

2. COME ARRIVANO I PESTICIDI NEGLI ALIMENTI

I pesticidi vengono utilizzati principalmente per proteggere le colture dagli organismi dannosi, ma il loro percorso non si esaurisce necessariamente nel luogo in cui vengono applicati.

Una volta introdotta nell'ambiente, una sostanza attiva può depositarsi sulla superficie delle piante, penetrare nei tessuti vegetali, raggiungere il terreno, essere trasportata dall'acqua o dall'aria e, in determinate condizioni, entrare nella catena alimentare.

Il comportamento di ogni pesticida dipende dalle sue proprietà chimiche e fisiche, dalle modalità di applicazione e dalle condizioni ambientali.

Alcune sostanze vengono degradate relativamente rapidamente; altre possono persistere più a lungo. Alcune rimangono prevalentemente sulla superficie delle piante, mentre altre vengono assorbite e trasportate all'interno dei tessuti vegetali.

Comprendere questi percorsi è essenziale per spiegare come possano essere presenti residui di pesticidi non soltanto nella frutta, nella verdura e nei cereali, ma anche in alimenti di origine animale.

2.1 I trattamenti diretti sulle colture

La via più immediata attraverso la quale i pesticidi possono raggiungere gli alimenti è rappresentata dall'applicazione diretta dei prodotti fitosanitari sulle colture agricole.

I trattamenti vengono effettuati per contrastare insetti, funghi, piante infestanti e altri organismi capaci di compromettere la produzione.

Le modalità di applicazione possono essere diverse: irrorazione delle foglie e dei frutti, trattamenti del terreno, concia delle sementi o distribuzione attraverso particolari sistemi di irrigazione, quando autorizzata.

Durante un trattamento mediante irrorazione, una parte del prodotto raggiunge le superfici vegetali. Un'altra parte può depositarsi sul terreno oppure disperdersi nell'ambiente circostante.

La quantità di sostanza che rimane sulla coltura dipende da numerosi fattori: tipo di formulazione, dose applicata, caratteristiche della superficie vegetale, condizioni meteorologiche e intervallo trascorso dal trattamento.

Il trattamento di una coltura non comporta necessariamente la presenza di residui quantificabili nel prodotto raccolto. La sostanza può infatti degradarsi, essere metabolizzata dalla pianta, essere rimossa da fenomeni ambientali oppure diminuire di concentrazione durante lo sviluppo vegetale.

Per questo motivo, nelle pratiche agricole sono previsti specifici intervalli tra l'ultimo trattamento e la raccolta, stabiliti in funzione del prodotto fitosanitario e della coltura.

Tali intervalli contribuiscono a garantire che i residui al momento della raccolta rispettino le condizioni previste dall'autorizzazione.

2.2 La contaminazione superficiale di frutta, verdura e cereali

Quando un pesticida viene distribuito sulla parte aerea di una pianta, una quota può rimanere sulla superficie di foglie, frutti, fusti e altre strutture vegetali.

La sua permanenza dipende anche dalle caratteristiche della superficie.

Molti frutti e foglie sono rivestiti da una sottile cuticola cerosa, che svolge una funzione protettiva contro la perdita d'acqua e gli agenti esterni.

Alcuni pesticidi presentano una particolare affinità per queste sostanze cerosi e possono aderire alla cuticola o distribuirsi al suo interno.

Ne deriva che la semplice esposizione alla pioggia non determina necessariamente la completa rimozione dei residui.

La situazione può essere differente per i pesticidi più solubili in acqua, che possono essere maggiormente soggetti al dilavamento.

Anche le caratteristiche morfologiche degli alimenti influenzano la permanenza dei residui. Superfici rugose, irregolari o ricoperte da particolari strutture vegetali possono trattenere le sostanze in modo diverso rispetto alle superfici lisce.

Nei cereali, inoltre, la distribuzione dei residui fra gli strati esterni del chicco e le parti interne può risultare molto diversa a seconda della sostanza e del tipo di trattamento.

Questo aspetto assume particolare rilevanza nei processi di trasformazione, per esempio nella produzione di farine integrali e raffinate.

