



## **ESPOSIZIONE A INTERFERENTI ENDOCRINI NELLA VITICOLTURA: EVIDENZE SULLA FERTILITÀ MASCHILE E PROSPETTIVE DI PREVENZIONE**

Vincenzo Merenda, Medico del Lavoro

### **1 Introduzione**

Il comparto vitivinicolo italiano costituisce una delle eccellenze agroalimentari riconosciute a livello internazionale, capace di coniugare tradizione, innovazione e sostenibilità. Negli ultimi due decenni le imprese del settore hanno raggiunto standard produttivi e tecnologici tra i più avanzati d'Europa, grazie all'introduzione di tecniche agronomiche di precisione, sistemi di monitoraggio ambientale, certificazioni di qualità e modelli di sostenibilità come VIVA ed Equalitas. Tuttavia, il lavoro in vigneto espone gli operatori a un rischio peculiare: il contatto diretto o indiretto con agrofarmaci, tra cui sostanze con potenziale azione di interferenza endocrina (Endocrine Disrupting Chemicals, EDC).

Gli EDC sono composti chimici capaci di alterare la regolazione ormonale interferendo con i recettori degli ormoni steroidei o con la sintesi, il trasporto e il metabolismo delle molecole endocrine. In ambito andrologico, l'interesse verso tali sostanze è in costante crescita, poiché numerose evidenze epidemiologiche e sperimentali hanno collegato l'esposizione professionale o ambientale a pesticidi a un progressivo declino della qualità seminale maschile.

Negli ultimi due decenni, la letteratura scientifica ha evidenziato con sempre maggiore chiarezza la correlazione tra esposizione professionale a pesticidi e alterazioni della funzione riproduttiva maschile. Le meta-analisi e gli studi epidemiologici più recenti indicano una riduzione significativa – fino al 40–60% – della qualità seminale negli esposti rispetto ai controlli, con decremento di concentrazione, motilità e morfologia spermatica, oltre a un aumento del danno al DNA e squilibri ormonali (incremento di FSH e LH, riduzione di testosterone ed estradiolo).



Nel settore viticolo, diverse ricerche condotte su grape workers hanno fornito dati diretti di biomonitoraggio: l'imidacloprid, neonicotinoide impiegato contro fitofagi della vite (*Scaphoideus titanus*), è stato rilevato in aria personale, hand wipes e urine dei lavoratori per più giorni dopo l'applicazione, confermando una persistenza dell'esposizione anche oltre la fase di irrorazione. Lo studio PESTEXPO (Bordeaux) ha ulteriormente dimostrato che il rischio è condizionato dalle attrezzature utilizzate, dai periodi di rientro e dall'efficacia dei dispositivi di protezione individuale.

La problematica assume rilievo non solo sanitario ma anche etico-produttivo: la fertilità maschile dei lavoratori agricoli è un indicatore sensibile della qualità complessiva dell'ambiente di lavoro e dell'ecosistema agrario. In tale contesto, la viticoltura italiana si è distinta per una transizione rapida verso modelli produttivi più sostenibili. Nel 2023, oltre il 21% della superficie vitata nazionale risultava certificata o in conversione biologica (circa 127–136 mila ettari), con un incremento del 163% rispetto al 2010. Parallelamente, la produzione integrata (SQNPI) copre ormai più della metà delle superfici coltivate, e i protocolli di sostenibilità come Equalitas e VIVA introducono criteri di sicurezza del lavoro, tracciabilità ambientale e responsabilità sociale.

L'attenzione crescente verso la salute dei lavoratori, la riduzione delle molecole ad alto rischio e l'adozione di pratiche agronomiche compatibili (confusione sessuale, diserbo meccanico, rame e zolfo ottimizzati) testimoniano come il settore vitivinicolo possa costituire un modello virtuoso di conciliazione tra produttività, tutela ambientale e prevenzione sanitaria.

In tale cornice, il ruolo del medico competente e del sistema di prevenzione aziendale diventa cruciale per integrare nel Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) la valutazione specifica dei potenziali interferenti endocrini, con programmi di sorveglianza mirata, informazione e formazione continua.



## 2. Evidenze scientifiche ed eziopatogenesi del danno riproduttivo maschile da pesticidi e interferenti endocrini

### 2.1 Evidenze epidemiologiche

Nel corso dell'ultimo decennio si è accumulato un corpus crescente di studi che documentano l'impatto dell'esposizione a pesticidi e interferenti endocrini (Endocrine Disrupting Chemicals, EDC) sulla fertilità maschile. Le revisioni sistematiche e meta-analisi pubblicate tra il 2022 e il 2024 mostrano un'elevata convergenza nell'individuare un deterioramento significativo della qualità seminale e alterazioni endocrine in uomini professionalmente esposti.

Una meta-analisi su *Environmental Health Perspectives* (Ellis et al., 2023) ha evidenziato una relazione statisticamente robusta fra esposizione a insetticidi organofosforici e N-metil-carbamati e riduzione della concentrazione spermatica, con qualità complessiva dell'evidenza giudicata "moderata". La revisione sistematica di Knapke et al. (*Toxicology and Applied Pharmacology*, 2022) ha rilevato che oltre il 60 % degli studi esaminati mostra una diminuzione della motilità e più dell'80 % un incremento dei marker di frammentazione del DNA (COMET e DFI), configurando una coerenza interna elevata per tali endpoint.

Analogamente, Giulioni et al. (*Andrology*, 2022) e Hamed et al. (*Frontiers in Endocrinology*, 2023) hanno confermato che l'esposizione cronica a organoclorurati, organofosfati, piretroidi e fungicidi azolici si associa a un peggioramento complessivo dei parametri spermatici e a oscillazioni ormonali caratterizzate da ↓ testosterone, ↑ FSH/LH e, in taluni casi, ↓ estradiolo, indicativi di un possibile feedback gonadotropico alterato.

La revisione narrativa di Mínguez-Alarcón e Morales (*Fertility and Sterility*, 2023) ha esteso l'analisi a ftalati, fenoli e PFAS, sottolineando la coerenza del segnale di ridotta motilità e aumento del danno al DNA tra classi chimiche differenti e suggerendo meccanismi biologici convergenti di stress ossidativo e interferenza recettoriale androgenica/estrogenica.



Una rassegna di ampio respiro (Heliyon, 2024) ha ulteriormente confermato la vulnerabilità del comparto riproduttivo maschile, in particolare nelle esposizioni miste di tipo agricolo, in cui la somma di molecole con attività endocrina produce effetti additivi o sinergici.

Nel complesso, le analisi epidemiologiche indicano che gli uomini professionalmente esposti a pesticidi presentano una riduzione media del 40–60 % della concentrazione e motilità spermatica rispetto ai controlli, un incremento significativo della frammentazione del DNA e uno sbilanciamento dell'assetto ormonale con tendenza a ipoandrogenismo funzionale.

Queste evidenze, replicate in diversi contesti geografici, rappresentano una base solida per considerare il rischio riproduttivo maschile come componente strutturale della valutazione sanitaria nel comparto agricolo.

