

4. PERSISTENZA, DEGRADAZIONE E METABOLITI

Quando un pesticida viene introdotto nell'ambiente, non rimane necessariamente immutato.

Può essere trasportato dall'acqua e dall'aria, aderire alle particelle del terreno, penetrare nei tessuti vegetali, essere assorbito dagli organismi viventi oppure subire trasformazioni chimiche e biologiche.

Alcune sostanze vengono degradate relativamente rapidamente.

Altre possono permanere nell'ambiente per periodi molto lunghi.

In determinate condizioni, la molecola originaria può trasformarsi in composti differenti, chiamati prodotti di degradazione o metaboliti.

Questi nuovi composti possono presentare proprietà chimiche e tossicologiche diverse rispetto alla sostanza da cui derivano.

La trasformazione può ridurre la pericolosità della molecola originaria, ma non garantisce automaticamente che il risultato sia innocuo.

È inoltre importante distinguere tra la vera degradazione chimica di una sostanza e la semplice diminuzione della sua concentrazione nel punto in cui viene misurata.

Un pesticida può scomparire dal terreno che stiamo analizzando senza essere stato necessariamente distrutto.

Potrebbe essersi trasferito nelle acque, essere stato trasportato dalle particelle di suolo o essersi trasformato in composti che il metodo analitico utilizzato non ricerca.

Comprendere questi fenomeni è fondamentale per valutare la persistenza ambientale dei pesticidi, il loro possibile trasferimento agli alimenti e i limiti delle analisi chimiche.

4.1 Che cosa significa persistenza di un pesticida

La persistenza è la capacità di una sostanza di rimanere presente nell'ambiente per un determinato periodo senza essere completamente degradata.

Non tutti i pesticidi possiedono la stessa persistenza.

Alcune molecole vengono trasformate rapidamente attraverso processi chimici o biologici.

Altre presentano strutture più resistenti e possono permanere per mesi, anni o, in casi particolari, per periodi ancora più lunghi.

Il comportamento dipende dalle caratteristiche della sostanza e dalle condizioni ambientali.

Temperatura, umidità, acidità del terreno, disponibilità di ossigeno, presenza di microrganismi e quantità di sostanza organica possono influenzare la velocità di trasformazione.

La persistenza non è quindi sempre una caratteristica fissa e indipendente dall'ambiente.

Uno stesso pesticida può degradarsi rapidamente in un terreno caldo, aerato e biologicamente attivo e molto più lentamente in condizioni differenti.

Inoltre, la permanenza della molecola originaria non descrive necessariamente quella dei suoi prodotti di trasformazione.

Un pesticida può scomparire relativamente rapidamente e lasciare metaboliti che persistono più a lungo.

La durata della contaminazione non dipende soltanto dalla persistenza del pesticida originario, ma anche dal destino delle sostanze nelle quali può trasformarsi.

4.2 La differenza tra degradazione e dissipazione

Per comprendere il comportamento ambientale dei pesticidi occorre distinguere due termini frequentemente confusi: degradazione e dissipazione.

La *degradazione* è un processo attraverso il quale la struttura chimica di una sostanza viene modificata.

La molecola originaria può trasformarsi in uno o più prodotti differenti.

La *dissipazione* indica invece la diminuzione della concentrazione di una sostanza nell'ambiente o nel compartimento che viene osservato.

La dissipazione può derivare dalla degradazione, ma anche da processi fisici di trasferimento.

Supponiamo, per esempio, che un pesticida venga distribuito su un terreno e che, dopo una settimana, la sua concentrazione nello strato superficiale risulti dimezzata.

Questo risultato non dimostra necessariamente che metà della sostanza sia stata degradata.

Una parte potrebbe essere stata trasportata in profondità dall'acqua infiltrata.

Un'altra potrebbe essere stata allontanata attraverso il ruscellamento o l'erosione.

Per alcuni composti potrebbe essersi verificata volatilizzazione.

Soltanto studi appropriati permettono di distinguere il contributo dei differenti processi.

Questa distinzione è essenziale anche per interpretare gli esperimenti scientifici.

Gli studi di laboratorio possono essere progettati per isolare specifiche reazioni di degradazione.

Gli studi di campo osservano invece un sistema più complesso, nel quale agiscono contemporaneamente processi chimici, biologici e fisici.

