici volatili derivanti dalla vegetazione (isoprene, terpeni).

importanti concentrazioni di ozono. Questo succede perché le sostanze biogeniche sono molto più reattive dei composti organici volatili di natura antropica. È il caso di fare alcune importanti considerazioni che, soprattutto in periodi di epidemia virale (es. Coronavirus), assumono rilevanza.

- L'esposizione agli inquinanti dispersi nell'atmosfera può provocare un aumento dello stress ossidativo e degli indici di flogosi, dello stato pro-coagulante ed una disfunzione del sistema neuro-vegetativo. Il tutto è correlato all'insorgenza di complicanze cardiovascolari.
- Gli inquinanti, in conseguenza dell'aumento dei livelli di endotelina-1, sono alla base dell'ipertensione arteriosa. In questo processo gioca un ruolo importante l'aumento dei radicali liberi prodotti dallo stress ossidativo (indotto dagli inquinanti).
- Si rileva un aumento della coagulabilità sanguigna dovuto alla maggiore produzione di varie citochine, le stesse che troviamo nei soggetti esposti ad alte concentrazioni di PM10. Da evidenziare il ruolo dell'interleuchina 1 (IL-1) che induce l'espressione della P-Selectina e di molecole di adesione cellulare nell'endotelio.

Esperimenti in vivo effettuati con cellule THP-1¹¹ hanno evidenziato che il PM2,5 inibisce il ciclo cellulare, questo accade perché incide negativamente su alcune componenti del citoscheletro.

Negli alveoli polmonari, il particolato fine attiva gli enzimi coinvolti nei meccanismi di detossificazione; solitamente i responsabili di questa attivazione sono gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Le sostanze prodotte da questo processo sono particolarmente dannose per il DNA, in questo caso si rileva un aumento dell'attività fosforilativa della H2AX istonica: marker di danno conseguente a stress ossidativo.

È interessante sottolineare, che il particolato estivo è meno dannoso rispetto a quello invernale, quest'ultimo ha un maggiore potenziale genotossico. Il PM10 in estate induce il rilascio dell'IL-1, in grado di attivare localmente i linfociti T e B, inoltre, favorisce i processi di fagocitosi. Questa citochina, nell'endotelio vasale, attiva le molecole di adesione (Cell Adhesion Molecule - CAM) e può avere anche effetti sistemici. In estate il particolato, oltre all'IL-1, attiva l'IL6 e l'IL8, citochine che inducono risposte infiammatorie a livello polmonare e modificazione a carico della cascata coagulativa. Da ricordare che per le particelle più piccole, che sono le più pericolose per la salute (le cosiddette polveri ultrafini – UFP), la normativa è carente.

Torneremo a discutere di inquinamento atmosferico in un capitolo ad esso dedicato.

INQUINAMENTO DELL'ACQUA

Da quando notevoli quantitativi di inquinanti sono stati immessi nell'ambiente, è stata osservata una notevole diminuzione delle popolazioni di pesci ed anfibi, sembra che questo sia un fenomeno derivante dalla capacità di alcuni inquinanti di danneggiarne gli apparati riproduttivi. È un'ipotesi plausibile perché la matrice inquinata è l'acqua, che per gli animali acquatici rappresenta l'habitat naturale. Ciò è avvalorato dal fatto che in acqua l'esposizione è costante ed il loro apparato riproduttivo è molto più sensibile e fragile di quello di altre specie animali. In alcune popolazioni, addirittura, si è verificato il cambiamento del sesso, infatti sono state osservate intere popolazioni composte da soli esemplari femmine. Negli anfibi è stata rilevata anche sterilità nei maschi.

Purtroppo, la questione non è confinata solo a pesci ed anfibi, anche l'uomo non è esente da problematiche correlate agli inquinanti, in particolare ai cosiddetti perturbatori endocrini. Gli elevati tassi di cancro alla prostata, le patologie testicolari ed altre problematiche simili sembrano essere correlate proprio all'esposizione a queste sostanze. Anche nei ratti, i perturbatori endocrini sono causa di una riduzione della fertilità secondaria ad alterazioni a carico degli spermatozoi; tali disfunzioni sono di tipo epigenetico e possono essere trasmesse fino alla terza generazione, se non addirittura alla quarta. La vinclozolina, ad esempio, oltre ad alterare le marcature di imprinting esistenti, ha la capacità di indurne di nuove in altre regioni del genoma che, generalmente, non sono state mai interessate da questo processo.