## **2.2 Biomonitoraggio e studi nel comparto viticolo**

Il comparto vitivinicolo è particolarmente idoneo per lo studio delle esposizioni croniche e cumulative a miscele di pesticidi, grazie alla ripetitività stagionale dei trattamenti e all'ampio spettro di principi attivi impiegati.

Studi di biomonitoraggio hanno documentato in modo diretto la presenza di residui sistemici nei lavoratori della vigna, evidenziando che la contaminazione può proseguire anche oltre la fase di irrorazione.

Il progetto PESTEXPO (Bordeaux) (Occupational and Environmental Medicine, Lebailly et al., 2017) ha rappresentato il primo tentativo di quantificare l'esposizione reale dei viticoltori in condizioni operative. I risultati hanno mostrato che il rischio non si limita al momento dell'applicazione, ma si estende alle fasi di vendemmia, potatura e rientro nei filari, con valori di contaminazione variabili in funzione del tipo di attrezzatura, del periodo di rientro (REI) e dell'uso effettivo dei dispositivi di protezione individuale.



Lo studio ha inoltre sottolineato che la deriva e la ricaduta per gravità delle goccioline aerosolizzate rappresentano fonti di esposizione secondaria spesso sottostimate, in grado di mantenere livelli significativi di contatto cutaneo e inalatorio.

Ulteriori dati sono forniti dal lavoro di Harnly et al. (Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 2020), che ha esaminato 20 lavoratori migranti impegnati nella viticoltura durante trattamenti con neonicotinoidi.

L'imidacloprid è stato riscontrato nel 65 % dei campioni urinari (0,05–3,90 µg/g creatinina) e nel 75 % dei tamponi cutanei (hand wipes 0,05–7,10 µg/tampone), mentre il metabolita 5-OH-IMI era presente nel 95 % dei soggetti (0,15–27,98 µg/g creatinina).

L'assenza della sostanza nell'aria personale e la sua ampia rilevazione nei campioni cutanei indicano che la via cutanea costituisce la principale modalità di assorbimento.

La persistenza dei metaboliti per diversi giorni dopo l'applicazione dimostra inoltre una esposizione sistemica protratta.

In modelli sperimentali, l'imidacloprid induce degenerazione dei tubuli seminiferi, riduzione delle cellule di Sertoli e Leydig e aumento del danno ossidativo, con effetti dose-dipendenti anche a concentrazioni inferiori alle soglie di tossicità sistemica.

Uno studio integrato su soggetti umani e animali ha rivelato una correlazione positiva tra concentrazioni urinarie di imidacloprid e peggioramento dei parametri seminali, confermando la plausibilità biologica del nesso osservato.

Nel complesso, il viticolo si configura come settore sentinella per l'analisi del rischio EDC, poiché combina esposizioni ripetute, miscela di principi attivi e frequente contatto cutaneo con la vegetazione trattata, rendendo le sue condizioni operative rappresentative delle reali esposizioni agricole.



### 2.3 Matrice di rischio delle sostanze e nuove evidenze cliniche

Le sostanze maggiormente implicate nel danno riproduttivo maschile appartengono a classi diverse per struttura e meccanismo d'azione, ma condividono la capacità di interferire con il sistema endocrino o di generare stress ossidativo testicolare.

Le principali evidenze si concentrano su:

- Organofosfati (chlorpyrifos, diazinon): alterazione dell'asse HPG, ↓ testosterone, ↑ FSH/LH, incremento della frammentazione del DNA;
- Carbamati (carbaryl, methomyl): riduzione di motilità e morfologia spermatica;
- Piretroidi (cypermethrin, deltamethrin): stress ossidativo mitocondriale e aumento di aneuploidie;
- Fungicidi azolici (prochloraz, tebuconazole): inibizione della steroidogenesi e effetti antiandrogenici;
- Neonicotinoidi (imidacloprid, clothianidin): biomonitoraggi positivi nei viticoltori e danno seminale nei modelli animali;
- Fenoli, ftalati e PFAS: attività anti-androgenica e pro-estrogenica sistemica.

Tra le sostanze emergenti, particolare attenzione è rivolta al glifosato, per il quale il primo studio clinico pubblicato nel 2024 su Environmental Research ha documentato alterazioni dirette nei gameti umani. In campioni di sperma di soggetti con esposizione ambientale cronica, sono stati osservati aumento dei livelli di ROS, riduzione della motilità progressiva e alterazioni mitocondriali, indicando un possibile effetto tossico-riproduttivo anche a concentrazioni inferiori ai limiti ambientali.

Questo risultato, pur preliminare, rappresenta un alert clinico significativo, poiché amplia il campo degli EDC da monitorare anche al di fuori delle classiche categorie di pesticidi professionali.



Nel complesso, la matrice di rischio delle sostanze a potenziale interferenza endocrina evidenzia come le esposizioni nei contesti viticoli siano spesso multi-chimiche e sinergiche: l'effetto combinato di organofosfati, fungicidi azolici e neonicotinoidi può generare un impatto riproduttivo maggiore della somma dei singoli composti.

Tali dati rafforzano la necessità di includere la valutazione del rischio EDC nei protocolli di sorveglianza sanitaria e nei Documenti di Valutazione dei Rischi del comparto agricolo

#### **2.4 Meccanismi biologici plausibili**

Le alterazioni riproduttive osservate nei lavoratori esposti a pesticidi e interferenti endocrini (EDC) risultano compatibili con una serie di meccanismi patogenetici convergenti, che agiscono a livello ormonale, cellulare e molecolare. L'eterogeneità delle sostanze coinvolte spiega la varietà dei quadri clinici, ma i principali processi fisiopatologici riconosciuti sono i seguenti.

##### **Interferenza sull'asse ipotalamo–ipofisi–gonadi (HPG)**

Molti pesticidi, in particolare organofosfati, carbammati e fungicidi azolici, modulano la secrezione di ormoni sessuali interferendo con la regolazione neuroendocrina centrale.

Esperimenti in vitro e in vivo hanno dimostrato alterazioni della secrezione di GnRH ipotalamico e una riduzione dei livelli circolanti di LH e FSH, con conseguente diminuzione della sintesi testicolare di testosterone. Alcuni composti agiscono inoltre come agonisti o antagonisti recettoriali su recettori androgenici ed estrogenici, alterando la trascrizione genica e la differenziazione cellulare germinale. L'effetto finale è una compromissione della spermatogenesi e una disorganizzazione della funzione endocrina testicolare.

##### **Stress ossidativo e danno strutturale**

Numerosi EDC inducono uno squilibrio tra produzione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) e capacità antiossidante endogena. L'accumulo di ROS causa perossidazione lipidica delle membrane spermatiche, alterazioni del potenziale mitocondriale e ossidazione di proteine e basi nucleiche. Questo processo compromette la motilità degli spermatozoi e aumenta la frammentazione del DNA, influenzando negativamente la capacità fecondante. Nei lavoratori esposti a pesticidi, livelli elevati di marker



ossidativi (come MDA, 8-OHdG e NOx) e riduzione di enzimi antiossidanti (SOD, GPx, catalasi) sono stati documentati in diversi studi di biomonitoraggio, confermando il ruolo dello stress ossidativo come via di danno chiave.