La presenza superficiale di un pesticida non coincide necessariamente con la sua concentrazione nell'intero alimento. Per comprenderne il comportamento occorre considerare dove la sostanza si è depositata e se è in grado di penetrare nei tessuti.

2.3 L'assorbimento e il trasporto dei pesticidi all'interno delle piante

Alcuni pesticidi non rimangono confinati sulla superficie delle colture.

Sono infatti in grado di attraversare i tessuti vegetali e, in determinate condizioni, essere trasportati all'interno della pianta.

Queste sostanze vengono definite *pesticidi sistemici*.

L'assorbimento può avvenire attraverso le radici, le foglie o altre strutture vegetali, a seconda delle caratteristiche della sostanza attiva e delle modalità di applicazione.

Una volta assorbito, il pesticida può essere distribuito attraverso i sistemi di trasporto della pianta.

Le piante possiedono infatti una rete interna di tessuti conduttori, costituita principalmente da due sistemi.

Lo **xilema** trasporta acqua e sali minerali assorbiti dalle radici verso le foglie e le altre parti della pianta. Possiamo immaginarlo come una rete di tubazioni che alimenta prevalentemente le parti superiori della pianta.

Il **floema**, invece, distribuisce gli zuccheri prodotti dalle foglie attraverso la fotosintesi verso gli organi che ne hanno bisogno, compresi radici, frutti e semi. A differenza dello xilema, il trasporto nel floema può avvenire in direzioni diverse, secondo le necessità della pianta.

Alcuni pesticidi sistemici possono essere trasportati attraverso lo xilema, il floema o entrambi.

La capacità di raggiungere le parti commestibili dipende dalle caratteristiche chimiche della sostanza e dalla fisiologia della pianta.

Di conseguenza, un pesticida applicato sulle foglie può, se possiede le caratteristiche necessarie, raggiungere altre parti della pianta, compresi i frutti.

Questa proprietà offre un vantaggio agronomico, poiché consente alla sostanza attiva di esercitare la propria azione anche in tessuti non direttamente raggiunti dal trattamento.

Dal punto di vista dei residui alimentari, tuttavia, introduce una distinzione fondamentale: **un pesticida assorbito nei tessuti vegetali non può essere necessariamente eliminato mediante il semplice lavaggio della superficie.**

La sistemicità non implica comunque che tutti i pesticidi raggiungano i frutti o le parti commestibili in concentrazioni significative. Il trasporto, il metabolismo e la degradazione variano notevolmente tra le diverse sostanze.



2.4 La dispersione nell'ambiente: aria, suolo e acque

Dopo l'applicazione, una parte dei pesticidi può allontanarsi dal luogo del trattamento.

Questo fenomeno dipende da processi fisici e chimici che determinano il trasferimento delle sostanze tra atmosfera, terreno e acque.

Dispersione nell'aria. Durante l'irrorazione, le goccioline più piccole possono essere trasportate dal vento oltre l'area trattata. Il fenomeno viene chiamato *deriva*. Alcune sostanze possono inoltre volatilizzare dopo l'applicazione, passando dalla superficie del suolo o delle piante all'atmosfera.

Trasporto attraverso il suolo. Una volta raggiunto il terreno, un pesticida può legarsi alle particelle minerali e alla sostanza organica, essere degradato oppure rimanere disponibile per successivi trasferimenti. Il comportamento dipende, tra l'altro, dalla solubilità in acqua e dalla capacità di adsorbimento, ossia di aderire alla superficie delle particelle del terreno.

Trasporto nelle acque superficiali. Le precipitazioni possono mobilitare una parte dei pesticidi presenti sul terreno, trasportandoli verso fossi, canali, torrenti e fiumi. Questo processo può avvenire attraverso il ruscellamento superficiale, cioè lo scorrimento dell'acqua sul terreno, oppure attraverso il trasporto delle particelle di suolo erose.

Trasporto nelle acque sotterranee. Le sostanze sufficientemente mobili e persistenti possono infiltrarsi attraverso il terreno e raggiungere le falde acquifere. Anche alcuni prodotti di degradazione possono presentare elevata mobilità.