11. Cellule rappresentative dei monociti circolanti.

L'acqua, matrice fondamentale per gli esseri viventi, risente pesantemente di quasi tutti gli inquinanti immessi nell'ambiente con ricadute negative sulla catena alimentare animale ed umana. L'ingresso delle diossine nella catena alimentare acquatica avviene, soprattutto, ad opera del particolato che viene trasferito nell'ambiente acquatico (deposizione secca e/o umida, erosione, scarichi, etc.). La lipofilia delle diossine e la loro bassa solubilità in acqua fanno sì che, con diverse modalità di assunzione, vengano adsorbite dai composti organici e bioaccumulate dagli organismi acquatici. La quantità di diossine bioaccumulate dipende, oltre che dalla concentrazione di diossine presenti nell'ambiente acquatico, dalla percentuale di contenuto in grasso dell'organismo che le assume.

Purtroppo, non è solo il particolato ad inquinare l'acqua, hanno una grande responsabilità anche i pesticidi che vengono dilavati in vario modo dal terreno e raggiungono le falde acquifere. Un esempio importante di inquinamento è quello da atrazina che, sebbene sia una sostanza vietata da tempo, essendo un pesticida persistente ha comunque inquinato le falde acquifere utilizzate per irrigare i campi.

L'uomo ha sempre avuto necessità dell'acqua per i bisogni più disparati, è per questo motivo che sia i piccoli insediamenti sia i grandi agglomerati urbani sono nati nei luoghi dove questo prezioso elemento abbondava. Nonostante l'uomo avesse imparato a portare l'acqua anche lontano dalle sorgenti mediante acquedotti o altri sistemi come la captazione, lo sviluppo della civiltà seguiva i corsi d'acqua e la vita sociale nasceva e si sviluppava in prossimità dei grandi fiumi.

Sin dall'antichità è chiaro il concetto di potabilità, l'uomo, già da molto tempo, ha stabilito le regole per valutare l'idoneità delle acque destinate al consumo umano, ma solo in tempi recenti sono state stabilite le regole condivise a livello internazionale. Le normative stabiliscono i requisiti di potabilità delle acque destinate al consumo umano; l'acqua, elemento fondamentale per la vita, deve avere caratteristiche ben precise: in primis non deve contenere elementi tossici, purtroppo oggi questa condizione è cosa rara. Per questo, le regioni, attraverso il Sistema delle Agenzie ambientali, hanno messo in atto un'intensa attività di monitoraggio dei corpi idrici in ottemperanza alle nuove normative; va tuttavia rilevato, che gran parte di esse continuano a seguire le modalità previste dal superato D.Lgs. 152/99, sia per le acque superficiali sia per quelle sotterranee.

Nel 2008 in Italia sono stati campionati in totale circa 10.000 siti e sono state trovate tracce di pesticidi: acque superficiali (47,9%), sotterranee (27%), con valori che superano i limiti consentiti, rispettivamente del 31,7 del 15,5% dei casi. Si riscontrano criticità per la contaminazione da *terbutilazina* (generalmente usata nella coltivazione del mais e del sorgo) in Lombardia, in Piemonte ed in Emilia Romagna, regioni dove tale sostanza viene usata di più rispetto alle altre. L'inquinamento da *terbutilazina* interessa le acque superficiali di circa l'80% dei siti oggetto di controllo. È stata rilevata anche la presenza di sostanze quali il *carbendazim* (fungicida) ed insetticidi (metomil e imidacloprid), soprattutto in Sicilia.

In Italia, sottolineano i tecnici dell'Ispira,¹² nel comparto agricolo si usano centinaia di pesticidi per un totale di circa 150.000 tonnellate (media annuale). Tra i contaminanti di origine antropica, responsabili dello scadimento in classe 4 per molte regioni, vi sono i nitrati con concentrazioni superiori al limite di 50 mg/l, considerato il limite della potabilità. La presenza di detti inquinanti è correlata a fenomeni di inquinamento diffuso, proveniente per lo più dall'uso di fertilizzanti azotati in agricoltura, dallo smaltimento di reflui zootecnici o dalla cattiva depurazione dei fanghi e delle reti fognarie. Sono responsabili dell'inquinamento delle acque anche i fitofarmaci, i composti alifatici alogenati, alcuni metalli pesanti (per lo più cromo, piombo, nichel e zinco) e gli idrocarburi policiclici aromatici. La presenza di arsenico, ferro, manganese, ione ammonio, solfati e cloruri in particolari contesti idrogeologici, è stata attribuita da diverse regioni a fenomeni di origine naturale.