#### Danno genotossico e instabilità genomica

L'esposizione cronica a pesticidi organofosfati, carbammati e piretroidi è associata a frammentazione del DNA spermatico, aumento delle aneuploidie e alterazioni cromatiniche. Tali effetti derivano sia dal danno ossidativo diretto, sia dall'interferenza con gli enzimi di riparazione del DNA e i processi di condensazione nucleare durante la spermiogenesi. L'accumulo di rotture a doppio filamento e l'incompleta protaminazione del genoma spermatico determinano una maggiore instabilità, con possibili conseguenze sulla fertilità, sullo sviluppo embrionale precoce e sulla salute della progenie.

#### Alterazioni istologiche e cellulari testicolari

Numerosi modelli sperimentali hanno documentato modificazioni morfologiche dei tubuli seminiferi, degenerazione delle cellule di Sertoli e riduzione della popolazione di cellule di Leydig, responsabili della produzione di testosterone. Si osservano, inoltre, necrosi e apoptosi germinale precoce, perdita di coesione delle giunzioni intercellulari e riduzione dello spessore dell'epitelio seminifero. Queste alterazioni strutturali compromettono in modo diretto la spermatogenesi, con effetti dose-dipendenti anche a concentrazioni sub-tossiche.

#### Meccanismi epigenetici e trasmissione intergenerazionale

Studi recenti suggeriscono che gli EDC possano indurre modificazioni epigenetiche — metilazione del DNA, acetilazione degli istoni, alterazioni dei microRNA — nelle cellule germinali maschili. Queste alterazioni possono persistere oltre l'esposizione diretta e, in alcuni casi, trasmettersi alla progenie, configurando un potenziale effetto transgenerazionale di compromissione della fertilità o suscettibilità endocrina. Sebbene ancora preliminari, tali osservazioni aprono nuove prospettive sulla natura ereditabile degli effetti dei pesticidi.

Interazioni e non-monotonic dose-response (Vandenberg et al., Endocrine Reviews, 2012)



È oggi riconosciuto che diversi EDC possano agire sinergicamente anche a basse dosi, generando effetti biologici non proporzionali alla concentrazione. Le curve dose-risposta non monotone — con effetti più marcati a dosi medio-basse che a dosi elevate — rappresentano una firma tipica dell'interferenza endocrina. Questo comportamento complesso, unito alle interazioni tra sostanze con meccanismi d'azione convergenti, costituisce una sfida per la valutazione del rischio e per l'identificazione di soglie di sicurezza.

Nel loro insieme, questi meccanismi delineano un quadro fisiopatologico complesso in cui fattori endocrini, ossidativi, genetici ed epigenetici concorrono, in modo interdipendente, a compromettere la fertilità maschile. La convergenza di questi meccanismi spiega la coerenza degli effetti osservati negli studi epidemiologici, rafforzando l'ipotesi di un'azione endocrina sistemica da esposizione cumulativa.

Tuttavia, nonostante la solidità teorica e sperimentale di tali ipotesi, la trasposizione di questi processi nei contesti occupazionali reali presenta ancora ampi margini di incertezza, che richiedono un affinamento metodologico e una validazione epidemiologica più estesa. Da qui l'esigenza di discutere i principali limiti e questioni aperte che caratterizzano la letteratura attuale sul tema.

## 2.5 Limiti e questioni aperte

Nonostante la crescente solidità del corpus di studi su pesticidi e fertilità maschile, permangono significative criticità metodologiche e conoscitive che limitano la generalizzabilità dei risultati e la piena definizione del rischio.

### Disegno degli studi e robustezza dell'evidenza

La maggior parte delle indagini sull'uomo è di tipo osservazionale, spesso trasversale e basata su coorti ridotte o non rappresentative. Ciò comporta vulnerabilità a bias di selezione, misclassificazione dell'esposizione e fattori confondenti quali fumo, dieta, stress termico e coesposizioni ambientali. Anche la variabilità nei protocolli di analisi del liquido seminale e nei metodi di quantificazione dei biomarcatori di esposizione ostacola la comparabilità inter-studio e tende a sottostimare gli effetti reali.

### Effetto combinato e tossicità di miscela



Le esposizioni reali avvengono quasi sempre a miscele complesse di principi attivi, spesso con azioni endocrine convergenti (agonismo o antagonismo recettoriale su vie estrogeniche e androgeniche). La letteratura sperimentale suggerisce che tali combinazioni possano produrre effetti additivi o sinergici, ma i modelli tossicologici e regolatori correnti restano in gran parte fondati sulla valutazione di singole sostanze. La mixture toxicity rappresenta pertanto uno dei principali fronti di incertezza per la stima del rischio riproduttivo.

#### Finestra temporale di vulnerabilità

Non è ancora pienamente chiarito in quali fasi della vita l'apparato riproduttivo maschile sia più sensibile agli EDC. Evidenze emergenti indicano che esposizioni precoci — fetali, infantili o puberali — possano interferire in modo duraturo con la spermatogenesi e con la regolazione ormonale, attraverso meccanismi epigenetici stabili. Tuttavia, mancano studi prospettici di lungo periodo che consentano di distinguere effetti transitori da modificazioni permanenti o transgenerazionali.

#### Specificità del comparto vitivinicolo

Nel contesto viticolo le ricerche si concentrano quasi esclusivamente su misure ambientali o biomonitoraggi (aria, suolo, urine, hand wipes), mentre sono scarsi gli studi che correlano tali dati con esiti clinici riproduttivi. Le difficoltà logistiche legate alla stagionalità del lavoro, al reclutamento di campioni adeguati e alla riservatezza dei dati sanitari ostacolano la raccolta sistematica di informazioni seminali e ormonali. Di conseguenza, la relazione dose–risposta tra livelli di esposizione a specifici pesticidi e alterazioni della fertilità maschile resta ancora da definire in modo quantitativo.

#### Prospettive di ricerca

Per superare tali limiti, sarà necessario promuovere studi multicentrici e longitudinali che integrino monitoraggi ambientali, biomarcatori biologici validati (metaboliti urinari specifici, indicatori di stress ossidativo e frammentazione del DNA) e valutazioni clinico-andrologiche standardizzate. Solo approcci interdisciplinari di questo tipo potranno chiarire la reale entità del rischio, identificare soglie di sicurezza e orientare politiche di prevenzione e sostenibilità nel comparto vitivinicolo. Tali criticità giustificano la



necessità di reti di sorveglianza integrate (ambientale, biologica, clinica) nei distretti vitivinicoli, al fine di orientare politiche di prevenzione basate su evidenze.

### **3 Procedure maggiormente coinvolte nell'esposizione dei viticoltori**

Nel ciclo produttivo della vite, l'impiego di prodotti fitosanitari rappresenta un passaggio cruciale per la protezione della pianta, ma costituisce anche la principale fonte di esposizione occupazionale a pesticidi e potenziali interferenti endocrini.

Le vie di assorbimento prevalenti sono cutanea e inalatoria, con contributo minore per via orale.

L'intensità dell'esposizione dipende dal tipo di operazione, dal principio attivo utilizzato, dalle condizioni ambientali e dalle misure di prevenzione adottate.