La diminuzione della concentrazione di un pesticida in un punto non equivale necessariamente alla diminuzione della quantità complessiva della sostanza e dei suoi prodotti di trasformazione nell'ambiente.



4.3 L'emivita: quanto tempo serve per dimezzare una concentrazione

Uno dei parametri più utilizzati per descrivere la persistenza di un pesticida è il tempo di dimezzamento, comunemente chiamato *emivita*.

Indica, secondo il modello considerato, il tempo necessario perché la concentrazione della sostanza si riduca alla metà.

Supponiamo di avere inizialmente 100 milligrammi di un pesticida.

Se il processo segue una cinetica di primo ordine e l'emivita è pari a dieci giorni, dopo dieci giorni rimarranno 50 milligrammi.

Dopo venti giorni ne rimarranno 25.

Dopo trenta giorni ne rimarranno 12,5.

L'esempio può essere riassunto nella seguente tabella.

Tempo trascorso	Quantità residua
Inizio	100 mg
10 giorni	50 mg
20 giorni	25 mg
30 giorni	12,5 mg
40 giorni	6,25 mg

Si tratta di un modello teorico nel quale la velocità di degradazione è proporzionale alla quantità ancora presente.



In queste condizioni, la quantità diminuisce secondo una curva esponenziale.

Il modello viene frequentemente utilizzato negli studi ambientali, ma non descrive perfettamente tutti i processi reali.

In alcuni casi, una sostanza può degradarsi rapidamente nella fase iniziale e molto più lentamente successivamente.

Questo può accadere, per esempio, quando una parte del pesticida rimane fortemente associata alle particelle del terreno e diventa meno accessibile ai processi di degradazione.

È inoltre importante distinguere i tempi di dimezzamento riferiti alla degradazione da quelli che descrivono la dissipazione complessiva.

Negli studi ambientali vengono frequentemente utilizzati parametri come DT50 e DT90, che indicano i tempi necessari per raggiungere rispettivamente una riduzione del 50% e del 90%, secondo il processo e il modello dichiarati.

L'emivita permette di descrivere la velocità di un processo, ma non costituisce una data di scadenza oltre la quale un pesticida scompare completamente.

4.4 La degradazione biologica: il ruolo dei microrganismi

Il terreno ospita comunità estremamente complesse di microrganismi.

Batteri, funghi e altri organismi partecipano alla trasformazione della sostanza organica e di numerosi composti chimici presenti nell'ambiente.

Alcuni microrganismi sono capaci di trasformare specifici pesticidi attraverso reazioni enzimatiche.

In determinate condizioni, una molecola può essere utilizzata come fonte di carbonio, energia o altri elementi.

In altri casi, la trasformazione avviene attraverso processi metabolici che non forniscono necessariamente un vantaggio energetico diretto al microrganismo.

La degradazione biologica dipende dalle caratteristiche della comunità microbica e dalle condizioni del terreno.

La disponibilità di ossigeno, l'umidità, il pH e la temperatura possono influenzare in maniera significativa le reazioni.

Un terreno biologicamente attivo può favorire la trasformazione di determinate sostanze.

Ma questo non significa che tutti i pesticidi vengano rapidamente degradati in qualsiasi suolo.

Alcune molecole sono difficilmente accessibili ai microrganismi.

Altre possiedono strutture chimiche che non vengono facilmente trasformate.

In certi casi, il metabolismo microbico produce composti intermedi che possono persistere nell'ambiente.

La degradazione biologica non coincide necessariamente con la completa eliminazione della sostanza: può rappresentare soltanto una delle tappe della sua trasformazione.

4.5 Degradazione chimica e fotodegradazione

I pesticidi possono essere trasformati anche attraverso processi non biologici.

Uno di questi è l'idrolisi, una reazione nella quale l'acqua partecipa alla trasformazione della struttura chimica della molecola.

La velocità dell'idrolisi dipende spesso dal pH e dalla temperatura.

Alcuni pesticidi sono relativamente stabili in determinate condizioni di acidità e si trasformano più rapidamente in altre.

Un secondo processo è la fotodegradazione.

Quando una molecola assorbe energia dalla radiazione luminosa, può subire modificazioni chimiche.

La luce solare può quindi contribuire alla trasformazione di alcuni pesticidi presenti sulle superfici vegetali, nel terreno o nell'acqua.