La contaminazione delle acque assume particolare importanza quando queste vengono successivamente utilizzate per l'irrigazione delle colture o per l'abbeveraggio degli animali.

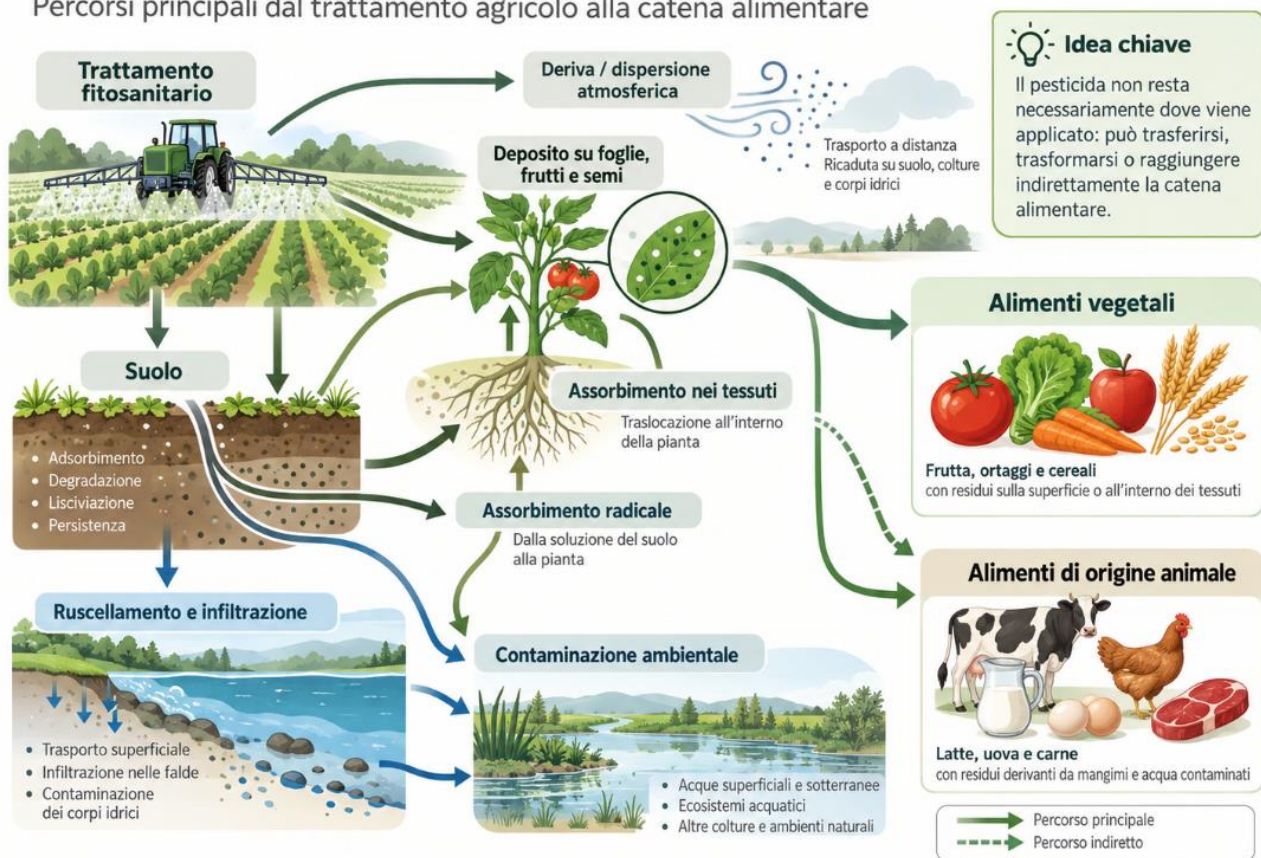
Il trasferimento ambientale dei pesticidi non è però uniforme: due sostanze applicate nello stesso terreno possono seguire percorsi molto diversi.

Le proprietà del suolo, la temperatura, le precipitazioni, la profondità della falda e la presenza di sostanza organica influenzano fortemente tali processi.