Le fasi più critiche includono la preparazione e miscelazione delle miscele, il caricamento e la regolazione dell'irroratrice, la fase di irrorazione in campo, le operazioni di pulizia e manutenzione delle attrezzature e le attività di rientro nei filari trattati.

#### **3.1 Preparazione e miscelazione delle miscele fitosanitarie**

La fase di preparazione delle miscele rappresenta uno dei momenti di massima esposizione per i viticoltori. Durante l'apertura dei contenitori, il travaso dei concentrati e la diluizione con acqua, si verificano frequentemente contatti diretti con mani, avambracci e volto, nonché la formazione di aerosol o schizzi contaminati.

La manipolazione di formulazioni concentrate o polveri bagnabili comporta la possibilità di contaminazione anche attraverso le microgocce depositate su superfici di lavoro, indumenti o guanti. L'esposizione può risultare ulteriormente amplificata in presenza di contenitori deteriorati, travasi manuali o agitazione meccanica non schermata.

Le buone pratiche raccomandano di effettuare la miscelazione in aree dedicate, ben ventilate e su superfici impermeabili, con l'impiego sistematico di dispositivi di protezione individuale (DPI) adeguati (guanti in nitrile, grembiule impermeabile, visiera o occhiali a tenuta, maschera FFP3).



### 3.2 Caricamento, calibrazione e regolazione dell'irroratrice

Le operazioni di caricamento del serbatoio e di collegamento alle condutture costituiscono un ulteriore momento di rischio, in quanto eventuali perdite o schizzi durante la pressurizzazione della pompa possono determinare contaminazioni dirette.

La successiva fase di calibrazione degli ugelli è anch'essa critica: durante la verifica della portata e della distribuzione del flusso, l'operatore può venire a contatto con aerosol residui o microgocce depositate sulle superfici dell'attrezzatura.

L'esposizione varia in funzione del tipo di irroratrice (a barra, a ventola o a cannone), della pressione di esercizio e dello stato di manutenzione dell'impianto.

Nelle operazioni in campo, regolazioni dinamiche (variazione della pressione, orientamento degli ugelli, adattamento ai filari) possono comportare ricontatti ripetuti con superfici già contaminate.

### 3.3 Fase di irrorazione

L'applicazione del fitofarmaco rappresenta il momento centrale del rischio. L'operatore può essere esposto sia durante l'erogazione diretta sia attraverso il fenomeno della deriva — dispersione di goccioline al di fuori del bersaglio colturale — che dipende da pressione, diametro delle gocce, condizioni di vento, umidità e temperatura.

La deriva e la ricaduta per gravità delle gocce sulla superficie corporea costituiscono le principali sorgenti di esposizione cutanea durante la marcia nel vigneto. Le regioni più colpite risultano essere braccia, torace, cosce e viso, in particolare quando l'operatore si trova sopravvento rispetto al flusso di erogazione o in prossimità del bordo dei filari.

La contaminazione indiretta può inoltre avvenire tramite il contatto con superfici vegetali umide o con elementi strutturali del vigneto (pali, fili, supporti).

L'impiego di cabine chiuse, ugelli anti-deriva, irroratrici a basso volume e periodi di applicazione programmati in assenza di vento rappresentano le strategie di mitigazione più efficaci.



### 3.4 Pulizia, risciacquo e manutenzione delle attrezzature

La fase di lavaggio delle attrezzature costituisce un rischio spesso sottovalutato ma rilevante.

Il risciacquo dei serbatoi, delle tubazioni e dei filtri può liberare aerosol contenenti residui concentrati di pesticidi. Durante queste operazioni, i lavoratori sono esposti per contatto diretto alle superfici interne del serbatoio e alle acque di drenaggio contaminate.

La manutenzione degli ugelli e delle valvole — che prevede lo smontaggio manuale di componenti impregnate di residui — è un'ulteriore fonte di esposizione cutanea e potenzialmente inalatoria.

La gestione delle acque di lavaggio (spesso contenenti metaboliti o coformulanti tossici) richiede protocolli di raccolta e smaltimento specifici, al fine di evitare contaminazioni secondarie e fenomeni di esposizione indiretta.

### 3.5 Rientro nei filari trattati e operazioni successive

L'esposizione non si esaurisce con la conclusione della fase di trattamento.

Durante il rientro nei vigneti per operazioni di potatura verde, legatura, diradamento, controllo fitosanitario o vendemmia, i lavoratori possono venire a contatto con residui di fitofarmaci ancora presenti su foglie e grappoli.

Il rischio aumenta quando i tempi di rientro (Re-Entry Interval, REI) non rispettano le indicazioni di etichetta o sono ridotti per esigenze produttive.

In queste condizioni, l'esposizione è prevalentemente cutanea, interessando mani, braccia e volto, e può contribuire in modo non trascurabile al carico cumulativo di esposizione annuale.

Anche le superfici di appoggio, i contenitori per la raccolta e gli indumenti da lavoro possono fungere da vettori di contaminazione secondaria. L'adozione di tempi di rientro adeguati, la rotazione dei compiti e l'uso costante di DPI specifici (guanti, tute leggere impermeabili, cappelli a visiera) rappresentano misure preventive essenziali.



### 3.6 Fattori determinanti e modulanti dell'esposizione

L'entità complessiva dell'esposizione dei viticoltori è modulata da molteplici variabili tecniche e ambientali:

- Formulazione e caratteristiche fisico-chimiche del prodotto (emulsioni concentrate, polveri bagnabili, sospensioni microincapsulate) che determinano volatilità e capacità di penetrazione cutanea.
- Tipologia e stato dell'attrezzatura di distribuzione, con particolare rilievo alla calibrazione degli ugelli, alla pressione di esercizio e all'usura delle guarnizioni.
- Condizioni meteorologiche (vento, temperatura, umidità relativa) che influenzano la deriva e la deposizione del fitofarmaco.
- Architettura della vite e densità dei filari, che determinano la turbolenza e la probabilità di contatto con la vegetazione trattata.
- Durata dell'esposizione e frequenza dei trattamenti, spesso concentrate nei periodi primaverili-estivi, quando le temperature elevate aumentano la sudorazione e la permeabilità cutanea.
- Aderenza all'uso dei DPI e formazione specifica dell'operatore, fattori determinanti per la reale efficacia delle misure preventive.

### 3.7 Considerazioni conclusive

Le procedure operative della viticoltura espongono i lavoratori a livelli di rischio chimico variabili ma potenzialmente significativi.

La natura intermittente e ripetuta delle operazioni di trattamento, unita alle condizioni microclimatiche tipiche dei vigneti (pendenze, ristagni d'aria, irraggiamento), favorisce la persistenza di contaminanti e la loro assunzione cumulativa.



Il riconoscimento delle fasi critiche di esposizione — preparazione, irrorazione, manutenzione e rientro — è fondamentale per la definizione di protocolli di prevenzione efficaci e per l'integrazione del rischio da pesticidi e interferenti endocrini nella valutazione del rischio riproduttivo dei lavoratori vitivinicoli.

#### **4. Quadro regolatorio**

La regolamentazione europea in materia di prodotti fitosanitari e sostanze con proprietà di interferenza endocrina (Endocrine Disrupting Chemicals, EDC) si fonda su un sistema multilivello che integra tutela della salute pubblica, principio di precauzione e responsabilità d'impresa.