Per quanto riguarda la classe 4, scadente per cause antropiche, l'Abruzzo e l'Umbria presentano i tassi di inquinamento peggiori rispetto alle altre regioni, rispettivamente del 45,8% e del 34,2%. Da sottolineare che in Abruzzo c'è stato l'inquinamento del fiume Tirino da parte della più grande discarica abusiva della

12. È l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ispira), che svolge attività di controllo dell'inquinamento delle acque sotterranee, delle acque dei fiumi e dei laghi.

ex Montedison di Bussi sul Tirino, con conseguente inquinamento del mare Adriatico. L'inquinamento dei fiumi, dei laghi e del mare può modificare la flora e può alterare anche la distribuzione e la varietà della fauna ittica; infatti, i pesci che vivono in acque inquinate e che hanno accumulato metalli tossici come alluminio, manganese, zinco, mercurio e cadmio possono, attraverso la catena alimentare, causare danni alla salute umana.

L'impiego in ambito agricolo di fertilizzanti, concimi minerali, organici, organo-minerali e ammendanti, oltre ad erbicidi, fungicidi, insetticidi, acaricidi ed altro, usati per preservare le colture da parassiti e patogeni, da piante infestanti e per ottenere aumenti di produzione ed elevati standard di qualità dei prodotti, può incidere negativamente sulla flora e sulla fauna acquatica e può rendere pericolose le acque potabili.

La fondazione AMGA ha promosso un'indagine sugli interferenti endocrini nelle acque potabili, che è stata svolta in collaborazione con le Università degli Studi di Genova, Pisa, Trento, l'Istituto Superiore di Sanità ed alcune società acquedottistiche italiane; un'indagine finalizzata a valutare la vulnerabilità delle risorse idriche utilizzate a scopo potabile nei confronti degli interferenti endocrini selezionati. Questo ci fa capire l'attenzione che le autorità preposte prestano al problema interferenti endocrini.

Gli interferenti endocrini, come già detto, sono un gruppo eterogeneo e numeroso di sostanze che, *imitando* gli effetti degli ormoni naturali o interferendo con essi, interagiscono con il sistema endocrino e possono quindi provocare effetti deleteri sulla salute. Il volume *Interferenti Endocrini nelle acque destinate al consumo umano*¹³ riporta i risultati dell'indagine ed informazioni utili sulla presenza degli Interferenti Endocrini nel ciclo integrato dell'acqua.

A seguito di quanto appena esposto, assume importanza l'ultimo capitolo di questo libro: "*Il futuro dello smaltimento degli inquinanti: la metamorfosi della materia*", dove propongo un metodo fisico (un'azione sul nucleo atomico) per mutare la materia, nel caso specifico gli inquinanti.

INQUINAMENTO DELLA FILIERA ALIMENTARE

Gli inquinanti atmosferici rientrano anche tra quelli che interessano la filiera alimentare, infatti possono depositarsi sui vegetali che finiranno sulla nostra tavola. Ad affermare che possiamo ritrovare il particolato fine ed ultrafine negli alimenti, ci pensa Valter Maurino, docente e ricercatore di chimica ambientale.

L'inquinamento atmosferico si riflette sui vegetali che consumiamo in diversi modi. Quello più importante, e potenzialmente più pericoloso, è l'intercettazione del particolato atmosferico (le famigerate "polveri sottili" che ogni inverno fanno registrare decine di sforamenti) che si deposita sulle foglie. Da una parte le grandi "cinture vegetali" costituiscono un potente filtro anti-polveri, e dunque, in un certo senso, i parchi ci proteggono dall'eccesso di smog. Dall'altra, ed ecco il secondo filone di inquinamento vegetale, all'interno e a ridosso delle aree verdi la miscela di emissioni vegetali ed emissioni antropogeniche, cioè prodotte dall'uomo, produce una miscela che aumenta la formazione di ozono. I livelli di ozono si impennano nella stagione calda là dove le masse d'aria provenienti dalle zone rurali si scontrano con quelle che arrivano dalla città.

Anche Maria Caramelli, direttore dell'Istituto Zooprofilattico del Piemonte, uno dei massimi esperti italiani in materia di sicurezza alimentare, ricorda che in Europa i livelli di cadmio, piombo e nickel presenti nei pomodori coltivati sul terrazzo o nell'orto dietro casa possono essere fino a 5 o 10 volte superiori rispetto a quelli dei prodotti 'industriali' coltivati in serra.

Preoccupante, per altri versi, è infine anche il problema della somma di più agenti chimici diversi tra loro, come spiega Giovanna Mulatero, responsabile del Polo Alimenti dell'Arpa Piemonte.

Troviamo spesso nei campioni di frutta e verdura che preleviamo dai produttori tracce di più fitofarmaci miscelate tra loro – spiega la dirigente del centro di La Loggia – la legge infatti indica dei limiti da non superare per ogni singolo

13. http://www.fondazioneamga.org/pubblicazioni_det.asp?IDpubli=40