La valutazione di questi fenomeni costituisce una parte importante dell'analisi del rischio ambientale effettuata dalle autorità scientifiche europee.

Come i pesticidi arrivano negli alimenti

Percorsi principali dal trattamento agricolo alla catena alimentare



2.5 La contaminazione delle colture non direttamente trattate

Una coltura può entrare in contatto con pesticidi anche quando non è stata direttamente sottoposta a un trattamento.

Questo può avvenire, per esempio, quando sostanze utilizzate in un campo agricolo vengono trasportate dal vento verso coltivazioni confinanti.

Il fenomeno della deriva può provocare la deposizione di piccole quantità di prodotto sulle piante situate nelle vicinanze.

Un'altra possibile via di esposizione è rappresentata dall'utilizzo di acque di irrigazione contenenti residui di pesticidi provenienti da altre aree agricole.

Anche il terreno può costituire una fonte di contaminazione, soprattutto quando contiene residui di trattamenti precedenti o sostanze caratterizzate da una lunga persistenza.

In determinate condizioni, alcune di queste sostanze possono essere assorbite dalle radici delle colture successive.

Questo fenomeno è particolarmente interessante per le produzioni biologiche.

Il disciplinare dell'agricoltura biologica limita rigorosamente l'impiego dei prodotti fitosanitari e vieta l'utilizzo di numerose sostanze consentite nell'agricoltura convenzionale.

Tuttavia, **la certificazione biologica non equivale alla garanzia analitica di assenza assoluta di residui di pesticidi.**

Una contaminazione accidentale può derivare da fonti ambientali esterne anche in presenza di una corretta gestione agricola.

Naturalmente, la possibilità di contaminazione non implica che tutte le colture non trattate contengano residui misurabili.

L'entità del fenomeno dipende dalla distanza dalle fonti, dalle condizioni ambientali, dal tipo di sostanza e da numerose altre variabili.

Un'etichetta racconta come è stato prodotto un alimento, ma non può raccontare tutto ciò che quell'alimento ha incontrato nell'ambiente.

La distinzione è fondamentale: conoscere le pratiche agricole non equivale a conoscere integralmente la composizione chimica del prodotto finale.

2.6 Il trasferimento attraverso i mangimi e l'acqua agli animali da allevamento

I pesticidi possono entrare nella catena alimentare anche attraverso l'alimentazione degli animali destinati alla produzione di carne, latte e uova.

Bovini, suini, pollame e altri animali da allevamento consumano infatti mangimi costituiti in larga parte da prodotti agricoli, come cereali, foraggi, semi oleosi e loro derivati.

Se queste materie prime contengono residui di pesticidi, gli animali possono ingerirli durante l'alimentazione.

Una seconda possibile via di esposizione è rappresentata dall'acqua di abbeveraggio, quando contiene sostanze provenienti dalla contaminazione ambientale.

Negli allevamenti al pascolo può inoltre verificarsi l'ingestione accidentale di particelle di terreno, eventualmente contenenti residui di sostanze persistenti.

Una volta ingerito, il pesticida può seguire percorsi differenti.

Una parte può essere eliminata senza subire trasformazioni significative. Un'altra può essere assorbita attraverso l'apparato digerente, distribuita nei tessuti e trasformata metabolicamente, soprattutto nel fegato.

La velocità di questi processi varia notevolmente secondo la specie animale e le caratteristiche chimiche della sostanza.

Per alcuni composti, particolarmente persistenti e lipofili, l'eliminazione può essere relativamente lenta e possono verificarsi fenomeni di accumulo nei tessuti.

È importante sottolineare che **la presenza di residui nei mangimi non comporta automaticamente il loro trasferimento agli alimenti di origine animale.**

Questo dipende dall'effettivo assorbimento, dal metabolismo, dalla distribuzione nei tessuti e dalla capacità di eliminazione dell'organismo.

La valutazione dei contaminanti presenti nei mangimi è perciò una componente importante della sicurezza della catena alimentare.