L'efficacia del processo dipende dalle proprietà della sostanza, dall'intensità e dalla composizione della luce e dalle caratteristiche dell'ambiente.

Una molecola presente sulla superficie di una foglia può essere esposta alla radiazione solare.

La stessa molecola, se adsorbita in profondità nel terreno, può ricevere quantità di luce molto inferiori.

Possono verificarsi inoltre reazioni di ossidazione e altri processi chimici.

Anche in questi casi, i prodotti della trasformazione possono possedere caratteristiche differenti dalla sostanza originaria.

La luce, l'acqua e le reazioni chimiche possono trasformare i pesticidi, ma non garantiscono che i prodotti risultanti siano automaticamente innocui.

4.6 Il ruolo del suolo: adsorbimento, mobilità e disponibilità

Il suolo è un sistema complesso costituito da componenti minerali, sostanza organica, acqua, aria e organismi viventi.

Quando un pesticida raggiunge il terreno, può distribuirsi tra queste diverse componenti.

Alcune sostanze rimangono prevalentemente disciolte nell'acqua presente nei pori.

Altre tendono ad aderire alle superfici delle particelle minerali o alla sostanza organica.

Questo fenomeno viene chiamato *adsorbimento*.

L'adsorbimento non deve essere confuso con l'assorbimento.

L'adsorbimento riguarda l'adesione alla superficie di un materiale.

L'assorbimento comporta invece l'ingresso di una sostanza all'interno di un altro materiale o organismo.

La capacità di un pesticida di legarsi al terreno influenza la sua mobilità.

Una sostanza fortemente adsorbita può essere meno disponibile per il trasporto in soluzione attraverso l'acqua.

Ma può anche essere meno accessibile ad alcuni processi di degradazione.

Inoltre, una sostanza adsorbita non è necessariamente immobilizzata per sempre.

Variazioni delle condizioni chimiche o fisiche possono favorirne il desorbimento, cioè il ritorno nella fase acquosa.

Le particelle di terreno alle quali il pesticida è associato possono anche essere trasportate dall'erosione.

La mobilità di una sostanza dipende quindi da diversi fattori, tra cui solubilità, adsorbimento, caratteristiche del terreno e presenza di flussi d'acqua.

Un pesticida poco mobile non è automaticamente innocuo, così come un pesticida molto mobile non è necessariamente persistente.

Mobilità, persistenza e tossicità sono proprietà differenti, che devono essere valutate separatamente.

4.7 Il trasferimento alle acque superficiali e sotterranee

I pesticidi presenti nei terreni agricoli possono raggiungere le acque attraverso differenti percorsi.

Le precipitazioni possono provocare il ruscellamento superficiale, trasportando sostanze disciolte oppure associate alle particelle erose.

I pesticidi più mobili possono inoltre infiltrarsi nel terreno e raggiungere profondità maggiori.

Quando le caratteristiche della sostanza e le condizioni idrogeologiche lo consentono, possono arrivare alle acque sotterranee.

La vulnerabilità di una falda dipende dalla struttura geologica, dalla permeabilità dei terreni, dalla profondità della superficie freatica e dalle condizioni di alimentazione.

Anche la presenza di fratture o vie preferenziali di infiltrazione può influenzare il trasporto.

È importante considerare non soltanto la sostanza originaria, ma anche i suoi prodotti di degradazione.

Un metabolita può risultare più solubile e mobile del pesticida dal quale deriva.

In questo caso, la trasformazione della molecola originaria può favorire la comparsa di un composto capace di raggiungere più facilmente le acque.

La contaminazione delle acque assume particolare rilevanza quando queste vengono utilizzate per irrigare colture agricole oppure per l'abbeveraggio degli animali.

Si crea così la possibilità di un nuovo percorso di esposizione.

Una sostanza applicata su una coltura può, attraverso il terreno e l'acqua, raggiungere altri comparti ambientali e potenzialmente entrare in contatto con colture differenti.

4.8 Che cosa sono i metaboliti

Un metabolita è una sostanza che deriva dalla trasformazione metabolica di un'altra molecola.

Nel caso dei pesticidi, queste trasformazioni possono avvenire nelle piante, negli animali, nell'organismo umano o attraverso l'attività dei microrganismi.

