

SOSTANZE INQUINANTI

Interazione tra sicurezza alimentare e tutela ambientale

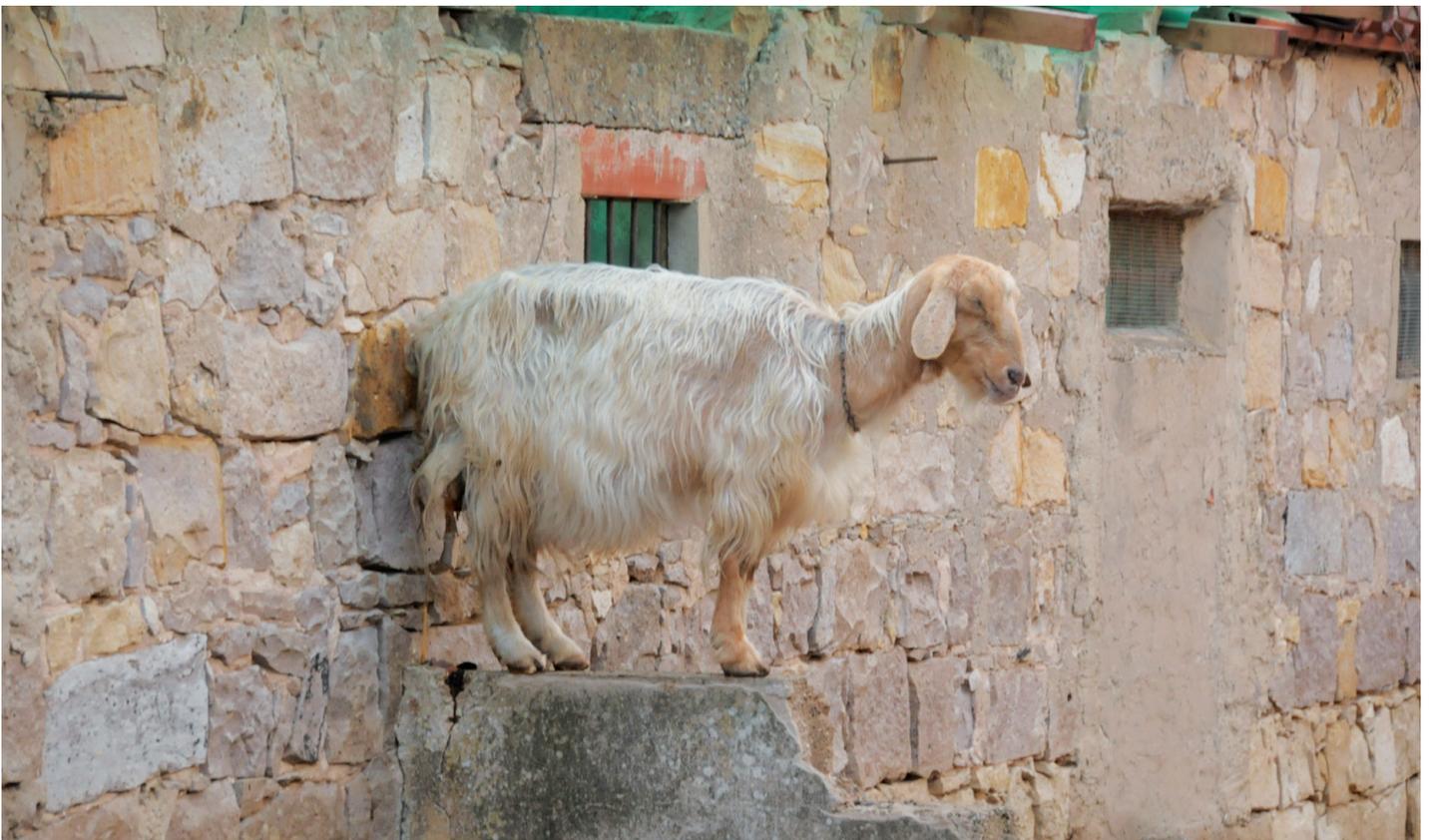
ROSANNA OLIVIERI¹, EMANUELA BALOCCHINI²

¹Istituto Zooprofilattico Sperimentale Lazio e Toscana

²Regione Toscana

Dopo oltre 200 anni di attività industriale la contaminazione del suolo è un problema che riguarda tutta l'Europa, di conseguenza è intuitivo comprendere come l'inquinamento dell'aria e dell'acqua possa avere effetti negativi sulla salute degli animali e dell'uomo. Purtroppo, e solo di recente, è maturata la consapevolezza del pericolo dell'inquinamento prodotto dai contaminanti sul suolo.

Leggendo il report sulla qualità dell'aria in Europa si vede chiaramente come l'Italia, secondo Paese più industrializzato dopo la Germania, presenti numerose criticità, di conseguenza le diverse istituzioni preposte alla tutela dell'ambiente e della salute pubblica, nonché le associazioni si stanno mobilitando al fine di garantire la sicurezza alimentare connessa alla tutela dell'ambiente [4].



Chiaramente di fronte a problematiche complesse e nuove è indispensabile un approccio interdisciplinare e interventi integrati. Come sappiamo il Regolamento (CE) 882/2004, inerente le regole generali per l'esecuzione dei controlli ufficiali, specifica che questi devono essere mirati alla verifica del rispetto delle norme vigenti e a prevenire o ridurre a livelli accettabili i rischi per l'uomo e gli animali, anche nel caso in cui siano rischi diretti o veicolati dall'ambiente e in base al Regolamento (CE) 178/2002 per garantire la sicurezza alimentare occorre considerare tutti gli aspetti del processo, utilizzando come strumento di valutazione l'analisi del rischio.

È proprio l'analisi del rischio riferita a pericoli di derivazione ambientale che per noi veterinari è più difficile perché rappresenta una problematica nuova non avendo ancora maturato sufficiente esperienza per operare una corretta valutazione del rischio. Lo scopo del nostro lavoro è quello di valutare la possibile interazione tra problematiche veterinarie e ambientali e per far questo, nel presente studio abbiamo approfondito le dinamiche del processo di combustione e la formazione degli inquinanti. Di questi abbiamo considerato la loro origine che può derivare sia da fonti naturali che antropiche, le modalità di diffusione, come le possibili eventuali contaminazioni in zootecnia. Inoltre abbiamo cercato di individuare i punti di connessione e il confine della nostra attività rispetto ad altre discipline collaterali e concorrenti. Abbiamo scelto di dare più spazio alle diossine tra i contaminanti, perché queste sono tra gli inquinanti maggiormente ricercati nei nostri piani di monitoraggio e inoltre rientrano tra quelli di più difficile gestione a causa della complessità delle analisi che devono essere effettuate in laboratori appositamente dedicati e di conseguenza anche particolarmente costose.

Gli strumenti che abbiamo a disposizione per garantire la sicurezza alimentare sono contenuti nel Piano Nazionale Integrato (PNI), nel cui interno sono inclusi vari piani. Quelli che ci interessano maggiormente sono il Piano Nazionale Alimentazione Animale (PNA) e Piano Nazionale Residui (PNR).