2.7 Il passaggio dei pesticidi negli alimenti di origine animale

Quando una sostanza viene assorbita da un animale, può distribuirsi nei diversi tessuti secondo le proprie caratteristiche chimiche.

Un parametro particolarmente importante è la *lipofilia*, ossia la tendenza di una sostanza a distribuirsi preferenzialmente nei grassi rispetto all'acqua.

Alcuni pesticidi lipofili possono accumularsi nel tessuto adiposo degli animali, soprattutto quando sono caratterizzati da elevata persistenza e lento metabolismo.

In determinate condizioni, i residui possono quindi essere presenti nella carne, nel grasso animale, nel latte e nelle uova.

Nel caso del latte, alcune sostanze lipofile possono trasferirsi nella frazione grassa.

Analogamente, nelle uova di gallina, alcuni contaminanti lipofili possono distribuirsi preferenzialmente nel tuorlo, che contiene una quantità significativa di lipidi.

Questo fenomeno non riguarda indistintamente tutti i pesticidi.

Molti prodotti fitosanitari vengono metabolizzati ed eliminati dagli organismi animali senza dare luogo a fenomeni rilevanti di accumulo.

Occorre quindi distinguere tra due concetti.

Il *bioaccumulo* si verifica quando una sostanza viene assorbita da un organismo più rapidamente di quanto venga eliminata, determinando un aumento della sua concentrazione nel corso del tempo.

La *biomagnificazione* si verifica invece quando la concentrazione di una sostanza aumenta passando da un livello trofico a quello successivo.

Con il termine **livello trofico** si indica la posizione occupata da un organismo nella catena alimentare.

Le piante costituiscono il primo livello; gli erbivori che si nutrono delle piante occupano il livello successivo; i carnivori che mangiano gli erbivori appartengono a un livello ancora superiore.

Per esempio, una sostanza persistente può essere assorbita da piccoli organismi, trasferirsi agli animali che se ne nutrono e raggiungere concentrazioni maggiori nei predatori posti ai livelli superiori della catena alimentare.

Questi fenomeni sono particolarmente rilevanti per alcuni contaminanti organici persistenti, mentre non sono caratteristiche universali dei pesticidi.

La loro conoscenza aiuta a spiegare perché determinate sostanze, anche se non vengono più utilizzate direttamente in agricoltura, possano continuare a essere rilevate in alimenti di origine animale.

2.8 La contaminazione durante la conservazione e dopo la raccolta

Il percorso dei pesticidi verso gli alimenti non si conclude necessariamente con la raccolta.

Alcune derrate agricole possono essere sottoposte a trattamenti fitosanitari anche durante le fasi successive, per proteggerle dagli insetti infestanti o dalle malattie fungine che potrebbero svilupparsi durante il trasporto e la conservazione.

È il caso, per esempio, di determinati prodotti ortofrutticoli, per i quali possono essere autorizzati specifici trattamenti post-raccolta.

Alcuni fungicidi vengono utilizzati per contrastare le muffe responsabili del deterioramento degli agrumi e di altri frutti durante la conservazione.

Anche i cereali immagazzinati possono essere esposti, nei casi consentiti, a trattamenti destinati al controllo degli insetti infestanti delle derrate.

La presenza di residui nel prodotto finale può quindi derivare non soltanto dai trattamenti effettuati durante la coltivazione, ma anche da quelli eseguiti nelle successive fasi della filiera.

Un altro aspetto riguarda le contaminazioni accidentali.

Impianti, contenitori, mezzi di trasporto e strutture di stoccaggio possono rappresentare possibili fonti di contaminazione crociata quando non vengono gestiti correttamente.

In questi casi, la presenza di residui non dipende necessariamente da un trattamento intenzionalmente eseguito sul prodotto alimentare.

Il controllo delle materie prime e delle condizioni di conservazione è quindi importante quanto quello delle pratiche agricole.

Infine, i successivi processi di trasformazione alimentare possono modificare la concentrazione e la distribuzione dei residui.

Essiccazione, macinazione, raffinazione, estrazione e altri trattamenti possono provocare riduzioni, concentrazioni o trasformazioni delle sostanze presenti, a seconda del pesticida e del processo considerato.