Il termine *prodotto di degradazione* viene utilizzato in senso più ampio per indicare i composti formati durante i processi di trasformazione della molecola originaria.

I due termini possono sovrapporsi, ma non sono perfettamente equivalenti.

Un pesticida può subire diverse reazioni successive.

La molecola iniziale può trasformarsi in un primo metabolita, che a sua volta può produrre un secondo composto.

In alcuni casi, la trasformazione conduce progressivamente a molecole più semplici.

Quando la degradazione è completa, il carbonio organico della sostanza può essere convertito in composti inorganici, come anidride carbonica, secondo le condizioni del processo.

Questa trasformazione completa viene indicata con il termine *mineralizzazione*.

Ma non tutti i pesticidi raggiungono rapidamente questo risultato.

Alcuni prodotti intermedi possono essere relativamente stabili.

Altri possono essere più mobili, oppure possedere una tossicità diversa rispetto alla sostanza originaria.

La scomparsa del pesticida iniziale non coincide necessariamente con la scomparsa di tutte le sostanze chimiche che ne derivano.

4.9 Metaboliti meno tossici, più tossici o semplicemente diversi

La trasformazione di una sostanza chimica non comporta sempre la stessa conseguenza tossicologica.

In alcuni casi, il metabolismo produce composti meno attivi o più facilmente eliminabili.

È uno dei meccanismi attraverso i quali gli organismi viventi possono ridurre gli effetti di determinate sostanze estranee.

In altri casi, però, la trasformazione può generare prodotti biologicamente attivi.

Alcuni metaboliti possono essere dotati di una tossicità propria, anche superiore a quella della molecola originaria per determinati effetti.

Esistono inoltre situazioni nelle quali il prodotto di trasformazione presenta una tossicità inferiore, ma una persistenza o una mobilità ambientale maggiore.

Non è quindi sufficiente conoscere soltanto la tossicità del pesticida iniziale.

Occorre comprendere quali prodotti si formino, in quali quantità, quanto persistano e quali effetti possano esercitare.

La valutazione scientifica deve considerare anche le condizioni nelle quali avviene la trasformazione.

Un metabolita prodotto prevalentemente nel terreno può presentare una rilevanza ambientale differente da un composto che si forma nelle piante o negli animali.

Non possiamo dedurre la pericolosità di un metabolita dalla sola pericolosità della sostanza dalla quale deriva. Ogni composto rilevante richiede una valutazione appropriata.

4.10 Il caso del DDT e dei suoi prodotti di trasformazione

Il DDT rappresenta uno degli esempi storici più importanti per comprendere la persistenza dei pesticidi.

Utilizzato diffusamente nel passato come insetticida, è stato successivamente vietato o sottoposto a severe restrizioni in molti Paesi a causa delle sue caratteristiche ambientali e tossicologiche.

Il DDT appartiene alla famiglia degli organoclorurati ed è caratterizzato da elevata persistenza e affinità per i grassi.

Nell'ambiente può trasformarsi in altri composti, tra cui DDE e DDD.

Questi prodotti possono a loro volta presentare una persistenza significativa.

In determinate condizioni, possono continuare a essere rilevati in suoli, sedimenti e organismi viventi a distanza di molti anni dalla cessazione dell'utilizzo della sostanza originaria.

La presenza di questi composti dimostra che la contaminazione ambientale può sopravvivere alla fine dell'impiego agricolo di una sostanza.

La loro capacità di distribuirsi nei tessuti degli organismi dipende anche dall'affinità per i lipidi.

Per alcuni contaminanti di questo tipo possono verificarsi fenomeni di bioaccumulo e biomagnificazione.

È importante sottolineare che queste proprietà non sono comuni a tutti i pesticidi.

Il caso del DDT è particolarmente rilevante proprio per le sue caratteristiche specifiche.

Vietare l'utilizzo di una sostanza può interrompere una fonte di contaminazione, ma non cancella automaticamente quella già presente nell'ambiente.

4.11 Il caso del glifosato e dell'AMPA

Un altro esempio interessante è rappresentato dal glifosato e da uno dei suoi principali prodotti di trasformazione, l'AMPA, acronimo di acido amminometilfosfonico.

Il glifosato può essere trasformato attraverso processi biologici ambientali, dando origine, tra gli altri prodotti, all'AMPA.