Questi piani sono strutturati in modo plastico con una base di campionamenti che devono essere svolti annualmente inoltre, per particolari esigenze locali, possono essere aggiunte ulteriori attività di controllo in extra-piano. Le ricerche in piano e in extra-piano sono svolte tramite campioni "mirati" cioè prelevati su matrici dove potenzialmente potrebbero essere presenti contaminanti di origine ambientale sopra i limiti consentiti. Questa valutazione, che dovrebbe essere fatta sulla base di alcune caratteristiche come la specie, il sesso, l'età, il tipo di allevamento, il momento produttivo e la situazione logistica, come ben si intuisce, nella pratica non è poi così semplice come può sembrare l'individuazione delle matrici a rischio.

Inoltre, è possibile svolgere ricerche non previste nelle programmazioni sopra citate, nel caso in cui si pensi che la matrice possa essere non conforme, a seguito di filoni d'indagine, sospetto clinico anamnestico ecc. e in questa situazione viene fatto un campione su sospetto. Infine questi piani, in caso di necessità, possono subire modifiche della loro programmazione iniziale in qualsiasi momento dell'anno.

Uno dei principali fattori di rischio ambientale e sanitario è l'inquinamento atmosferico che rappresenta un problema importante a livello locale, nazionale e transfrontaliero. La combustione e i processi termici sono tra le fonti principali di inquinamento atmosferico. Sebbene generalmente si presti molta attenzione soprattutto agli inquinanti derivanti dalla combustione completa (CO_2 , NO_x ecc), bisogna considerare che questo processo termico produce anche sostanze derivanti dall'ossidazione incompleta che determinano tossicità cronica come, ad esempio il benzene dibenzo-p-diossine policlorurate e dibenzofurani. Sia i prodotti derivati dall'ossidazione completa sia da quella parziale si originano a prescindere dall'origine naturale o antropica del processo di combustione; indubbiamente il contributo maggiore viene dato dai processi di origine antropica.

Processo di combustione e produzione di sostanze inquinanti

La combustione è un processo termico che richiede la presenza contemporanea di un combustibile e un ossidante; se l'ossidante è l'aria, è presente anche un diluente, l'azoto. Il processo porta (almeno teoricamente) all'ossidazione completa delle sostanze organiche contenute nel comburente. Il processo di ossidazione delle molecole si ha mediante reazioni chimiche esotermiche che comportano un notevole aumento della temperatura.

C'è da considerare anche che in contemporanea a questo processo termico si possono avere, anche se di entità modesta, altri due processi termici:

- la gassificazione, dove il combustibile viene parzialmente ossidato in ambiente caratterizzato da difetto di ossigeno o di altro agente ossidante;
- la pirolisi dove si ha la demolizione termica in assenza di agenti ossidanti. In questo ultimo caso il calore necessario per l'evoluzione del processo può essere fornito indirettamente dalle pareti del forno.

I processi di gassificazione e pirolisi sono in genere limitati a rifiuti solidi, fangosi e liquidi a elevata densità, tuttavia questi passaggi intermedi non pregiudicano la completa ossidazione delle molecole. Indubbiamente se tutto il processo di combustione avviene in difetto di ossigeno o aria, tra i prodotti della combustione saranno presenti molti più composti della combustione incompleta come, per esempio, il monossido di carbonio e altri prodotti intermedi del processo di ossidazione.

Inquinanti primari e secondari

Gli inquinanti che si producono dai processi di combustione e non solo come si vedrà di seguito, possono essere suddivisi in inquinanti primari e secondari.

Inquinanti primari

Gli inquinanti primari sono immessi direttamente nell'atmosfera. Questi derivano principalmente dall'attività dell'uomo, soprattutto da quelle che necessitano dell'utilizzo di combustibili o di carburanti. Si pensi alla produzione di energia elettrica a partire dall'utilizzo di gas naturale o carbone od

olio combustibile in grandi centrali, all'utilizzo di benzina e gasolio per muoversi in automobile o in aereo, o ancora all'utilizzo di gas naturale o kerosene per scaldarsi: tutti questi processi di combustione comportano tra l'altro l'emissione diretta di sostanze inquinanti. Di seguito si riportano le caratteristiche dei principali inquinanti primari, che sono:

- NO_x (ossidi di azoto)

Gli ossidi di azoto, di cui i più rappresentativi sono il monossido (NO) e biossido (NO₂), che, essendo presenti contemporaneamente nell'aria, sono comunemente indicati come NO_x e si formano da tutti i processi di combustione che avvengono ad alta temperatura. Il monossido di azoto si forma per reazione dell'ossigeno con l'azoto, nel corso di qualsiasi processo di combustione che avvenga in aria e a elevata temperatura. Le emissioni antropogeniche sono principalmente dovute ai trasporti, all'uso di combustibili per la produzione di elettricità e di calore e, in misura minore, alle attività industriali.

Il monossido di azoto non è causa di danni diretti all'uomo e all'ambiente in generale. Ma come si vedrà più avanti il ruolo del monossido d'azoto in atmosfera è legato alla reazione di ossidazione che produce biossido d'azoto (NO₂), intermedio fondamentale nei processi di inquinamento secondario e in particolare di smog fotochimico.

- CO (monossido di carbonio)

Il monossido di carbonio, si forma durante la combustione delle sostanze organiche, quando questa è incompleta per difetto di ossigeno. La quantità maggiore di questa specie viene prodotta dagli autoveicoli e dall'industria (impianti siderurgici e raffinerie di petrolio). Nettamente minore è l'emissione di CO dalle centrali termoelettriche e dagli impianti di riscaldamento, perché la combustione è meglio controllata.

Le emissioni naturali del monossido di carbonio comprendono l'ossidazione del metano e degli altri idrocarburi naturalmente emessi nell'atmosfera, l'emissione diretta dalle piante e l'attività microbica negli oceani.

- SO₂ (anidride solforosa)

L'emissione di anidride solforosa deriva dal riscaldamento domestico dai motori alimentari a gasolio, dagli impianti per la produzione di energia, e in generale dalla combustione di carbone, gasolio e oli combustibili contenenti piccole percentuali di zolfo, dalla produzione dell'acido solforico, dalla lavorazione di molte materie plastiche e dalla desolforazione dei gas naturali. L'emissione naturale di anidride solforosa proviene principalmente dai vulcani.

- C₆H₆ (benzene)

Il benzene è il capostipite degli idrocarburi aromatici, una caratteristica di questa specie e che tende a reagire per sostituzione piuttosto che per addizione, nonostante l'elevato grado di insaturazione.

Il benzene e gli idrocarburi policiclici aromatici possono derivare da sorgenti naturali (alghe, microrganismi, piante, incendi) ma la principale sorgente atmosferica è di origine antropica e deriva dalla combustione incompleta degli idrocarburi.

A esempio, la combustione del metano (CH₄) che in sintesi può essere schematizzata nella seguente reazione globale: CH₄

+ 2O₂ → CO₂ + 2H₂O, nella pratica si hanno molti stati di reazione e diversi prodotti intermedi, la reazione infatti procede per via radicalica e le successive reazioni del radicale metile (CH₃) costituiscono un punto centrale e determinante nella caratterizzazione di gran parte dei processi di combustione.

Questo perché durante il processo di combustione si ha una competizione tra le reazioni di ossidazione (che portano sequenzialmente a CH₃O, CH₂O, HCO e infine a CO e CO₂) e i processi che determinano la ricombinazione tra due radicali metile a formare etano (C₂H₆), che per successiva reazione di deidrogenazione dà luogo a etilene e acetilene (C₂H₄ e C₂H₂), sempre tramite un cammino per via radicalica che coinvolge i radicali etile e vinile, che tramite reazioni di deidrogenazione e formazione di legami covalenti tra atomi di carbonio, determinano l'allungamento della catena alifatica, arrivando quindi alla formazione del benzene.

- Diossine

Con il termine di "diossine" si fa riferimento a sostanze diverse con caratteristiche chimiche e proprietà simili: le policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF). Per simili caratteristiche di tossicità a queste due famiglie di composti si aggiungono anche i policlorobifenili. Le diossine sono formate da due anelli aromatici uniti tra loro da ponti ossigeno e caratterizzati dalla sostituzione di uno più atomi di idrogeno con atomi di cloro. In particolare la tossicità è causata dalla simultanea presenza di atomi di cloro nelle posizioni 2,3,7,8, mentre una volta verificata questa condizione si osserva una riduzione della tossicità con l'aumentare del grado di clorurazione.

La famiglia dei PCDD comprende 75 composti PCDD tra cui il più tossico è la 2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina (2,3,7,8, TCDD), forse la sostanza più tossica che si conosca, la cui tossicità si misura in picogrammi, cioè in miliardesimi di milligrammo (la dose giornaliera tollerabile di diossina stabilita dall'OMS per l'uomo è pari a 2 pg/kg di peso corporeo [3]).

La famiglia dei PCDF è formata da 135 composti i cui effetti sono simili a quelli delle dibenzodiossine. I PCB sono una categoria di composti organici derivati dal bifenile per sostituzione di degli atomi di idrogeno con atomi di cloro. Si presentano sotto l'aspetto di olii a bassa viscosità di colore giallino, ma con peso specifico superiore a quello dell'acqua.

Le emissioni industriali di diossine possono essere trasportate per grandi distanze dalle correnti atmosferiche e in misura minore dalle correnti marine. Questa è la ragione della presenza delle diossine in tutto il mondo. Anche se la loro produzione cessasse il livelli presenti nell'ambiente impiegherebbero anni prima di diminuire. Le diossine, infatti, sono sostanze persistenti, per la cui degradazione, come si vedrà più avanti, sono necessari decenni o secoli e possono essere riciclate continuamente in diversi comparti ambientali.

Tutti gli studi effettuati sulla tossicità delle diossine sembrano concordare sul fatto che la 2,3,7,8, TCDD è la molecola più tossica tra tutti i possibili isomeri ed è anche una tra le più pericolose prodotte dall'uomo e quindi quando si parla di diossine, in genere, ci si riferisce a questa specie. Questa molecola è degradabile in pochi giorni dalle radiazioni solari ul-

traviolette in presenza di donatori di ioni idrogeno (ad esempio a contatto con il fogliame verde delle piante), ma se dilavata nel terreno si lega al materiale organico presente e viene degradata in tempi molto lunghi [1].

Ogni specie chimica di “diossina” ha una sua tossicità, anche molto diversa da composto a composto. Inoltre questi composti sono presenti in miscele complesse (PCDD + PCDF + PCB) nella maggior parte dei compartimenti ambientali (aria, acqua, suolo e alimenti). Pertanto per poter confrontare correttamente la tossicità di queste diverse miscele è stato introdotto il concetto di Tossicità Equivalente (TEQ). In pratica per poter calcolare la Tossicità Equivalente di una miscela di diossine, furani e PCB, si moltiplica la quantità di ognuno di questi composti per un fattore proporzionale alla tossicità stimata per quella specifica molecola, messa a confronto con la tossicità della TCDD. Di conseguenza la somma di tutte le tossicità equivalenti, permette di attribuire un valore di tossicità a ogni miscela esaminata, equivalente a quella di una simile quantità di tetra-coloro-dibenzo-p-diossina (TCDD) [15]. La tossicità delle PCDD, PCDF e PCB è dovuta al fatto che queste molecole presentano una grossa affinità per il recettore AhR (*Aryl hydrocarbon Receptor*) con cui tende a legarsi, ed è presente nelle cellule umane, ma anche in diverse specie animali terrestri e marine. Questo recettore gioca un ruolo chiave nello sviluppo del sistema immunitario, vascolare, emopoietico endocrino ed è coinvolto nella regolazione di molte funzioni cellulari (proliferazione, differenziazione e morte cellulare programmata) [14]. Le diossine sono composti semivolatili e sono presenti in atmosfera sia in fase di vapore sia adese al particolato (figura 1).

• Idrocarburi policiclici aromatici (PHA o IPA)

La famiglia degli IPA è formata da idrocarburi con due o più anelli aromatici condensati tra loro in un'unica struttura piana attraverso coppie di atomi di carbonio condivisi e formano una classe numerosa di composti organici (circa 500). In assenza o difetto di ossigeno, tramite reazioni di deidrogenazione e condensazione del benzene, si può arrivare alla formazione di prodotti via via più grandi e deidrogenati rispetto anche a quelli di partenza presenti nel comburente. Al contrario in condizioni stechiometriche con ossigeno sufficiente a realizzare il processo di combustione completo, il benzene si forma in quantità limitate [1].

Gli IPA che contengono fino a quattro anelli benzenici sono detti volatili perché a più basso peso molecolare; quelli che contengono più di quattro anelli benzenici sono gli IPA “pesanti”. Questi ultimi sono più stabili e più tossici.

L'IPA più semplice da un punto di vista strutturale è il naftalene composto da due anelli benzenici, si ritrova più che altro in forma gassosa a temperatura ambiente. Gli IPA costituiti tre a cinque anelli benzenici possono essere presenti sia come gas sia come particolato, mentre quelli caratterizzati da 5 o più anelli tendono a presentarsi in forma solida.

All'aumentare del peso molecolare decresce la volatilità e la già bassa solubilità in acqua, mentre cresce il punto di ebollizione e di fusione.

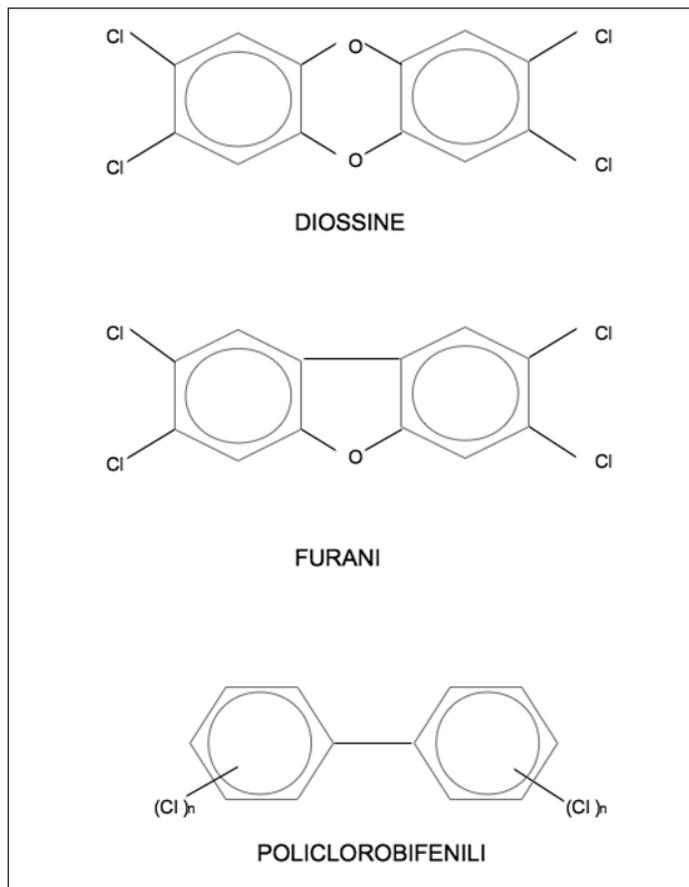


Figura 1. Forme di strutture diossine, furani e policlorobifenili.

Sono diventati oramai ubiquitari nell'ambiente a causa delle attività umane. Vengono emessi in atmosfera attraverso combustioni spontanee (eruzioni vulcaniche, incendi ecc.), ma principalmente attraverso le attività antropiche (produzione di energia industriale, scarichi di autoveicoli, riscaldamento domestico ecc.). Di questa classe di composti, solo 16 sono definiti “inquinanti prioritari” dall'US EPA. Gli effetti tossici degli IPA sono dovuti sia alla formazione di intermedi metabolici tossici sia all'interazione sul recettore AhR.

Inquinanti secondari

Gli inquinanti secondari, sono quelle sostanze che emesse in atmosfera vanno incontro a complessi fenomeni fisico-chimici dando luogo alla formazione di sostanze tossiche.

Di seguito si riportano le caratteristiche dei principali inquinanti secondari, che sono:

- O₃ (ozono)

L'ozono, è uno degli inquinanti secondari dell'atmosfera che hanno origine dagli inquinanti primari per effetto di complesse reazioni fotochimiche causate dalla radiazione solare.

- NO₂ (biossido di azoto)

La presenza in atmosfera di quantità elevate di biossido di azoto è dovuta alla rapida ossidazione del monossido d'azoto da parte di ossidanti quali l'ozono e i radicali perossido generati durante i processi di ossidazione dei composti organici volatili.

- HNO_3 (acido nitrico)

La principale sorgente dell'acido nitrico in atmosfera è la reazione del biossido d'azoto con i radicali ossidrilici (OH) durante gli eventi di smog fotochimico. La molecola di acido nitrico è molto stabile, ma in atmosfera viene velocemente rimossa sia per reazione con ammoniaca (con formazione di particelle di nitrato d'ammonio, che causano diminuzione della visibilità), sia per deposizione diretta sulle superfici e adsorbimento sulle gocce d'acqua. Mediante quest'ultima via l'acido nitrico contribuisce ai processi di deposizione acida.

- HNO_2 (acido nitroso)

L'acido nitroso ha origine principalmente dalla reazione tra biossido d'azoto e acqua. Gli effetti sulla salute sembrano dovuti al fatto che l'acido nitroso sia uno dei precursori delle nitrosoammine che sono cancerogene.

- HCHO (formaldeide)

Le sorgenti atmosferiche di formaldeide, composto organico ossigenato volatile, si hanno principalmente dall'ossidazione degli idrocarburi. Nelle aree urbane, e in particolare nelle aree mediterranee, dove l'attività ossidativa dell'atmosfera è intensa, si riscontrano concentrazioni elevate di formaldeide che sono essenzialmente da attribuire a processi fotochimici.

Questa divisione, per alcune sostanze chimiche, come ad esempio le diossine non è così rigida, infatti, alcuni studi hanno dimostrato che queste si formano da qualsiasi materiale che contiene un idrocarburo, un metallo di transizione e cloro (organico o inorganico) se la temperatura supera i 200 °C [3, 9].

Processi chimici nella camera di combustione: teoria zonale

Visto che il contributo maggiore dell'inquinamento ambientale è dovuto alle attività antropiche ci è sembrato giusto concludere l'argomento con la descrizione della dinamica dei processi chimici che avvengono all'interno della camera di combustione e produzione di inquinanti negli impianti di incenerimento, che da sempre destano preoccupazione sia per gli operatori addetti ai controlli sia per la popolazione. Inoltre la visione dinamica della formazione di inquinanti contribuisce a chiarire il fenomeno.

In merito a questo argomento ci sono molti studi che hanno monitorato le reazioni chimiche che avvengono nella camera di combustione, ed è stato visto che si formano pochissimi sottoprodotti organici quando il materiale destinato all'incenerimento entra in contatto diretto della fiamma. Pertanto, la gran parte delle sostanze inquinanti probabilmente si formano nella zona post-fiamma o in zone ancora più distanti caratterizzate da temperature più basse.

Partendo da questo presupposto è stato elaborato il "modello zonale" per descrivere le reazioni chimiche che avvengono all'interno della camera di combustione che sono:

- zona 1 (di pre-fiamma o zona di innesco): ha una temperatura molto variabile che va da livelli simili a quella ambientale fino ad arrivare a valori di temperatura vicini a quelli della zona di

fiamma (1.200 °C) e da condizioni di scarsità d'aria. Questa è caratterizzata da reazioni quali l'eliminazione di acido cloridrico e la rottura del legame carbonio-alogeno, successivamente questi composti reagiranno nelle zone più a valle;

- zona 2 (di elevata temperatura, zona della fiamma): questa zona è caratterizzata da una temperatura di 1.000-1.800 °C nella quale ogni composto organico subisce una completa conversione in prodotti finali più stabili da un punto di vista termodinamico, infatti si ha produzione di anidride carbonica, acqua, acido cloridrico e ossido di carbonio. Nelle condizioni di pirolisi la fuliggine è il prodotto prevalente. Nella zona di fiamma si generano grandi quantità di metalli vaporizzati che conglomerano a formare piccoli nuclei di nanoparticelle metalliche o condensano sulle superfici di altre particelle che i formano nella zona di post-fiamma (zona termica);

- zona 3 (zona post-fiamma, zona termica): questa zona è caratterizzata da una temperatura di 600-1.100 °C ed è caratterizzata da aree sia ricche sia povere di ossigeno. In questa zona avvengono numerose di reazioni chimiche tra radicali e molecole e sembra che a questo livello si formi la maggior parte degli inquinanti (IPA e idrocarburi clorurati). Questa potrebbe essere la zona in cui i metalli vaporizzati nella zona di fiamma si condensano a formare particolato fine (PM) [6, 11];

- zona 4 (zona di raffreddamento dei gas o, zona fredda): questa zona si trova a valle della zona di fiamma e di post-fiamma ed è caratterizzata da un rapido raffreddamento della temperatura dei gas. Vi sono da aree povere di ossigeno per il processo di combustione delle zone precedenti e aree ricche di ossigeno dovute all'ingresso di aria. Prodotti parzialmente ossidati come la formaldeide, la cloroformaldeide e il fos (carbonil cloruro) si formano in reazioni in cui sono coinvolti i radicali liberi dell'ossigeno. I composti azotati si formano in reazioni di molecole con radicali liberi che reagiscono con gli ossidi di azoto (NO_x) originati dalla zona di fiamma [12];

- zona 5 (catalasi di superficie): zona completamente differente dalle altre quattro zone. In questa zona si deve considerare gli effetti delle superfici a temperature comprese fra 200 e 600 gradi. Si pensa che le reazioni della zona 2 e 3 che portano alla formazione di nanoparticelle di fuliggine/ceneri volatili possano anche trasformare i metalli in forme catalitiche attive che catalizzeranno le reazioni di sottoprodotti tossici della combustione come: PCDD PCDF, idrocarburi parzialmente ossidati ecc. A questo punto gli inquinanti formati sarebbero emessi in atmosfera visto che le temperature sono troppo basse per provocare la loro distruzione [11- 3].

La natura dei sottoprodotti della combustione che si hanno dipendono dai composti chimici da cui originano e dalle condizioni in cui avvengono le reazioni chimiche. Numerosi studi scientifici hanno chiarito che i PCDD/F si formano in quasi tutte le combustioni se vi sono fonti di carbonio e di cloro con un metallo di transizione per catalizzare la reazione [8]. La dinamica del processo di combustione sopra descritto è presente anche negli incendi di natura accidentale nei quali si ha emissione diretta di sostanze inquinanti nell'atmosfera,

a differenza dei processi di combustione controllata, i cui fumi prodotti devono essere successivamente sottoposti ad appositi trattamenti, per garantire il rispetto dei limiti previsti dal D.lgs. 133/05 sulle emissioni di in atmosfera.

Particolato

Tutte le sostanze che si producono dai processi di combustione entrano a far parte del particolato. Per particolato atmosferico si intende una miscela complessa di sostanze, organiche e inorganiche, sia solide sia liquide disperse in un mezzo gassoso (PM *Particular Matter*) con dimensioni comprese tra qualche nanometro (nm) a decine/centinaia di micrometri (μm). Queste sostanze restano sospese in atmosfera per tempi più o meno lunghi in base alle loro dimensioni, dopo di che ricadono sulla superficie terrestre.

La fase di deposizione può avvenire:

- deposizione umida: tramite le precipitazioni che rappresenta un meccanismo con cui il particolato di piccole dimensioni viene rimosso dall'atmosfera;
- deposizione secca di particolato: che avviene per caduta gravitazionale delle particelle;
- deposizione secca nella fase di vapore di particolato: dovuto ad assorbimento di queste sostanze in fase di vapore da parte della vegetazione.

L'incidenza di queste tre vie di contaminazione dipende dalla ripartizione di gas/particolato nell'atmosfera.

Fanno parte del particolato sostanze diverse come la sabbia, le ceneri, le polveri, la fuliggine, sostanze silicee di varia natura, sostanze vegetali, composti metallici ecc. La composizione e la concentrazione di questa miscela possono variare in funzione delle sorgenti di emissione e di alcuni fattori, come ad esempio la posizione geografica e le condizioni meteo-climatiche.

A seconda delle sorgenti di emissione, l'aerosol si può distinguere in naturale e antropica. Le sorgenti di particolato di origine naturale includono la polvere di origine crostale, il *sea salt* di origine marina, il materiale biologico composto da pollini, spore e detriti animali e le emissioni vulcaniche. Negli ambienti urbani domina invece la componente di origine antropica che ha un maggiore impatto ambientale e sanitario.

Esistono vari tipi di classificazioni del particolato, quella che a noi interessa ricordare è quella in funzione del diametro aerodinamico suddivisa nelle seguenti frazioni:

- ultrafine: con diametro aerodinamico compreso tra 0,01 e 1 μm , formato da particelle costituite da prodotti della enucleazione omogenea dei vapori sovrassaturi (SO_2 , HN_3 , NO_x e prodotti. combustione). Questa corrisponde anche alla frazione "respirabile" in quanto composta da particelle sufficientemente piccole da raggiungere la superficie alveolare;
- fine: con diametro aerodinamico compreso tra 0,1 e 2,5 μm , i maggiori costituenti di questo tipo di particolato nelle zone industrializzate è dato da solfati, nitrati ione carbonio, il carbonio elementare e il carbonio organico, A questi si aggiungono le particelle di origine biologica come le spore fungine, le muffe, i lieviti e i batteri. Questa corrisponde anche alla "fra-

zione toracica" in quanto composta da particelle che riescono a passare attraverso la laringe e a entrare nei polmoni durante l'inalazione raggiungendo la zona tracheo-bronchiale;

- grossolana: con diametro aerodinamico compreso tra 2,5 e 100 μm prodotto, ad esempio, dai processi di erosione. In questo caso il particolato è formato da elementi presenti nel suolo e nei sali marini, che essendo relativamente grandi tendono a sedimentare nel giro di poche ore o minuti e quindi si ritrovano spesso vicino alle fonti di emissioni. Questa corrisponde anche alla "frazione inalabile": comprende particelle che riescono a entrare dalle narici e dalla bocca.

Il particolato ha effetti sul clima in quanto, in relazione alle composizione chimica delle particelle e della lunghezza d'onda delle radiazioni, può assorbire o riflettere le radiazioni le radiazioni stesse contribuendo, al riscaldamento o raffreddamento della superficie terrestre.

Inoltre i fenomeni di riflessione delle radiazioni luminose a opera del particolato e in particolare delle particelle di dimensioni dell'ordine della lunghezza d'onda del visibile sono la causa principale della riduzione della visibilità.

Gli effetti sugli ecosistemi e sulle piante si hanno in seguito alla deposizione secca o umida; infatti, può contribuire all'acidificazione (associata in particolare a H_2SO_4 e HNO_3) e di eutrofizzazione (associata a sali di nitrati) degli ecosistemi terrestre e acquatico. Inoltre l'acidificazione dei suoli può portare al rilascio di elementi tossici provocando seri danni ai vegetali e di conseguenza anche agli animali [5, 14].

Area di interazione tra tutela sanitaria e ambientale

Tutti gli inquinanti che vengono prodotti, in tempi più o meno lunghi, in relazione alle dimensioni aerodinamiche delle particelle che li trasportano, arrivano a depositarsi sul terreno. L'inquinamento del suolo è un fenomeno molto meno conosciuto ed è stato per anni ignorato in virtù della sua capacità di trattenere le sostanze inquinanti tamponandone così gli effetti evidenti nel breve termine. Al contrario di quei comparti ambientali come l'aria o le risorse idriche superficiali che invece reagiscono all'inquinamento antropico ripercuotendosi nell'ambiente con maggiore immediatezza. L'inquinamento del suolo è stato considerato come un problema serio solo negli ultimi decenni, infatti, la Comunità europea dal 2002 in avanti ha cominciato a emanare una serie di documenti nei quali si evidenzia l'interesse della politica comunitaria nei confronti della tutela del suolo [13].

Diversamente da altri comparti ambientali come l'atmosfera e l'idrosfera i contaminanti che arrivano al suolo tendono ad accumularsi e a permanere per lunghi periodi di tempo. Quando le diossine si depositano sul terreno, se rimangono nello stato superficiale hanno un tempo di dimezzamento di 9-15 anni. Nei livelli profondi del suolo le diossine possono persistere per 25-100 anni.

Il suolo svolge un'importante funzione protettiva tramite, tramite un'azione di filtro e barriera, che consente di mitigare gli effetti delle sostanze inquinanti, ostacolandone il passaggio

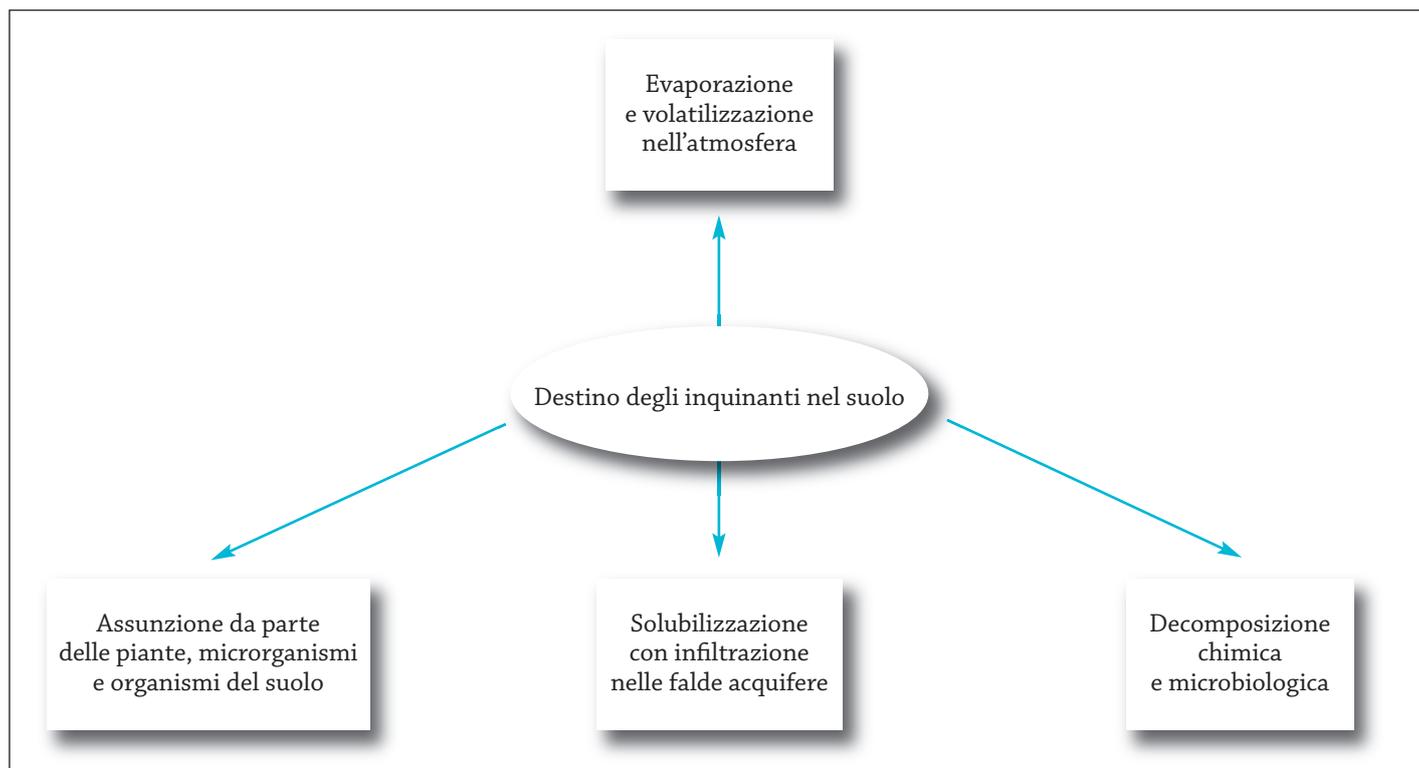


Figura 2. Destino degli inquinanti nel suolo.

nelle acque sotterranee o nella catena alimentare. Il terreno è in grado di controllare il trasporto in profondità dei soluti e lo scorrimento delle acque in superficie, di regolare l'assorbimento da parte della vegetazione e di creare condizioni favorevoli per la degradazione delle sostanze inquinanti. Il valore protettivo del suolo dipende dalle sue proprietà fisico-meccaniche che ne determinano un'azione di filtro e di barriere al movimento di inquinanti e dalla sua proprietà chimico-fisiche che ne determinano la capacità tamponante e dall'attività biologica che consente la decomposizione biochimica e microbiologica delle sostanze che vi si depositano (figura 2).

La capacità auto-depurativa del suolo ha un limite oltre il quale i danni divengono irreversibili. Quando la capacità meccanica di filtrazione, chimico fisica di tamponamento e quelle microbiologiche e biochimica di trasformazione sono esaurite, gli inquinanti organici e inorganici possono essere trasferiti dalla matrice suolo ad altre matrici ambientali. A questo punto il passaggio nella catena alimentare è breve.

Il nostro contributo teso a garantire la sicurezza alimentare può essere raffigurato da un triangolo dove i lati rappresentano le aree specifiche d'attività (igiene degli allevamenti e delle produzioni zootecniche, sanità animale e igiene degli alimenti di origine animale). L'universo ambientale può essere schematizzato da un triangolo in cui lati simboleggiano i tre comparti (atmosfera, idrosfera e suolo). La nostra attività si collega con la tutela ambientale a livello di produzione primaria, perché rappresenta il punto di partenza della catena trofica (terreno-mangime-animale-uomo) (figura 3).

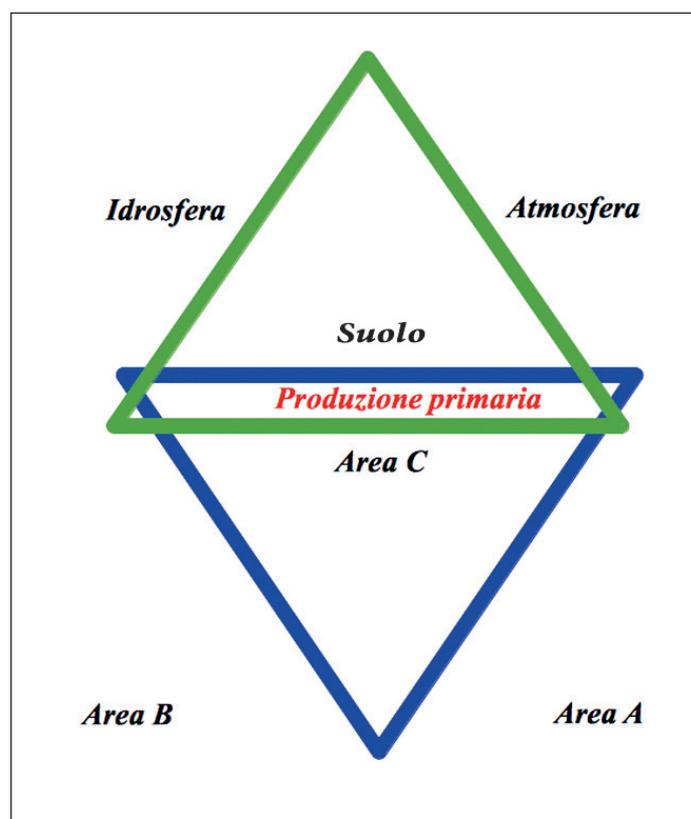


Figura 3. Area di interazione tra servizio veterinario e tutela ambientale.

Tabella 1. Concentrazione soglia di contaminazione nel suolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare.

	A Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (mg Kg⁻¹ espressi come ss)	B Siti ad uso commerciale e industriale (mg Kg⁻¹ espressi come ss)
Cadmio	2	15
Mercurio	1	15
Piombo	100	1.000
Rame	120	600
Selenio	3	15
Zinco	150	1.500
Benzene	0,1	2
Benzo(a)pirene	0,1	10
Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34)	10	100
Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴
PCB	0,06	5

Valori estratti dalla tabella 1, allegato 5 del D.lgs. 152/2006.

Questo concetto ci viene continuamente ribadito in tutti i corsi regionali, nazionali e comunitari sulle modalità di controllo del settore agro-alimentare, ma quello che non viene chiarito è la valenza e la connessione del nostro operato con il settore ambientale.

Nonostante che il suolo rivesta una notevole importanza, a differenza dell'aria e dell'acqua, non vi è nessuna legislazione della UE specificatamente mirata per la protezione del suolo, anche se varie normative in materia di acqua, rifiuti, sostanze chimiche, emissioni in atmosfera, protezione della natura, pesticidi ecc. contribuiscono anche alla protezione del suolo. Inoltre la normativa ambientale comunitaria e nazionale non prevedono valori di riferimento delle diossine per l'aria e per l'acqua, limitandosi solo a stabilire valori di riferimento per gli inceneritori e per i processi di bonifica. Questo perché oltre il 90% dell'esposizione umana alle diossine si ha attraverso il cibo (soprattutto carne, latticini, pesce e crostacei) e di conseguenza è considerata trascurabile l'esposizione umana di questo contaminante per via inalatoria.

Per il suolo gli unici limiti normativi delle diossine sono presenti nel D.lgs. n. 152/2006 all'allegato 5, titolo V, tabella 1 in relazione a specifiche destinazioni d'uso dei siti (tabella 4) Secondo la normativa, qualora venga riscontrato il superamento dei limiti soglia di contaminazione, anche per una sola delle so-

stanze inquinanti considerate si deve procedere alla caratterizzazione del sito e all'analisi del rischio sito specifica. In particolare sono previsti per gli stessi parametri valori soglia diversi in relazione alla specifica destinazione d'uso: per i suoli a uso di verde pubblico, privato e residenziale si fa riferimento alla colonna A, tabella 1 dell'allegato V Parte IV, mentre per i suoli a uso commerciale e industriale i valori si desumono dalla colonna B della stessa tabella, per quanto riguarda i suoli agricoli non esiste un riferimento specifico ma, in via precauzionale, ci si riferisce alla colonna A che riporta i valori più bassi. Inoltre, mentre per i comparti ambientali come l'atmosfera e l'idrosfera esistono dei piani di monitoraggio comunitari e nazionali, per il suolo non esistono degli obblighi di legge di monitoraggio di valori di fondo per i contaminanti. Questi, se presenti, sono per iniziativa delle singole Agenzie regionali per la tutela ambientale.

In questo contesto, l'attività che viene svolta dai colleghi di igiene degli allevamenti e delle produzioni zootecniche tramite il PNAA e PNR ed eventuali altri piani regionali, rappresenta anche un monitoraggio indiretto dell'integrità del suolo.

Di particolare importanza sono quelle ricerche, come ad esempio; prelievo di uova in galline allevate a terra, latte in animali tenuti al pascolo perché rappresentano "catene trofiche ridotte" (terreno animale) che ancora meglio rappresentano lo stato di salute dei nostri terreni.

Conclusioni

Abbiamo volutamente fatto un discorso più ampio rispetto a quello che è il nostro ambito professionale specifico, rischiando di perderci e di non trovare più la via di “casa”, perché non possiamo pensare di rapportarsi con altri Enti senza capire prima la loro visuale e l’ambito normativo in cui operano.

Leggendo il PNAA, abbiamo già qualche esempio di integrazione tra il nostro lavoro e quello di altri Enti. In particolare nel piano di controllo dei contaminanti inorganici viene detto chiaramente che i risultati dei campionamenti previsti per la ricerca dei radionuclidi (5 campioni per Regione) andranno a integrare i dati di radioattività forniti dalla rete di sorveglianza nazionale.

In controllo della radioattività ambientale in Italia è regolato dal D.lgs. 230/1995 e successive modifiche e integrazioni. Il decreto recepisce le direttive 89/628/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti e stabilisce che il controllo sulla radioattività ambientale è esercitato dal Ministero dell’Ambiente e della Terra del Territorio e del Mare, mentre il controllo sugli alimenti e bevande per il consumo umano è esercitato dal Ministero della Salute. Il complesso dei controlli è articolato in reti di sorveglianza regionali e reti di sorveglianza nazionali. All’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) sono affidate le funzioni di coordinamento tecnico al fine di assicurare l’omogeneità dei criteri di rilevamento, delle modalità dei prelievi e delle misure, relativi alle reti nazionali.

Questa rete di monitoraggio prevede controlli su base annuale. Il programma di controllo della radioattività viene realizzato sia nelle principali matrici ambientali (aria, acqua, suolo) sia negli alimenti.

Dal 2004 i dati raccolti nell’ambito di questo piano sono inseriti nella banca dati BDRad dalla quale periodicamente sono estratti e inviati alla CE. Nel complesso, anche se le ricerche assegnate nell’ambito dei PNAA sono poche, esse confluiscono all’interno di un sistema ben strutturato a livello comunitario, nazionale e regionale.

Non possiamo dire altrettanto per le ricerche delle diossine, dei furani e dei policlorobifenili presenti nel PNR e PNAA. Questi contaminanti come già descritto sono originati da un *background* naturale (processi naturali) e da un *background* corrente (sorgenti artificiali) e una volta formati li possiamo ritrovare ovunque essendo inquinanti ubiquitari. Il problema è che queste sostanze non sono ricercate nei piani di monitoraggio dell’aria e dell’acqua e quindi è difficile, allo stato attuale, poter avere una visione integrata per provare a fare qualsiasi correlazione.

Il primo esempio di completa e perfetta collaborazione tra il Settore sanitario e ambientale ci viene dalla Regione Campania, dove il problema della contaminazione da diossine nelle produzioni zootecniche emerse per la prima volta nel 2001 nel corso dell’attuazione del PNR a seguito di riscontro di due campioni positivi. Successivamente negli anni si sono verificate altre emergenze legate sempre alla presenza di questo

contaminante in matrici alimentari e in particolare nel latte e prodotti derivati. In questo contesto la Regione ha dovuto necessariamente collaborare con l’Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Campania (ARPAC) concordando di volta in volta piani di monitoraggio aggiuntivi sulle diossine, al fine di verificare il livello di contaminazione degli allevamenti a vocazione lattifera mediante una distribuzione diffusa, uniforme e a random dei campioni di latte, foraggio e matrici ambientali. Questo ha comportato la creazione di una banca dati comune in cui le ASL inseriscono obbligatoriamente l’esito dei controlli mentre rimane facoltativo per il Settore ambientale. Inoltre si sono sviluppati protocolli operativi sinergici come, ad esempio, a seguito di riscontro di una positività nel latte in campioni ufficiali è prevista l’indagine congiunta da parte del Servizio veterinario dell’ASL territorialmente competente e dell’ARPAC allo scopo di individuare eventuali fonti di contaminazione e allo stesso modo avviene in caso di riscontro di non conformità in una matrice ambientale.

Questi piani rimodulati nel tempo in base alle non conformità riscontrate hanno consentito, oltre a verificare la contaminazione da diossine nei prodotti di origine animale, anche la produzione di dati più attendibili e con una valenza scientifica maggiore. Inoltre partendo inizialmente da campionamenti a random, nel tempo, sono state individuate le zone che hanno i maggiori problemi da un punto di vista ambientale e sanitario su cui intensificare i controlli.

L’esperienza della Regione Campania dimostra che anche in mancanza di un coordinamento a livelli più alti è possibile creare una rete di campionamenti integrati sul territorio e costituisce un modello di riferimento nell’impostazione di un programma integrato routinario di controlli.

Il lavoro dei colleghi dell’area C, al momento riveste un ruolo puramente indicativo nella valutazione dello stato di salute del terreno nell’attesa di un piano di monitoraggio armonizzato tra i diversi Enti coinvolti.

Recentemente è stata emanata a livello comunitario la Direttiva 2013/39/UE che dovrà essere recepita dagli Stati membri entro il 14 settembre 2015, nella quale sono resi obbligatori nel controllo delle acque anche le diossine, le sostanze diossino simili e i policlorobifenili.

Questo rappresenta un primo passo a cui dovrà far seguito, l’introduzione del controllo di questi contaminanti anche negli altri comparti ambientali e allora e solo allora si potrà parlare di controllo integrato. Indubbiamente per mantenere i costi contenuti in un primo momento potrebbero essere individuate delle zone di monitoraggio in cui alcuni contaminanti vengono ricercati in tutti i comparti ambientali e nei prodotti di origine animale. Questi controlli dovranno essere in grado di fornire dati rappresentativi, adatti per valutare la priorità dei contaminanti da ricercare nei piani futuri.

Sarebbe auspicabile, in un futuro non troppo lontano un migliore coordinamento a livello comunitario tra il Settore sanitario e ambientale per cominciare a programmare controlli integrati sulle sostanze inquinanti di derivazione ambientale, al

fine di utilizzare al meglio i dati che si otterranno, nell'obiettivo comune di preservare l'habitat naturale e di conseguenza la salute degli animali e la nostra. Quando tutto questo si sarà realizzato, ci sarà un servizio veterinario ancora più pronto culturalmente e strumentalmente a fare la sua parte.

Bibliografia e sitografia

1. Alberson PH. *Science*. 1983; 220: 786.
2. Dellinger B, Taylor PH. Chemical aspects of combustion of hazardous wastes. *Cent Eur J Public Health*. 1998; 6: 79- 87.
3. Dellinger B. The origin and nature of toxic combustion by products. In: *Challenges for the Epidemiologia & Prevenzione Quaderni- Inquinamento atmosferico e salute umana*. 2013;2 (4/5) (<http://www.epiprev.it/pubblicazione/epidemiol-prev-2013-37-4-5-suppl-2>).
4. Air quality in Europe 2012 report (<http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2012>)
5. *Chemical Sciences in the 21st Century. The Environment*. Washington, DC: National Academies Press: 97-102.
6. Cundy VA, Lester TW, sterling AM, montestruc AN, e coll. Rotary kiln incineration. 3. An. in-depth study: kiln exit after burner stack train and kiln exit pattern factor measurements during liquid CCl₄ processing. *J Air Waste Manag Assoc*. 1989; 39: 944-952.
7. D'Alesio A. e coll. "A Particolato fine e ultrafine – Emissioni da processi di combustione" *La chimica e l'industria*. 1997: 16-20.
8. Frese KL, Hutzinger O. polychlorinated benzene and polychlorinated phenol in heterogeneous combustion reaction of ethylene and ethane. *Environ Sci Technol*. 1996; 30: 998-1008.
9. Ghorishi SB, Altwicker ER. rapid high temperature formation of polychlorinated dioxin and furans in the bed region of a heterogeneous spouted bed combustor: development of a surface mediated model for the formation of dioxins. *Hazard Waste Hazard Mater*. 1996; 13: 11-22.
10. APAT Agenzia per la protezione dell'Ambiente e per i servizi tecnici - Diossine, Furani e PCB. (http://www.google.it/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&ccd=2&ved=0CDIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.salute.gov.it%2Fimg%2FC_17_pubblicazioni_821_allegato.pdf&ei=zfEmU4uvGuWvyAONmYHoBA&usq=AFQjCNES2C3oz1q8HxAztJ692J2xJhljQ&bvm=bv.62922401,14)
11. Russel JJ, Seetula JA, Gutman D, Senkan SML. Kinetics of reactions of chlorinated vinyl radicals CH₂CCl and C₂Cl₃ with molecular-oxygen. *J Phys Chem*. 1989; 93: 1934-1938.
12. Schuetzle D, Perez JM. Factors influencing the emission of nitrated- polynuclear aromatic hydrocarbons (nitro-PAH) from diesel-engines. *J Air Pollut Control Assoc*. 1983; 33: 751-755.
13. Sesto programma di azione per l'ambiente" e una comunicazione specifica "Verso una strategia tematica per la protezione del suolo" COM n. 179 del 2002.
14. Turci R., C. Minoia, E. Leoni e coll – PCDD: Policlorodibenzo-p-diossine. *G Ital Med Lav Erg*. 2009, 314, 325-370
15. Valerio Federico Diossine ambiente e salute. (<http://www.villagio.it/italianostra/diossine.html>).

Al centro c'è la salute

La presenza di inquinanti sia chimici sia fisici diventa contaminazione della vita animale e vegetale tramite la catena alimentare. Il richiamo alla tutela dell'ambiente costituisce quindi elemento indispensabile per una prevenzione efficace, perché al giorno d'oggi garantire la sicurezza alimentare significa non solo analizzare e gestire il rischio legato alle tecnologie produttive, ma anche tenere sotto controllo le dinamiche dell'ambiente in cui l'alimento è prodotto. I temi in relazione sono molteplici. La presenza nell'ambiente di diversi contaminanti, dai pesticidi alle micotossine, la corretta gestione fitoiatrica e ambientale delle colture alimentari, il trasferimento dei contaminanti nella catena alimentare, la nutrigenetica e la nutrigenomica, il meccanismo d'azione dello xenobiotico, la cancerogenesi, i rischi da metalli pesanti nella gravidanza, gli inquinanti come causa di patologie del neurosviluppo e neurodegenerative. L'incontro fra le diverse figure

professionali interessate all'inquinamento della catena alimentare è indispensabile per un'efficace tutela della salute. È necessario riorganizzare la professione medica allargandola ad altre professionalità perché la Medicina ha evoluto il suo paradigma, ora al centro c'è la salute e non soltanto la malattia, in particolare l'ambiente è produttore e indicatore di salute. Di conseguenza tutelare l'ambiente significa tutelare quel contesto di vita che lega territorio, benessere animale, alimenti e salute umana e solo la "Medicina unica" è alla base di una efficace prevenzione primaria. Oggi più di ieri il ruolo svolto dai Dipartimenti di Prevenzione diventa cruciale e fulcro di una politica sanitaria che veda nella prevenzione primaria il vero strumento di tutela della salute dei cittadini e luogo di interazione di quelle professionalità competenti sulla tutela dell'intera filiera alimentare. Questi concetti, da sempre propri della Sanità pubblica veterinaria, impongono alla nostra professione l'as-

sunzione di una coscienza ambientalista. Si pone la necessità ormai inderogabile per il veterinario di Medicina pubblica di dare risposte sempre più qualificate rispetto a quelle problematiche ambientali che intervengono direttamente sulla sicurezza degli alimenti; si dovrà ragionare sulla formazione in generale, dal percorso formativo di laurea a quello del professionista. Questi temi sono stati discussi anche al convegno "Professione, ambiente, Salute, Sviluppo: inquinamento della catena alimentare" organizzato dall'Ordine dei Medici della provincia dell'Aquila e della Federazione nazionale dei medici e degli odontoiatri e patrocinato dalla Società italiana di medicina veterinaria preventiva in cui si sono creati gruppi di lavoro i cui studi verranno presentati nella edizione 2015 e dove la nostra società scientifica darà il contributo per la tematica "xenobiotici nella filiera agroalimentare".

Luigino Valentini
SIMEVeP - Abruzzo