2.9 I pesticidi storici: contaminazioni che persistono per decenni

Alcuni pesticidi utilizzati diffusamente nel passato presentavano caratteristiche chimiche tali da renderli particolarmente resistenti alla degradazione ambientale.

È il caso di diversi pesticidi organoclorurati, tra cui il DDT, l'aldrin e il dieldrin.

Molte di queste sostanze sono state vietate o sottoposte a severe restrizioni a causa della loro persistenza, della capacità di accumularsi negli organismi viventi e dei potenziali effetti sulla salute e sugli ecosistemi.

Tuttavia, l'interruzione dell'utilizzo non determina necessariamente la scomparsa immediata della sostanza dall'ambiente.

Il terreno può funzionare come un serbatoio nel quale alcuni contaminanti rimangono presenti per molti anni.

La loro permanenza dipende dalle caratteristiche chimiche della molecola, dalle condizioni ambientali e dalla velocità dei processi di degradazione.

Per alcune sostanze, inoltre, i prodotti di trasformazione possono mantenere una significativa persistenza.

Un esempio è rappresentato dal DDE, uno dei principali prodotti di degradazione del DDT.

Sostanze di questo tipo possono essere ancora presenti in terreni, sedimenti e organismi viventi anche a distanza di decenni dalla cessazione del loro utilizzo.

Il loro eventuale ingresso nella catena alimentare può verificarsi attraverso l'assorbimento ambientale o l'alimentazione degli animali.

Ma esiste un aspetto ancora più importante.

La degradazione di un pesticida non coincide necessariamente con la sua scomparsa come problema ambientale.

La molecola originaria può trasformarsi in altre sostanze, chiamate prodotti di degradazione o metaboliti, che in alcuni casi conservano proprietà tossicologiche rilevanti oppure risultano più mobili e persistenti della sostanza di partenza.

La scomparsa del pesticida originario da un'analisi, quindi, non dimostra necessariamente l'assenza dei suoi prodotti di trasformazione.

La natura può trasformare una molecola senza renderla automaticamente innocua.

Questa circostanza dimostra perché la valutazione della contaminazione chimica non possa limitarsi esclusivamente alla ricerca delle sostanze originariamente utilizzate.

2.10 Un alimento può contenere residui di più pesticidi?

Un alimento può contenere contemporaneamente residui di diverse sostanze attive.

Durante il ciclo di coltivazione possono essere utilizzati più prodotti fitosanitari, destinati a controllare organismi nocivi differenti.

Una coltura può, per esempio, essere sottoposta a trattamenti fungicidi per prevenire malattie e a trattamenti insetticidi per contrastare determinati parassiti.

In altri casi, la presenza contemporanea di più sostanze può derivare dalla combinazione di trattamenti diretti, contaminazioni ambientali e residui provenienti da applicazioni precedenti.

È inoltre possibile che alcune sostanze rilevate nel prodotto finale siano metaboliti o prodotti di degradazione dei pesticidi originariamente applicati.

Il risultato può essere la presenza, nello stesso alimento, di una miscela di residui chimicamente differenti.

Questa situazione viene comunemente descritta con il termine *multiresiduo* e, nel linguaggio divulgativo, con l'espressione *cocktail di pesticidi*.

La questione scientifica è particolarmente complessa.

Un alimento può rispettare tutti i limiti di legge previsti per i singoli pesticidi e contenere contemporaneamente residui di numerose sostanze attive.

La conformità di ogni singolo residuo non costituisce, da sola, una valutazione completa degli eventuali effetti combinati.

Le sostanze presenti in una miscela possono avere effetti indipendenti, produrre effetti cumulativi quando agiscono sugli stessi organi o sistemi biologici oppure, in determinate condizioni, interagire tra loro.

Le interazioni possono essere di tipo sinergico, quando l'effetto complessivo risulta maggiore di quello previsto considerando separatamente le sostanze, oppure antagonista, quando risulta inferiore.