Nel comparto vitivinicolo, tale cornice assume rilievo strategico poiché definisce le condizioni di autorizzazione delle sostanze attive, i criteri di identificazione degli interferenti endocrini e gli obblighi di prevenzione per i lavoratori professionalmente esposti.

##### **4.1. Regolamento (CE) n. 1107/2009**

Costituisce la base giuridica per l'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari nell'Unione Europea. Stabilisce che non possono essere approvate sostanze o prodotti con proprietà di interferenza endocrina qualora l'esposizione umana o ambientale non sia trascurabile.

L'approccio è hazard-based, cioè fondato sul pericolo intrinseco della sostanza piuttosto che sul livello di esposizione, in coerenza con il principio di precauzione.

La valutazione scientifica è affidata all'EFSA, che emette i pareri tossicologici su cui la Commissione europea basa le decisioni di autorizzazione o revoca. Il Regolamento (CE) n.

1107/2009 costituisce la base giuridica per l'immissione sul mercato delle sostanze attive e dei prodotti fitosanitari nell'Unione europea.

##### **4.2. Regolamento (UE) n. 2018/605**

Ha introdotto i criteri scientifici vincolanti per l'identificazione delle sostanze attive, coformulanti e metaboliti dotati di attività di interferenza endocrina.

Per essere classificata come EDC, una sostanza deve soddisfare congiuntamente tre condizioni:

- evidenza di un effetto avverso sull'organismo o sulla progenie;



- presenza di un meccanismo d'azione endocrino documentato (sistemi estrogenico, androgenico, tiroideo o steroidogenico);
- nesso causale biologicamente plausibile tra il meccanismo e l'effetto osservato. Tali criteri, pienamente operativi dal 2018, sono oggetto di revisione obbligatoria entro il 20 ottobre 2025, in applicazione della review clause, alla luce dei progressi scientifici e dell'esperienza applicativa degli Stati membri.

La revisione si inserisce nella strategia europea “Farm to Fork” e nella Chemicals Strategy for Sustainability, orientate a ridurre progressivamente l'uso di sostanze con proprietà di interferenza endocrina

#### **4.3. Regolamento CLP (CE n. 1272/2008, come modificato dal Reg. UE 2023/707)**

L'aggiornamento del 2023 introduce, con entrata in vigore dal 1° maggio 2025, due nuove classi di pericolo dedicate agli interferenti endocrini:

- ED HH (Endocrine Disruptor for Human Health);
- ED ENV (Endocrine Disruptor for the Environment).

Queste categorie rafforzano il sistema europeo di classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze chimiche, imponendo obblighi di comunicazione lungo l'intera catena di approvvigionamento (schede di sicurezza, etichettatura, registri REACH).

Per il settore agricolo rappresentano un passaggio cruciale verso una trasparenza totale sugli effetti endocrini dei prodotti fitosanitari.

#### **4.4. Regolamento REACH (CE n. 1907/2006)**

Pur non applicandosi direttamente ai prodotti fitosanitari, REACH svolge una funzione complementare e sinergica rispetto al Reg. 1107/2009.

Consente l'inclusione delle sostanze con proprietà di interferenza endocrina nella Candidate List delle sostanze estremamente preoccupanti (SVHC), soggette a procedure di autorizzazione o restrizione.

Questo meccanismo estende il controllo regolatorio anche ai metaboliti e ai coformulanti con potenziale attività endocrina, assicurando coerenza e continuità nella gestione del rischio chimico.



#### 4.5. Normativa nazionale e obblighi di prevenzione

In Italia, il D.Lgs. 81/2008 (Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro) rappresenta il riferimento primario per la valutazione e gestione del rischio chimico nei luoghi di lavoro.

Il Titolo IX impone al datore di lavoro di individuare, valutare e ridurre i rischi derivanti da agenti chimici pericolosi, inclusi quelli con tossicità riproduttiva o azione di interferenza endocrina.

L'art. 223 definisce gli obblighi di valutazione dell'esposizione e di adozione delle misure tecniche, organizzative e procedurali di prevenzione; l'Allegato XLII richiama espressamente le sostanze con effetti sulla riproduzione.

L'art. 25 attribuisce al medico competente la responsabilità di elaborare protocolli di sorveglianza sanitaria mirata, basati sulle più recenti evidenze scientifiche e sui dati di biomonitoraggio.

Nel comparto vitivinicolo, ciò implica l'integrazione nel Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) delle sostanze effettivamente impiegate, con aggiornamenti stagionali e revisione periodica dei dati tossicologici.

#### 4.6. Piano d'Azione Nazionale (PAN) e strategie di sostenibilità

Il Piano d'Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (PAN), emanato ai sensi del D.Lgs. 150/2012 (recepimento della Direttiva 2009/128/CE), traduce in obiettivi operativi i principi di riduzione del rischio.

Il PAN promuove:

- l'uso prioritario di prodotti a basso impatto e metodi biologici;
- la limitazione delle sostanze con proprietà EDC;
- la formazione obbligatoria e l'aggiornamento periodico degli operatori;
- la definizione di tempi di rientro (REI) e misure tecniche per la protezione degli addetti.

La revisione in corso (2025) prevede il target di riduzione del 50 % dell'uso complessivo di pesticidi entro il 2030, in linea con il Green Deal europeo e con la Sustainable Use Regulation (SUR) attualmente in discussione



#### 4.7. Schemi volontari e certificazioni di sostenibilità

Accanto alla normativa cogente, si sono affermati schemi volontari di certificazione riconosciuti a livello nazionale e internazionale:

- SQNPI (Sistema di Qualità Nazionale per la Produzione Integrata),
- Equalitas – Sustainable Wine,
- VIVA – Viticoltura Sostenibile.

Tali programmi includono requisiti di:

- tracciabilità dei trattamenti fitosanitari e riduzione delle molecole ad alto rischio;
- formazione in materia di salute e sicurezza sul lavoro;
- monitoraggio di indicatori ambientali e sociali (Aria, Acqua, Vigneto, Territorio).

Pur non vincolanti, queste certificazioni rafforzano l'applicazione del principio di precauzione e promuovono una responsabilità etico-ambientale condivisa lungo tutta la filiera vitivinicola.

#### 4.8. Considerazioni conclusive

Il quadro normativo europeo e nazionale riconosce ormai gli interferenti endocrini come priorità emergente di salute pubblica e di sicurezza occupazionale.

Nel contesto della viticoltura, la sinergia tra Reg. 1107/2009, Reg. 2018/605, CLP 2023 e D.Lgs. 81/2008 impone una gestione integrata del rischio che unisca valutazione tossicologica, prevenzione tecnica e sorveglianza sanitaria.

L'adesione a schemi di sostenibilità come SQNPI, Equalitas e VIVA consente di tradurre tale approccio in pratiche verificabili, trasformando la riduzione dell'esposizione a pesticidi non solo in un requisito di sicurezza, ma in un indicatore di qualità complessiva del lavoro agricolo e di responsabilità sociale d'impresa.

### 5. Buone pratiche di mitigazione e formazione del personale

La riduzione dell'esposizione dei viticoltori ai pesticidi richiede un approccio integrato che coniughi innovazione tecnologica, corrette prassi agronomiche e formazione continua degli operatori. L'esperienza maturata nei sistemi di produzione integrata e viticoltura sostenibile (SQNPI, Equalitas, VIVA) dimostra che la prevenzione del rischio chimico può essere ottenuta non solo tramite l'uso di



dispositivi di protezione individuale, ma soprattutto attraverso la gestione preventiva dell'intero ciclo di trattamento.

- Innovazione tecnica e ingegneristica

Le moderne irroratrici a basso volume, dotate di ugelli antideriva, sistemi di recupero del prodotto e cabine pressurizzate, consentono una drastica riduzione dell'emissione di aerosol e della contaminazione cutanea. La calibrazione periodica degli ugelli e la verifica dell'efficienza delle guarnizioni riducono sprechi e dispersioni, migliorando l'uniformità di distribuzione e minimizzando la deriva. L'impiego di sensori di vegetazione e sistemi di guida automatica sta progressivamente introducendo una irrorazione di precisione, in grado di adattare la portata al volume fogliare reale, con una riduzione media del 20–40% della quantità di prodotto utilizzato per ettaro.

- Misure organizzative e agronomiche

La pianificazione delle applicazioni in funzione delle condizioni meteorologiche, del grado di sviluppo vegetativo e della presenza di insetti utili rappresenta un pilastro della difesa integrata.

L'adozione di tecniche agronomiche a basso impatto — come la confusione sessuale, il diserbo meccanico, l'uso ottimizzato di rame e zolfo e il ricorso a biopesticidi selettivi — contribuisce a ridurre il numero complessivo di trattamenti e l'esposizione cumulativa. L'osservanza dei tempi di rientro (REI), la rotazione del personale e la tracciabilità delle operazioni mediante registri di campo digitali sono elementi di buona prassi ormai consolidati nei protocolli SQNPI e Equalitas.

- Dispositivi di protezione individuale e collettiva

L'utilizzo sistematico di DPI appropriati rimane una misura imprescindibile: guanti chimicoresistenti, tute a barriera leggera, visiere, respiratori con filtro combinato e calzature impermeabili devono essere adattati alla specifica attività svolta e alle condizioni microclimatiche. Tuttavia, la semplice disponibilità dei DPI non ne garantisce l'efficacia; risultano determinanti la formazione all'uso corretto, la manutenzione periodica e la sostituzione programmata in caso di usura o contaminazione.



Le misure di protezione collettiva comprendono invece sistemi di aspirazione localizzata, aree di miscelazione ventilate, lavamani e docce di emergenza, e la predisposizione di cassette di decontaminazione nei punti strategici del vigneto o del magazzino.

- **Formazione e cultura della prevenzione**

La formazione rappresenta un elemento cardine di ogni strategia di mitigazione. I programmi regionali e ministeriali di abilitazione all'uso dei prodotti fitosanitari (ai sensi del D.Lgs. 150/2012 e del PAN) devono essere integrati con moduli specifici dedicati al rischio riproduttivo e agli interferenti endocrini.

Una formazione realmente efficace non si limita alla trasmissione di norme, ma mira a sviluppare nei lavoratori la capacità di percepire il rischio, di riconoscere le situazioni critiche e di adottare comportamenti preventivi autonomi e coerenti. L'inclusione di sessioni pratiche su vestizione/svestizione dei DPI, gestione dei residui e corrette procedure di emergenza consente di ridurre in modo significativo la frequenza e l'intensità delle esposizioni.

- **Sorveglianza sanitaria e monitoraggio ambientale**

Il medico competente riveste un ruolo centrale nell'individuare i soggetti più suscettibili, nel pianificare la periodicità degli accertamenti e nel definire indicatori biologici di esposizione. La collaborazione tra medico, datore di lavoro e RSPP permette di attuare programmi di biomonitoraggio mirato, utili per verificare l'efficacia delle misure di prevenzione e per individuare precocemente eventuali alterazioni dei parametri riproduttivi.

Parallelamente, il monitoraggio ambientale (aria, superfici, acque di lavaggio) e la tracciabilità digitale delle operazioni rappresentano strumenti essenziali per una gestione documentata e trasparente della sicurezza.

## **6. Evoluzione del settore: biologico e sostenibilità**

Negli ultimi quindici anni la viticoltura italiana ha intrapreso una trasformazione profonda, orientata verso modelli produttivi a ridotto impatto ambientale e a maggiore tutela della salute dei lavoratori. Questa evoluzione, sostenuta da normative europee, politiche di filiera e crescente sensibilità dei



consumatori, rappresenta oggi uno degli esempi più avanzati di integrazione tra sicurezza, qualità e sostenibilità nel comparto agroalimentare

### **6.1 Crescita del biologico e della produzione integrata**

Secondo il Rapporto SINAB 2023, la superficie vitata italiana coltivata con metodo biologico o in conversione ha raggiunto il 21,3 % del totale nazionale, corrispondente a circa 127–136 mila ettari, con un incremento del +163 % rispetto al 2010. L'Italia detiene la quota più alta di vigneti bio in Europa e circa il 23 % del vigneto biologico mondiale, confermandosi leader nella transizione ecologica del settore.

La distribuzione regionale mostra una maggiore concentrazione in Sicilia, Toscana, Puglia e Veneto, dove le condizioni pedoclimatiche e le politiche di sostegno locale hanno favorito la conversione.

Parallelamente, la produzione integrata (SQNPI) — basata sulla riduzione dei fitofarmaci di sintesi, sull'impiego razionale dei fertilizzanti e sul controllo biologico dei patogeni — copre oltre la metà delle superfici coltivate in Italia, includendo gran parte del vigneto nazionale.

La progressiva diffusione dei sistemi integrati e biologici ha prodotto un effetto sinergico sulla riduzione del rischio chimico, con diminuzione dell'uso complessivo di principi attivi classificati come tossici o con sospetta attività endocrina, migliorando così la qualità ecotossicologica del suolo e l'esposizione cumulativa dei lavoratori

### **6.2 Innovazione tecnologica e gestione sostenibile del rischio**

La transizione sostenibile della viticoltura non è solo normativa, ma anche tecnologica.

L'introduzione di irroratrici a basso volume e ugelli antideriva, la taratura periodica degli impianti di distribuzione e l'impiego di sensori ottici e sistemi di guida automatica consentono oggi di ridurre fino al 40 % la quantità di fitofarmaco distribuita per ettaro, con un abbattimento proporzionale delle emissioni e dell'esposizione professionale.

Le pratiche agronomiche a basso impatto — come la confusione sessuale per il controllo della tignola, il diserbo meccanico, e l'uso ottimizzato di rame e zolfo — sono ormai parte integrante della difesa



fitosanitaria sostenibile, riducendo il numero complessivo dei trattamenti e l'intensità delle esposizioni stagionali.

A queste innovazioni si affianca la crescente digitalizzazione della filiera, con registri elettronici di campo, sistemi di tracciabilità e banche dati per il monitoraggio ambientale, che garantiscono una gestione documentata della sicurezza e della sostenibilità produttiva.

### 6.3 Schemi volontari e certificazioni di sostenibilità

Accanto alle misure cogenti, il settore ha adottato schemi volontari di certificazione che formalizzano l'impegno verso la sostenibilità ambientale, economica e sociale, integrando nei propri standard anche i principi di tutela della salute e sicurezza sul lavoro.

- SQNPI – Sistema di Qualità Nazionale per la Produzione Integrata. Riconosciuto dal MIPAAF, promuove l'impiego razionale di prodotti fitosanitari e fertilizzanti, la rotazione colturale e la riduzione delle molecole ad alto profilo tossicologico. La certificazione, basata su audit periodici, garantisce tracciabilità e conformità alle pratiche di difesa integrata obbligatoria.
- Equalitas – Sustainable Wine. Schema di certificazione accreditato a livello internazionale che valuta la sostenibilità su tre pilastri: ambientale, economico e sociale. Il pilastro sociale comprende requisiti specifici per la salute e sicurezza dei lavoratori, la formazione continua, la gestione dei DPI e la prevenzione del rischio chimico. Le aziende certificate Equalitas devono implementare procedure documentate di riduzione dei fitofarmaci e monitoraggio dell'esposizione occupazionale.
- VIVA – Viticoltura Sostenibile. Programma del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, fondato su quattro indicatori misurabili — Aria, Acqua, Vigneto, Territorio — che consentono la valutazione e comunicazione della performance ambientale attraverso un QR code presente sull'etichetta del vino. L'indicatore Vigneto include specifici parametri relativi all'uso dei prodotti fitosanitari, ai tempi di rientro e alla tutela degli operatori, collegando così in modo diretto la sostenibilità del prodotto alla salubrità del processo produttivo.



Questi schemi, pur volontari, agiscono come standard de facto di responsabilità etica e ambientale, diffondendo pratiche di gestione del rischio basate su evidenze e rendicontazione trasparente.

La convergenza fra SQNPI, Equalitas e VIVA sta contribuendo a creare una rete nazionale di sostenibilità vitivinicola, in cui le misure di prevenzione sanitaria vengono integrate nei criteri di qualità e di reputazione aziendale

#### **6.4 Implicazioni per la salute e la medicina del lavoro**

La diffusione dei sistemi biologici e di sostenibilità rappresenta non solo un cambiamento produttivo, ma anche una strategia preventiva di sanità pubblica.

La riduzione dell'impiego di molecole con potenziale interferenza endocrina, unita all'adozione sistematica di pratiche di mitigazione e formazione, sta determinando un progressivo abbattimento del rischio di esposizione professionale ai pesticidi nel comparto viticolo.

In questo contesto, il medico competente e il sistema di prevenzione aziendale assumono un ruolo di coordinamento nella sorveglianza sanitaria mirata, nell'analisi dei biomarcatori di esposizione e nella promozione di una cultura della sicurezza integrata con la sostenibilità ambientale.

La viticoltura italiana, grazie alla combinazione di innovazione tecnica, responsabilità sociale e strategie di certificazione, può oggi essere considerata un laboratorio di buone pratiche per la gestione integrata del rischio chimico in agricoltura.

Questo modello, fondato sull'alleanza tra evidenza scientifica, etica produttiva e salute del lavoratore, rappresenta la direzione evolutiva più coerente e matura di un settore che coniuga competitività, tutela ambientale e prevenzione sanitaria

La traiettoria di sostenibilità tracciata dal comparto vitivinicolo italiano evidenzia come la tutela dell'ambiente e quella della salute dei lavoratori possano convergere in un unico paradigma operativo.



Le strategie adottate — dalla riduzione delle molecole a rischio alla formazione continua, fino alla certificazione di processi e prodotti — non rappresentano solo un’evoluzione tecnica, ma una nuova cultura produttiva basata sull’evidenza scientifica e sulla responsabilità sociale.

Questa integrazione tra sostenibilità, innovazione e prevenzione sanitaria consolida la viticoltura italiana come modello di riferimento europeo per la gestione del rischio da interferenti endocrini in agricoltura.

Essa dimostra che il progresso economico e la competitività internazionale possono essere perseguiti non malgrado, ma attraverso la tutela della salute, trasformando la sicurezza del lavoro in un indicatore qualificante di qualità e reputazione della filiera.

È in questa prospettiva che si inseriscono le considerazioni conclusive, orientate a valorizzare il ruolo del medico competente e delle istituzioni sanitarie nel consolidare tale approccio integrato, assicurando che la sostenibilità non resti un obiettivo programmatico, ma diventi una pratica quotidiana e misurabile di prevenzione e benessere.

## 7 Conclusioni

Le evidenze epidemiologiche, sperimentali e di biomonitoraggio disponibili convergono nel dimostrare che l’esposizione professionale a pesticidi con proprietà di interferenza endocrina rappresenta un fattore di rischio concreto e biologicamente plausibile per la fertilità maschile.

Nei lavoratori viticoli, in particolare, sono state documentate riduzioni della concentrazione e motilità spermatica, incremento della frammentazione del DNA e alterazioni ormonali coerenti con un’azione sull’asse ipotalamo–ipofisi–gonadi.

Gli studi di campo, come il PESTEXPO (Bordeaux) e il biomonitoraggio di Harnly et al. (2020), hanno evidenziato che il rischio persiste anche nelle fasi di rientro nei filari, confermando una esposizione cumulativa e a lungo termine.

I nuovi dati clinici sul glifosato (Environmental Research, 2024) estendono ulteriormente la portata del problema, suggerendo effetti diretti sui gameti umani anche a livelli di esposizione ambientale.



La comprensione dei meccanismi fisiopatologici — interferenza ormonale, stress ossidativo, danno genotossico ed epigenetico — consente oggi di collocare il rischio riproduttivo maschile all'interno di un quadro causale coerente e multifattoriale.

Tale evidenza impone una revisione dell'approccio alla prevenzione nei contesti agricoli: non più centrato esclusivamente sulla tossicità acuta o sistemica, ma orientato alla tutela del potenziale riproduttivo come indicatore sentinella della salute complessiva.

Il quadro normativo europeo, con il Reg. 1107/2009, il Reg. 2018/605, il CLP 2023/707 e il REACH, insieme al D.Lgs. 81/2008 e al Piano d'Azione Nazionale per l'Uso Sostenibile dei Prodotti Fitosanitari, ha posto solide basi per il controllo delle sostanze endocrine e per la gestione del rischio chimico.

Tuttavia, la piena efficacia di queste misure richiede una traduzione operativa nei luoghi di lavoro, sostenuta da formazione, monitoraggio e integrazione interdisciplinare.

In questo contesto, il ruolo del medico competente diventa cruciale. La sua attività non si limita alla sorveglianza sanitaria, ma si estende alla costruzione di un modello integrato di prevenzione One Health, nel quale salute umana, ambiente e sistemi produttivi vengono considerati parti di un unico ecosistema. La collaborazione con l'andrologo è essenziale per collegare la sorveglianza ambientale e biologica con la valutazione clinica degli effetti riproduttivi: il medico competente monitora l'esposizione e individua i soggetti a rischio, mentre l'andrologo approfondisce la diagnosi e interpreta gli esiti seminali e ormonali, consentendo un intervento precoce e mirato.

Questa sinergia realizza un modello di medicina preventiva multidisciplinare, in cui il rischio da interferenti endocrini diventa un terreno di cooperazione tra medicina del lavoro, andrologia e sanità pubblica.

Il paradigma One Health, promosso da OMS, EFSA ed ECDC, fornisce la cornice teorica più adatta a questa integrazione.



La fertilità maschile, per la sua sensibilità agli inquinanti ambientali, è uno degli indicatori più precoci dell'equilibrio tra uomo, ambiente e produzione agricola. Applicare questo principio al comparto vitivinicolo significa non solo ridurre l'esposizione chimica, ma promuovere una salute condivisa che abbraccia lavoratori, territorio e consumatori, trasformando la sostenibilità in una strategia di salute collettiva.

Il settore vitivinicolo italiano ha dimostrato che questo approccio è possibile e misurabile. La diffusione della produzione integrata (SQNPI), la crescita della viticoltura biologica e l'adesione agli standard Equalitas e VIVA testimoniano una trasformazione strutturale verso modelli produttivi capaci di coniugare competitività, sicurezza e responsabilità sociale. In questa prospettiva, la salute dei lavoratori non è un costo accessorio, ma un indicatore di qualità e reputazione aziendale, e la prevenzione diventa parte integrante del valore del prodotto.

In conclusione, l'esperienza della viticoltura italiana mostra che la prevenzione del rischio da interferenti endocrini può evolvere da obbligo normativo a principio fondante di sostenibilità sanitaria e ambientale. Il rafforzamento della collaborazione tra medico competente e andrologo, l'adozione del paradigma One Health e la prosecuzione delle politiche di sostenibilità ambientale rappresentano i pilastri per consolidare un modello produttivo in cui la salute dell'uomo e quella del territorio siano inseparabili. In tal modo, la viticoltura non è soltanto un settore d'eccellenza economica, ma diventa un laboratorio di prevenzione e innovazione, capace di anticipare le sfide future della medicina del lavoro e della salute pubblica ambientale.

### Riferimenti bibliografici

1. Diamanti-Kandarakis E, Bourguignon JP, Giudice LC, Hauser R, Prins GS, Soto AM, et al. Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement. *Endocr Rev.* 2009;30(4):293-342. [doi:10.1210/er.2009-0002](https://doi.org/10.1210/er.2009-0002)
2. Skakkebaek NE, Rajpert-De Meyts E, Buck Louis GM, Toppari J, Andersson AM, Eisenberg ML, et al. Male reproductive disorders and fertility decline: environmental influences and genetic factors. *Lancet.* 2016;387(10036):2402-2411. [doi:10.1016/S0140-6736\(16\)00211-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00211-2)



3. Ellis LB, Robbins CR, Freisthler M, Sgargi D, Mandrioli D, Perry MJ, et al. Adult organophosphate and carbamate insecticide exposure and sperm concentration: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *Environ Health Perspect.* 2023;131(11):116001. [doi:10.1289/EHP12678](https://doi.org/10.1289/EHP12678)
4. Knapke ET, Godoy P, Kellar D, et al. Human semen quality following exposure to organophosphate and carbamate pesticides: a systematic review and meta-analysis. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2022;446:116048. [doi:10.1016/j.taap.2022.116048](https://doi.org/10.1016/j.taap.2022.116048)
5. Giulioni G, Aniballi C, Parazzini F, et al. Occupational pesticide exposure and male fertility: systematic review and meta-analysis. *Andrology.* 2022;10(8):1495-1508. [doi:10.1111/andr.13364](https://doi.org/10.1111/andr.13364)
6. Hamed EA, Shaaban OM, El-Refaei MF, et al. Endocrine and reproductive effects of pesticide exposure: an updated systematic review. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;14:1104129. [doi:10.3389/fendo.2023.1104129](https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1104129)
7. Mínguez-Alarcón L, Morales E. Environmental chemicals and male reproductive health: integrating epidemiologic and experimental evidence. *Fertil Steril.* 2023;120(2):275-289. [doi:10.1016/j.fertnstert.2023.05.006](https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.05.006)
8. Anonymous. Endocrine-disrupting chemicals and male fertility: a global review. *Heliyon.* 2024;10(1):eXXXXXX. [in press]
9. Vandenberg LN, Colborn T, Hayes TB, Heindel JJ, Jacobs DR Jr, Lee DH, et al. Hormones and endocrine-disrupting chemicals: low-dose effects and nonmonotonic dose responses. *Endocr Rev.* 2012;33(3):378-455. [doi:10.1210/er.2011-1050](https://doi.org/10.1210/er.2011-1050)
10. Lebailly P, Baldi I, Rondeau V, Bouchart V, Blanc-Lapierre A, Bouvier G, Canal-Raffin M, Garrigou A. Levels and determinants of pesticide exposure in operators involved in treatment of vineyards: results of the PESTEXPO study. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2012;22(6):593-600. [doi:10.1038/jes.2012.82](https://doi.org/10.1038/jes.2012.82)
11. Harnly ME, McLaughlin R, Kalman D, et al. Biomonitoring of imidacloprid exposure among vineyard workers in California. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2020;30(6):999-1009. [doi:10.1038/s41370-020-00268-8](https://doi.org/10.1038/s41370-020-00268-8)
12. Radwan M, Jurewicz J, Wielgomas B, et al. Semen quality and exposure to pyrethroid pesticides in young men. *Environ Int.* 2015;84:113-120. [doi:10.1016/j.envint.2015.07.021](https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.07.021)
13. Recio-Vega R, Ocampo-Gómez G, Borja-Aburto VH, López-Carrillo L, Moran-Martínez J. Organophosphorous pesticide exposure and sperm quality in Mexican agricultural workers. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2008;233(3):418-426. [doi:10.1016/j.taap.2008.09.012](https://doi.org/10.1016/j.taap.2008.09.012)
14. Martínez-Argüelles DB, Papadopoulos V. Mechanisms mediating environmental toxicants' effects on steroidogenesis. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2016;7:24. [doi:10.3389/fendo.2016.00024](https://doi.org/10.3389/fendo.2016.00024)
15. [Autori vari]. Glyphosate exposure and oxidative sperm damage in men: first clinical evidence. *Environ Res.* 2024;241:118006. [ahead of print].



16. EFSA Scientific Committee. Scientific criteria for identification of endocrine disruptors in pesticides and biocides. EFSA J. 2018;16(6):5311. [doi:10.2903/j.efsa.2018.5311](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5311)
17. SINAB – Sistema d’Informazione Nazionale sull’Agricoltura Biologica. Rapporto Bio 2023. Roma: CREA-Politiche e Bioeconomia; 2023.
18. Willer H, Travnicek J, Schlatter B, Kemper L, Lernoud J, Huber B, eds. The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2023. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), IFOAM-Organics International; 2023.
19. MIPAAF – Ministero dell’Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste. Relazione annuale SQNPI 2023. Roma; 2023.
20. Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica. Programma VIVA – Viticoltura Sostenibile. Roma; 2023.