Questo composto può presentare un comportamento differente rispetto alla molecola originaria.

La sua persistenza e mobilità dipendono dalle caratteristiche del terreno e dalle condizioni ambientali.

È importante ricordare che l'AMPA può derivare anche dalla degradazione di altre sostanze, per esempio di determinati fosfonati.

La sua presenza nell'ambiente non costituisce quindi, da sola, una prova univoca di un precedente utilizzo di glifosato.

Il caso è particolarmente interessante anche dal punto di vista analitico.

Un'analisi che ricerca soltanto il glifosato non fornisce necessariamente informazioni sulla concentrazione dell'AMPA.

Per conoscere entrambi i composti è necessario utilizzare metodi che li comprendano.

Il principio è valido anche per altri pesticidi.

La ricerca della sola sostanza originaria può fornire una descrizione incompleta della contaminazione quando i prodotti di trasformazione sono rilevanti.

4.12 Metaboliti nelle piante e negli alimenti

Le piante non sono organismi passivi rispetto ai pesticidi che assorbono.

Possiedono sistemi enzimatici capaci di trasformare numerose molecole estranee.

Alcune sostanze vengono modificate attraverso reazioni di ossidazione, riduzione, idrolisi o altri processi metabolici.

I prodotti ottenuti possono successivamente essere legati a componenti cellulari o accumulati in particolari compartimenti della pianta.

In alcuni casi, la trasformazione può ridurre l'attività biologica della molecola originaria.

In altri, i composti risultanti possono mantenere proprietà rilevanti.

La distribuzione dei metaboliti può inoltre variare tra foglie, radici, frutti e semi.

Questa circostanza assume importanza perché la parte commestibile della pianta può contenere prodotti di trasformazione differenti rispetto a quelli presenti nel terreno o sulla superficie vegetale.

Le valutazioni regolatorie dei pesticidi prevedono, quando pertinenti, studi sul metabolismo delle sostanze nelle colture.

Questi studi contribuiscono a individuare i composti che devono essere considerati nella definizione dei residui.

Tuttavia, non è possibile presumere che tutti i possibili prodotti di trasformazione di ogni pesticida vengano ricercati nei comuni protocolli multiresiduo.

La presenza o l'assenza di un metabolita deve essere verificata esaminando l'effettivo elenco delle sostanze comprese nel metodo analitico.

La pianta può trasformare un pesticida senza necessariamente eliminarne ogni traccia chimica rilevante.

4.13 I metaboliti negli animali e nell'organismo umano

Quando un pesticida viene ingerito da un animale o da una persona, può essere assorbito e distribuito nei differenti tessuti.

L'organismo possiede sistemi metabolici che contribuiscono alla trasformazione delle sostanze estranee.

Un ruolo particolarmente importante viene svolto dal fegato.

Attraverso numerosi enzimi, le molecole possono essere modificate e rese, in molti casi, più facilmente eliminabili.

Le trasformazioni possono però produrre metaboliti dotati di proprietà proprie.

Alcuni composti vengono rapidamente eliminati attraverso le urine o le feci.

Altri possono rimanere temporaneamente nei tessuti o subire ulteriori trasformazioni.

Per questa ragione, gli studi tossicologici considerano il comportamento della sostanza nell'organismo e, quando rilevante, quello dei suoi metaboliti.

Nel caso degli animali da allevamento, queste informazioni contribuiscono a comprendere la possibilità che residui raggiungano carne, latte o uova.

Nel caso dell'uomo, aiutano a valutare l'esposizione e gli eventuali effetti sanitari.

Anche il biomonitoraggio si basa spesso sulla ricerca di metaboliti nelle urine o in altre matrici biologiche.

Tuttavia, non tutti i metaboliti sono specifici di una sola sostanza originaria.

Alcuni possono derivare da differenti composti o fonti di esposizione.

L'interpretazione dei risultati richiede quindi particolare attenzione.

Misurare un metabolita nell'organismo può fornire informazioni sull'esposizione, ma il significato della misura dipende dalla specificità del composto e dalla conoscenza del suo metabolismo.

4.14 La persistenza ambientale non equivale alla persistenza nell'organismo

Una sostanza può essere persistente nell'ambiente senza accumularsi necessariamente nell'organismo umano.

Viceversa, un composto può essere rapidamente trasformato nell'ambiente ma presentare caratteristiche tossicologiche rilevanti in determinate condizioni di esposizione.

La persistenza ambientale dipende dalla velocità dei processi di degradazione nei compartimenti naturali.

La permanenza nell'organismo dipende invece da assorbimento, distribuzione, metabolismo ed eliminazione.

Sono proprietà differenti.

Per valutare il rischio alimentare è necessario considerare entrambi gli aspetti.

Un pesticida che persiste a lungo nel terreno può costituire una fonte di esposizione ambientale prolungata.

Ma la dose effettivamente assunta attraverso gli alimenti dipenderà dal suo trasferimento alle colture e dalla quantità presente nei prodotti consumati.

Allo stesso modo, la presenza di un metabolita persistente non implica automaticamente un livello di rischio sanitario elevato.

Occorre considerarne la tossicità e l'esposizione.

Persistenza, capacità di accumulo e pericolosità tossicologica non sono sinonimi. Confonderli significa trasformare proprietà chimiche differenti in un giudizio generico di rischio.

4.15 Il problema dei metaboliti non ricercati

Le analisi multiresiduo permettono oggi di cercare contemporaneamente centinaia di pesticidi negli alimenti.

È un progresso tecnologico straordinario.

Ma anche un protocollo molto esteso possiede limiti precisi.

Le sostanze ricercate vengono generalmente individuate attraverso elenchi di analiti conosciuti e metodi sviluppati per identificarli.

Alcuni metaboliti possono essere inclusi nei protocolli ordinari.

Altri richiedono analisi dedicate.

Altri ancora potrebbero non essere compresi nel pannello utilizzato.

Questo significa che un risultato negativo per la sostanza originaria non permette automaticamente di escludere la presenza dei suoi prodotti di trasformazione.

Per esempio, un alimento potrebbe contenere un metabolita quantificabile anche quando la molecola iniziale non viene rilevata.

Per comprendere il risultato occorre sapere quali sostanze siano state effettivamente ricercate.

Questo non implica che ogni metabolita non cercato sia pericoloso.

Significa soltanto che non possiamo dichiararlo assente sulla base di un controllo che non lo comprende.

La capacità di cercare centinaia di sostanze non coincide con la capacità di conoscere tutte le trasformazioni chimiche che possono aver interessato un alimento.

4.16 Come vengono valutati i prodotti di trasformazione nella normativa

Le procedure europee di valutazione dei pesticidi prevedono studi destinati a comprendere il metabolismo e il destino ambientale delle sostanze attive.

L'obiettivo è individuare i prodotti di trasformazione rilevanti e valutarne il comportamento.

La normativa sui limiti massimi di residui può considerare una definizione di residuo che comprende più composti.

In alcuni casi, infatti, la concentrazione utilizzata per la verifica normativa viene ottenuta considerando la somma della sostanza originaria e di determinati metaboliti.

In altri casi, la definizione riguarda soltanto alcuni composti selezionati.

Le decisioni dipendono dalle informazioni scientifiche disponibili e dai criteri previsti dalle procedure regolatorie.

Questo sistema rappresenta un elemento fondamentale della valutazione del rischio.

Ma non significa che qualsiasi prodotto di trasformazione immaginabile sia già stato identificato e valutato.

Le conoscenze possono evolvere.

Nuovi studi possono individuare metaboliti prima non considerati oppure fornire informazioni differenti sulle loro caratteristiche tossicologiche.

La valutazione regolatoria è quindi un processo scientifico che richiede aggiornamenti.

Le definizioni normative dei residui riflettono le conoscenze e le valutazioni disponibili. Non rappresentano necessariamente un elenco definitivo di tutti i composti che potrebbero formarsi.

4.17 La contaminazione storica e le generazioni successive di colture

La persistenza ambientale può avere conseguenze anche a distanza di anni dall'ultima applicazione di un pesticida.

Il terreno può conservare residui di determinate sostanze o dei loro prodotti di trasformazione.

Questi composti possono rimanere associati alle particelle minerali o alla sostanza organica.

Variazioni delle condizioni ambientali possono modificarne la disponibilità.

In alcuni casi, sostanze presenti nel terreno possono essere assorbite dalle colture successive.

La presenza di un residuo in una pianta non dimostra quindi automaticamente che quella coltura sia stata sottoposta a un trattamento diretto.

Può essere necessario considerare anche la storia del terreno.

Questo principio assume particolare importanza quando un'area agricola cambia gestione produttiva.

Un terreno precedentemente coltivato con determinate pratiche può essere successivamente destinato a sistemi differenti, compresa l'agricoltura biologica.

Il cambiamento delle pratiche riduce o interrompe specifiche fonti di contaminazione, ma non cancella necessariamente i residui ambientali preesistenti.

Non significa che ogni terreno precedentemente trattato sia contaminato in maniera significativa.

L'entità del fenomeno dipende dalle sostanze utilizzate, dalle quantità, dal tempo trascorso e dalle caratteristiche ambientali.

La storia chimica di un terreno non coincide necessariamente con le pratiche agricole dell'ultima stagione.

4.18 Il rapporto tra persistenza e sicurezza alimentare

La persistenza di un pesticida è una proprietà importante per valutare la possibilità di esposizioni prolungate.

Ma non consente, da sola, di stabilire se un alimento sia pericoloso.

Il rischio sanitario dipende dalla sostanza, dalla sua tossicità e dalle quantità effettivamente assunte.

Una molecola molto persistente può essere presente a concentrazioni estremamente basse.

Una sostanza meno persistente può invece essere presente in concentrazioni maggiori in seguito a un trattamento recente.

Il confronto richiede dati analitici e tossicologici appropriati.

È inoltre necessario considerare eventuali metaboliti.

Una parte del rischio può dipendere non soltanto dalla sostanza iniziale, ma anche dai prodotti nei quali si trasforma.

La valutazione scientifica deve quindi integrare informazioni sulla persistenza, sulla mobilità, sulla formazione dei metaboliti e sull'esposizione alimentare.

Le autorità scientifiche europee e internazionali effettuano valutazioni di questo tipo attraverso procedure complesse.

Tuttavia, la vastità delle sostanze e delle possibili condizioni ambientali rende impossibile presumere una conoscenza completa di ogni scenario.

La corretta valutazione del rischio richiede di sapere non soltanto che cosa viene utilizzato, ma anche che cosa rimane, dove si trasferisce e in quali sostanze si trasforma.

4.19 Perché le analisi del prodotto finale sono importanti

La conoscenza delle pratiche agricole e delle proprietà ambientali dei pesticidi permette di stimare quali contaminazioni potrebbero verificarsi.

Ma la previsione non equivale alla misura.

Un pesticida può essere stato utilizzato correttamente e lasciare residui inferiori ai limiti di quantificazione.

Un altro può essere stato applicato in condizioni differenti e lasciare residui misurabili.

Una sostanza può inoltre raggiungere la coltura attraverso l'ambiente, senza essere stata utilizzata direttamente dall'agricoltore.

I prodotti di degradazione introducono ulteriori possibilità.

Per questa ragione, la conoscenza del processo produttivo non può sostituire completamente l'analisi della materia prima o del prodotto finale.

Un protocollo analitico adeguato può ricercare non soltanto le sostanze attive, ma anche determinati metaboliti e prodotti di trasformazione ritenuti rilevanti.

La scelta degli analiti deve essere trasparente.

Occorre inoltre considerare la sensibilità dei metodi e la rappresentatività del campione.

Un risultato inferiore al limite di quantificazione non significa assenza assoluta della sostanza.

Ma costituisce un'informazione verificabile, che può essere utilizzata per selezionare prodotti secondo criteri prestabiliti.

La conoscenza della filiera permette di ricostruire ciò che potrebbe essere accaduto. L'analisi chimica permette di verificare una parte di ciò che è effettivamente rimasto.

4.20 Ciò che ancora non conosciamo

Le ricerche sul destino ambientale dei pesticidi hanno compiuto progressi enormi.

Oggi esistono metodi sperimentali e modelli scientifici capaci di descrivere numerosi processi di degradazione, trasferimento e accumulo.

Le procedure regolatorie richiedono studi specifici e valutazioni destinate a individuare i principali rischi ambientali e alimentari.

Questi strumenti rappresentano una componente indispensabile della sicurezza chimica.

Tuttavia, le condizioni reali sono estremamente variabili.

Un pesticida può essere esposto a differenti temperature, umidità, comunità microbiche e caratteristiche geologiche.

Può entrare in contatto con altre sostanze, essere trasportato e subire trasformazioni successive.

I prodotti ottenuti possono a loro volta seguire percorsi differenti.

La possibilità di ricostruire ogni trasformazione e ogni trasferimento è necessariamente limitata.

Questo non significa che le valutazioni scientifiche siano inutili o inaffidabili.

Significa che descrivono i processi conosciuti attraverso dati sperimentali e modelli che devono essere continuamente migliorati.

Le tecniche analitiche moderne permettono di individuare un numero crescente di metaboliti e contaminanti emergenti.

Ma la capacità di identificare nuove molecole può procedere più rapidamente della conoscenza completa dei loro effetti biologici.

Ogni progresso analitico illumina una parte del problema. E talvolta rivela che il problema è più articolato di quanto immaginassimo.

Conclusione del capitolo 4

La permanenza dei pesticidi nell'ambiente dipende da numerosi processi chimici, fisici e biologici.

Alcune sostanze vengono trasformate rapidamente.

Altre possono persistere per periodi molto lunghi.

La diminuzione della concentrazione di un pesticida non dimostra necessariamente che esso sia stato completamente degradato: può essersi trasferito in un altro compartimento ambientale oppure trasformato in composti differenti.

I metaboliti e i prodotti di degradazione possono presentare caratteristiche di persistenza, mobilità e tossicità diverse rispetto alla molecola originaria.

Per questa ragione, la ricerca del solo pesticida iniziale non è sempre sufficiente per descrivere l'intera contaminazione.

Il caso dei pesticidi organoclorurati dimostra come alcune sostanze e i loro prodotti di trasformazione possano rimanere nell'ambiente per decenni.

Il caso del glifosato e dell'AMPA mostra invece l'importanza di considerare metaboliti specifici e la possibilità che un composto derivi da fonti differenti.

Le valutazioni scientifiche e regolatorie tengono conto di numerosi processi di trasformazione, ma le conoscenze continuano a evolvere.

La scomparsa della molecola originaria non equivale necessariamente alla scomparsa della contaminazione.

Questo principio rappresenta una delle ragioni per le quali la conoscenza analitica degli alimenti può richiedere la ricerca non soltanto dei pesticidi utilizzati, ma anche di determinati prodotti di trasformazione.

La conformità normativa costituisce un requisito fondamentale.

La possibilità di effettuare analisi più estese permette di acquisire informazioni ulteriori.

Non significa pretendere di eliminare ogni incertezza.

Significa cercare di ridurla attraverso strumenti scientifici appropriati.

La conoscenza di un pesticida non termina quando smettiamo di utilizzarlo. Continua finché non comprendiamo dove è andato, quanto ne rimane e in che cosa si è trasformato.

Questi fenomeni costituiscono una parte essenziale della valutazione dei possibili effetti dei pesticidi sulla salute, affrontati nel capitolo successivo.

Fonti scientifiche e istituzionali

US EPA – Technical Overview of Ecological Risk Assessment: Exposure Characterization. Processi di degradazione, dissipazione e trasporto ambientale dei pesticidi.

<https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/technical-overview-ecological-risk-assessment-1>

US EPA – Guidance to Calculate Representative Half-life Values and Characterizing Pesticide Degradation. Modelli cinetici, tempi di dimezzamento e degradazione ambientale.

<https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/guidance-calculate-representative-half-life-values>

US EPA – Guidance for Reviewing Pesticide Environmental Fate Studies.

Metodologie per valutare idrolisi, fotodegradazione, metabolismo nel suolo, mobilità e

dissipazione.

<https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/guidance-reviewing-pesticide-environmental-fate>

EFSA – Pesticides. Valutazione dei pesticidi e dei rischi associati.

<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/pesticides>

Regolamento (CE) n. 1107/2009 – Immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32009R1107>

Regolamento (CE) n. 396/2005 – Livelli massimi di residui di pesticidi negli alimenti e nei mangimi.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32005R0396>

Commissione europea – EU Pesticides Database. Informazioni sulle sostanze attive e sulle definizioni di residuo.

https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en

Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti. Informazioni e documentazione sui pesticidi organoclorurati persistenti.

<https://www.pops.int/>