Non significa che ogni miscela produca necessariamente effetti dannosi o sinergici. Il rischio dipende dalle sostanze presenti, dalle loro concentrazioni, dalla durata dell'esposizione e dalle caratteristiche degli individui esposti.

Ma quanto conosciamo realmente gli effetti dei cocktail di pesticidi sulla salute umana?

La risposta è che le conoscenze scientifiche sono ancora incomplete.

L'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA) studia da anni gli effetti dell'esposizione contemporanea a più pesticidi e ha sviluppato metodologie specifiche per la valutazione del rischio cumulativo.

Sono già state condotte valutazioni per gruppi di sostanze che possono produrre effetti sul sistema nervoso e sulla tiroide. Le valutazioni finora completate non hanno individuato, per gli scenari esaminati, rischi cumulativi tali da richiedere interventi normativi.

Tuttavia, molti aspetti rimangono ancora oggetto di studio, in particolare gli effetti su altri organi, le interazioni tra sostanze differenti e le conseguenze delle esposizioni croniche a miscele complesse.

EFSA sta progressivamente estendendo queste valutazioni ad altri sistemi dell'organismo, tra cui fegato, reni e apparato riproduttivo. Il programma europeo prevede il completamento delle valutazioni cumulative necessarie per i residui di pesticidi entro il 2030.

Oggi non siamo quindi in grado di prevedere e quantificare con certezza tutti i possibili effetti sanitari derivanti dall'esposizione prolungata alle molteplici combinazioni di pesticidi che possono essere presenti negli alimenti.

Questo non dimostra che tali combinazioni siano necessariamente pericolose. Significa che la valutazione scientifica delle miscele non è ancora completa.

È quindi possibile che un alimento sia pienamente conforme alla normativa e contenga un insieme di residui chimici che il consumatore non conosce.

Questa informazione non è normalmente riportata sull'etichetta.

Il consumatore può sapere che un alimento rispetta la legge, ma non necessariamente quali e quanti residui di pesticidi contenga.

Ed è proprio qui che emerge una differenza fondamentale tra ciò che è legalmente consentito e ciò che una persona può desiderare di conoscere prima di scegliere un alimento.

La possibilità di analizzare direttamente un prodotto e rendere accessibili i risultati rappresenta quindi uno strumento di conoscenza ulteriore rispetto alle informazioni normalmente disponibili.

La questione non è mettere in discussione automaticamente la sicurezza degli alimenti conformi alla normativa, ma riconoscere che **conformità di legge, conoscenza della composizione chimica e assenza di residui rilevabili sono tre concetti differenti.**

Conclusione del capitolo 2

Il percorso dei pesticidi verso gli alimenti può essere molto più complesso di quanto suggerisca la semplice immagine di un trattamento effettuato su una coltura agricola.

Le sostanze possono raggiungere gli alimenti attraverso applicazioni dirette, assorbimento nei tessuti vegetali, dispersione ambientale, contaminazione dei mangimi, trasferimento negli organismi animali e trattamenti effettuati dopo la raccolta.

In alcuni casi, i residui possono perfino derivare da contaminazioni ambientali risalenti a molti anni prima.

Ogni sostanza segue un percorso specifico, determinato dalle sue proprietà chimiche, dalle condizioni ambientali e dalle caratteristiche degli organismi con cui entra in contatto.

Conoscere come un pesticida può raggiungere un alimento non significa sapere se quell'alimento lo contenga effettivamente.

Per rispondere a questa seconda domanda occorre esaminare direttamente il prodotto e determinarne l'eventuale contenuto di residui.

Ed è proprio da qui che prenderà avvio il capitolo successivo, dedicato alla presenza dei pesticidi negli alimenti vegetali e animali.

Fonti scientifiche di riferimento

EFSA – Pesticides

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

EFSA – Chemical mixtures

<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/chemical-mixtures>

EFSA – Environmental risk assessment

<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/environmental-risk-assessment>

Regolamento (CE) n. 396/2005 relativo ai livelli massimi di residui di antiparassitari negli o sui prodotti alimentari e mangimi di origine vegetale e animale.

Regolamento (CE) n. 1107/2009 relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari.