

APPROCCIO ONE HEALTH PER LA TUTELA DELLA SALUTE UMANA, ANIMALE E DELL'AMBIENTE NELLA FILIERA ALIMENTARE

INAIL

2025



COLLANA **SALUTE E SICUREZZA**

APPROCCIO ONE HEALTH
PER LA TUTELA DELLA SALUTE UMANA,
ANIMALE E DELL'AMBIENTE
NELLA FILIERA ALIMENTARE

INAIL

2025

Pubblicazione realizzata da

Inail

Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

Coordinamento scientifico

Monica Gherardi¹, Paola Tomao¹, Nicoletta Vonesch¹

Autori

Priscilla Boccia², Renato Cabella¹, Alessandra Chiominto¹, Guido Di Martino³, Simona Di Renzi¹, Maria Concetta D'Ovidio¹, Giovanni Fabrizi¹, Monica Gherardi¹, Angela Gioffre¹, Carlo Grandi¹, Anna Maria Marcelloni¹, Emilia Paba¹, Mariangela Spagnoli¹, Elena Sturchio², Paola Tomao¹, Vittoria Tregnaghi³, Nicoletta Vonesch¹, Miriam Zanellato²

A cura di

Paola Melis¹

Redazione editoriale e grafica

Pina Galzerano¹, Laura Medei¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

² Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

³ IzsVe - Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie

per informazioni

Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

Via Fontana Candida, 1 - 00078 Monte Porzio Catone (RM)

dmil@inail.it.

www.inail.it

©2025 Inail

ISBN 978-88-7484-909-3

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nelle pubblicazioni, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

PRESENTAZIONE

Il mondo degli animali, degli esseri umani e dell'ambiente è strettamente interconnesso in un sistema complesso di interazioni che creano un equilibrio tra le diverse parti componenti, l'alterazione del quale può avere effetti sulla "salute globale". Lo studio degli aspetti legati a tale sistema richiede una strategia cosiddetta di salute unica, one health, che coinvolga competenze interdisciplinari e intersettoriali per raggiungere uno stato di salute ottimale per gli esseri umani, gli animali e l'ambiente.

La filiera agroalimentare rappresenta il contesto di elezione per l'approccio di salute unica: la diffusione di zoonosi e/o di malattie croniche multifattoriali, l'emergenza di resistenze antimicrobiche e dell'inquinamento ambientale, l'impatto della lotta integrata alle avversità delle coltivazioni, la perdita della biodiversità e i cambiamenti climatici sono, infatti, alcuni aspetti fortemente interconnessi nel sistema della produzione di cibo. In questo ambito, la strategia di salute unica è anche principio fondante della strategia "dal produttore al consumatore" che affronta in modo globale le sfide poste dal conseguimento di sistemi alimentari sostenibili, riconoscendo i legami inscindibili tra persone sane, società sane e un pianeta sano. Il passaggio a un sistema alimentare sostenibile può apportare benefici ambientali, sanitari e sociali, offrire vantaggi economici e assicurare un percorso sostenibile che possa affrontare anche le emergenze sanitarie, come delineato, d'altronde, dal *Green Deal europeo*, la strategia dell'Ue per una crescita sostenibile e inclusiva.

La monografia proposta intende contribuire alla conoscenza della strategia One Health applicata al settore della zootecnia e dell'agricoltura e delle interazioni con l'ambiente, nel contesto delle politiche comunitarie. Il suo contenuto riflette l'intenso lavoro di ricerca interdisciplinare del Dipartimento, portato avanti dai Laboratori Rischio Sostanze Pericolose e Rischio Agenti Biologici, a supporto di tutti gli stakeholders istituzionali e dei datori di lavoro per affrontare in modo responsabile le sfide sanitarie e ambientali in un mondo sempre più globalizzato e interdipendente.

Dott.ssa Giovanna Tranfo
*Direttrice del Dipartimento di medicina,
epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale*

INDICE

1 - Paradigma One Health	7
2 - Impatto della filiera agroalimentare sull'ambiente: spreco alimentare e sicurezza alimentare	23
3 - Cambiamento climatico: impatto sulla filiera agroalimentare	55
4 - Biodiversità	81
5 - Zoonosi occupazionali	97
6 - Esposizione ad agenti biologici in allevamenti di suini e impianti di macellazione: esperienze di ricerca in ottica One Health	112
7 - Benessere animale	139
8 - Interfaccia uomo agricoltura: rischio di esposizione ad agenti chimici	153
9 - Esposizione a micotossine aerodisperse e rischio occupazionale	174
10 - Tutela della salute dei lavoratori in ottica One Health	186

1 - PARADIGMA ONE HEALTH

M. Gherardi¹, P. Tomao¹, N. Vonesch¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

1.1 CENNI DI NORMATIVA SULLA TUTELA, SICUREZZA E SOSTENIBILITÀ DELLA FILIERA AGROALIMENTARE

Il termine filiera agroalimentare indica l'insieme di tutte le fasi che un alimento attraversa a partire dalla produzione/ raccolta della materia prima fino al consumo da parte dell'utente finale, includendo anche il trasporto, la distribuzione, la trasformazione e la commercializzazione. Attualmente nell'Ue vi sono 10 milioni di agricoltori e circa 40 milioni di posti di lavoro nei settori della trasformazione e del commercio al dettaglio di beni alimentari e nei servizi di ristorazione che dipendono dall'agricoltura [1].

La filiera agroalimentare garantisce la sicurezza dell'approvvigionamento di cibo a oltre 400 milioni di cittadini e rappresenta un importante settore economico pur avendo un impatto considerevole sull'ambiente, considerando che circa un quarto delle emissioni di gas a effetto serra a livello mondiale proviene dai sistemi alimentari [2]. Nel 2021 sono stati raccolti poco meno di 300 milioni di tonnellate di cereali e riso, 65,8 milioni di tonnellate di ortaggi, 62,2 milioni di tonnellate di frutta, bacche e frutta a guscio, circa 160 milioni di tonnellate di latte crudo. In quell'anno l'Ue ha prodotto 22 milioni di tonnellate di carne suina, 12 milioni di tonnellate di carne di pollame e 6,6 milioni di tonnellate di carne bovina [3].

L'Ue si è posta l'obiettivo di trasformare le modalità di produzione e di consumo degli alimenti al fine di ridurre l'impronta ambientale dei sistemi alimentari, determinata anche dall'uso di pesticidi, dall'eccesso di nutrienti (soprattutto azoto e fosforo) utilizzati in agricoltura, dall'aumento della resistenza antimicrobica dovuta all'impiego inadeguato degli antibiotici nelle pratiche terapeutiche umane e veterinarie. Altri eventi che possono influenzare la sostenibilità dei sistemi alimentari includono crisi politiche, economiche, ambientali (incendi, inondazioni, siccità) e sanitarie: la recente pandemia da COVID-19 ha avuto un impatto anche sull'approvvigionamento alimentare (interruzioni a livello di distribuzione, perdita di alcuni mercati, ecc.).

Attraverso la strategia *Dal produttore al consumatore (Farm to Fork)*, presentata nel maggio 2020 con la comunicazione COM (2020) 381(vedi Tabella 1), la Commissione europea (Ce) si propone di affrontare globalmente le sfide poste dal conseguimento di sistemi alimentari sostenibili. Il 19 ottobre 2020 il Consiglio europeo ha adottato le conclusioni sulla suddetta strategia, attraverso le quali gli Stati membri sono sollecitati a garantire un approvvigionamento alimentare sufficiente e a prezzi accessibili. I principali obiettivi della strategia *Farm to Fork*

mirano alla costruzione di una filiera alimentare che soddisfi i consumatori, i produttori, il clima e l'ambiente attraverso pratiche sostenibili nei settori della trasformazione alimentare, del commercio, alberghiero e della ristorazione; la promozione di regimi alimentari sani e sostenibili; la riduzione degli sprechi e la lotta alle frodi alimentari, contribuendo alla cosiddetta economia circolare. Nell'ambito della strategia è prevista anche la riduzione dell'uso di pesticidi chimici, fertilizzanti e antibiotici.

La strategia rappresenta una delle azioni chiavi per il raggiungimento del cosiddetto *Green Deal* europeo, un insieme di azioni strategiche che descrivono l'impegno assunto dalla Commissione europea per affrontare i temi legati al clima e all'ambiente come meglio descritto nella comunicazione COM (2019) 640 (vedi Tabella 1). Il *Green Deal* include molteplici iniziative politiche, proposte dalla Commissione e avviate nel dicembre 2019, con l'obiettivo generale di raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050, rispettando gli impegni internazionali assunti nel quadro dell'accordo di Parigi, doc. 22016A1019(01), adottato con dec. (Ue) 2016/1841 (vedi Tabella 1). In base a tale accordo l'Ue si era impegnata a ridurre le emissioni di gas serra almeno del 40% entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990. Nel 2021 l'obiettivo è stato portato ad almeno il 55% di riduzione entro il 2030 e alla neutralità climatica entro il 2050 come riportato nel reg. (Ue) 2021/1119 meglio descritto in Tabella 1. Il *Green Deal* è parte della strategia della Commissione per attuare l'Agenda 2030 e gli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Organizzazione delle Nazioni unite (Onu). L'Agenda rappresenta un grande programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità, sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'Onu; ingloba 17 *Obiettivi per lo sviluppo sostenibile* (SDG) per un totale di 169 target (Risoluzione 70/1) (Tabella 1).

Un sistema alimentare più sostenibile contribuirà inoltre a proteggere la natura e la biodiversità. La strategia *Dal produttore al consumatore* è in linea con la strategia sulla biodiversità per il 2030, con la quale l'Ue e gli Stati membri si sono impegnati ad avviare la biodiversità sulla via della ripresa entro il 2030.

La Convenzione Onu sulla diversità biologica, sottoscritta il 5 giugno 1992 a Rio de Janeiro durante la conferenza sull'ambiente e lo sviluppo (il cosiddetto *Vertice della Terra*) ha riconosciuto il suo valore unico quale fattore imprescindibile per l'evoluzione della vita sulla terra, essenziale tanto per gli esseri umani quanto per la protezione dell'ambiente e del clima. L'Onu ha proclamato il 2010 *Anno internazionale della biodiversità*, per sollecitare tutto il mondo al problema della distruzione di habitat, ecosistemi e specie e la 65ª sessione dell'Assemblea generale ha dichiarato, con la ris. (Onu) 65/161 (vedi Tabella 1), il 2011 - 2020 *Decennio delle Nazioni unite sulla biodiversità*, per promuovere l'attuazione degli obiettivi contenuti nel Piano strategico per la biodiversità meglio descritto in Tabella 1.

La biodiversità viene definita come la varietà e variabilità degli organismi viventi e dei sistemi ecologici in cui essi vivono, contemplando la diversità a livello genetico, di specie e di ecosistema. La diversità genetica definisce la differenza dei geni

all'interno di una determinata specie; la diversità di specie comprende la ricchezza di specie, misurabile in termini di numero delle stesse specie presenti in una determinata zona, o di frequenza delle specie, cioè la loro rarità o abbondanza in un territorio o in un habitat; la diversità di ecosistema indica il numero e l'abbondanza degli habitat, delle comunità viventi e degli ecosistemi all'interno dei quali i diversi organismi vivono e si evolvono.

La Commissione Ue ha presentato la strategia dell'Ue sulla biodiversità per il 2030 il 20 maggio 2020 con la comunicazione COM (2020) 380 (vedi Tabella 1), nella quale le principali azioni da realizzare possono essere così sintetizzate: la creazione di zone protette comprendenti almeno il 30% della superficie terrestre e marina; il ripristino degli ecosistemi degradati attraverso misure specifiche, tra cui la riduzione dell'uso e del rischio dei pesticidi del 50% e l'impianto di 3 miliardi di alberi all'interno dell'Unione; uno stanziamento economico consistente per la protezione e la promozione della biodiversità, tramite fondi dell'Ue e finanziamenti nazionali e privati.

La transizione verso modalità di produzione e consumo degli alimenti più sana e sostenibile deve essere sostenuta da una politica agricola comune (PAC) incentrata sul *Green Deal* (COM (2020) 846 del 18 dicembre 2020). La PAC è una delle politiche principali e di più lunga data dell'Ue: sin dalla sua creazione negli anni Sessanta, ha garantito in Europa gli standard più elevati a livello globale in materia di sicurezza, protezione e qualità alimentare. Allo stesso tempo è stata modificata numerose volte per adattarsi alle esigenze in continua evoluzione dei cittadini europei e a sfide sempre più globali. Il Consiglio europeo ha adottato la nuova PAC per il periodo 2023 - 2027, che è entrata in vigore il 1° gennaio 2023. La PAC 2023 - 2027 segue un approccio basato sulle prestazioni e sui risultati, creato intorno a dieci obiettivi, tra i quali la modernizzazione della agricoltura grazie allo sviluppo di pratiche agricole più sostenibili, nel rispetto della natura e combattendo i cambiamenti climatici. La politica della PAC persegue dunque obiettivi strettamente interconnessi alla strategia *Dal produttore al consumatore*. Nel mese di giugno 2023 la Commissione europea ha pubblicato un documento che mira a delineare gli elementi chiave e le scelte effettuate dagli Stati membri nei loro Piani strategici nazionali (European Commission, June 2023 - vedi Tabella 1). Anche l'Italia ha adottato un *Piano strategico nazionale* (<https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/24037>). Il Piano, in conformità con le disposizioni del reg. (Ue) 2021/2115, unisce in un unico documento di programmazione le risorse e gli interventi rivolti a sostenere il reddito degli agricoltori, a migliorare le condizioni di mercato di alcune produzioni agricole e a favorire lo sviluppo rurale.

Le modifiche nella modalità delle produzioni alimentari devono comunque continuare a garantire alimenti sani e a prezzi accessibili. Il 23 settembre 2021 a New York si è tenuto il primo Vertice globale sui sistemi alimentari organizzato dall'Onu (<https://www.un.org/en/food-systems-summit>), nel corso del quale gli

Stati si sono impegnati ad accelerare la trasformazione dei sistemi alimentari per la piena realizzazione di tutti i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030. Per garantire la sicurezza alimentare (cibo sicuro, nutriente e accessibile a tutti) la filiera agroalimentare va considerata nella sua interezza, includendo l'ambiente, le innovazioni tecnologiche, i contesti socioculturali e demografici nonché le ricadute economiche. Questi drivers sono sottoposti a continua trasformazione per l'accrescimento della popolazione, l'urbanizzazione, la globalizzazione del commercio e i cambiamenti climatici. Il tema della sicurezza alimentare è centrale nelle attività svolte dalla Fao (Food and Agriculture Organization) ed è affrontato in modo proattivo per cogliere al meglio future opportunità con idonee strategie [4]. È rilevante ricordare che l'Ue ha prodotto una specifica e corposa normativa in materia di sanità animale; il reg. (Ue) 2016/429 ha lo scopo di prevenire e controllare le malattie animali che possono essere trasmesse ad altri animali o esseri umani, con la finalità di rafforzare l'applicazione delle norme in materia di salute e sicurezza nell'intera filiera agroalimentare. Il regolamento stabilisce requisiti per la prevenzione delle malattie e la preparazione verso possibili focolai; l'individuazione e la registrazione di animali e determinati prodotti di origine animale; l'ingresso di animali e di prodotti di origine animale nell'Ue e i loro movimenti interni; il controllo e l'eradicazione delle malattie, comprese le misure di emergenza, tra cui le restrizioni ai movimenti degli animali, l'abbattimento e la vaccinazione. Le norme riguardano le malattie animali per tutti gli animali detenuti, gli animali selvatici e i prodotti di origine animale, sia terrestri che acquatici.

1.2 L'APPROCCIO ONE HEALTH: EVOLUZIONE E AMBITI DI APPLICABILITÀ

Alimenti non sicuri contaminati da batteri, virus, parassiti o da sostanze chimiche nocive possono causare più di 200 malattie diverse, dalla diarrea al cancro. L'Oms (Organizzazione mondiale della sanità) stima che nel mondo ogni anno 600 milioni di persone si ammalano a causa dell'ingestione di cibo contaminato, causando 420.000 decessi e la perdita di 33 milioni di anni di vita in buona salute (DALY) [5]. La pandemia da COVID-19 ha avuto ripercussioni significative anche sui sistemi agroalimentari, in quanto la chiusura delle frontiere e le restrizioni commerciali hanno impattato sulle catene di approvvigionamento alimentare nazionali e internazionali, riducendo l'accesso a diete sane, sicure e diversificate [6]. Tutto ciò ha evidenziato l'importanza di una gestione ecosostenibile e attenta verso la salute, l'ambiente e la sicurezza degli alimenti, basata su un approccio di tipo *One Health* (OH), salute unica. Alla base di questo approccio olistico in relazione alla filiera agroalimentare bisogna considerare che il 75% di tutte le malattie infettive umane emergenti negli ultimi tre decenni ha avuto origine negli animali [7]; si prevede una crescita della popolazione mondiale a 9 miliardi nel 2050 [8]; la salute dell'ambiente può influire sulla salute umana e animale attraverso la

contaminazione, l'inquinamento e il cambiamento delle condizioni climatiche, che possono portare alla comparsa di nuovi agenti infettivi [9].

Il concetto di *One Health* non è nuovo. Sin dal XVIII secolo i ricercatori avevano osservato l'esistenza di relazioni tra i processi di malattia degli animali e degli esseri umani. Un esempio di questa intuizione si ritrova nel *De Bovilla peste*, pubblicato nel 1715 da Giovanni Maria Lancisi (medico noto come specialista in anatomia nonché epidemiologo che diede un importante contributo alla medicina veterinaria quando la peste bovina colpì l'Europa nel XVIII secolo), che può essere considerato la testimonianza più importante di gestione olistica nella storia delle malattie animali. Il suo libro illustra accuratamente le caratteristiche della peste bovina e le misure di controllo applicate per contenerla, tra le quali lo *stamping-out* (abbattimento obbligatorio degli animali malati, infetti, o sospetti infetti o sospetti di contaminazione e distruzione delle carcasse), con istruzioni speciali per l'abbattimento e l'infossamento degli animali colpiti, il divieto di movimentare gli animali colpiti e l'adozione di misure igieniche e politiche adeguate. Sono altresì descritte le relazioni tra la peste del bestiame e le conseguenze dirette sulla popolazione umana quali la povertà e la fame insieme alle azioni intraprese per fronteggiarle [10].

Nel corso dei decenni il concetto di *One Health* ha conquistato via via maggiore accettabilità da parte delle comunità scientifiche che si occupano di sanità animale e di medicina umana, data la stretta interconnessione tra la salute dell'uomo e quella del mondo animale in quanto condividono lo stesso ambiente. Alla evoluzione di questo concetto hanno contribuito personalità scientifiche ed eventi rilevanti: Rudolf Virchow (1821-1902) ha messo in evidenza il legame tra salute umana e animale e ha coniato il termine zoonosi per indicare una malattia infettiva che si trasmette tra esseri umani e animali; William Osler (1849 -1919) ha sostenuto con convinzione l'importanza della veterinaria come disciplina fondamentale di sanità pubblica. Calvin Schwabe (1927 - 2006) ha coniato il termine di *One-Medicine*, "medicina unica", cambiato in *One Health* nel 2004, e ha ribadito l'importanza dell'utilizzo di un approccio unificato nella gestione delle zoonosi, che si avvalga sia delle conoscenze di medicina veterinaria che di medicina umana [11].

Altre tappe importanti hanno riguardato la pubblicazione dei cosiddetti *12 Principi di Manhattan*, nel 2004, da parte della Wildlife Conservation Society [12]. Il 29 settembre di quell'anno, nel corso di un simposio tenutosi presso la Rockefeller University di New York (Usa), rappresentanti dell'Oms, della Fao, dei CDC (Centri per la prevenzione e il controllo delle malattie degli Stati Uniti d'America) e di altre organizzazioni nazionali e sovranazionali, denunciarono il pericolo rappresentato da fenomeni sempre più comuni, come la scomparsa di alcune specie e l'invasione di specie aliene, il degrado dell'ambiente, l'inquinamento e i cambiamenti climatici, in grado di alterare la vita nel nostro pianeta, dagli oceani più profondi alle città più popolate. In quell'occasione venne presentata una lista di 12 principi che rappresentano un pressante invito a tutto il mondo scientifico affinché il ricorso a un approccio interdisciplinare e trasversale

nella prevenzione, sorveglianza e controllo delle malattie sia in grado di garantire l'integrità biologica e la conservazione dell'ambiente per le generazioni future.

I *Principi di Manhattan* esortano i leader mondiali, la società civile e gli esperti globali di sanità pubblica a:

- riconoscere il legame essenziale tra la salute di esseri umani, animali domestici e specie selvatiche e la minaccia che le malattie pongono alle persone, alla sicurezza alimentare ed economica e alla biodiversità, necessaria al mantenimento di un ambiente sano e un ecosistema ben funzionante;
- riconoscere che tutte le decisioni riguardanti l'uso della terra e dell'acqua presentano implicazioni rilevanti per la salute. Ogni qualvolta ignoriamo questa relazione si manifestano alterazioni dell'ecosistema e l'emergenza di nuove malattie;
- includere lo studio della salute delle specie selvatiche come una componente essenziale della prevenzione globale delle malattie, la loro sorveglianza e il loro controllo;
- riconoscere che i programmi di sanità pubblica possono contribuire in maniera rilevante alla conservazione delle varie specie;
- promuovere approcci innovativi, olistici e proiettati nel futuro della prevenzione, la sorveglianza, il monitoraggio e il controllo delle malattie emergenti e riemergenti, che prendano in considerazione la complessa interconnessione tra le specie;
- cercare opportunità per la piena integrazione tra una prospettiva di conservazione della biodiversità e i bisogni umani quando si adottano misure per il controllo delle malattie infettive;
- ridurre il commercio e regolare la conservazione e la caccia delle specie selvatiche, non solo per proteggere tali specie, ma anche per ridurre il rischio di trasmissione delle malattie e lo sviluppo di nuovi ospiti per i patogeni;
- ridurre l'abbattimento programmato di specie selvatiche per il controllo delle malattie solo a specifiche situazioni basate su un consenso scientifico, multidisciplinare e internazionale, ove tale popolazione rappresenti effettivamente una significativa minaccia alla sanità pubblica, alla sicurezza alimentare o alle altre specie selvatiche;
- aumentare gli investimenti in infrastrutture sanitarie globali, sia umane sia animali, adeguate alla gravità delle minacce emergenti e riemergenti per la specie umana e animale, rafforzando la sorveglianza sanitaria su animali e uomini e migliorando il coordinamento tra agenzie governative e non governative, compagnie produttrici di vaccini e di farmaci, e tutti i possibili partner;
- creare una collaborazione tra governi, popolazioni, settori pubblici, privati e non-profit per affrontare le sfide di salute globale e conservazione della biodiversità;
- fornire risorse e supporto allo sviluppo di un network globale di sorveglianza sanitaria sulle specie selvatiche in grado di scambiare informazioni con il sistema di sanità pubblica e veterinario come parte di un sistema di allerta per l'emergenza e la ri-emergenza delle malattie;

- investire in educazione e sensibilizzazione della popolazione mondiale per influenzare il processo politico atto ad aumentare la comprensione della relazione tra salute e integrità dell'ecosistema al fine di migliorare con successo le prospettive sanitarie del pianeta.

In occasione della Conferenza ministeriale internazionale sull'influenza animale e pandemica tenutasi ad Hanoi il 20-21 aprile 2010, ospitata dal governo del Vietnam e co-organizzata con Usa e Ue in collaborazione con la Fao, l'Oms, l'Oie, la Banca asiatica di sviluppo, la Banca mondiale e l'Unicef, è stata promulgata la cosiddetta *Dichiarazione di Hanoi*. Sulla base degli insegnamenti tratti dalle risposte all'influenza aviaria H5N1 e alla pandemia da virus influenzale A(H1N1)pdm09, i ministri e gli alti funzionari di oltre 70 Paesi hanno concordato la strada da seguire per rispondere all'influenza aviaria, prepararsi alle pandemie e affrontare le nuove malattie infettive emergenti.

La *Dichiarazione di Hanoi* propone una serie di misure nazionali multisettoriali per tenere d'occhio le nuove malattie che possono passare dagli animali all'uomo e per mettere in atto tempestivamente misure di salute pubblica contro i focolai. Tale dichiarazione riconosce la necessità di continuare e rafforzare la cooperazione internazionale e regionale contro malattie per le quali la popolazione umana potrebbe non essere immune e che possono diffondersi globalmente, sottolinea la necessità di una comunicazione efficace tra professionisti e popolazione generale [13,14].

Un'altra tappa significativa per l'applicazione dell'approccio *One Health* è rappresentata dalla strategia proposta dalla cosiddetta Alleanza tripartita. Ad aprile 2010 la Fao, l'Oms, l'Organizzazione mondiale della sanità animale (Oie, rinominata Woah) si sono riunite per stabilire la strategia da intraprendere per affrontare i rischi per la salute all'interfaccia uomo-animale-ecosistemi. Dall'incontro è scaturita una *Nota concettuale* che propone una direzione strategica a lungo termine di collaborazione internazionale, volta a condividere le responsabilità e a coordinare le attività globali per combattere i suddetti rischi [15]. A febbraio 2011 a Melbourne (Australia) si è tenuto il Primo congresso internazionale sull'approccio *One Health*, con lo scopo di estendere il dibattito alla più ampia comunità scientifica e politica internazionale, anche al fine di prevenire o mitigare future minacce pandemiche [16]. Vari altri eventi sulla tematica sono stati organizzati negli ultimi anni.

La gestione delle sfide all'interfaccia uomo-animale-ambiente ha trovato riscontro anche in un'altra visione, la cosiddetta *Planetary Health* (Salute planetaria), lanciata nel 2015 dalla rivista scientifica *The Lancet* e dalla Rockefeller Foundation [17]. Il concetto di *Planetary Health* sottintende il più elevato livello di salute, benessere ed equità raggiungibile in tutto il mondo, attraverso un'equilibrata governance dei sistemi politici, economici e sociali e dei sistemi naturali che definiscono i confini ambientali entro i quali l'umanità può svilupparsi. È una definizione che integra quella di salute data dall'Oms (salute come stato completo di benessere fisico,

mentale e sociale e non solo come assenza di malattia [18]), e fornisce un'interpretazione antropocentrica dell'interdipendenza tra sistemi naturali e sociali. Ai fini del raggiungimento di una maggiore sinergia tra le varie agenzie coinvolte nella *preparedness* e risposta alle minacce pandemiche, nel 2021 è stato istituito da parte di Fao, Oie/Woah, Oms e Unep [19] il One Health High-Level Expert Panel (OHHLEP) per fornire assistenza nel quadro della collaborazione *One Health* (<https://www.who.int/groups/one-health-high-level-expert-panel>). Tra i primi obiettivi vi è la valutazione dell'emergenza di crisi sanitarie che scaturiscono dall'interfaccia uomo-animale-ecosistema nonché quello di fornire orientamenti per lo sviluppo di un approccio strategico a lungo termine per ridurre il rischio di pandemie zoonotiche. Un primo successo di OHHLEP è stato l'aver dato una nuova definizione di *One Health* come "approccio integrato e unificante che mira a generare un equilibrio e ottimizzare in modo sostenibile la salute di persone, animali ed ecosistemi. Riconosce che la salute degli esseri umani, degli animali domestici e selvatici, delle piante e dell'ambiente in generale (compresi gli ecosistemi) sono strettamente collegati e interdipendenti. L'approccio mobilita più settori, discipline e comunità a vari livelli della società per lavorare insieme al fine di promuovere il benessere e affrontare le minacce alla salute e agli ecosistemi, fronteggiando al contempo il bisogno collettivo di acqua pulita, energia e aria, cibo sicuro e nutriente, agendo sui cambiamenti climatici e contribuendo allo sviluppo sostenibile". Nel 2022 le quattro organizzazioni su citate hanno sviluppato per il quadriennio 2022 - 2026 un Piano d'azione congiunto *One Health* (OH JPA) con la finalità di integrare e rendere operativo l'approccio *One health* a livello globale, regionale e nazionale; sostenere gli Stati nella definizione e nel raggiungimento di obiettivi e priorità nazionali; consentire la collaborazione, l'apprendimento e lo scambio tra Regioni, Paesi e settori [20].

Il 9 giugno 2022 è stato riconosciuto dalla normativa italiana l'approccio *One health* e la sua evoluzione in *Planetary Health* con lo sviluppo del Sistema nazionale prevenzione salute dai rischi ambientali e climatici (SNPS), che sostituisce le strutture e le modalità di intervento in materia contemplati dal d.lgs. 502/1992. Tale organismo è stato istituito all'art. 27 del d.l. 36/2022; il d.m. salute 09/06/2022 ha dato luogo alla previsione normativa di cui all'art. 27 e ha definito i compiti dei soggetti che fanno parte del nuovo Sistema. Lo scopo è quello di migliorare le politiche e le strategie messe in atto dal Servizio sanitario nazionale per la prevenzione, nonché il controllo e le cure delle malattie associate ai rischi ambientali e climatici. Con il d.p.r. 29 marzo 2023 (vedi Tabella 1) è stata istituita la *Cabina di regia* per l'interazione del SNPS con il Sistema nazionale protezione ambiente (SNPA).

L'approccio *One Health* si contestualizza generalmente al controllo delle zoonosi, ovvero di quelle malattie trasmissibili tra uomo e animali. Le malattie infettive emergenti fanno riferimento a quelle di recente identificazione, precedentemente sconosciute o di cui si conosceva la comparsa solo a livello locale. Alcune hanno avuto effetti devastanti, basti pensare all'HIV/AIDS diffusosi nei primi anni '80 o alla

pandemia di COVID-19. La maggior parte (70%) delle infezioni emergenti sono zoonotiche, il 75% delle quali proviene dalla fauna selvatica. È reale il rischio che il degrado dell'ambiente e/o altri *stressors* tra cui l'aumento della densità della popolazione umana e il commercio globale aggravino l'emergere di nuove malattie zoonotiche. Dall'inizio del XXI secolo nel mondo si sono verificate varie emergenze sanitarie di origine zoonotica, ad esempio il coronavirus della sindrome respiratoria acuta grave (SARS) nel 2003, il virus Ebola nel 2005 e di nuovo nel 2017, la febbre Zika nel 2015, il coronavirus della sindrome respiratoria del Medio Oriente (MERS) nel 2015 e da ultimo il COVID-19, nel 2019. Il fenomeno per cui un patogeno adattato a una specie è capace di infettare una nuova specie e trasmettersi all'interno di questa nuova popolazione viene chiamato salto di specie, ovvero *spillover*. Lo *spillover* zoonotico è un evento relativamente raro, sebbene l'uomo sia continuamente esposto a molti patogeni potenzialmente infettivi derivati da altre specie, ed è determinato dalle interazioni tra diversi fattori, tra cui le dinamiche della malattia nell'ospite serbatoio, l'esposizione al patogeno e la suscettibilità individuale alle infezioni [21].

La visione *One Health* trova applicazione anche per affrontare le cosiddette malattie tropicali neglette, alcune delle quali sono zoonotiche, generalmente endemiche in certe aree tropicali e subtropicali (ad esempio la rabbia). L'Oms considera tali un gruppo di 20 malattie causate da virus, batteri, parassiti, funghi e tossine, che hanno in comune il fatto di essere patologie tendenzialmente croniche e disabilitanti, molte delle quali prevenibili e curabili, ma che infettano in maniera sproporzionata le popolazioni povere e marginalizzate, specialmente se lontane dai sistemi sanitari. L'approccio *One Health* sostiene un consenso multisettoriale sull'utilizzo delle risorse disponibili e l'identificazione delle misure di contrasto, impedendo l'acuirsi delle disuguaglianze [22].

L'alleanza tripartita Fao, Oie/Woah e Oms nel 2019 ha aggiornato le indicazioni per la prevenzione, la preparazione, l'individuazione e la risposta alle minacce zoonotiche all'interfaccia animale-uomo-ambiente, fornendo esempi di pratiche e opzioni basate sull'esperienza di vari Paesi [23] (Who, Fao and Oie/Woah, 2019).

L'applicazione della visione *One Health* per il controllo delle malattie trasmesse all'uomo derivate da animali è motivato dal ruolo che l'ambiente ricopre in questo contesto, in quanto gli animali infetti possono diffondere i patogeni attraverso i fluidi corporei, i prodotti post-parto, le feci e il latte, contaminando l'ambiente circostante, come il suolo, l'aria e i corpi idrici, con la possibilità di infettare a loro volta animali e persone che interagiscono con questi ambienti e attraverso la catena alimentare [24]. L'ambiente può pertanto indurre effetti positivi o negativi sulla salute animale e umana a seconda delle sue condizioni di salubrità, che possono essere influenzate da determinanti antropogenici tra cui l'alterazione di uso del suolo, la perdita di biodiversità, il cambiamento climatico e l'inquinamento del suolo, dell'acqua e dell'aria [25]. L'ambiente può essere inoltre contaminato da geni di resistenza e batteri resistenti agli antimicrobici, contribuendo a quella che

viene definita dall'Oms come una delle più importanti minacce per la salute del ventunesimo secolo a livello mondiale [26].

L'antimicrobico-resistenza (AR) è il fenomeno per cui un microorganismo può resistere all'attività di uno o più farmaci utilizzati per il trattamento terapeutico delle infezioni sia umane che animali, comportando un grave impatto anche a livello sociale ed economico. L'AR nell'ambiente è correlata ad attività antropiche che comportano uso o emissione di antimicrobici, ad esempio da allevamenti zootecnici e impianti di acquacoltura intensivi, impianti fognari sia urbani che sanitari [27,28]. Per affrontare tutte le sfide legate all'AR l'8 novembre 2022 è stata lanciata una nuova piattaforma, *The Antimicrobial Resistance Multi-Stakeholder Partnership Platform*, sviluppata dall'Alleanza quadripartita Fao, Oie/Woah, Oms e Unep per catalizzare un movimento globale e promuovere la cooperazione tra le parti interessate a tutti i livelli dell'ambito *One Health* [29].

La strategia *One health* trova applicazione anche nel contrasto alla diffusione di contaminanti chimici rilasciati nell'ambiente e che possono poi entrare nella catena alimentare. Tra questi troviamo sia le tossine naturali, ad esempio tossine vegetali e micotossine, sia i contaminanti ambientali, rilasciati nell'aria, nell'acqua o nel suolo spesso da attività industriali o agricole. Tra i contaminanti ambientali si segnalano i policlorobifenili (PCB), le diossine, i pesticidi clorurati, ma anche metalli quali arsenico, cadmio, piombo e mercurio (Efsa: <https://www.efsa.europa.eu/it/topics/topic/chemical-contaminants-food-feed#collegamenti-tematici>).

È noto che i cambiamenti climatici impattano sulla salute umana e sulle malattie in vario modo. In relazione alle patologie trasmissibili, essi agiscono sull'espansione geografica di varie malattie, in particolare di quelle vettore-trasmesse. Infatti, vettori quali gli artropodi sono sottoposti a tassi di sopravvivenza e riproduzione dipendenti dal clima, che ne influenza la trasmissibilità. Va ribadito che accanto ai cambiamenti del clima altri drivers biologici, ecologici, demografici e sociali possono condizionare la vulnerabilità a queste malattie infettive; da ciò nasce la necessità di affrontare queste problematiche con un approccio *One Health* per sviluppare sistemi di sorveglianza, allerta e risposta in tutti i settori coinvolti [30].

Allo scopo di favorire l'implementazione dell'approccio *One Health* sul territorio nazionale va evidenziato quanto espresso nel Piano nazionale prevenzione (PNP) 2020 - 2025, adottato il 6 agosto 2020 con Intesa in Conferenza Stato-Regioni, che considera la salute come risultato di uno sviluppo armonico e sostenibile dell'essere umano, della natura e dell'ambiente, in linea con la visione olistica, e promuove l'applicazione di un approccio multidisciplinare, intersettoriale e coordinato per affrontare i rischi potenziali o già esistenti che hanno origine dall'interfaccia tra uomo, animali e ecosistemi.

Di seguito si riassumono le norme citate:

Tabella 1 Atti giuridici e documenti prodotti/emanati da autorità e istituzioni	
Commissione europea COM (2019) 640 dell'11 dicembre 2019	Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni. Il Green deal europeo. Url: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_1&format=PDF
Commissione europea COM (2020) 381 del 20 maggio 2020	Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni. Una strategia "Dal produttore al consumatore" per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente. Url: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF
Commissione europea COM (2020) 380 del 20 maggio 2020	Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni. Strategia dell'Ue sulla biodiversità per il 2030. Ripartire la natura nella nostra vita. Url: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF
Commissione europea COM (2020) 846 del 18 dicembre 2020	Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni. Raccomandazioni agli Stati membri sui relativi piani strategici della politica agricola comune. Url: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:25d60735-4129-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF
Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano	Intesa, ai sensi dell'articolo 8, comma 6, della legge 5 giugno 2003, n. 131, tra il Governo, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano concernente il Piano nazionale della prevenzione (PNP) 2020–2025. Rep. Atti n. 127/CSR del 6 agosto 2020. Url: https://www.statoregioni.it/media/2883/p-5-csr-atto-rep-n-127-6ago2020.pdf

Tabella 1 segue Atti giuridici e documenti prodotti/emanati da autorità e istituzioni	
Decisione (UE) 2016/1841 del Consiglio 5 ottobre 2016	Decisione relativa alla conclusione, a nome dell'Unione europea, dell'accordo di Parigi adottato nell'ambito della Convenzione quadro delle Nazioni unite sui cambiamenti climatici. Url: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016D1841&from=NL
Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 29 marzo 2023	Definizione delle modalità di interazione del Sistema nazionale prevenzione salute dai rischi ambientali e climatici (SNPS) con il Sistema nazionale protezione ambiente (SNPA) e istituzione della Cabina di regia. Url: https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2023/05/16/23A02814/sg
Decreto-legge 30 aprile 2022, n. 36	Ulteriori misure urgenti per l'attuazione del Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR). (22G00049). Url: https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/06/29/22A03859/sg
Decreto del Ministero della salute 9 giugno 2022	Individuazione dei compiti dei soggetti che fanno parte del Sistema nazionale prevenzione salute dai rischi ambientali e climatici (SNPS). Url: https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/07/05/22A03866/sg
Documento 22016A1019(01)	Accordo di Parigi. Url: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)
European commission	Approved 28 CAP Strategic Plans (2023 - 2027). Summary overview for 27 Member States. Facts and figures. June 2023. Url: https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2023-06/approved-28-cap-strategic-plans-2023-27.pdf
Organizzazione delle Nazioni unite	Risoluzione Assemblea Generale dell'Onu il 25 settembre 2015. 70/1. Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile. Url: https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onu-italia.pdf
Organizzazione delle Nazioni unite	Convenzione Onu sulla diversità biologica. Url: https://www.naturaitalia.it/static/temp/allegati_natura_italia/biodiversita/normativa/convenzione_sulla_biodiversita_it.pdf

Tabella 1 segue Atti giuridici e documenti prodotti/emanati da autorità e istituzioni

<p>Piano strategico biodiversità. UNEP/CBD/COP/DEC/X/2</p>	<p>Decision adopted by the conference of the parties to the Convention on biological diversity at its tenth meeting X/2. The Strategic Plan for Biodiversity 2011 - 2020 and the Aichi Biodiversity Targets. Conference of the parties to the convention on biological diversity, Nagoya, 18 - 29 October 2010. Url: https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf</p>
<p>Regolamento (Ue) 2021/2115 del Parlamento europeo e del Consiglio del 2 dicembre 2021</p>	<p>Regolamento recante norme sul sostegno ai Piani strategici che gli Stati membri devono redigere nell'ambito della politica agricola comune (Piani strategici della PAC) e finanziati dal Fondo europeo agricolo di garanzia (FEAGA) e dal Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR) e che abroga i regolamenti (Ue) n. 1305/2013 e (Ue) n. 1307/2013. Url: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R2115</p>
<p>Regolamento (Ue) n. 2016/429 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2016</p>	<p>Regolamento relativo alle malattie animali trasmissibili e che modifica e abroga taluni atti in materia di sanità animale («normativa in materia di sanità animale»), pubblicato nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea l. 84 del 31 marzo 2016. Url: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0429</p>
<p>Regolamento (Ue) 2021/1119 del 30 giugno 2021</p>	<p>Regolamento che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il reg. (Ce) 2009/401 e il reg. (Ue) 2018/1999 («Normativa europea sul clima»). Url: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&rid=8</p>
<p>Piano strategico politica agricola comune PAC 2023 - 2027</p>	<p>PAC piano strategico IT. Url: https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/24037</p>

1.3 BIBLIOGRAFIA

- [1] Eurostat. Key figures on the European food chain [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2022.
Url: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-key-figures/w/ks-fk-22-001> [consultato luglio 2024].
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change and Land. In: Shukla PR, Skea J, Calvo Buendia E et al. IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Cambridge University Press; 2022.37-74. Doi: 10.1017/9781009157988.002 [consultato luglio 2024].
- [3] Eurostat. Key figures on Europe – 2023 edition [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2023.
Url: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-key-figures/w/ks-ei-23-001> [consultato luglio 2024].
- [4] Food and Agriculture Organization. Thinking about the future of food safety - A foresight report. Rome: Fao. 2022.
Url: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/acfc4e93-8702-47da-acd2-7bf064ea9b0b/content> [consultato luglio 2024].
- [5] World Health Organization. Food safety. Key facts. 2022. Url: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety> [consultato luglio 2024].
- [6] International Labour Organization Joint statement by Ilo, Fao, Ifad and Who. Impact of COVID-19 on people's livelihoods, their health and our food systems [Internet]. 2020. Url: <https://www.who.int/news/item/13-10-2020-impact-of-covid-19-on-people's-livelihoods-their-health-and-our-food-systems> [consultato luglio 2024].
- [7] Taylor LH, Latham SM, Woolhouse ME. Risk factors for human disease emergence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2001;356(1411):983-9. Doi: 10.1098/rstb.2001.088.
- [8] United Nations - Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World population prospects 2022: ten key messages [Internet]. 2022.
Url: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2022_wpp_key-messages.pdf [consultato luglio 2024].
- [9] World Health Organization Europe 2022. A health perspective on the role of the environment in One Health [Internet]. Copenhagen: Who Regional Office for Europe; 2022.
Url: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/354574/WHO-EURO-2022-5290-45054-64214-eng.pdf?sequence=> [consultato luglio 2024]
- [10] Mantovani A, Zanetti R. Giovanni Maria Lancisi: De bovilla peste and stamping out. *Hist Med Vet.* 1993;18(4):97-110.

- [11] Danzetta ML. Il concetto di One Health: il medesimo approccio del "Lavoro di Squadra" [Internet]. 2018. Url: https://www.izs.it/BENV_NEW/Engine/RAServePG.php/P/251810040609 [consultato luglio 2024].
- [12] One Health Commission. The Manhattan Principles on One World, One Health. 2004. Url: https://www.onehealthcommission.org/documents/filelibrary/library_references/reports/Manhattan_principles_2004_D578C2BB55C0C.pdf [consultato luglio 2024].
- [13] United Nations. The International ministerial conference: animal and pandemic influenza: the way forward, 'Hanoi Declaration' [Internet]. 2010. Url: <https://press.un.org/en/2010/sag433.doc.htm> [consultato luglio 2024].
- [14] Association of Southeast Asian Nations (Asean). 2010 Ha Noi declaration on the enhancement of welfare and development of asean women and children [Internet]. 2012. Url: <https://asean.org/wp-content/uploads/2021/08/2010-Ha-Noi-Declaration-Devolpment-Welfare-of-WC.pdf> [consultato luglio 2024].
- [15] The Fao-Oie-Who Collaboration. Sharing responsibilities and coordinating global activities to address health risks at the animal-human-ecosystems interfaces. A Tripartite Concept Note [Internet]. 2010. Url: <https://www.who.int/publications/m/item/the-fao-oie-who-collaboration> [consultato luglio 2024].
- [16] Mackenzie JS, Jeggo MH. 1st International One Health Congress. *EcoHealth*. 2011;7 (Suppl 1), 1–2. Doi:10.1007/s10393-011-0676-z.
- [17] Whitmee S, Haines A, Beyrer C et al. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. *Lancet*. 2015;386(10007):1973-2028. Doi: 10.1016/S0140-6736(15)60901-1.
- [18] World Health Organization. Summary report on proceedings, minutes and final acts. International Health Conference held in New York from 19 June to 22 July 1946. United Nations: World Health Organization, Interim Commission, 1948. Url: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/85573> [consultato luglio 2024].
- [19] Joint Tripartite (Fao, Oie, Who) and Unep Statement. Tripartite and Unep support OHHLEP's definition of "One Health" [Internet]. Url: <https://www.who.int/news/item/01-12-2021-tripartite-and-unep-support-ohhlep-s-definition-of-one-health#:~:text=The%20One%20Health%20definition%20developed,of%20people%2C%20animals%20and%20ecosystems> [consultato luglio 2024].
- [20] Fao, Unep Who, Woah. Global plan of action on One Health. Towards a more comprehensive One Health, approach to global health threats at the human-animal-environment interface [Internet]. 2022. Url: <https://doi.org/10.4060/cc2289en> [consultato luglio 2024].
- [21] Plowright RK, Parrish CR, McCallum H et al. Pathways to zoonotic spillover. *Nat Rev Microbiol*. 2017;15(8):502-510. Doi: 10.1038/nrmicro.2017.45.
- [22] World Health Organization. Ending the neglect to attain the sustainable development goals: a rationale for continued investment in tackling neglected

- tropical diseases 2021–2030. Geneva: World Health Organization. 2022. Url: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/363155/9789240052932-eng.pdf?sequence=1> [consultato luglio 2024].
- [23] Who, Fao and Oie/Woah, 2019. Taking a multisectoral, One Health approach: a tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries [Internet]. 2019. Url: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/325620/9789241514934-eng.pdf?sequence=1> [consultato luglio 2024].
- [24] Proboste T, James A, Charette-Castonguay A et al. Research and innovation opportunities to improve epidemiological knowledge and control of environmentally driven zoonoses. *Ann Glob Health*. 2022;88(1):93. Doi: 10.5334/aogh.3770.
- [25] Who/Euro 2022. A health perspective on the role of the environment in One Health. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe [Internet]. 2022. Url: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2022-5290-45054-64214> [consultato luglio 2024].
- [26] World Health Organization. Antimicrobial resistance. Key facts [Internet]. 2021. Url: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance> [consultato luglio 2024].
- [27] Giardina S, Castiglioni S, Corno G et al. Approccio ambientale all'antimicrobico-resistenza. *Rapporti ISTISAN*. 2021;21(3). Url: <https://www.iss.it/documents/20126/6682486/21-3+web.pdf/ad2152a4-5871-18ad-df26-4164980faf90?t=1644908353859> [consultato luglio 2024].
- [28] United Nations Environment Programme (Unep). Bracing for superbugs: strengthening environmental action in the One health response to antimicrobial resistance. Geneva. 2023. Url: <https://www.unep.org/resources/superbugs/environmental-action> [consultato luglio 2024]
- [29] Food and Agriculture Organization. The antimicrobial resistance multi-stakeholder partnership platform [Internet]. 2022. Url: <https://www.fao.org/antimicrobial-resistance/quadripartite/the-platform/explore/en/> [consultato luglio 2024].
- [30] Rocklöv J, Semenza JC, Dasgupta S et al. Decision-support tools to build climate resilience against emerging infectious diseases in Europe and beyond. *Lancet Reg Health Eur*. 2023;32:100701. Doi: 10.1016/j.lanpe.2023.10070.

2 - IMPATTO DELLA FILIERA AGROALIMENTARE SULL'AMBIENTE: SPRECO ALIMENTARE E SICUREZZA ALIMENTARE

E. Sturchio², M. Zanellato², P. Bocchia², M. Spagnoli¹

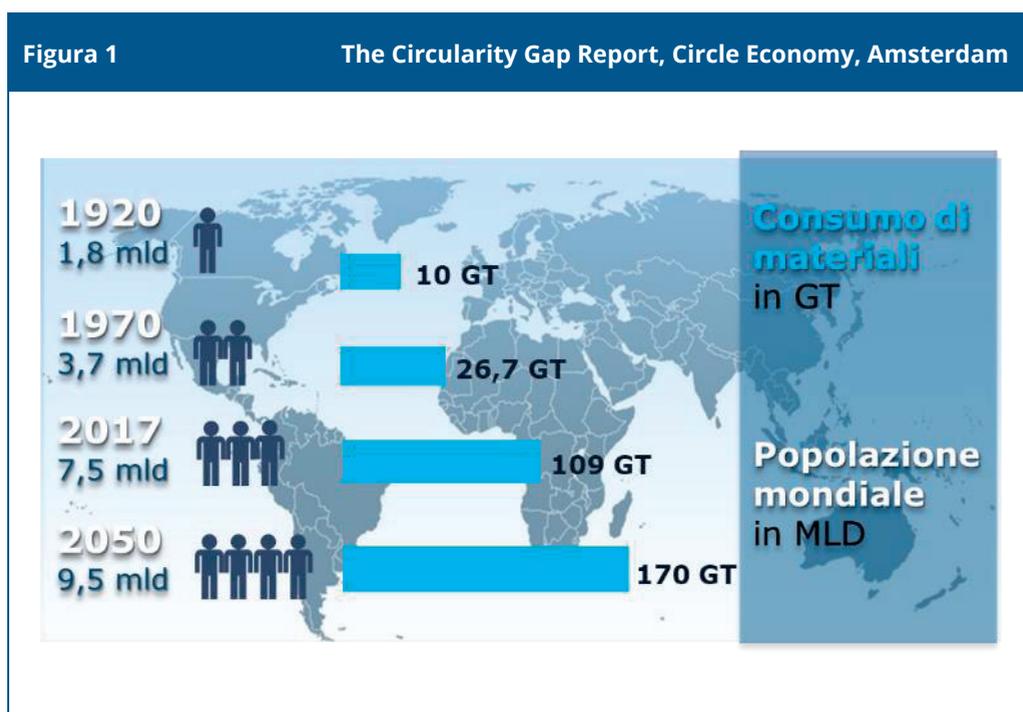
¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

² Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

2.1 CAUSE DELLO SPRECO ALIMENTARE E INTERVENTI CORRETTIVI

2.1.1 Background

Secondo l'Organizzazione delle Nazioni unite per l'alimentazione e l'agricoltura (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FaO) la popolazione è in crescita, saremo 9,5 miliardi nel 2050. La popolazione mondiale dal 1970 al 2017 è raddoppiata, da 3,7 miliardi a 7,5 miliardi; il consumo mondiale di materiali è aumentato di 4 volte. Il consumo di materiali pro-capite è raddoppiato da 7,2 t nel 1970 a 14,5 nel 2017 (Figura 1).

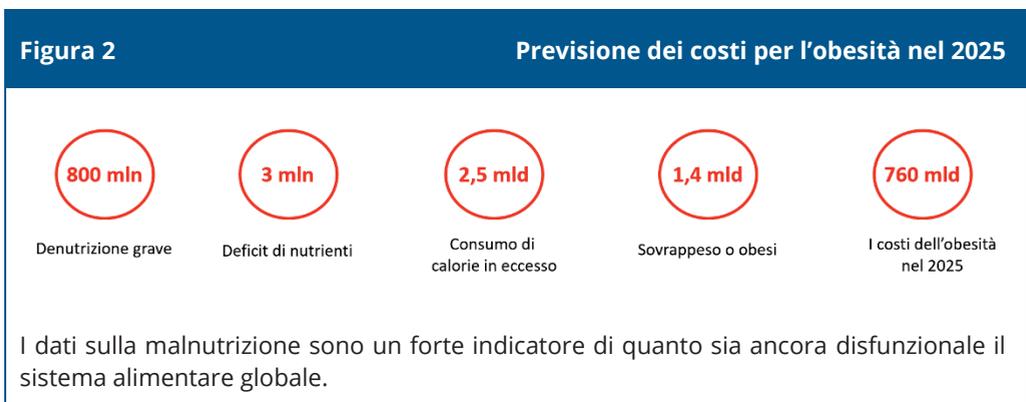


(Circle Economy. The circularity gap report 2023. Amsterdam: Circle Economy; 2023. Url: <https://www.circularity-gap.world/2023>. Elaborazione: Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

Assicurare una produzione sostenibile di alimenti per la popolazione mondiale che sta rapidamente aumentando è la grande sfida; la domanda alimentare potrebbe aumentare dal 35 al 56% entro il 2050. Sempre a livello globale, le risorse idriche sono in pericolo e la domanda di acqua da parte dell'agricoltura è più che raddoppiata tra il 1960 e il 2000. Gli sprechi alimentari rappresentano uno dei problemi più rilevanti, e circa il 24% delle risorse totali di acqua dolce è utilizzato nella produzione alimentare. Secondo l'Onu, con il modello tradizionale di consumo, nel 2050, il mondo potrebbe consumare risorse pari a tre pianeti. Attualmente assistiamo a tre paradossi globali del cibo:

1. A oggi 865 milioni di persone soffrono la fame cronica e 2,5 miliardi di persone sono obese o in sovrappeso.

Negli ultimi 50 anni il sistema alimentare globale ha avuto il grande merito di ridurre drasticamente la fame nel mondo, ma oggi mostra nuove forme di disfunzionalità. Infatti, nonostante l'enorme lavoro di ricerca perseguito fino a oggi nel settore agricolo, per cui si poteva immaginare che molti dei problemi dal punto di vista agricolo e alimentare potessero essere risolti, nel mondo vivono ancora 865.000.000 di persone denutrite. Di contro, vi sono circa 2,5 miliardi di persone tra obese e in sovrappeso in particolare nei Paesi occidentali, per cui a causa di un eccesso alimentare *si spende più per dimagrire che per mangiare* (Figura 2). La Fao [1], che ha tra i suoi obiettivi il *Food* e la *Nutrition*, evidenzia come il problema attualmente non è solo quello di dare a tutti accesso al cibo, ma di fornire quindi una corretta alimentazione, tutto quello che migliori la nostra salute e la nostra longevità (Figura 3).



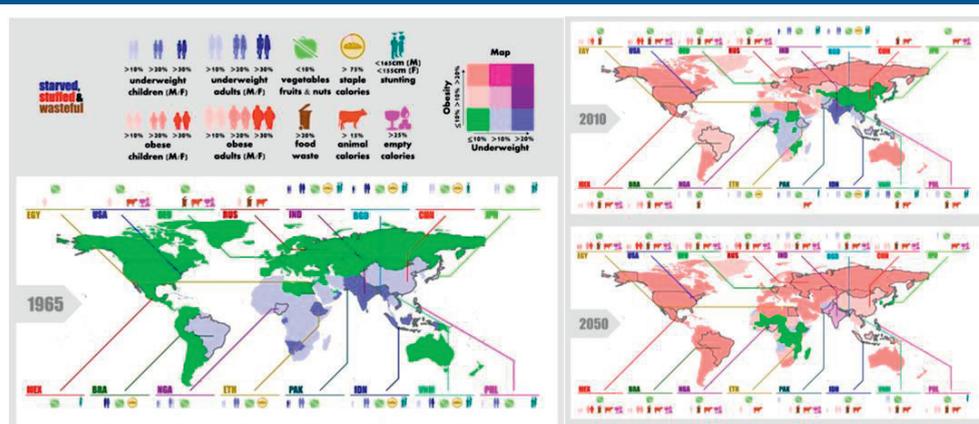
(Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

Lo sviluppo economico fa crescere la domanda di cibo, e molto lavoro è necessario anche per garantire la sicurezza alimentare, intesa come la disponibilità di cibo per tutti, che può essere a rischio. L'attuale conflitto tra Russia e Ucraina, che sono tra i principali

produttori ed esportatori di grano e olio di semi di girasole, ha strozzato l'offerta sul mercato, con conseguenze globali. L'aumento dei prezzi, secondo il World Food Programme (WFP), potrebbe lasciare 323 milioni di persone nella morsa della fame in tutto il 2023, 47 milioni in più rispetto alle previsioni in assenza dell'attuale guerra.

Figura 3

Il passaggio dalla scarsità al consumo eccessivo di cibo



Passaggio dalla scarsità al consumo eccessivo di cibo. I colori della mappa mostrano la prevalenza di sottopeso e obesità nella popolazione. Per i 16 paesi più popolosi, i simboli indicano ulteriori dettagli su dati antropometrici, composizione alimentare e spreco alimentare. Le stime per il 2050 sono proiezioni del modello.

(Bodirsky BL, Dietrich JP, Martinelli E et al. The ongoing nutrition transition thwarts long-term targets for food security, public health and environmental protection. *Sci Rep.* 2020;10(1):19778. Doi: 10.1038/s41598-020-75213-3. Elaborazione: Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

Secondo la Fao, quindi, entro il 2050 dovremo produrre il doppio per garantire cibo per tutti, ma bisogna anche considerare che:

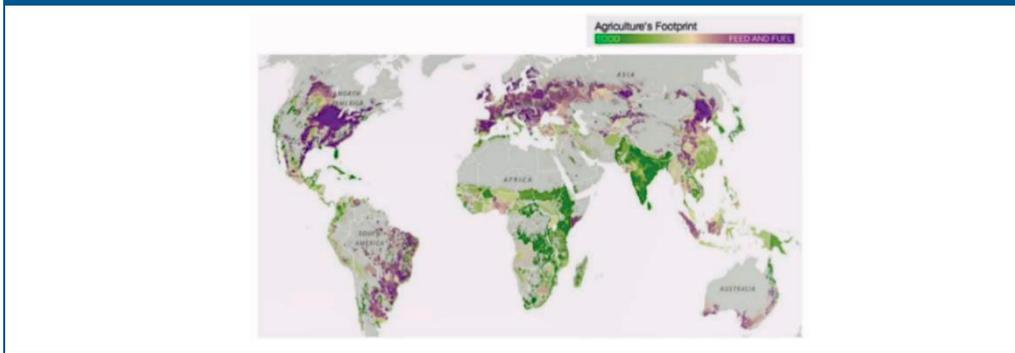
2. L'espansione delle coltivazioni per biocarburanti sottrae terreno alle coltivazioni per alimenti.

Gran parte della produzione agricola in alcuni Paesi "non va nello stomaco, ma va nel serbatoio"; abbiamo quindi espansioni delle coltivazioni per biocarburanti, ossia per riempire i serbatoi a discapito dello stomaco. Solo il 55% delle colture nutre direttamente la popolazione umana, il resto è destinato alla produzione di mangimi (36%) o biocarburanti (9%) (Figura 4). Infatti, a oggi, in tutta l'Unione europea c'è l'obbligo di aggiungere a benzina, gasolio e metano una quota di biocarburanti almeno intorno al

10% – che dovrebbe diventare il 17% entro il 2030. Il 78% del biodiesel è prodotto con oli ricavati dalla palma e dai semi di soia, girasole e colza, ma l'Unione europea e il Regno Unito importano principalmente da altre nazioni; molte di queste importazioni arrivano proprio dall'Ucraina. Secondo nuove proposte di legge, considerata la crisi del momento, in tutta Europa e nel mondo, le coltivazioni attualmente destinate ai biocarburanti potrebbero essere riconvertite in colture alimentari.

Figura 4

Panorama globale delle coltivazioni per biocarburanti, alimentazione animale e alimentazione umana



(Global landscape Initiative, Minnesota University. Url: <https://www.nationalgeographic.com/food/features/feeding-9-billion/>)

3. 1.3 miliardi di tonnellate di cibo sono sprecate ogni anno nel mondo, 4 volte il cibo necessario a nutrire gli 865 milioni di persone che soffrono la fame.

Lo spreco alimentare è un fenomeno che pone interrogativi sugli squilibri di consumo nel mondo e sulla disparità sociale tra chi spreca e chi non ha da mangiare. La Fao indica che sono 222 milioni le tonnellate di cibo buttate nei Paesi industrializzati, una cifra pari alla produzione alimentare dell'Africa Subsahariana (circa 230 milioni di tonnellate). Questi dati mettono in luce come gran parte delle eccedenze di cibo possa essere ancora riutilizzato per scopi alimentari invece che essere smaltito come un qualsiasi altro rifiuto, con notevoli impatti dal punto di vista ambientale ed economico e con significative implicazioni anche di tipo etico.

Il contributo dell'Italia all'aggiornamento degli *Obiettivi del millennio delle Nazioni unite* per eliminare la fame entro il 2030 è costituito dalla stipula di un vero e proprio atto d'impegno sul tema del diritto al cibo: la *Carta di Milano* [2], eredità culturale di Expo Milano 2015. La *Carta di Milano* nel suo incipit così recita: *noi donne e uomini, cittadini di questo pianeta [...] riteniamo che il diritto al cibo debba essere considerato un diritto umano fondamentale. Consideriamo infatti una violazione della dignità umana il mancato*

accesso al cibo sano, sufficiente e nutriente, acqua pulita ed energia. È quindi la *disponibilità in ogni momento di adeguate derrate alimentari di base per sostenere una pronta espansione del consumo alimentare e per eliminare fluttuazioni nella produzione e nei prezzi.* Con *Food Security* si indica quindi quella garanzia, offerta a chiunque, di poter accedere a quantità di cibo sufficiente per condurre una vita dignitosa, indipendentemente dal luogo in cui si trova, e senza discriminazioni dovute a fattori geografici, sociali, religiosi, economici, a differenza della *Food Safety* che riguarda gli aspetti legati alla sicurezza intesa come igiene e salubrità di un alimento.

2.1.2 Produzione alimentare e conservazione dell'ambiente

Le risorse che consumiamo per punti essenziali:

- l'industria agrozootecnica costituisce circa il 40% della superficie globale «occupata» dall'uomo (esclusi deserti, tundra, superfici artiche, ecc.) rendendo gli ecosistemi agricoli i più grandi ecosistemi terrestri del pianeta;
- l'agricoltura è responsabile di un terzo delle emissioni globali di gas serra. Le emissioni derivanti dal settore agricoltura costituiscono il 7,1% delle emissioni di gas serra totali, circa 30 milioni di tonnellate di anidride carbonica (CO₂) equivalente. L'agricoltura, infatti, determina emissioni di gas climalteranti in atmosfera, prevalentemente imputabili alla produzione di metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O) e, in misura minore di CO₂. Nel dettaglio, nel 2019 le emissioni totali di CH₄, N₂O e CO₂ da parte del settore rappresentano, rispettivamente, il 64,3%, il 34,3% e l'1,5% [3]. In confronto, la produzione di elettricità e i mezzi di trasporto (automobili, camion, aerei) producono meno gas serra;
- ogni anno si usano 4.000 Km³ di acqua (4 milioni di miliardi di litri) in agricoltura. La produzione alimentare è responsabile del 70% del consumo di acqua dolce. Mediamente, si consuma 1 litro di acqua per produrre 1 caloria di cibo;
- i fertilizzanti che hanno avuto un ruolo chiave nella rivoluzione verde, nel secolo scorso, per poter aumentare la produttività, di fatto hanno creato anche dei problemi. Sono stati usati in grandi quantità e si ritrovano in quasi tutti gli ecosistemi, circa il 50% circa dei fertilizzanti finisce nei fiumi e nelle falde invece che nelle coltivazioni;
- la trasformazione del suolo per produzione alimentare è la causa più importante della perdita di biodiversità.

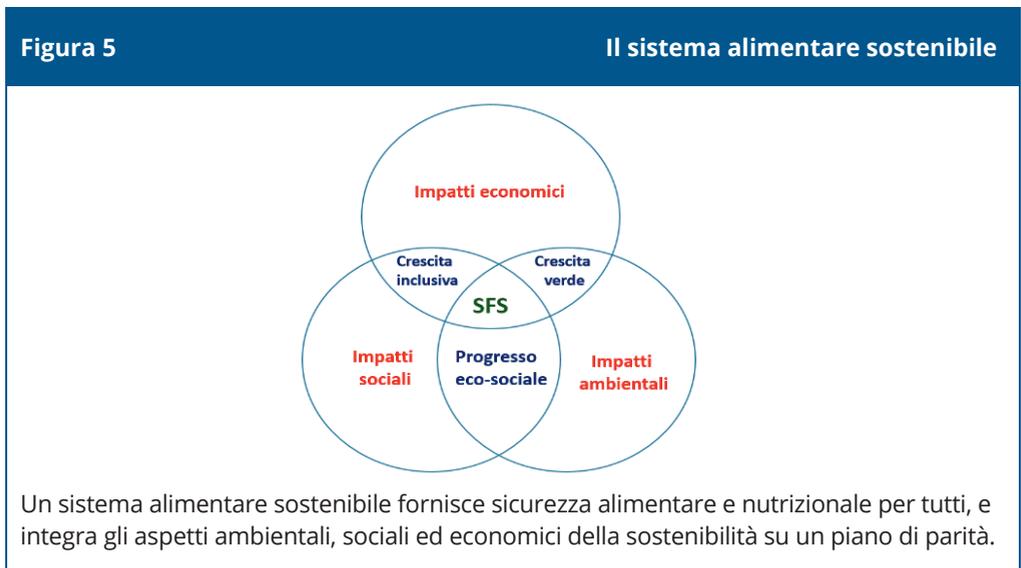
Importanti obiettivi che è necessario perseguire:

1. Fermare l'espansione dei terreni agricoli, salvare le foreste tropicali, le savane e i terreni agricoli più produttivi dalla espansione urbana.
2. Aumentare la resa delle coltivazioni attuali, principalmente di quelle meno produttive (in Africa, America centrale, Europa orientale) mediante sementi migliori (cereali e leguminose perenni inclusi).

3. Aumentare l'efficienza nell'uso delle risorse idriche, chimiche ed energetiche soprattutto mediante irrigazione a goccia, pacciamatura, lavorazioni minime, agricoltura di precisione.
4. Ridurre il consumo di carne, soprattutto bovina: gli allevamenti bovini intensivi usano circa 30 kg di cereali per produrre 1 kg di carne senza ossi, mentre gli allevamenti di polli e maiali sono più efficienti; se ci nutriamo solo di vegetali, la nostra disponibilità di calorie aumenterebbe del 50%. Promuovere quindi alimenti con un minore impatto ambientale, spostando idealmente le calorie da carne, pesce e latticini verso cereali, frutta, verdura e noci.
5. Ridurre le perdite alimentari lungo le catene di approvvigionamento e produzione, migliorare la conservazione dei cibi sugli scaffali grazie a un packaging intelligente e monitorare gli sprechi evitabili. Circa il 30% del cibo prodotto è buttato via, perso, lasciato marcire o consumato da organismi infestanti; nei paesi ricchi lo spreco avviene alla fine della filiera (cassonetti), nei paesi poveri all'inizio della filiera (insetti, roditori, ecc.).

Cosa si intende per un sistema alimentare sostenibile? Un sistema alimentare sostenibile (SFS) [4] è un sistema che fornisce sicurezza alimentare e nutrizionale per tutti, in modo tale che le basi economiche, sociali e ambientali per generare tale sicurezza non siano compromesse per le generazioni future (Figura 5). Esso:

- crea reddito (sostenibilità economica);
- determina benefici per la società (sostenibilità sociale);
- ha un impatto positivo o neutro sull'ambiente naturale (sostenibilità ambientale)



(Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

C'è uno stretto legame tra questioni ambientali e questioni sociali e umane che non può essere spezzato. *L'ambiente umano e l'ambiente naturale si degradano insieme, e non potremo affrontare adeguatamente il degrado ambientale, se non prestiamo attenzione alle cause che hanno attinenza con il degrado umano e sociale. Di fatto, il deterioramento dell'ambiente e quello della società colpiscono in modo speciale i più deboli del pianeta* [5].

La transizione a un sistema alimentare sostenibile è diventata, quindi, un catalizzatore chiave per raggiungere i *Goal di sviluppo sostenibile* (SDG) delle Nazioni unite al fine di porre fine alla povertà, proteggere il pianeta e garantire che entro il 2030 tutte le persone godano di pace e prosperità.

Il cibo è l'anello di congiunzione tra i 17 SDG date le dimensioni economiche, ambientali e sociali interconnesse con i sistemi alimentari.

Da un lato i sistemi alimentari sono in parte responsabili delle attuali sfide planetarie e sociali; dall'altro, sono in grado di contrastare queste sfide.

Considerando le sfide della società, questo processo di trasformazione deve essere accelerato, per questo il vertice delle Nazioni unite del 2021 ha proposto questi percorsi di azione:

- 1.** Garantire l'accesso a cibo sicuro e nutriente per tutti.
- 2.** Passaggio a modelli di consumo sostenibili.
- 3.** Promuovere una produzione positiva per la natura.
- 4.** Promuovere mezzi di sussistenza equi.
- 5.** Costruire resilienza alle vulnerabilità; agli shock e allo stress.

Con il *Green Deal* (Ce, 2021), l'Unione europea si è impegnata a trasformare radicalmente la sua economia in un'economia sostenibile, circolare e inclusiva. Mira a trasformare l'Ue in una società giusta e prospera, con un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva in cui non vi siano emissioni di gas a effetto serra nel 2050.

Pertanto, dovrebbe mirare a proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale dell'Ue e gli ecosistemi e proteggere la salute e il benessere dei cittadini dai rischi e dagli impatti legati all'ambiente.

Il *Green Deal* è parte integrante della strategia europea per attuare l'*Accordo di Parigi* sul clima e l'*Agenda 2030 delle Nazioni unite* per lo sviluppo sostenibile.

Figura 6 La strategia "Farm to Fork" per la sostenibilità dei sistemi alimentari

La strategia Farm to Fork, parte importante dell'European Green Deal, mira alla transizione verso un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente.

(Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

La strategia *Farm to Fork* (EC, 2021) (Figura 6) mira ad accelerare la transizione a un sistema alimentare sostenibile che:

- abbia un impatto ambientale neutro o positivo;
- aiuti a mitigare il cambiamento climatico e ad adattarsi ai suoi impatti;
- inverta la perdita di biodiversità;
- garantisca la sicurezza alimentare, la nutrizione e la salute pubblica, assicurando che tutti abbiano accesso ad alimenti sufficienti, sicuri, nutrienti e sostenibili e preservi l'accessibilità dei prodotti alimentari generando ritorni economici più equi, promuovendo la competitività del settore dell'approvvigionamento dell'Ue e promuovere il commercio equo.

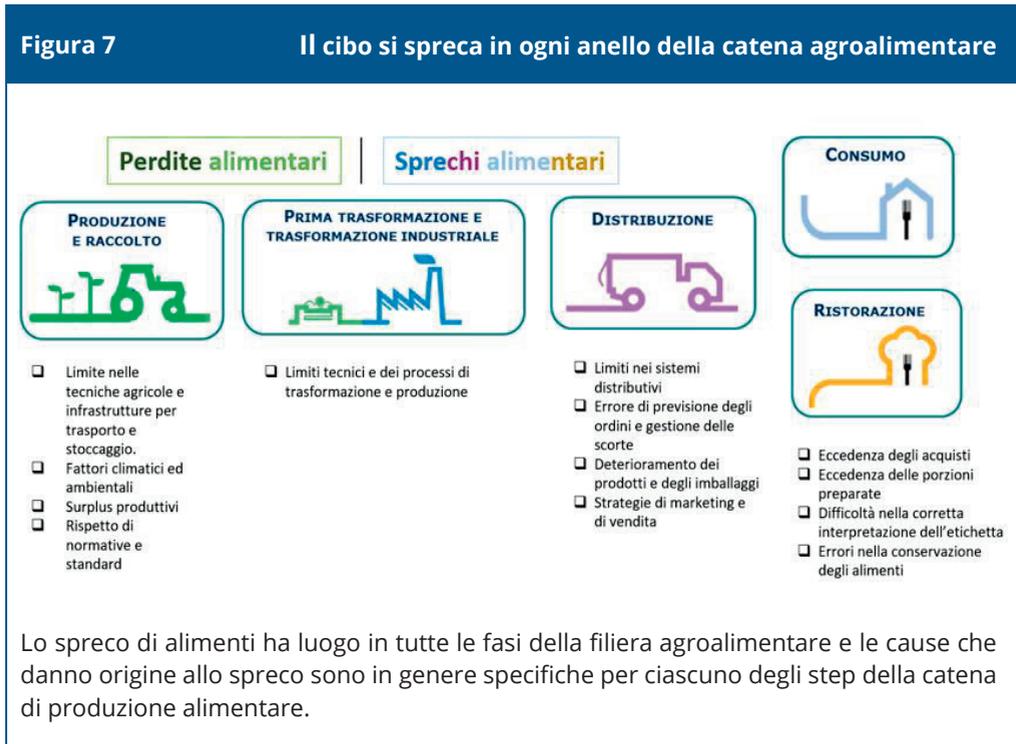
2.1.3 Lo spreco alimentare

Ogni anno nell'Ue vengono sprecate quasi 59 milioni di tonnellate di prodotti alimentari (131 kg/abitante), con un valore di mercato stimato a 132 miliardi di euro. Oltre la metà degli sprechi alimentari (53%) è prodotta dai nuclei familiari, seguiti dal settore della trasformazione e della produzione alimentare (20%). La lotta agli sprechi alimentari ha il triplice vantaggio di salvare gli alimenti destinati al consumo umano, contribuendo così alla sicurezza alimentare, aiutare le imprese e i consumatori a risparmiare denaro e di ridurre l'impatto ambientale della produzione e del consumo di alimenti.

L' Obiettivo 12 dei *Sustainable Development Goals* (SDGs) dell'*Agenda 2030* dell'Onu intende garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo.

Entro il 2030, è necessario dimezzare lo spreco alimentare globale pro-capite a livello di vendita al dettaglio e dei consumatori e ridurre le perdite di cibo durante le catene di produzione e di fornitura, comprese le perdite del post-raccolto.

Le perdite e gli sprechi alimentari rappresentano una sfida globale, accrescono il rischio di insicurezza alimentare, malnutrizione ed eccessivo consumo di acqua in un momento in cui la fame nel mondo è in aumento. Le inefficienze lungo la filiera alimentare e nei consumi hanno inoltre ripercussioni considerevoli sull'ambiente (Figura 7). Limitare le perdite e gli sprechi alimentari può dunque contribuire a combattere sia la fame che i problemi ambientali come i cambiamenti climatici.



(Inail – Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

Perdite alimentari (*Food losses*): perdite che si determinano a monte della filiera agroalimentare, principalmente in fase di semina, coltivazione, raccolta, trattamento conservazione e prima trasformazione agricola. Tali perdite che si verificano nei primi stadi della filiera alimentare sono relativamente alte, soprattutto per i cibi deteriorabili, nei Paesi in via di sviluppo; moderate nei paesi ricchi.

Sprechi alimentari (*Food waste*): sprechi che avvengono durante la trasformazione industriale, la distribuzione e il consumo finale. Tale spreco risulta più alto nei Paesi ricchi rispetto ai Paesi in via di sviluppo. Si definiscono gli sprechi alimentari quei prodotti alimentari scartati dalla catena agroalimentare per ragioni commerciali o estetiche ovvero per prossimità della data di scadenza, ancora commestibili e

potenzialmente destinabili al consumo umano o animale e che, in assenza di un possibile uso alternativo, sono destinati a essere smaltiti (Figura 8).

Gli sprechi alimentari possono essere suddivisi in:

“Inevitabili”: prodotti che non presentano le caratteristiche organolettiche e igieniche che ne garantiscono la consumabilità da parte della popolazione. Si tratta di perdite necessarie a garantire la sicurezza igienico-sanitaria dei prodotti e la salute dei consumatori e che devono essere eliminate e sono destinate a essere smaltite come rifiuto, sono quindi definite come “inevitabili”.

“Evitabili”: grandi quantità di prodotti alimentari ancora perfettamente consumabili che per le più svariate ragioni non possono raggiungere o sono state tolte dal mercato, e che di conseguenza sono definiti “sprechi alimentari evitabili”.



(Inail – Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

Spreco alimentare in Italia: stimato in oltre 15 miliardi di euro, risulta dalla somma dello spreco alimentare di filiera (produzione-distribuzione-commercio), complessivamente stimato in oltre 3 miliardi di euro ovvero il 21,1% del totale e dello spreco alimentare domestico reale (ossia quello misurato nelle case degli italiani attraverso il test dei *Diari di Famiglia*), che rappresenta quindi i 4/5 dello spreco complessivo di cibo in Italia e vale 11.858.314.935 euro. Tale fenomeno dello spreco risulta diseducativo per i giovani, immorale, determina spreco di risorse vitali e conseguente aumento dell'inquinamento.

In Italia è entrata in vigore il 14 settembre 2016, la legge n. 166 del 19 agosto 2016 sugli sprechi alimentari [6], che riguarda le *Norme per la limitazione degli sprechi, l'uso consapevole delle risorse e la sostenibilità ambientale*. I suoi obiettivi sono:

- favorire il recupero e la donazione delle eccedenze (alimenti e medicinali) a scopo solidale e sociale, destinandole ai poveri e ai bisognosi (gli operatori del settore alimentare che effettuano le cessioni devono prevedere corrette prassi operative al fine di garantire la *sicurezza igienico-sanitaria degli alimenti*);
- l'aiuto ai più fragili, garantendo loro il pasto quotidiano, è ciò che si ritiene essenziale e doveroso per la crescita della persona e di un sistema solidale. Allo stesso tempo, non si tratta solo di donare del cibo ma di restituire dignità alle persone, con la volontà di includere a pieno titolo nella società chi per qualche motivo si sente ai margini. È restituire un nome, cioè appartenenza e ruolo sociale, attraverso gesti concreti di condivisione e solidarietà [7];
- cercare di limitare l'impatto negativo sull'ambiente e sulle risorse naturali promuovendo il riuso e il riciclo dei prodotti;
- contribuire al raggiungimento degli obiettivi stabiliti dal Programma nazionale di prevenzione dei rifiuti e dello spreco alimentare;
- investire energie sull'attività di ricerca, informazione e sensibilizzazione delle istituzioni e dei consumatori, con particolare riferimento alle giovani generazioni.

La l. 166/2016 quindi ha posto l'obiettivo di ridurre gli sprechi durante la produzione, trasformazione, distribuzione e somministrazione di prodotti alimentari e farmaceutici. Ridurre la quantità di cibo sprecato è un elemento chiave nello sviluppo di programmi di produzione del sistema alimentare globale ambientale, etico e sostenibile. Lo spreco alimentare si verifica in tutte le fasi della produzione alimentare, a partire dalla raccolta, attraverso la produzione e la distribuzione e infine il consumo, ma il maggior contributo allo spreco alimentare nei paesi sviluppati si verifica sorprendentemente a casa. E il rifiuto alimentare che si genera, nella grande distribuzione e a casa, è per lo più evitabile, perché ancora commestibile [8]. La riduzione dello spreco alimentare, considerata una delle questioni prioritarie di sostenibilità da affrontare, può avere effetti ambientali, economici e sociali molto positivi. L'analisi dei dati provenienti da tutta Europa ha verificato una stima dello spreco alimentare nell'Ue di 59 milioni di tonnellate all'anno, e il settore che contribuisce maggiormente allo spreco alimentare annuale è quello delle famiglie, oltre la metà degli sprechi alimentari (53%) è prodotta infatti dai nuclei familiari [9], di cui, nei paesi sviluppati, i consumatori sono direttamente o indirettamente responsabili. Per ridurre lo spreco alimentare legato ai consumatori, è necessario avere una chiara comprensione dei fattori che influenzano le percezioni e i comportamenti dei consumatori legati allo spreco alimentare. La pandemia da COVID-19 ci ha permesso di effettuare una revisione approfondita della solidità degli attuali sistemi di produzione e consumo alimentare, poiché la crisi sanitaria ha

influenzato direttamente le abitudini di vita in tutto il pianeta, compreso il consumo di cibo e la relativa generazione di sprechi alimentari (*Food Loss and Waste*, FLW), principalmente a seguito dell'obbligo di "stare a casa". Recenti studi hanno rivelato che i comportamenti di consumo alimentare e di spreco alimentare, in alcuni casi, sono stati più virtuosi, dimostrando che la pandemia da COVID-19 ha migliorato l'atteggiamento delle persone verso una riduzione dello spreco e indirizzando a modelli di consumo più sostenibili. Durante il *lockdown*, le persone hanno avuto il tempo adeguato per migliorare le operazioni di pianificazione e conservazione degli alimenti, selezionare programmi alimentari, ecc., sia a livello industriale che domestico [10-13]. Inoltre, la crisi del COVID-19 ha rivelato un flusso di solidarietà senza precedenti. Considerando che il numero di gruppi sociali e famiglie vulnerabili è salito alle stelle nel giro di poche settimane, è stato imperativo applicare la gerarchia di gestione degli sprechi (FLW) lungo tutte le filiere alimentari, favorendo strategie di recupero attraverso le donazioni e, favorendo, quindi, la circolarità del settore agroalimentare.

Come precedentemente evidenziato, la legge sugli sprechi alimentari, entrata in vigore il 14 settembre 2016 [6], ha come obiettivo la riduzione degli sprechi attraverso il perseguimento di obiettivi prioritari, tra cui quello di: *contribuire ad attività di ricerca, informazione e sensibilizzazione dei consumatori e delle istituzioni sulle materie oggetto della presente legge, con particolare riferimento alle giovani generazioni*. La legge promuove quindi percorsi mirati all'educazione a una sana alimentazione e a una produzione alimentare ecosostenibile che sensibilizzi sugli squilibri esistenti a livello nazionale e internazionale nell'accesso al cibo.

2.1.4 Il progetto SPAIC: "cause dello SPreco Alimentare e Interventi Correttivi" - attività realizzata secondo accordo tra amministrazioni Ministero della salute e Inail

Il progetto SPAIC [14], considerato *best practice* dalla Fao [15], si allinea perfettamente agli obiettivi generali della legge e sceglie il "consumatore" (singolo individuo o intera famiglia) come elemento focale su cui intervenire, al fine di individuare e correggere i comportamenti scorretti che causano lo spreco alimentare, attraverso la promozione di un'adeguata campagna di informazione, formazione e sensibilizzazione che guidi verso stili di vita corretti. Lo scopo è quello di far acquisire al "consumatore" una certa consapevolezza sul tema degli sprechi alimentari cosicché egli sia in grado di tutelarsi dai forti interessi commerciali e dalla grande capacità di persuasione del mercato a favore del consumismo, tutelando al tempo stesso la propria salute e quella del pianeta.

Come ipotizzato dai ricercatori Inail, sono le giovani generazioni in particolare, anche per via del loro carattere in fase di maturazione, che risentono molto dell'influenza dei mass media. I ragazzi, infatti, hanno a disposizione una

straordinaria tecnologia multimediale e di interconnessione in tempo reale (internet, social network, app, ecc.) che li espone continuamente e velocemente a sollecitazioni derivate da slogan pubblicitari o messaggi e informazioni scorrette che, dilagando in brevissimo tempo tra i coetanei, diventano 'moda' e riescono a influenzare il loro comportamento e le loro scelte a vantaggio del mercato di profitto. Appare necessario, quindi, un intervento di tutela per questa generazione di ragazzi che, seppur oggi marginalmente coinvolti nello spreco alimentare, rappresentano i futuri consumatori e orientatori (influencer) del mercato di domani.

La proposta progettuale prevede, a tal proposito, di identificare i ragazzi sì come 'fragilità' da tutelare ma, allo stesso tempo, come elemento di forza da valorizzare. Punto focale del progetto è quello di sfruttare proprio questa loro straordinaria capacità di interconnessione e comunicazione, per far sì che gruppi di ragazzi, motivati nel riferirsi a informazioni scientificamente valide, possano essere anch'essi portatori e diffusori capillari di informazioni e messaggi corretti, sia all'interno del nucleo familiare che tra gli stessi coetanei. Intervenendo sulla formazione dei ragazzi è possibile, dunque, innescare la loro capacità di essere ideatori e diffusori di buone pratiche comportamentali che contrastino informazioni scorrette e diventino di tendenza fino al punto di radicalizzarsi nelle loro abitudini.

L'approccio metodologico scelto dai ricercatori, nell'ottica di un apprendimento permanente (*lifelong learning*), è quello del *nudging* (spinta gentile) [16], cioè di un efficace approccio psico-comportamentale orientato su di un modello educativo che spinga verso un comportamento corretto e che non risulti come imposizione autoritaria, ma come scelta dell'individuo stesso, stimolato a essere protagonista partecipe dell'obiettivo proposto.

L'ambito scolastico è risultato una realtà concreta dove poter attuare il progetto. Si può ricorrere a un coinvolgimento attivo degli studenti, offrendo loro l'opportunità di realizzare un'esperienza all'interno di un luogo a loro familiare e punto di riferimento connesso alle specificità del territorio da essi vissuto. Il progetto, quindi, ha posto lo studente come protagonista del percorso formativo fornendogli la conoscenza del tema, guidandolo verso l'acquisizione della consapevolezza, e stimolandolo a proporre soluzioni innovative, creative ed efficaci circa il tema dello spreco alimentare. Inoltre, l'atteggiamento responsabile verso il cibo viene proposto come aspetto collegato al rispetto del proprio stile di vita alimentare, del proprio e altrui benessere e del diritto di tutti a una corretta alimentazione. Sono stati poi ragazzi stessi, con i loro mezzi, con i loro linguaggi e con la loro grande capacità comunicativa a diffondere il messaggio in modo virale sia all'interno delle loro stesse famiglie, sia tra i coetanei, diventando, così, messaggeri di cultura di corretti stili di vita, per la salvaguardia della loro salute e del mondo che li circonda. Ed è proprio questo il punto di forza del nostro progetto. Obiettivi del progetto SPAIC: l'obiettivo generale del progetto è quello di fornire un'informazione volta a promuovere stili di vita corretti dei componenti individuali

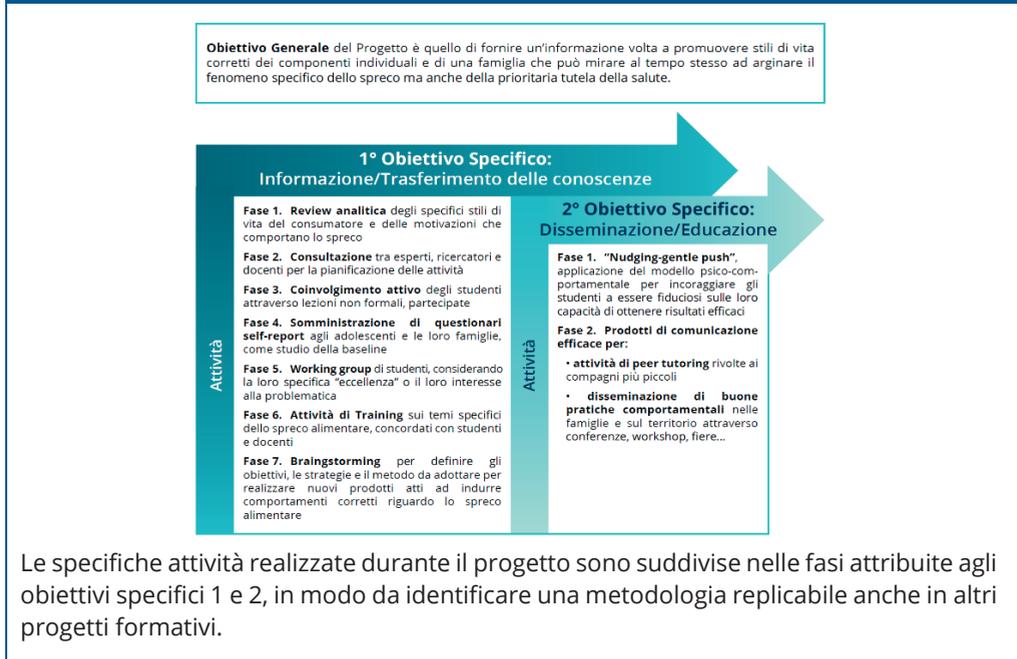
e di una famiglia che può mirare al tempo stesso ad arginare il fenomeno specifico dello spreco, ma anche alla prioritaria tutela della salute (Tabella 1 e Figura 9).

Tabella 1 Obiettivo generale di progetto e obiettivi specifici

OBIETTIVO GENERALE	
Fornire un'informazione volta a promuovere stili di vita corretti dei componenti individuali e di una famiglia che può mirare al tempo stesso ad arginare il fenomeno specifico dello spreco ma anche alla prioritaria tutela della salute.	
OBIETTIVI SPECIFICI	
Workpackage 1	Workpackage 2
Revisione analitica degli specifici stili di vita del consumatore, esplorando le motivazioni che comportano lo spreco per informare un gruppo selezionato di studenti da coinvolgere nella proposta di azioni correttive, partendo dall'evidenza che gli atteggiamenti e i comportamenti individuali possono influenzare significativamente le quantità di alimenti direttamente e indirettamente sprecati.	Realizzare modelli/prodotti educativi efficaci, contestualizzati in specifiche realtà territoriali, che facciano riferimento alla competenza degli esperti per l'adeguatezza dei contenuti scientifici e alla creatività e positivo protagonismo dei ragazzi per realizzare un messaggio efficace veicolabile in modo capillare attraverso i canali multimediali di loro consueta interazione.

Obiettivo generale di progetto e obiettivi specifici, le cui attività sono organizzate in 2 *Workpackage*.

Figura 9 Schematizzazione degli obiettivi del progetto: obiettivo generale e suddivisione in fasi degli obiettivi specifici 1 e 2

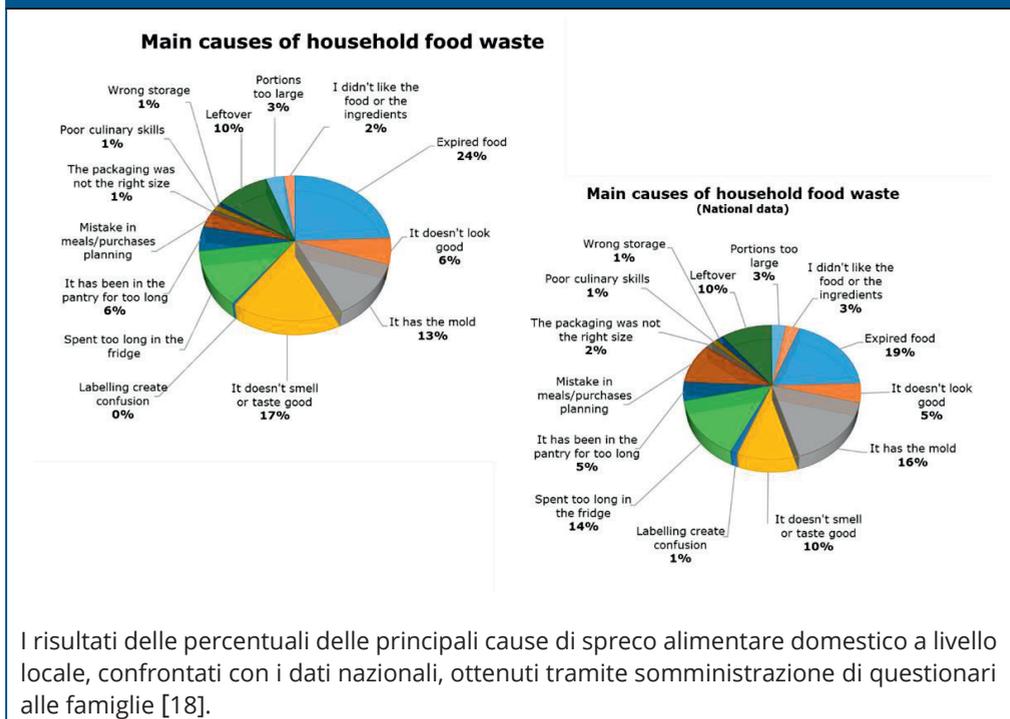


(Inail – Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

Una delle prime attività di progetto è consistita nel somministrare questionari self-report per valutare le abitudini e le conoscenze sullo spreco alimentare sia degli studenti che delle loro famiglie. Da una valutazione qualitativa del questionario (compilato da 212 studenti delle tre scuole coinvolte all'inizio del progetto), gli studenti sembravano avere uno scarso senso di responsabilità per lo spreco alimentare che si produce. Su una scala da 1 a 5, (livello 1 = per nulla responsabile; livello 5 = del tutto responsabile) il 41,51% ha scritto dichiarato di avere scarso senso di responsabilità (livello 2) e il 32,55% poco responsabile (livello 3).

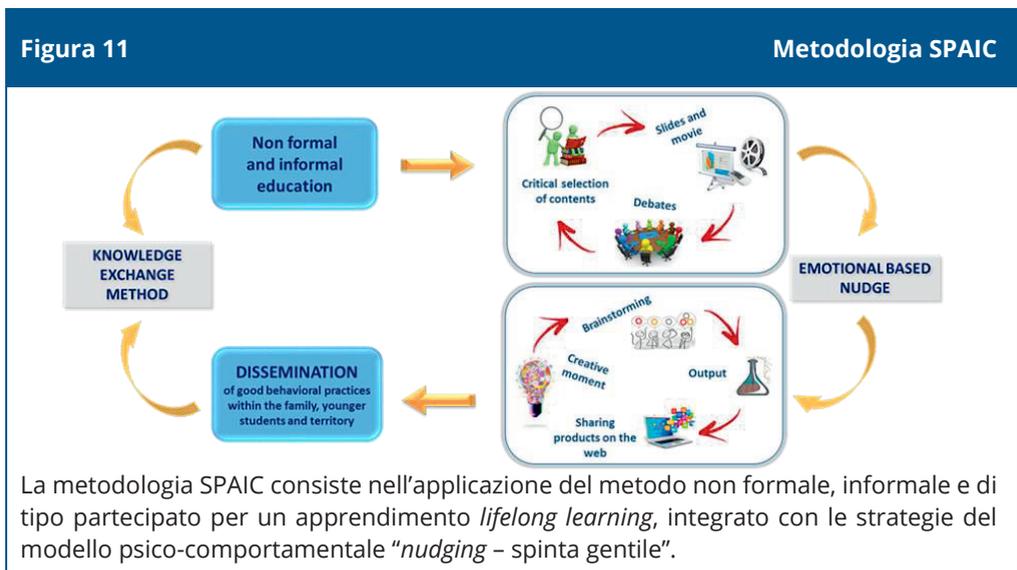
Tuttavia la maggior parte degli studenti (58,96%) ha mostrato una chiara volontà di essere informati sugli impatti ambientali negativi degli sprechi alimentari [17]. È interessante sottolineare che i risultati del questionario sulle famiglie conseguiti a livello locale (compilato da 114 famiglie) sono abbastanza paragonabili ai dati riportati da *Waste Watcher 2016* a livello nazionale. Alcuni dei risultati del questionario sulle abitudini alimentari e sugli sprechi a livello familiare sono mostrati nella Figura 10.

Figura 10 Risultati dell'indagine sullo spreco alimentare condotta presso la scuola Largo Brodolini di Pomezia



(Inail – Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

La metodologia SPAIC: è utilizzata per raggiungere gli obiettivi di progetto, consiste nell'applicazione del metodo non formale, informale e di tipo partecipato per un apprendimento *lifelong learning*, integrato con le strategie del modello psico-comportamentale "*nudging - spinta gentile*". Quindi, prevede il coinvolgimento attivo e partecipe degli studenti, la cooperazione tra studenti e tra scuole, l'interazione diretta tra studenti, esperti e docenti per la realizzazione di prodotti innovativi, con il fine di effettuare una campagna informativa non solo presso le famiglie, ma anche presso le altre scuole, medie ed elementari, per la tutela delle fragilità (di essi stessi e dei 'più piccoli'), e sul territorio (realizzazione della Terza missione dell'Università attraverso la Scuola). Si tratta di una metodologia innovativa da gestire 'in qualità in tutte le sue fasi che comprende sistematica attivazione di una procedura di monitoraggio e di controllo che assicuri il ricentramento degli obiettivi in corso d'opera, così da poter rispondere, nell'arco di tempo disponibile, alle finalità dello studio (*Knowledge exchange method*) (Figura 11) [19].



(Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

A partire dalle attuali conoscenze sul funzionamento della mente nei processi decisionali, è stato possibile ideare delle strategie creative per allestire un contesto che favorisse il coinvolgimento psicologico (*engagement*) e sollecitasse tramite "suggerimenti gentili" la messa in atto di determinati comportamenti nel contesto privato e pubblico, senza coercizione e lasciando libertà di scelta. Il funzionamento della mente umana e la presa di decisioni, infatti, non funzionano secondo impeccabili meccanismi di valutazione razionale dell'informazione, ma sono ampiamente influenzati dal pensiero implicito, dall'effetto framing (ossia in base a

come le informazioni sono presentate dai contesti socioculturali e a come vengono proposti gli stimoli), dalle euristiche ed emozioni, dalla risultante quindi del funzionamento della complessa rete dei meccanismi neuronali cognitivi ed emotivi. Thaler e Sunstein [20] presentano, attraverso il modello *Nudge* (spinta gentile), la possibilità in concreto di intervenire sull'architettura delle scelte delle persone, e suggeriscono la necessità di utilizzare i risultati delle scienze comportamentali per progettare politiche pubbliche più efficaci. Il *nudging* si propone quindi come un 'indicazione gentile' ad orientarsi verso quei comportamenti che possono essere vantaggiosi per il singolo o per la comunità, senza costringere o punire. In tal senso il *nudging* può essere inteso come uno strumento concettuale, metodologico e operativo per implementare interventi che siano 'a misura' dei destinatari, per rendere più semplice il modo in cui operano delle scelte che siano allo stesso tempo libere e funzionali al benessere individuale e collettivo. Il *nudging* è legato a una logica di cambiamento "dal basso", in cui è fondamentale il coinvolgimento dei destinatari (portatori di interessi), in una logica di partecipazione autentica perché mirata e non imposta.

Nell'ambito del progetto SPAIC il contesto entro il quale attuare gli interventi volti a sensibilizzare i giovani riguardo al tema della riduzione dello spreco alimentare è risultato essere quello di adolescenti che anche di fronte alla presa di consapevolezza della portata del fenomeno degli sprechi alimentari, si percepivano come poco fiduciosi delle proprie potenzialità e possibilità di essere efficaci agenti di cambiamento e risultavano quindi poco motivati ad attivarsi per modificare i loro atteggiamenti e comportamenti. Accanto e non certo in sostituzione ai metodi tradizionali, il *nudge* si propone come uno strumento di intervento che indirizza a capire quale sia la scelta "migliore" in un contesto, aiutando anche a capire quale sia la tecnica migliore per suggerire tale scelta, lasciando intatta l'autonomia della scelta individuale. Cambiamenti apparentemente anche molto piccoli possono produrre in tal modo grandi effetti. Nell'ambito del progetto SPAIC l'attivazione emotiva realizzata attraverso lo *ShowCoaching* (che nasce dall'unione di formazione/informazione spettacolarizzata con lo show e veicolata dalle capacità emozionanti di quest'ultimo), ha permesso di veicolare messaggi di autostima e di aumento dell'autoefficacia percepita, producendo un cambiamento nella fiducia riguardo alle proprie capacità e possibilità di diventare agenti di cambiamento e portatori di messaggi utili ed efficaci nella lotta agli sprechi alimentari. Questo approccio va oltre la metodologia della formazione partecipata, poiché attraverso la spinta gentile si producono piccole modifiche nella percezione delle proprie capacità di poter scegliere e compiere concretamente cambiamenti significativi. Attraverso questa esperienza è stato possibile far sperimentare ai ragazzi uno spazio e un tempo di sospensione dalla miriade di informazioni e stimolazioni a cui sono abitualmente sottoposti, in cui dare spazio e importanza alla propria dimensione emotiva, alla sua risonanza e alla sua valenza di motore motivazionale. Al termine dell'esperienza motivazionale i ragazzi si sono mostrati più propensi e motivati a mettersi in gioco personalmente per realizzare

strumenti di sensibilizzazione al tema degli sprechi alimentari e più fiduciosi rispetto al loro potenziale di essere efficaci agenti di cambiamento.

Altro tema affrontato è stato quello di una corretta alimentazione, attraverso lo slogan: *'NO al cibo nella spazzatura, NO al cibo spazzatura'*. Un'alimentazione variata in molecole alimentari, abbinata a un adeguato apporto calorico, è fondamentale a garantire la corretta funzionalità del nostro organismo. I cibi con i quali ci nutriamo possono essere considerati veri e propri modulatori epigenetici in grado di influenzare lo sviluppo e il mantenimento dell'organismo. Ma in che modo queste molecole alimentari influenzano la nostra salute? La nutrigenomica, ovvero la scienza che studia le possibili interazioni tra molecole introdotte con l'alimentazione e il DNA, ci spiega che ciò avviene attraverso l'induzione da parte delle molecole alimentari di cambiamenti epigenetici del DNA, ovvero cambiamenti stabili, ereditabili e reversibili del DNA, che causano regolazione nell'espressione genica, senza che ci sia una modifica nella sequenza originale [21]. È opportuno evidenziare come il progetto risponda principalmente agli obiettivi 3, 4 e soprattutto 12 dell'Agenda 2030. Ma bisogna considerare come, al di là degli aspetti tecnico scientifici forniti ai ragazzi, è sempre stata forte l'attenzione degli studenti agli aspetti etici, quasi una loro richiesta di motivare in senso profondo lo 'sforzo' di lavorare su queste tematiche. Questo rivestire di profondo senso etico il lavoro scientifico si può perfettamente ritrovare nei suddetti goal per lo sviluppo sostenibile. In cui accanto al goal 4 (educazione di qualità) o 8 (lavoro dignitoso, tutela della salute del lavoratore, crescita economica) c'è il 10 (ridurre le disuguaglianze nell'accesso alle risorse), il 12 (produzione e consumo responsabile) e il 3 (salute e benessere come corretta nutrizione) (Figura 12).

Figura 12

I cinque obiettivi di sviluppo sostenibile, Agenda 2030 dell'Onu, perseguiti dal progetto



(Inail – Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici)

Dall'esperienza risulta chiaro che: per raggiungere un vero progresso bisogna operare in modo trasversale non trascurando nessuno degli aspetti che ruotano intorno a una problematica. Coerentemente con quanto detto, lo slogan/tormentone proposto durante lo svolgimento del progetto è stato *'NO al cibo nella spazzatura NO al cibo spazzatura'*, il cibo spazzatura fa male alla salute dell'uomo, il cibo nella spazzatura fa male alla salute della natura. In un caso e nell'altro si spreca qualcosa: la salute, l'ambiente, le risorse naturali, il lavoro. Quasi a sottolineare l'importanza di ridare valore al cibo, che non deve essere cibo spazzatura né deve finire nella spazzatura, in modo che una colta attenzione al fenomeno dello spreco alimentare catalizzi una positiva reazione dei giovani verso la costruzione di una società più sana, equa e sostenibile. Sono così stati stimolati i ragazzi ad avere atteggiamenti critici e responsabili e a essere consapevoli delle proprie scelte, che devono essere sempre guidate da una corretta documentazione. I prodotti realizzati (Url: https://youtu.be/_pAwtzcZstY; Url: <https://innsite.it/news/106-evento-inail-11-aprile-2018>) e la risposta partecipativa degli studenti sono stati agevolmente contabilizzati dai docenti tutor, andando a costituire di fatto gli indicatori di efficacia (specifici, misurabili, rilevanti e collocati nel tempo) che vanno a completare la procedura metodologica proposta.

In conclusione, il toolkit realizzato, scaricabile dal sito Url: <https://innsite.it/attivita/scuola/progetti/toolkit-spaic>, è finalizzato alla possibilità di replicare in ambito scolastico esteso le attività del Progetto SPAIC riguardo le tematiche legate al contrasto dello spreco alimentare, nelle sue diverse accezioni. È infatti da sottolineare quanto l'efficacia, il rigore scientifico e la trasversalità della metodologia didattica, renda il metodo SPAIC applicabile e spendibile in altri contesti progettuali sia di Alternanza Scuola Lavoro che in altre attività didattiche e dunque anche per tematiche diverse da quelle dello spreco alimentare dal quale il metodo ha preso le mosse. A questo proposito, la metodologia progettuale è stata replicata in diverse scuole, tra cui l'ITA Garibaldi presso cui è stato realizzato il progetto *Sicurezza e salute sul lavoro nel settore lattiero-caseario: Il Metodo Nobile*. Url: https://youtu.be/fe02LL_Xg8c. E, inoltre, l'esperienza del progetto SPAIC ha suscitato grande interesse tanto da realizzare nuove attività collaborative, prima con il progetto *Erasmus Plus Toward Inclusive Education* (Url: <https://innsite.it/attivita/scuola/progetti/erasmus-plus>) e da poco attraverso la formalizzazione di un nuovo Agreement tra Inail e APRE al fine di aderire in qualità di partner al progetto *STEAM Learning Ecologies (SLEs)*, finanziato dalla Commissione europea nell'ambito del programma *Horizon Europe*. Il progetto SLEs si occupa di promuovere percorsi di educazione scientifica stimolanti e inclusivi tramite la collaborazione tra diversi attori, in contesti di educazione formale e non formale in 7 paesi europei. Si tratta di un *Percorso di educazione all'economia circolare e bioeconomia per le nuove generazioni (2023/2024)* che ha l'obiettivo di educare i giovani in modo

coinvolgente, con la modalità del *living lab*, alle opportunità di economia circolare e bioeconomia, co-creare nuove risorse educative, e stimolare i giovani a opportunità di studio e carriera nel settore. Tramite il percorso educativo, gli studenti impareranno il riutilizzo delle risorse biologiche, la produzione dei bio-prodotti in chiave sostenibile e a mettere in atto comportamenti sostenibili di tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi. Inoltre, il percorso mira anche a comprendere gli stereotipi/gap di genere nelle materie STEM, oltre che a rendere inclusivi e stimolanti i percorsi di apprendimento nella materia, tramite l'integrazione di più materie curriculari e competenze quali il *problem-solving* e creatività negli studi scientifici. Attraverso la metodologia del *living lab*, gli studenti e studentesse realizzano risorse educative innovative e replicabili in altri contesti, così la scuola diventa promotrice della diffusione di modelli e azioni sostenibili e circolari; educare le giovani generazioni a comportamenti ispirati alla bioeconomia è il primo passo per cambiare gli stili di vita verso modelli di consumo sostenibili. L'obiettivo è portare a una maggiore responsabilità, motivazione agli studenti sviluppando conoscenze, pensiero critico e creativo riguardo all'uso quotidiano della bioeconomia e principi dell'economia circolare.

2.1.5 Le attività della ricerca e le Nuove tecniche genomiche (NGT)

Le principali attività di ricerca in tema di prevenzione allo spreco:

- l'introduzione di strumenti che sfruttino i social network o applicazioni innovative delle ITC (es: *augmented reality technology*) per coinvolgere i consumatori nei processi e nei problemi produttivi o sensibilizzarli verso le più efficienti modalità di consumo e di utilizzo, inducendo così comportamenti attenti alla riduzione degli sprechi al consumo;
- il miglioramento delle tecnologie impiegate nella conservazione dei prodotti durante le fasi di trasporto, distribuzione e vendita;
- la ricerca e le innovazioni per aumentare la *shelf life* dei prodotti, anche mediante *packaging* innovativi;
- gli studi sulla vocazionalità produttiva dei territori e dei suoli, nonché sulla biodiversità locale e sull'adattabilità di piante/animali ai cambiamenti climatici, in modo da ridurre le problematiche fitosanitarie e sanitarie che comportano scarti alla produzione;
- la ricerca varietale e le nuove tecniche genomiche.

Spreco alimentare come risorsa: il paradosso illuminato dell'economia circolare.

In un'ottica di economia circolare, l'azione preventiva lungo tutte le fasi della filiera agroalimentare contribuisce a vincere nel tempo la sfida di avere cibo sufficiente, salubre e sostenibile. L'economia circolare è un modello di

produzione e consumo che cerca di minimizzare i rifiuti, valorizzandoli come risorsa e inserendoli all'interno di un ciclo di vita continuo, quanto più possibile. Risulta quindi necessaria la transizione da un modello lineare a un modello circolare, che nella considerazione di tutte le fasi – dalla progettazione, alla produzione, al consumo, fino alla destinazione di fine vita – sappia cogliere ogni opportunità di limitare l'apporto di materia ed energia in ingresso e di minimizzare scarti e perdite, ponendo attenzione alla prevenzione delle esternalità ambientali negative e alla realizzazione di nuovo valore sociale e territoriale. Da queste considerazioni, per combattere lo spreco alimentare, molte imprese agri-food si stanno muovendo in una prospettiva di economia circolare per rendere più efficienti i processi e rafforzare la responsabilità sociale d'impresa. Negli scorsi anni in Italia l'intensità con cui le eccedenze sono recuperate è cresciuta, grazie a:

- una maggiore consapevolezza sociale;
- al diffondersi di nuovi materiali di imballaggio per estendere la durata di vita dei prodotti;
- nuove tecnologie digitali per ottimizzare i processi aziendali e migliorare la gestione delle scorte alimentari;
- donazioni di alimenti in eccedenza da parte degli attori della filiera a favore delle organizzazioni del Terzo settore.

La transizione verso l'economia circolare e la bioeconomia prevede il superamento delle vecchie logiche dell'economia lineare in funzione del nuovo modello dell'economia circolare, basato sul riutilizzo, sul riciclo e sul contrasto degli sprechi. Si tratta di un modello che prevede produzioni più durevoli, finalizzate a estendere il ciclo vitale dei prodotti, riducendo la probabilità che finiscano in discarica e limitando il consumo di risorse necessarie per la fabbricazione di nuovi beni.

L'Osservatorio *Food Sustainability (School of Management* del Politecnico di Milano) ha individuato le pratiche più diffuse e quelle meno consolidate di prevenzione e gestione circolare delle eccedenze nei diversi stadi della filiera agroalimentare (Tabella 2), ma evidenzia come la vera sfida sia passare da azioni di recupero eccellenti ma a volte isolate o difficilmente scalabili a una vera e propria *filiera del recupero*, dove si coniughino soluzioni tecnologiche, collaborazione e razionalizzazione dei processi in un'ottica di sistema che coinvolga gli attori della filiera e i partner intersettoriali.

Tabella 2 Pratiche di prevenzione e gestione circolare delle eccedenze nei diversi stadi della filiera agroalimentare		
	Pratiche più diffuse	Pratiche meno consolidate
Tra i produttori agricoli, in particolare per l'ortofrutta:	Tecnologie di agricoltura di precisione per monitorare la salute delle coltivazioni ed elaborare interventi mirati in campo, prevenendo il generarsi di sprechi. Pratiche di riutilizzo e redistribuzione a fini sociali delle eccedenze generate.	Poco diffuso ma innovativo l'inserimento di tecnologie di selezione dell'ortofrutta nei processi produttivi, che permette di ridurre gli scarti, sia in campo che nei centri di raccolta, e di rispondere alle esigenze del mercato.
Tra le aziende di trasformazione:	Utilizzo di <i>best practice</i> in riutilizzo e redistribuzione dei prodotti finiti in eccedenza per l'alimentazione umana, prevenzione delle eccedenze attraverso <i>sales and operations planning</i> (S&OP), tecnologie digitali per tracciare data di scadenza e stato di conservazione degli alimenti, materiali di imballaggio che estendono <i>la shelf life</i> dei prodotti.	Poco diffuse sono le azioni di riutilizzo delle eccedenze generate negli stabilimenti, altamente deperibili e quindi difficilmente recuperabili, che necessitano di nuovi meccanismi di collaborazione, sia di filiera che cross-settoriali.

In Italia, il mercato dell'economia circolare vale 15 miliardi di euro, stando al report stilato nel 2023 dall'Osservatorio *Circular Economy di Energy&Strategy* del Politecnico di Milano, e l'agroalimentare è tra i settori più attrattivi per investimenti innovativi e sostenibili. I settori che attraggono più investimenti per soluzioni innovative e circolari sono l'energia e l'agroalimentare. Quest'ultimo risulta anche il comparto con il maggior numero di finanziamenti seguito dal tessile. Anche in Italia, sono in crescita le imprese e startup che hanno deciso di investire sul binomio *Food Sustainability*. Alcune startup emergenti italiane hanno accettato la sfida di dare nuova vita agli scarti alimentari, e presentano risultati virtuosi, come ad esempio: la produzione di inchiostro da stampa ricavato dall'olio alimentare esausto, al fine di *costruire un paradigma produttivo diverso, basato sulle risorse rinnovabili. Per questa startup non esistono scarti, ma solo nuove possibilità*; la

produzione di nuovi materiali *bio-based* dalla buccia della frutta, senza sottrarre nuove colture alla catena alimentare o generare altri scarti, la produzione di pellet a partire dagli scarti del caffè, attività che mira a ridare dignità alla materia [22].

Sistemi alimentari più resilienti con le nuove tecniche genomiche: Il *Green Deal* europeo promuove un uso più sostenibile delle risorse naturali vegetali e del suolo. Tali norme contribuiranno alla prosperità delle zone rurali, alla sicurezza alimentare e a una bioeconomia resiliente e prospera, porranno l'Ue all'avanguardia nell'innovazione e nello sviluppo e contribuiranno a invertire la perdita di biodiversità e a preparare una risposta alle conseguenze dei cambiamenti climatici. La normativa sul monitoraggio dei suoli consentirà all'Ue di pervenire a suoli sani entro il 2050, attraverso la raccolta di dati sulla salute dei suoli e la messa a disposizione di tali dati per agricoltori e per altri gestori dei suoli. Tale normativa prevede che la gestione sostenibile del suolo diventi la norma. Inoltre, di grande interesse per l'innovazione e la sostenibilità, sono le proposte che consentiranno l'utilizzo delle nuove tecniche genomiche (NGT). Le NGT consentono di sviluppare nuove varietà vegetali, resilienti ai cambiamenti climatici e resistenti agli organismi nocivi, che richiedono meno fertilizzanti e pesticidi e possono garantire rese più elevate, contribuendo a dimezzare l'uso e il rischio dei pesticidi chimici e riducendo la dipendenza dell'Ue dalle importazioni agricole. Offrono la garanzia di sementi e materiale riproduttivo più sostenibile, di alta qualità e diversificato per piante e foreste.

Le nuove tecnologie, quindi, possono contribuire a rafforzare la resilienza dei terreni agricoli e forestali, e a proteggere i raccolti dagli effetti dei cambiamenti climatici, della perdita di biodiversità e del degrado ambientale. Le NGT, strumenti innovativi che contribuiscono ad aumentare la sostenibilità e la resilienza del nostro sistema alimentare, nella maggior parte dei casi, determinano cambiamenti più mirati, più precisi e più rapidi rispetto alle tecniche convenzionali, pur producendo colture identiche a quelle che si sarebbero potute ottenere con tecniche classiche come la selezione delle sementi e gli incroci.

La proposta della Commissione europea [23]:

- definisce due categorie di piante ottenute dalle NGT: piante NGT comparabili alle piante esistenti in natura o convenzionali e piante NGT con modifiche più complesse; per raggiungere il mercato le due categorie saranno soggette a requisiti diversi che tengono conto delle loro diverse caratteristiche e dei loro diversi profili di rischio. Le piante della prima categoria dovranno essere notificate. Le piante della seconda categoria saranno oggetto della più ampia procedura prevista dalla direttiva OGM;
- fornisce incentivi per orientare lo sviluppo delle piante verso una maggiore sostenibilità;
- garantisce la trasparenza su tutte le piante NGT presenti sul mercato dell'Ue (es.: etichettatura);
- offre un solido monitoraggio dell'impatto economico, ambientale e sociale dei prodotti NGT.

In Italia a giugno 2023 il Parlamento ha approvato che le piante TEA (Tecniche di evoluzione assistita) e cisgeniche vadano in campo per la ricerca, secondo l'art. 9-bis (Disposizioni urgenti in materia di genetica agraria) [24], al fine di consentire lo svolgimento delle attività di ricerca presso siti sperimentali autorizzati, a sostegno di produzioni vegetali in grado di rispondere in maniera adeguata a scarsità idrica e in presenza di stress ambientali e biotici di particolare intensità, nelle more dell'adozione, da parte dell'Unione europea, di una disciplina organica in materia, l'autorizzazione all'emissione deliberata nell'ambiente di organismi prodotti con tecniche di editing genomico mediante mutagenesi sito-diretta o di cisgenesi a fini sperimentali e scientifici è soggetta, fino al 31 dicembre 2024, alle disposizioni di cui al presente articolo.

2.2 SICUREZZA ALIMENTARE

La maggior parte delle sostanze chimiche presenti negli alimenti, quali i nutrienti come carboidrati, proteine, grassi e fibre, sono innocue e contribuiscono a rendere la nostra dieta sana ed equilibrata. Tuttavia, alcune sostanze chimiche possono presentare proprietà tossicologiche che possono causare effetti sull'uomo e sugli animali. Gli effetti possono essere nocivi in caso di esposizione a grandi quantità per un lungo periodo di tempo. Pertanto, la valutazione dei fattori che influenzano la qualità e la gestione delle sostanze alimentari immesse sul mercato garantisce la tutela del consumatore sul consumo di cibi sicuri e di alta qualità.

Come in tutta l'Unione europea, l'Italia ha leggi e regolamenti severi in materia di produzione, distribuzione e commercializzazione degli alimenti. L'Autorità europea per la sicurezza alimentare (Efsa) [25] rappresenta l'organismo europeo di riferimento per la valutazione e il monitoraggio della sicurezza alimentare a livello europeo.

In termini di supervisione e controllo, l'Italia effettua ispezioni regolari in tutte le fasi della catena alimentare per verificare e rispettare le normative, la qualità dei prodotti e le condizioni igieniche negli impianti di produzione e nei ristoranti. Inoltre è stato predisposto un sistema di tracciabilità che permette di identificare e ritirare rapidamente dal mercato prodotti potenzialmente pericolosi, in caso di emergenza alimentare o contaminazione.

2.2.1 Regolamentazione e il ruolo dell'Efsa nell'Unione europea

L'Efsa è un organismo indipendente fondato nel 2002, con sede a Parma, che svolge un importante compito nell'elaborazione delle normative, pareri, decisioni e nella valutazione dei rischi alimentari nell'Unione europea per lo sviluppo della legislazione alimentare.

La sua missione principale è tutelare la salute dei cittadini europei garantendo la sicurezza degli alimenti e delle bevande attraverso la valutazione scientifica dei rischi a esse associati. Tale valutazione comprende le sostanze chimiche, i contaminanti, gli organismi geneticamente modificati (OGM) e i nuovi alimenti. Inoltre stabilisce i limiti massimi di residui, le direttive sulla sicurezza degli OGM e le normative sugli additivi alimentari e aggiorna regolarmente le sue valutazioni in base alle nuove informazioni e scoperte scientifiche.

Il reg. (Ce) 2002/178 [26], sulla sicurezza alimentare generale stabilisce i principi e le procedure per garantire la sicurezza alimentare nell'Ue.

La valutazione dei rischi alimentari è necessaria per riconoscere, valutare e gestire i potenziali rischi associati agli alimenti. Questo processo si articola attraverso l'identificazione del rischio, la valutazione del rischio e la gestione del rischio.

Il primo step consiste nell'identificare e riconoscere i potenziali pericoli alimentari, quali batteri patogeni, contaminanti chimici o allergeni, che potrebbero arrecare danni alla salute umana. In seguito, grazie alla valutazione dei dati scientifici e delle informazioni disponibili, si valuta la probabilità che il pericolo si verifichi e la gravità del potenziale danno alla salute umana. Infine, dopo aver identificato e valutato il rischio, si sviluppano strategie per gestirlo o mitigarlo attraverso l'implementazione di normative, l'adozione di pratiche di produzione sicure o il ritiro dal mercato di prodotti contaminati.

Questo approccio strutturato è essenziale per garantire la sicurezza degli alimenti e proteggere la salute dei consumatori. L'identificazione precoce dei potenziali pericoli consente di adottare misure preventive e correttive tempestive, riducendo al minimo il rischio di esposizione a sostanze dannose. La valutazione accurata della probabilità e della gravità del rischio fornisce una base scientifica la gestione dei rischi alimentari.

La gestione del rischio implica l'implementazione di normative e procedure specifiche per prevenire o ridurre i rischi associati agli alimenti. Ciò può includere l'adozione di pratiche di produzione sicure, il monitoraggio regolare della catena alimentare, l'implementazione di sistemi di tracciabilità per consentire il rapido ritiro di prodotti contaminati e altre misure preventive.

L'Efsa, nell'ambito della sua valutazione delle sostanze chimiche, focalizza la sua attenzione su tre principali macroaree: gli ingredienti alimentari, i residui presenti nella filiera alimentare e i contaminanti presenti in alimenti e mangimi. A questi vanno aggiunti i "nuovi alimenti", ovvero gli alimenti caratterizzati da ingredienti provenienti da fonti non tradizionali o da processi di produzione innovativi, che comprendono una vasta gamma di prodotti. Questa categoria riflette la continua evoluzione del panorama alimentare, che grazie alla ricerca, porta a nuove soluzioni e opzioni alimentari al di là delle convenzionali fonti di approvvigionamento. Basti pensare agli alimenti a base di insetti che stanno affacciandosi sul mercato come fonte proteica sostenibile, o alle applicazioni della

nanotecnologia che consentiranno nuove prospettive nella produzione e nella manipolazione degli alimenti.

Il monitoraggio di queste tendenze alimentari emergenti contribuisce a garantire che le normative e le linee guida siano adattate alle opportunità presentate dai nuovi sviluppi nel settore alimentare. In questo modo, l'Efsa gioca un ruolo chiave nel promuovere alimenti innovativi, sicuri e sostenibili sul mercato europeo.

2.2.2 Ingredienti alimentari

Tra gli ingredienti alimentari si annoverano: additivi alimentari, enzimi alimentari, aromatizzanti alimentari, integratori alimentari e sostanze e preparati botanici.

La legislazione vigente sugli ingredienti alimentari è consolidata da quattro regolamenti semplificati, compresi nel reg. (Ce) 2008/1331 [27], che ha introdotto una procedura uniforme per l'autorizzazione di additivi, enzimi e aromi alimentari.

- **Additivi alimentari:** sono sostanze chimiche che vengono aggiunte agli alimenti durante il processo di produzione per migliorarne la qualità la conservazione, l'aspetto o il gusto. Prima dell'approvazione, la sicurezza degli additivi alimentari è valutata attraverso studi scientifici e valutazione dei rischi, che considerano dosi di esposizione, possibili effetti avversi sulla salute e gruppi di popolazione sensibili. Le informazioni sull'etichetta devono specificare il nome dell'additivo o il suo numero di identificazione per una facile riconoscibilità. L'Unione europea, tramite il reg. (Ce) 2008/1333 [28], stabilisce le condizioni d'uso degli additivi alimentari e gestisce la loro autorizzazione e inclusione nell'elenco ufficiale degli additivi alimentari autorizzati.
- **Enzimi alimentari:** utilizzati per migliorare processi di produzione come la panificazione o la produzione di formaggio. La regolamentazione degli enzimi alimentari nell'Unione europea è disciplinata dal reg. (Ce) 2008/1332 [29], che stabilisce le procedure per l'autorizzazione degli enzimi alimentari. Questo regolamento è stato adottato in conformità al reg. (Ce) 2008/1331, che istituisce una procedura di autorizzazione comune per gli additivi, gli enzimi e gli aromi alimentari nell'Ue. Gli enzimi alimentari devono essere autorizzati prima di essere utilizzati nell'industria alimentare. Gli operatori del settore devono presentare una domanda di autorizzazione all'Efsa, che valuta la sicurezza dell'uso previsto dell'enzima attraverso un'analisi approfondita dei dati scientifici, che include la determinazione delle dosi di esposizione, la valutazione dei potenziali effetti avversi sulla salute e l'identificazione di gruppi di popolazione sensibili. Inoltre sono tenuti a fornire informazioni chiare e comprensibili sull'etichetta dei prodotti contenenti enzimi alimentari autorizzati, inclusi il nome dell'enzima e il numero di autorizzazione. Gli enzimi alimentari autorizzati sono inseriti in un elenco che viene periodicamente aggiornato in base alle nuove autorizzazioni e revisioni della sicurezza.

- **Aromatizzanti alimentari:** sono sostanze aggiunte agli alimenti per conferire loro specifici sapori e odori. Possono derivare da processi di origine vegetale o sintetica. Il reg. (Ce) 2008/1334 [30] stabilisce i requisiti generali per l'uso degli aromi nell'Ue e fornisce la definizione dei diversi tipi di aromi. Questo regolamento stabilisce le sostanze che richiedono una valutazione e un'approvazione preventiva e delinea le condizioni e le restrizioni generali per l'utilizzo di aromi negli alimenti nell'Ue. Il regolamento fornisce chiare definizioni di diversi tipi di aromi, stabilendo distinzioni tra gli aromi naturali, gli aromi identici a quelli naturali e gli aromi artificiali. Queste definizioni sono fondamentali per garantire una corretta etichettatura e informazione del consumatore. Gli aromi approvati sono inclusi in un elenco dell'Ue, periodicamente aggiornato, che fornisce un riferimento ufficiale per gli operatori del settore alimentare e le autorità di regolamentazione. Gli operatori del settore alimentare sono tenuti a etichettare chiaramente gli alimenti contenenti aromi, indicando il tipo di aroma utilizzato per garantire ai consumatori informazioni trasparenti sulla composizione degli alimenti.
- **Integratori alimentari:** apportano fonti concentrati di nutrienti, vitamine e minerali, con lo scopo di correggere eventuali carenze nutrizionali o mantenere il giusto apporto nutrizionale. Non sono considerati medicinali in quanto non esercitano un'azione farmacologica e pertanto sono disciplinati come ingredienti alimentari, dal reg. (Ce) 178/2002 [26] della legislazione alimentare dell'Ue che attribuisce la responsabilità della sicurezza all'operatore del settore alimentare che introduce il prodotto sul mercato. La principale normativa di riferimento nell'Ue per gli integratori alimentari è la dir. 2002/46/Ce [31], che prevede elenchi armonizzati di vitamine e sostanze minerali utilizzate nella produzione di integratori alimentari e i requisiti di etichettatura per tali prodotti, e stabilisce i livelli massimi di sicurezza e i valori di assunzione giornaliera raccomandati. Oltre a vitamine e minerali, la direttiva prevede che altre sostanze, come aminoacidi, erbe, fibre, e altre con effetti nutrizionali o fisiologici, possano essere utilizzate negli integratori alimentari, a condizione che siano sicure e che siano presenti in quantità che non superino i livelli massimi definiti. Gli operatori del settore alimentare devono ottenere l'autorizzazione prima di mettere in commercio un nuovo integratore alimentare, e l'etichettatura deve fornire informazioni chiare e comprensibili per i consumatori.
- **Sostanze e preparati botanici:** sono preparazioni a base di piante, alghe, funghi e licheni commercializzati come integratori alimentari che contengono ingredienti diversi da vitamine e minerali. Non esiste ancora una procedura centralizzata di autorizzazione per l'uso di queste sostanze negli alimenti; tuttavia per il loro utilizzo si deve far riferimento sempre al reg. (Ce) 2002/178 che stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare nell'Unione europea. Per le sostanze i preparati che vengono considerati come medicinali, l'Agenzia europea dei medicinali (Ema) è responsabile della sola valutazione della sicurezza ed efficacia.

2.2.3 Residui nella filiera alimentare

Tra i residui nella filiera vanno considerati gli additivi per mangimi, i materiali a contatto con gli alimenti e i prodotti fitosanitari. Nello specifico:

- Materiali a contatto con gli alimenti comprendono tutti gli oggetti e le sostanze destinati a entrare in contatto con gli alimenti durante il processo di produzione, imballaggio o conservazione. Questi materiali possono essere realizzati da diverse sostanze, tra cui plastica, gomma, carta e metallo. La sicurezza di tali materiali è essenziale per evitare la migrazione indesiderata di sostanze chimiche dagli stessi agli alimenti e alle bevande. I requisiti generali per i materiali a contatto con gli alimenti sono stabiliti dal reg. quadro (Ce) 1935/2004 [32]. Le buone pratiche di fabbricazione per tali materiali sono descritte nel reg. (Ce) 2023/2006 [33]. Queste normative mirano a garantire la conformità dei materiali agli standard di sicurezza per proteggere la salute umana. In questa categoria sono compresi anche i materiali "attivi" a contatto con gli alimenti, i quali hanno la funzione di assorbire o rilasciare sostanze al fine di migliorare la qualità o prolungare la conservazione degli alimenti confezionati. Il reg. (Ce) 2009/450 [34] stabilisce i requisiti specifici per l'uso e l'autorizzazione di materiali e oggetti attivi e intelligenti destinati a entrare in contatto con i prodotti alimentari. Inoltre, viene definito un elenco Ue delle sostanze che possono essere impiegate nella fabbricazione di tali materiali, e queste sostanze possono essere incluse nell'elenco solo dopo una valutazione della loro sicurezza da parte dell'Efsa.
- Prodotti fitosanitari sono sostanze utilizzate per proteggere le colture da parassiti, malattie e infestanti. Tuttavia, i residui di pesticidi derivanti dall'uso di questi prodotti in colture destinate all'alimentazione umana e animale possono costituire un potenziale rischio per la salute pubblica. Per affrontare questa problematica, è stato istituito un quadro legislativo completo che definisce le regole relative a diverse fasi, come l'approvazione delle sostanze attive nei prodotti fitosanitari, l'uso di tali prodotti e i limiti massimi di residui (LMR) consentiti nei prodotti alimentari. Secondo il reg. (Ce) 2005/396 [35], i livelli massimi di residui rappresentano le concentrazioni massime di residui di pesticidi che sono legalmente ammesse all'interno o sulla superficie di alimenti o mangimi. Questi LMR tengono conto delle buone prassi agricole (GAP) e sono stabiliti per garantire una minima esposizione possibile dei consumatori, specialmente quelli più vulnerabili. Il regolamento stabilisce quindi un quadro normativo per proteggere la sicurezza alimentare e la salute pubblica, prevenendo il superamento di livelli accettabili di residui di pesticidi nei prodotti alimentari e regolando i controlli ufficiali sui residui di pesticidi negli alimenti di origine vegetale e animale. I prodotti fitosanitari contengono almeno una sostanza attiva, che può essere una sostanza chimica o un microrganismo, come virus, responsabili dell'efficacia del prodotto. La regolamentazione principale che disciplina i prodotti fitosanitari è il reg. quadro (Ce) 1107/2009 [36].

2.2.4 Contaminanti alimentari

I contaminanti alimentari, che possono avere origine naturale o antropica, possono essere suddivisi in contaminanti biologici, chimici e fisici:

- Contaminanti biologici: questa categoria include batteri patogeni, virus e parassiti (*Salmonella*, *Escherichia coli*, virus dell'epatite A, ecc.) che possono causare malattie alimentari se presenti negli alimenti. L'origine della contaminazione può provenire da animali infetti, contaminazione dell'operatore durante la manipolazione degli alimenti, o da acqua contaminata utilizzata nella produzione o nell'irrigazione.
- Contaminanti chimici: includono sostanze chimiche indesiderate come pesticidi, metalli pesanti, micotossine (prodotti da muffe) e contaminanti industriali. Possono provenire da pesticidi utilizzati nell'agricoltura, inquinanti industriali rilasciati nell'ambiente, o da materiali utilizzati negli imballaggi alimentari.
- Contaminanti fisici: ovvero oggetti fisici estranei agli alimenti, come frammenti di vetro, plastica o metalli che possono contaminare i prodotti alimentari durante la produzione, la manipolazione o l'imballaggio. La regolamentazione delle sostanze chimiche negli alimenti è essenziale per garantire la sicurezza alimentare. In Unione europea, esistono regolamentazioni che stabiliscono i limiti massimi di residui per contaminanti come i pesticidi e i metalli pesanti. Inoltre le aziende alimentari implementano rigorosi programmi di controllo di qualità per rilevare e prevenire la contaminazione, attraverso analisi e ispezioni regolari.

2.3 BIBLIOGRAFIA, SITOGRAFIA E RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] Food and Agriculture Organization (Fao). Url: <https://www.fao.org/home/en> [consultato giugno 2024].
- [2] Carta di Milano. 2015. Url: <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/9341> [consultato giugno 2024].
- [3] Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2019. National Inventory Report 2021. Rapporti 341/21. 2021. Url: https://www.isprambiente.gov.it/files/2021/Pubblicazioni/Rapporti/Nir2021_Italy_14apr_Completo.Pdf [consultato giugno 2024].
- [4] Food and Agriculture Organization (Fao). Sustainable Food Systems Concept and Framework, based on the training course "Introduction to sustainable food systems and value chains", developed and piloted under FAO Strategic Programme 4 (SP4). [Internet]. 2018. Url: <https://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf> [consultato giugno 2024].

- [5] Francesco. Lettera enciclica *Laudato Si'*. Città del Vaticano: Libreria Editrice Vaticana; 2015.
- [6] Legge 19 agosto 2016, n. 166. Disposizioni concernenti la donazione e la distribuzione di prodotti alimentari e farmaceutici a fini di solidarietà sociale e per la limitazione degli sprechi.
- [7] Caritas Roma. <http://www.caritasroma.it/poverta-alimentare/#1697460613157-316d7b50-d0cb> [consultato giugno 2024].
- [8] Williams H, Wikström F. Environmental impact of packaging and food losses in a life cycle perspective: a comparative analysis of five food items. *J Clean Prod.* 2011; 9(1):43-48. Url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.08.008> [consultato giugno 2024].
- [9] Stenmarck A, Jensen C, Quedsted T et al. Estimates of European food waste levels. *Fusions EU Reducing food waste through social innovation.* Stockholm; 2016.
- [10] Brizi A, Biraglia A. "Do I have enough food?" How need for cognitive closure and gender impact stockpiling and food waste during the COVID-19 pandemic: A cross-national study in India and the United States of America. *Pers Individ Dif.* 2021;168:110396. Doi: 10.1016/j.paid.2020.110396.
- [11] Amicarelli V, Bux C. Food waste in Italian households during the COVID-19 pandemic: a self-reporting approach. *Food Secur.* 2021;13(1):25-37. Doi: 10.1007/s12571-020-01121-z.
- [12] Galanakis CM. The Food Systems in the Era of the Coronavirus (COVID-19) Pandemic Crisis. *Foods.* 2020;9(4):523. Doi: 10.3390/foods9040523.
- [13] Aldaco R, Hoehn D, Laso J et al. Food waste management during the COVID-19 outbreak: a holistic climate, economic and nutritional approach. *Sci Total Environ.* 2020; 742:140524. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140524.
- [14] Ministero della salute. Giornata nazionale contro lo spreco alimentare, le iniziative del Ministero. [Internet]. 2019. Url: https://www.salute.gov.it/portale/news/p3_2_1_1_1.jsp?lingua=italiano&menu=notizie&p=null&id=3629 [consultato giugno 2024].
- [15] Ruocco G, Giacomini D, Carrano E et al. Case study 2: Attitudes and behaviours toward food waste in Italy. In *Food security and nutrition policy dialogues in Europe, the Caucasus and Central Asia 2016 - 2019. A Retrospective.* Rome: FAO; 2019.
- [16] Van der Heijden, Kusters M. From mechanism to virtue: evaluating Nudge-theory. Reg. Net Working Paper, no. 80, Regulatory Institutions Network. 2015.
- [17] Food And Agriculture Organization (Fao). *Mitigating risks to food systems during COVID-19. Reducing food loss and waste.* Rome: Fao; 2020.
- [18] Sturchio E, Zanellato M, Boccia et al. A project exploring the reasons linked to consumer-related food waste, involving three Italian schools. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics, Thessaloniki, Greece, June 25-30, 2017.* 382-83.

- [19] Progetto di ricerca pilota "SPAIC - cause dello spreco alimentare ed interventi correttivi" la metodologia SPAIC. Url: <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/ricerca-e-tecnologia/area-sicurezza-sul-lavoro/biotecnologie/settore-agroalimentare.html> [consultato giugno 2024].
- [20] Thaler R, Sunstein C, Nudge (revised edition). London: Penguin Reiss. 2009.
- [21] Sturchio E, Mazzanti U, Meconi C et al. Epigenetica e Nutrizione. "No al cibo nella spazzatura/No al cibo spazzatura" [Internet]. 2018. Url: <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/ricerca-e-tecnologia/area-sicurezza-sul-lavoro/biotecnologie/settore-agroalimentare.html> [consultato giugno 2024].
- [22] StartupItalia. Food startup. Vietato buttare. Gli scarti alimentari diventano inchiostro, borse e scarpe [Internet]. 2023. Url: <https://startupitalia.eu/68630-20231030-food-startup-dallolio-esausto-diventato-inchiostro-a-borse-e-scarpe-fatte-con-la-buccia-dellananastre-startup-emergenti-fanno-rinascere-gli-scarti-alimentari> [consultato giugno 2024].
- [23] Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio del 05 settembre 2023 relativo alle piante ottenute mediante alcune nuove tecniche genomiche, nonché agli alimenti e ai mangimi da esse derivati, e che modifica il reg. (Ue) 2017/625. Atto dell'Unione europea n. COM (2023) 411 def.
- [24] Articolo 9 bis - Disposizioni urgenti in materia di genetica agraria del d.l. 39/2023 - A.C. n.1195 Disposizioni urgenti per il contrasto della scarsità idrica e per il potenziamento e l'adeguamento delle infrastrutture idriche.
- [25] Sito di European Food Safety Authority (Efsa). Url: <https://www.efsa.europa.eu> [consultato giugno 2024].
- [26] Regolamento (Ce) 2002/178 del Parlamento europeo e del Consiglio del 28 gennaio 2002 che stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare, istituisce l'Autorità europea per la sicurezza alimentare e fissa procedure nel campo della sicurezza alimentare. Gazzetta ufficiale delle Comunità europee, l. 31/2002.
- [27] Regolamento (Ce) 2008/1331 del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 che istituisce una procedura uniforme di autorizzazione per gli additivi, gli enzimi e gli aromi alimentari. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, l. 354/2008.
- [28] Regolamento (Ce) 2008/1333 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2008, relativo agli additivi alimentari. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea l. 354/2008.
- [29] Regolamento (Ce) 2008/1332 del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 relativo agli enzimi alimentari e che modifica la direttiva 83/417/Cee del Consiglio, il regolamento (Ce) 1999/1493 del Consiglio, la direttiva 2000/13/Ce, la direttiva 2001/112/Ce del Consiglio e il regolamento (Ce) 1997/258. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, l. 354/2008.

- [30] Regolamento (Ce) 2008/1334 del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 relativo agli aromi e ad alcuni ingredienti alimentari con proprietà aromatizzanti destinati a essere utilizzati negli e sugli alimenti e che modifica il reg. (Cee) 1991/1601 del Consiglio, i reg. (Ce) 1996/2232 e (Ce) 110/2008 e la direttiva 2000/13/Ce. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, l. 354/2008.
- [31] Direttiva 2002/46/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio, del 10 giugno 2002, per il ravvicinamento delle legislazioni degli stati membri relative agli integratori alimentari. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, l. 183/2002.
- [32] Regolamento (Ce) 2004/1935 del Parlamento europeo e del Consiglio del 27 ottobre 2004 riguardante i materiali e gli oggetti destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari e che abroga le direttive 80/590/Cee e 89/109/Cee. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, l. 338/2004.
- [33] Regolamento (Ce) 2006/2023 della Commissione del 22 dicembre 2006 sulle buone pratiche di fabbricazione dei materiali e degli oggetti destinati a venire a contatto con prodotti alimentari. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, l. 384/2006.
- [34] Regolamento (Ce) 2009/450 della Commissione del 29 maggio 2009 concernente i materiali attivi e intelligenti destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea l. 135/2009.
- [35] Regolamento (Ce) 2005/396 del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 febbraio 2005 concernente i livelli massimi di residui di antiparassitari nei o sui prodotti alimentari e mangimi di origine vegetale e animale e che modifica la direttiva 91/414/Cee del Consiglio. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea l. 70/2005.
- [36] Regolamento (Ce) 2009/1107 del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009 relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari e che abroga le direttive del Consiglio 79/117/Cee e 91/414/Cee. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea l. 309/2009.

3 - CAMBIAMENTO CLIMATICO: IMPATTO SULLA FILIERA AGROALIMENTARE

M.C. D'Ovidio¹, C. Grandi¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

3.1 CAMBIAMENTO CLIMATICO: ASPETTI GENERALI

La definizione di cambiamento climatico (CC) non è utilizzata sempre in modo univoco, ma concettualmente fa riferimento al fenomeno in atto di modificazione del clima della Terra dovuto al riscaldamento globale, causato dal progressivo accumulo in atmosfera di gas a effetto serra (detti anche clima-alteranti) riconducibile all'insieme delle attività antropiche.

I gas serra riducono la quantità di energia solare dispersa dalla superficie terrestre e dall'atmosfera verso lo spazio, assorbendone una quota, che in parte viene poi reirradiata verso la superficie terrestre (*forzante radiativo*). Questo fenomeno determina di fatto incrementi della temperatura superficiale del pianeta correlati alle concentrazioni dei gas serra presenti in atmosfera. Il principale gas serra è la CO₂, in quanto prodotta, oltre che dalla decomposizione di organismi vegetali e animali, da ogni fenomeno di combustione legato alle attività umane o liberata quale sottoprodotto di degradazione di composti sintetizzati e utilizzati dall'uomo. Un altro gas molto attivo da questo punto di vista è il metano, ma anche diversi idrocarburi e composti organici alogenati (quali i clorofluorocarburi e gli idrofluorocarburi), così come in generale tutte le molecole almeno triatomiche (incluso lo stesso vapor d'acqua), hanno proprietà di gas serra. La CO₂ è tuttavia il composto di gran lunga più importante, data la prolungata persistenza in atmosfera, a differenza di fatto del metano, di altri gas e del vapor d'acqua, quest'ultimo continuamente liberato in atmosfera e da essa rapidamente rimosso in virtù del ciclo stesso dell'acqua.

I meccanismi naturali di rimozione della CO₂ atmosferica sono essenzialmente la fissazione fotosintetica e la dissoluzione negli oceani, quest'ultima seguita dalla lenta deposizione del composto in forma di carbonati sul fondo marino, che su scala geologica formeranno strati di sedimenti. I meccanismi naturali richiedono tempi piuttosto lunghi, tali da non compensare la crescente immissione in atmosfera del composto a partire dall'inizio dell'era industriale, immissione che attualmente supera le 40 Gigatonnellate/anno (40 Gtons/y). Il risultato è un accumulo netto di CO₂, che ha oggi raggiunto il valore di circa 420 parti per milione (ppm). Per inquadrare correttamente l'importanza del problema si sottolinea che le oscillazioni naturali della concentrazione di CO₂, accompagnate da concomitanti oscillazioni della temperatura media globale del pianeta, non hanno mai superato le 280-290 ppm negli ultimi 800.000 anni, come dimostrato in particolare dalle

analisi delle carote di ghiaccio prelevate in luoghi quali l'Antartide e la Groenlandia (si veda ad esempio <https://www.ncei.noaa.gov/sites/default/files/2021-11/8%20-%20Temperature%20Change%20and%20Carbon%20Dioxide%20Change%20-%20FINAL%20OCT%202021.pdf>).

Soprattutto a partire dal 1992, anno della Conferenza di Rio de Janeiro sull'ambiente e lo sviluppo, la tematica del cambiamento climatico è seguita *in primis* dall'International Panel on Climate Change (Ippcc) [1], Organismo nato nel 1988 per iniziativa dell'Organizzazione meteorologica mondiale (World Meteorological Organization, Wmo - <https://public.wmo.int/en>) e del Programma delle Nazioni unite per l'ambiente (*United Nations Environmental Programme*, UNEP https://www.unep.org/resources/filter/keywords=climate%20change/sort_by=publication_date/sort_order=desc/page=0), che riunisce 195 Paesi e si avvale del contributo di centinaia di ricercatori e migliaia di collaboratori in tutto il mondo (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>). L'attività dell'Ippcc si concretizza attraverso la pubblicazione periodica di documenti (in particolare gli *Assessment Report*, l'ultimo dei quali è il sesto [2], organizzato come i precedenti in grandi sezioni tematiche e in un documento di sintesi) che riportano lo stato aggiornato delle conoscenze in merito ai differenti aspetti del CC, dalle basi fisiche, agli impatti sull'ambiente e le comunità umane, all'adozione di misure di contrasto al cambiamento stesso (misure di mitigazione e di adattamento). Questi documenti contengono valutazioni e proiezioni, ciascuna accompagnata da una stima di probabilità (da eccezionalmente improbabile a virtualmente certo) e, per ogni report, l'Ippcc stila un rapporto di sintesi (*summary for policymakers*) che contiene le informazioni essenziali per consentire ai decisori pubblici di prendere decisioni informate.

L'Ippcc non è naturalmente l'unico Organismo a trattare il CC. Altre organizzazioni internazionali contribuiscono allo studio della tematica. Ad esempio, l'Organizzazione mondiale della sanità (Oms, <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/climate-change-and-health/>) segue l'ambito relativo agli impatti del CC sulla salute umana. Inoltre, un gran numero di organizzazioni e centri di ricerca a livello di singoli Paesi (quali ad esempio il Centro euro-mediterraneo sui cambiamenti climatici, Cmcc, <https://www.cmcc.it/it>) si occupano degli impatti, soprattutto locali, del CC.

Il panorama connesso al cambiamento climatico vede inoltre (a partire dalla Conferenza di Kyoto del 1997) lo svolgimento periodico di conferenze internazionali sul tema (le cosiddette Cop - *Conference of Parties* o Conferenza delle Parti), alle quali partecipano numerosi Paesi del mondo e che producono risoluzioni sulle misure da adottare per contrastare il CC che, almeno sulla carta, impegnano i Paesi contraenti. In questo ambito si può ricordare l'accordo di Parigi del 2015, nel quale venne formulato l'impegno ad agire per mantenere l'incremento di temperatura media superficiale del pianeta entro i 2 °C rispetto all'epoca preindustriale. Dal 30 novembre al 12 dicembre 2023 si è svolta a Dubai la Cop28 (<https://unfccc.int/cop28>) nella quale è stato rinnovato l'invito alla prevenzione, con le azioni per la riduzione delle emissioni di gas serra e per

conseguire il mantenimento del riscaldamento globale entro i limiti fissati dall'Accordo di Parigi nel 2015.

In occasione della Cop28 è stato anche presentato l'inventario sull'ammontare dei gas serra prodotti dagli Stati, il cosiddetto *Global stocktake*, uno strumento che prevede la pubblicazione di un'attività reportistica, ogni cinque anni, sullo stato delle emissioni di tali gas e che, al suo interno, racchiude l'ambizione di incentivare la lotta alla crisi climatica, valutando i progressi collettivi compiuti sull'Accordo di Parigi. A questo proposito, la Convenzione quadro delle Nazioni unite sul cambiamento Climatico (United Nations Framework Convention on Climate Change - Unfccc), nell'ottobre 2023 ha pubblicato il rapporto intitolato "Views on the elements for the consideration of outputs component of the first global stocktake" (<https://unfccc.int/topics/global-stocktake>). Tra le pagine del documento si legge che gli impegni di riduzione delle emissioni dei gas serra presi finora di propria iniziativa dagli Stati, conosciuti con l'acronimo NDCs (*Nationally Determined Contributions*), se rispettati contribuiranno ad avere un clima più caldo di 1,7 °C. Tuttavia, sulla base di quanto messo in atto fino ad ora, l'aumento di temperatura sarà ben più alto e probabilmente, prima della fine del secolo, si raggiungerà la soglia di 3 °C di aumento rispetto all'epoca preindustriale. Per contrastare questo allarmante scenario, che avrebbe ripercussioni in larga parte imprevedibili ma certamente catastrofiche per l'ambiente e per la salute globale, sarebbe necessario centrare l'obiettivo di 1,5 °C entro il 2030 [3], in un'ottica anche più restrittiva di quella prevista dall'Accordo di Parigi. Tuttavia, secondo le raccomandazioni contenute nell'ultimo rapporto Ipcc, per raggiungere tale traguardo bisognerebbe ridurre del 43% le emissioni dei gas serra entro il 2030 e dell'84% entro il 2050 rispetto ai livelli del 2019.

Le stime oggi disponibili indicano che la temperatura superficiale media della Terra è aumentata di circa 1 °C rispetto all'epoca preindustriale. L'insieme delle osservazioni e delle elaborazioni porta a identificare con altissima probabilità l'attività antropica quale causa del riscaldamento dell'ultimo secolo e mezzo. A titolo esemplificativo e a scopo didattico è opportuno richiamare il risultato di simulazioni che mostrano l'andamento della CO₂ atmosferica dal 1850 a oggi considerando unicamente cause naturali (essenzialmente attività solare ed eruzioni vulcaniche) e cause naturali e antropiche combinate [4]. Nel primo caso si osserva, al netto delle oscillazioni periodali, che la concentrazione media di CO₂ dal 1850 ai nostri giorni si mantiene di fatto costante, mentre nel secondo si registra un incremento netto e progressivo fino ai nostri giorni, in buon accordo con le osservazioni.

L'obiettivo di contenere l'aumento entro 1,5 °C non è finalizzato a evitare gli impatti del CC (già in essere a livello globale e locale), ma di scongiurarne almeno le conseguenze più deleterie. L'Ipcc elabora proiezioni estese fino all'anno 2100 ipotizzando differenti scenari (5 in tutto), dal più favorevole (quello che prevede il contenimento della temperatura media globale entro 1,5 °C), ovviamente subordinato a un drastico e immediato cambio di rotta in relazione alle attività

clima-alteranti, al più catastrofico, che indica per la fine del secolo aumenti fino a 5 °C ed è basato sull'ipotesi che non si faccia nulla in termini di mitigazione e adattamento. Vi è da dire che gli scenari peggiori sono anche considerati i meno probabili, ma alcuni autori mettono in guardia dal sottovalutare l'eventualità di scenari estremi e catastrofici (si veda ad esempio [5]) sia perché il clima è un sistema molto complesso e, anche nell'ipotesi di azzerare ora le emissioni, occorrerebbero probabilmente decenni (o forse più) per riavvicinarsi ai livelli preindustriali delle temperature medie globali, sia perché non è ancora noto se esistano soglie critiche (ad esempio di concentrazione globale di gas serra o di alterazione di uno o più parametri legati al clima) superate le quali il sistema entra in uno stato metastabile e quindi suscettibile di evolvere in senso potenzialmente catastrofico anche in assenza di ulteriori input ambientali o antropici. In altre parole, secondo questi autori è concreta la possibilità, in un sistema caotico quale il clima, di raggiungere in tempi imprevedibili (o forse di aver già raggiunto) uno o più punti di non ritorno (*tipping points*), superati i quali non è più possibile tornare indietro e l'intero clima del pianeta finirà per stabilizzarsi in un nuovo equilibrio, con scenari e conseguenze fortemente imprevedibili, ma sicuramente molto gravi, per gli ecosistemi e le società umane.

Peraltro, l'aumento di 1 °C della temperatura superficiale della terra rappresenta un valor medio. Infatti, mentre gli oceani, grazie all'elevata inerzia termica, hanno fatto registrare aumenti inferiori al grado (al contrario dei mari interni come il Mediterraneo, per i quali l'aumento è marcatamente superiore), a livello delle terre emerse l'incremento medio è stato attorno a 1,5 °C [6]. Non bisogna poi dimenticare che l'eterogeneità delle terre emerse rende quest'ultimo valore anch'esso una media. Ad esempio, gli incrementi termici non sono gli stessi per aree forestali e desertiche e le aree urbane si sono riscaldate maggiormente rispetto a quelle rurali. Nel caso delle città l'impatto del CC si combina con il cosiddetto effetto "isola di calore urbana", rendendo ancora più marcato l'incremento termico effettivo nel corso di tutto l'anno, particolarmente durante la stagione estiva.

Proprio le aree urbane sono considerate, unitamente a molte aree costiere, a comprensori rurali del sud del mondo, ai bacini marini chiusi e agli Stati insulari, tra i contesti più vulnerabili all'impatto del CC. Nelle città, molte delle quali caratterizzate da alta densità abitativa, espansione urbanistica e, nel sud del mondo, destinate a diventare megalopoli (oltre dieci milioni di abitanti), un aspetto fondamentale della gestione urbana è rappresentato dalla presenza, dall'entità, dalla distribuzione, dalla pianificazione e dall'implementazione delle aree verdi. Nell'ottica del CC e dell'effetto isola di calore le aree verdi contribuiscono a mitigare localmente gli effetti delle alte temperature [7] e a favorire i processi di adattamento individuali e collettivi. È stato suggerito che un aumento minimo del 16% della copertura arborea possa comportare una riduzione di 1°C della temperatura urbana [8]. Per aree verdi non si intendono solo i parchi cittadini, ma

anche giardini urbani, siepi, filari alberati lungo le strade e coperture vegetali delle facciate di edifici che ne sono dotati.

In ogni caso, diversi studi hanno confermato che gli spazi verdi urbani possono ridurre efficacemente le temperature, favorendo un effetto definibile di "isola fresca urbana", principalmente attraverso l'evapotraspirazione e l'ombreggiamento [9-12]. Inoltre, la realizzazione del "tetto fresco" (*cool roof*) negli edifici, l'utilizzo di materiali e colori che trasmettono un senso di raffreddamento (*cooling materials* e *colors of buildings*) [13,14], il miglioramento dell'ombreggiamento e della ventilazione urbana [15,16] si sono dimostrate misure efficaci per mitigare le isole di calore urbane.

Queste misure hanno anche benefici di altra natura (cobenefici), rappresentati ad esempio da effetti positivi sul benessere generale e sulle condizioni di salute, con esiti che nell'insieme concorrono a migliorare le condizioni di vita [17]. La pianificazione dell'aumento della copertura vegetazionale nelle aree a forte urbanizzazione deve tener conto di diversi aspetti, uno dei quali è dato dal potenziale allergenico della vegetazione stessa, che dovrebbe orientare la scelta delle piante da impiegare verso le specie a minor effetto allergenico [18-20].

Nell'ottica del CC e delle misure di mitigazione e adattamento sono possibili approcci diversificati che, nell'insieme, rivestono un ruolo importante. Tra questi, le *Nature-based solutions*, ovvero interventi basati su ecosistemi, le infrastrutture verdi e il *greening* urbano (<https://ipccitalia.cmcc.it/nature-based-solutions/>) contribuiscono alla tutela della salute della popolazione [21,22], aprendo al tempo stesso ulteriori prospettive volte a favorire tali aspetti.

Secondo alcuni macrodati dell'European Environment Agency (Eea), che provvede ad allestire e ad aggiornare l'Atlante europeo dell'ambiente e della salute (*European environment and health Atlas*, <https://discomap.eea.europa.eu/atlas/>), in Europa il 97% della popolazione urbana è esposto a livelli pericolosi di inquinamento atmosferico e il 20% vive in aree dove i livelli di rumore sono pericolosi per la salute. Inoltre, in Europa tra il 2030 e il 2060 è previsto un raddoppio (100% di aumento) delle giornate con ondate di calore. Vi sono tuttavia anche dati più confortanti, che riguardano anche il verde urbano. Ad esempio, l'85% delle acque balneari europee è di eccellente qualità e la media delle superfici urbane coperte da spazi verdi negli Stati membri ammonta al 42%.

Parallelamente alle aree verdi anche corsi d'acqua quali fiumi e ruscelli, laghi o bacini idrici, le cosiddette aree blu (*blue areas*), rivestono grande importanza nei centri urbani che ne sono dotati, specie se integrati nel verde di parchi e giardini, non solo per realizzare ambienti gradevoli e stimolanti, ma anche dal punto di vista della costituzione di nuove nicchie ecologiche, della salute della vegetazione e del contributo alla mitigazione delle temperature. Anche in questo caso non mancano risvolti di rischio, ad esempio infortuni con possibilità di annegamento o, più insidiosamente, formazione di habitat favorevoli alla proliferazione di vettori di malattia. Per questi motivi sono importanti, al pari delle aree verdi, un costante monitoraggio e un'adeguata manutenzione.

3.2 CAMBIAMENTO CLIMATICO: CONTRIBUTO DELLA FILIERA AGROALIMENTARE

Tra le attività umane il maggior impatto sulla produzione di gas clima-alteranti è dato da quelle che utilizzano combustibili fossili, principalmente diversi tipi di produzioni industriali, il traffico autoveicolare, il trasporto su gomma, il riscaldamento degli edifici. Tuttavia, un ruolo rilevante al riguardo viene svolto dalle attività agricole, forestali e in generale legate all'uso del suolo, alle quali secondo stime Ipcc [6] è ascrivibile la produzione di circa il 13% della CO₂ complessiva, del 44% di metano e dell'81% di N₂O (periodo 2007 – 2016), complessivamente il 23% delle emissioni antropogeniche di gas serra. Le stime Ipcc indicano inoltre che se si includono le emissioni associate alle attività dell'intero sistema alimentare nelle fasi precedenti e successive la produzione, i valori possono salire fino al 37%. Anche studi più recenti confermano la filiera agroalimentare come una sorgente importante di emissione di gas clima-alteranti [23-25]. D'altra parte, la filiera agroalimentare ha una struttura molto complessa e articolata. La produzione primaria mediante agricoltura (all'aperto o, più raramente, in serra), selvicoltura, allevamento di animali di terra (intensivo e, più raramente, estensivo) e di mare (pesci, molluschi e crostacei, spesso con sistemi intensivi) sono infatti affiancati dall'industria alimentare per trasformare le fonti alimentari in alimenti, che potranno essere confezionati o meno a seconda del tipo di alimento e della tipologia di distribuzione cui è destinato, pronti per la distribuzione. L'elevato contenuto tecnologico proprio della stessa produzione primaria ha permesso di coniare i termini *agrotecnica* e *zootecnia*. Le fasi della lavorazione di un prodotto alimentare possono essere numerose e possono, anche per uno stesso prodotto, essere condotte in sequenza da più aziende, dove il semilavorato dell'azienda che precede costituisce la materia prima per l'ulteriore trasformazione dell'azienda contigua nella filiera.

L'ultima fase della catena è data dalla distribuzione. I prodotti alimentari possono essere distribuiti all'ingrosso, al dettaglio oppure direttamente alle strutture di consumo (ristoranti, alberghi, mense, ecc.). L'intera filiera, una volta progettata, allestita, collaudata e avviata, è accompagnata da controlli di sicurezza (sistema HACCP - *Hazard Analysis Critical Control Point*), è sottoposta alle attività di controllo del mercato da parte delle Autorità competenti ed è periodicamente monitorata, anche ai fini dell'ottimizzazione tra le risorse impiegate (costi) e la qualità/quantità dei prodotti ottenuti. A queste considerazioni vanno affiancate osservazioni circa la potenziale minor efficienza e il possibile maggior consumo di energia nel caso di realtà produttive di Paesi diversi da quelli sviluppati, a prescindere o meno che i loro prodotti siano ammessi al consumo in questi ultimi.

Si comprende pertanto come le filiere agrozootecniche contribuiscano globalmente alle emissioni clima-alteranti in molti modi, in particolare mediante:

- consumo di suolo a spese di foreste e altri ecosistemi (soprattutto Paesi del sud del mondo);

- metano e altri gas serra prodotti (soprattutto a livello intestinale) da animali da allevamenti suini, bovini, avicoli, ecc.;
- utilizzo di mezzi agricoli motorizzati a combustione interna;
- processamento degli alimenti lungo le filiere trasformative;
- processi industriali legati alla produzione di fertilizzanti, pesticidi, ecc.;
- trasporto dei prodotti alimentari su lunghe distanze.

Solo per inciso, si riporta che il terzo settore in ordine di importanza nella produzione di gas clima-alteranti è quello delle costruzioni (edifici, infrastrutture). Le considerazioni che precedono indicano tutte che il margine temporale per azioni coordinate ed efficaci in direzione del controllo delle emissioni clima-alteranti è molto stretto, anche in considerazione della quasi contiguità tra l'obiettivo di raggiungere (contenimento entro 1,5 °C) e l'incremento effettivo registrato fino a oggi (1 °C o leggermente superiore) e tenendo conto dei fattori contingenti che negli ultimi 3 anni hanno spinto nella direzione del tendenziale aumento delle emissioni, ad esempio la ripresa post-pandemica e i conflitti militari in atto.

Peraltro, una crescita rapida e inarrestabile delle emissioni potrebbe forzare il 31% delle colture alimentari globali e il 34% della produzione zootecnica oltre il cosiddetto *Safe Climatic Space* (SCS) entro il 2081-2100, ed è pertanto importante impegnarsi per favorire uno scenario a basse emissioni [26].

A sua volta il CC impatta su diversi livelli della filiera agroalimentare. L'impatto maggiore ha luogo a livello della produzione primaria. Ad esempio, eventi estremi possono distruggere i raccolti, sia all'aperto sia in serra. Ondate di calore intense e prolungate si traducono, specie in presenza di scarsità d'acqua, in forti riduzioni della resa delle colture e in alterazioni qualitative del prodotto. Inoltre, l'espansione degli areali di insetti e altri parassiti a causa dell'aumento delle temperature può comportare un impiego più massiccio di pesticidi.

Per quanto riguarda gli animali, non deve essere sottovalutato lo stress da calore, che può comportare sofferenza e alterazioni fisiologiche di vario tipo, con ricadute sulle qualità organolettiche dei prodotti.

3.3 CAMBIAMENTO CLIMATICO: EFFETTI SULLA SALUTE

3.3.1 Popolazione generale

Il CC ha e avrà impatti verosimilmente sempre maggiori a livello dell'ambiente fisico, degli ecosistemi, delle dinamiche economiche e demografiche, oltre che sulla salute. Senza entrare nel merito, per quanto riguarda l'ambiente fisico e gli ecosistemi i principali impatti sono i seguenti:

- aumento di frequenza, intensità e durata dei fenomeni meteo violenti/estremi (ondate di calore, tempeste, uragani, alluvioni, estesi incendi boschivi, tempeste di sabbia);

- progressivo scioglimento dei ghiacci e aumento del livello dei mari;
- alterazioni dei regimi pluviometrici (ulteriore inaridimento di zone aride o dissesto idrogeologico da eccessiva piovosità);
- interazione con l'ozono stratosferico: riduzione dei tempi di ripristino (aumento netto della radiazione UV eritemale a livello del suolo);
- acidificazione e riduzione del contenuto salino degli oceani (con impatti devastanti sulla fauna marina);
- alterazioni delle correnti oceaniche (conseguenti alle variazioni di temperatura e salinità);
- aumento di frequenza e intensità degli incendi boschivi (ondate di calore);
- alterazione degli ecosistemi e perdita di biodiversità (drastica riduzione/alterazione degli habitat utili alla sopravvivenza e alla riproduzione di sempre più specie animali e vegetali).

La loro combinazione sta contribuendo e probabilmente contribuirà sempre più a ridisegnare il clima e le caratteristiche territoriali di intere aree geografiche, influenzando sui fenomeni di dissesto del territorio, desertificazione, inquinamento delle matrici ambientali aria e acqua, produttività dell'agricoltura e della pesca, con conseguenze gravi e solo in parte prevedibili sulle economie locali, sui *trend* demografici, sulla stabilità politica, sui fenomeni migratori e sulla salute. La tipologia, l'entità e l'estensione degli impatti dipendono criticamente da variabili locali legate ad esempio alla manutenzione del territorio, alla tipologia e alla manutenzione delle infrastrutture, alle caratteristiche degli edifici. In presenza di criticità preesistenti (territori o contesti vulnerabili, anche a causa del consumo e dell'impermeabilizzazione del suolo) gli impatti del CC sono e saranno sempre più devastanti.

Il contributo del CC alla progressiva perdita di biodiversità (in termini sia di numero assoluto di specie sia di numerosità delle popolazioni di singole specie) globalmente e a livello degli ecosistemi locali è uno degli effetti più deleteri. Peraltro, la riduzione della biodiversità non deve necessariamente essere intesa a livello "macro", ma, come discusso nel capitolo 4, può riguardare anche le popolazioni microbiche degli ambienti naturali e antropizzati e questo può potenzialmente riflettersi sulla composizione e sulle dinamiche dei microbioti che popolano distretti corporei quali l'intestino e la cute.

Per quanto riguarda la salute umana è ormai segnalato da anni in letteratura (si veda ad esempio la serie annuale pubblicata dalla rivista *Lancet*, dal titolo significativo *Lancet countdown* - ad esempio il rapporto del 2023) che ondate di calore di maggior intensità, durata e frequenza (direttamente o indirettamente connesse al CC) determinano un incremento della mortalità e della morbilità generale e per singole cause, parallelamente a un aumento degli accessi al pronto soccorso e delle ospedalizzazioni. Individui con malattie a livello respiratorio, cardiovascolare, renale e metabolico possono far registrare una maggior frequenza e gravità delle manifestazioni cliniche connesse alle loro patologie,

aspetto che si riflette sulla mortalità, sulle ospedalizzazioni e sul consumo di farmaci. Un importante capitolo della patologia che viene profondamente influenzato dal clima che cambia sia direttamente sia indirettamente riguarda le allergie. La diffusione di queste ultime è di per sé epidemica, tanto che una percentuale compresa tra il 30 e il 40% della popolazione mondiale soffre di almeno una patologia allergica. Le sintomatologie a carico dell'apparato respiratorio, oculare, cutaneo e/o a livello sistemico hanno cause diverse, tra le quali si annoverano, farmaci, veleni di insetti e principi attivi di origine vegetale, animale e alimentare [27,28]. Le patologie respiratorie croniche impattano molto sulla qualità e sullo stile di vita, al punto che sono state incluse nel *WHO Global Action Plan for the Prevention and Control of NCDs* e nell'Agenda 2030 delle Nazioni unite per lo sviluppo sostenibile [29] (Who, 2021). Soprattutto le allergie da polline sono interessate dal Cc, in quanto quest'ultimo può influire sulla stagionalità e sulla quantità di polline prodotto. Inoltre, agendo sulla concentrazione atmosferica di molti inquinanti può facilitare l'azione di questi ultimi sui pollini, che spesso si traduce in un aumento del potenziale allergenico. Nella stessa direzione va la cosiddetta "asma da temporale", ossia il picco di recrudescenza delle manifestazioni cliniche dell'asma che spesso si presenta in concomitanza con temporali o altri eventi violenti, la cui frequenza e gravità tende, come detto, ad aumentare in un clima che cambia.

La salute mentale rappresenta un altro ambito critico. Condizioni microclimatiche più severe o oscillazioni climatiche più frequenti e accentuate possono aggravare le manifestazioni connesse a disturbi psicotici o ansiosi o favorire la slatentizzazione di patologie mentali in individui predisposti. Peraltro, emergono profili patologici sempre più diversificati inerenti la sfera psichica connessi direttamente o indirettamente alla percezione del CC o alle informazioni che si ricevono sul CC. I disturbi di ansia grave, il disturbo post-traumatico da stress, lo sviluppo di quadri depressivi che possono colpire una parte degli individui interessati dalle conseguenze di eventi meteo estremi si affiancano a condizioni, anche di natura non patologica sulla base degli standard correnti, quali ecoansia (di cui l'ansia climatica costituisce un sottoinsieme), econostalgia, solidipsia (consapevolezza di essere nell'abitazione o nel territorio noto da sempre ma, a seguito delle trasformazioni indotte dal clima, non sentito più quale parte del se) e altri. Queste condizioni configurano comunque uno stato di profonda inquietudine e disagio, che può sfociare in altri tipi di disturbi ma che solo in tempi recenti ha iniziato a essere oggetto di studio [30]. Il CC può inoltre potenzialmente influenzare in senso negativo gli esiti di gravidanza e più in generale la salute riproduttiva, specialmente in gruppi vulnerabili e marginalizzati della popolazione [31].

È importante tenere presente che l'effettivo impatto del CC sulla salute è variabile in funzione della popolazione colpita, in relazione alle caratteristiche geografico-ambientali che caratterizzano il contesto di vita di una comunità, e, all'interno della singola popolazione, può essere molto diverso non solo in rapporto all'età, al

genere e alle patologie preesistenti, ma anche in relazione allo stato socioeconomico, che viene riconosciuto in modo pressoché unanime come uno dei principali determinanti delle condizioni di salute.

L'Organizzazione mondiale della sanità ha formulato una strategia globale su salute, ambiente e CC (Url: https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1) e in data 27 novembre 2023 ha pubblicato la *Global health community calls for urgent action on climate and health at Cop28* (url: <https://www.who.int/news/item/27-11-2023-global-health-community-calls-for-urgent-action-on-climate-and-health-at-cop28>) per garantire che la tutela della salute sia al centro dei negoziati. La prestigiosa rivista medica *Lancet* pubblica periodicamente, come precedentemente detto, un *report* denominato significativamente *Lancet countdown on health and climate change*; quello pubblicato nell'anno 2023 è imperativo nel fornire una risposta *health-centred* in un mondo che deve fronteggiare danni irreversibili [32].

In sintesi, il CC può avere:

- impatti di natura diretta (ad esempio ondate di calore, eventi estremi, conseguenze sulla salute dovute alla permanenza in ambienti termici severi, a eventi estremi, ecc.);
- impatti di tipo indiretto (ad esempio aumentata esposizione a inquinanti aerodispersi, radiazione solare, vettori di malattia, allergeni, ecc.), che verranno ripresi in relazione alla salute e alla sicurezza occupazionali;
- impatti diffusi (insicurezza alimentare e di approvvigionamento idrico, migrazioni, cambiamenti nella produzione e distribuzione di beni e servizi, ecc.).

Le strategie per ridurre le emissioni di gas serra e per attenuare gli impatti locali e globali (a livello di individui, popolazioni, territori, infrastrutture, ecc.) cadono rispettivamente nelle due macrocategorie della *mitigazione* (riduzione netta delle emissioni globali secondo obiettivi quantitativi e temporali predefiniti) e dell'*adattamento* (rendere gli individui e le collettività, intese come collettività locali, nazionali o come intera collettività mondiale, più resilienti agli effetti del cambiamento, ossia maggiormente in grado di attuare risposte efficaci per ridurre gli impatti a livelli considerati accettabili e sfruttare le eventuali opportunità vantaggiose che dovessero palesarsi). Si tratta di approcci che presuppongono a livello globale la revisione degli attuali modelli di sviluppo, ingenti investimenti in capitale e ricerca, utilizzo massiccio di alta tecnologia e messa a punto di tecnologie nuove, cambi di paradigma a livello culturale. Inoltre, dovrebbero essere progettati e attuati secondo tempistiche rapide, visto il sempre minor margine temporale per evitare aumenti catastrofici della temperatura del pianeta. Nella direzione delle riduzioni delle emissioni dei gas clima-alteranti va il *The European Green Deal*. La Commissione europea ha adottato una serie di proposte per rendere le politiche dell'Ue, in materia di clima, energia, trasporti e tassazione, idonee a ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 (rispetto ai livelli del 1990) e di arrivare a 0 emissioni di carbonio per il 2050 (Url: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en) [33,34].

3.3.2 Lavoratori

Per quanto riguarda le conseguenze del CC in atto sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori sul luogo di lavoro è disponibile una quantità crescente di studi che, pur se di numero inferiore e sfasati temporalmente rispetto a quelli che hanno avuto e hanno per oggetto la sanità pubblica, stanno iniziando a delineare un quadro conoscitivo sempre più articolato. Una semplice ricerca su una delle più importanti banche dati biomediche internazionali quali *Pubmed*, inserendo ad esempio due semplici chiavi di ricerca quali *climate change AND occupational health*, evidenzia una scarsità di articoli fino attorno all'anno 2010 e una crescita rapida e costante nell'ultimo decennio. Sono anche già disponibili ottimi lavori di rassegna, che contribuiscono a tracciare il quadro conoscitivo generale e anche a identificare ambiti prioritari di ricerca e intervento, soprattutto in relazione ai lavoratori *outdoor* (si vedano ad esempio Schulte et al., 2009; 2016 e Moda et al., 2019) [35, 36, 37]. Nel nostro Paese merita di essere ricordata un'iniziativa coordinata da Inail, che ha visto la partecipazione di ricercatori Inail e appartenenti ad altri Enti di ricerca nazionali e che si è tradotta nel 2016 nella produzione di un numero semimonografico degli Annali dell'Istituto superiore di sanità [38]. Il numero ha raccolto una serie di articoli che hanno preso in esame lo stato dell'arte e le prospettive di ricerca e studio per quanto riguarda differenti ambiti della salute e sicurezza occupazionali in relazione al CC.

La maggior parte degli studi epidemiologici sui lavoratori fa riferimento agli effetti fisiopatologici dello svolgimento di mansioni lavorative in ambienti termici severi (in genere in presenza di ondate di calore o in rapporto a eventi meteo severi/estremi), alle ricadute sul fenomeno infortunistico e all'impatto sulla produttività del lavoro.

Tuttavia, il quadro delle ricerche si sta estendendo anche agli effetti indiretti dei CC sui lavoratori. Infatti, il clima che cambia può comportare un aumento dell'esposizione a fattori di rischio di natura fisica, chimica e biologica negli ambienti di lavoro *outdoor* (in misura maggiore) e *indoor*. Questo si può tradurre potenzialmente in un aumento della frequenza e/o della gravità degli effetti sulla salute a breve e a lungo termine, soprattutto in lavoratori con condizioni di aumentata suscettibilità a specifici fattori di rischio o con profili di fragilità. Inoltre, anche eventuali effetti sinergici dovuti alla co-esposizione a più agenti di rischio, che, è bene ricordare, rappresenta la norma negli ambienti di lavoro in generale e negli ambienti di lavoro *outdoor* in particolare, possono risultare potenziati in virtù dell'aumento dell'esposizione ai singoli agenti.

Non esiste una definizione condivisa di lavoratore *outdoor*, ma questi ultimi possono essere ragionevolmente individuati in coloro che svolgono attività all'aperto per l'intero turno di lavoro o per una parte significativa della giornata

lavorativa. Un elenco (ovviamente non esaustivo) delle categorie occupazionali interessate è il seguente:

- lavoratori agricoli;
- lavoratori impegnati nel controllo/manutenzione delle aree verdi;
- lavoratori del mare;
- lavoratori delle costruzioni;
- addetti a manutenzione manto stradale e infrastrutture (terrestri e *off-shore*);
- addetti a cave e miniere a cielo aperto;
- lavoratori degli stabilimenti balneari;
- istruttori di sport all'aperto;
- sportivi professionisti (sport all'aperto);
- addetti alle consegne (portalettere, *rider*);
- addetti alle operazioni di carico-scarico all'aperto;
- operazioni di pattugliamento;
- venditori ambulanti.

Si tratta quindi complessivamente di una quota ingente dell'intera forza lavoro, in Italia stimabile in alcuni milioni di lavoratori, che può tuttavia essere molto diversificata in relazione alla combinazione dei fattori di rischio occupazionali rilevanti e ai livelli di esposizione. Tuttavia, alcuni fattori di rischio sono condivisi dalla quasi totalità di questi lavoratori, ad esempio gli ambienti termici severi, la radiazione solare e l'inquinamento atmosferico. Da rilevare inoltre che l'ambito agrozootecnico impiega una quota significativa di forza lavoro outdoor.

Come già accennato, il tendenziale aumento progressivo dell'esposizione ad ambienti termici severi (legati alle ondate di calore o a fenomeni meteo violenti) può indurre/aggravare effetti di natura diretta sui lavoratori esposti, quali stress da calore (fino al colpo di calore), infortuni legati al caldo e aggravamento di quadri patologici preesistenti a livello cardiovascolare, respiratorio e renale [39-42], ma può influire sulla salute anche indirettamente, ad esempio comportando una maggior esposizione a vettori di malattia, agenti biologici, aeroallergeni (in particolare pollini) e inquinanti atmosferici (di natura fotochimica e non).

Tra gli inquinanti dell'aria particolare attenzione va posta all'ozono (irritante e sensibilizzante delle vie respiratorie), agli idrocarburi policiclici aromatici (IPA, cancerogeni per il polmone e per la cute), in generale ai composti organici volatili (VOC), al particolato fine e ultrafine. Nel caso del particolato sono riconosciuti effetti a breve e a lungo termine a livello dell'apparato respiratorio e cardiovascolare, tra i quali anche il tumore polmonare, e si ipotizzano effetti avversi su differenti tessuti, organi e apparati (immunologico, endocrino, nervoso e riproduttivo), a supporto dei quali esiste un crescente numero di dati sperimentali [43-46].

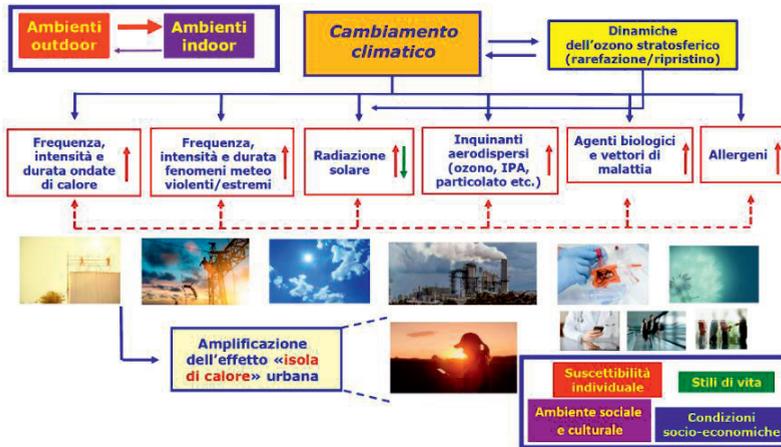
Per quanto riguarda la radiazione solare, la tendenza è all'aumento complessivo dell'esposizione nei lavoratori outdoor, con conseguente maggior rischio di effetti sia a breve sia a lungo termine per cute e occhi (eritema cutaneo, scottature, tumori cutanei melanoma e non melanoma, cataratta, degenerazione maculare retinica). Nel caso dei lavoratori all'aperto è infatti verosimile che il bilancio tra effetti avversi ed effetti benefici della radiazione solare, questi ultimi legati sia alla sintesi di vitamina D sia ad altri meccanismi, sia spostato verso quelli avversi [47].

La concomitante esposizione a livelli aumentati di radiazione solare e di inquinanti aerodispersi con potenziale cancerogeno per la cute (quali gli IPA) costituisce un esempio di possibile aggravamento di un effetto sinergico a livello di uno specifico organo/tessuto.

Deve essere messo in evidenza che il CC potrebbe non comportare necessariamente un aumento netto dell'esposizione alla radiazione solare, ad esempio nel caso in cui in una specifica area geografica registrasse un più prolungato periodo nell'anno con copertura nuvolosa o qualora ondate di calore più frequenti, intense e di maggior durata inducano a ricorrere più estesamente a misure di prevenzione e protezione, quali riparo all'ombra, indumenti idonei, cambiamenti nell'organizzazione del lavoro.

Un aspetto che deve essere sottolineato riguarda i lavoratori all'aperto in aree urbane. Queste ultime sono infatti interessate dal fenomeno "isola di calore", ossia da temperature medie più elevate rispetto alle aree rurali circostanti o alle aree non urbane in genere. Questi incrementi si mantengono per l'intero anno, ma in valore assoluto le differenze sono maggiori nella stagione estiva (anche 5 - 7 °C). L'effetto è dovuto alla presenza di numerose fonti di combustione nelle città, quali il traffico autoveicolare e il riscaldamento degli edifici, ma anche alla geometria degli edifici, a strutture barriera che attenuano la ventilazione, ecc. ed è destinato a essere sempre più importante in relazione all'espandersi delle aree urbane nel mondo [48,49]. Le isole di calore possono amplificare gli effetti delle ondate di calore legate al CC e, di conseguenza, aggravare effetti di natura diretta e indiretta sulla salute dei lavoratori esposti. La complessa interrelazione tra CC, ozono stratosferico, ambiente termico, inquinanti di natura fisica, chimica e biologica, che a sua volta si interfaccia con i profili di suscettibilità, gli stili di vita e le condizioni economico-sociali del singolo lavoratore (ma anche con l'ambiente culturale) è riassunta nella Figura 1.

Figura 1 Interazione tra CC, fattori di rischio ambientali, occupazionali e legati a variabili individuali in contesti lavorativi outdoor e indoor



Il CC può modulare l'esposizione a numerosi fattori di rischio di natura fisica, chimica e biologica cui possono essere esposti i lavoratori. In molti casi il CC determina un aumento dei livelli espositivi a questi fattori di rischio. Alcuni di loro, tra i quali la radiazione solare, possono essere influenzati anche dalle dinamiche dell'ozono stratosferico, che a sua volta è mutualmente interagente con il CC. Questo quadro, già complesso, presenta ulteriori criticità se si considerano i contesti urbani (effetto "isola di calore"), oltre all'ambiente esterno, che influenza i profili espositivi ad agenti di natura fisica (temperatura, umidità), chimica e biologica negli ambienti confinati, avendo pertanto rilevanza, oltre che per il lavoro outdoor, anche per i lavoratori indoor. Si deve infine ricordare che l'impatto di tale panorama espositivo sullo stato di salute del singolo lavoratore può variare in funzione dei profili di suscettibilità individuale, degli stili di vita, delle condizioni socioeconomie e anche, più in generale, dell'ambiente socioculturale.

(Inail – Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Come riportato in precedenza, i lavoratori indoor non sono esenti da effetti diretti o indiretti sulla salute legati all'impatto del CC. Prescindendo da specifiche tipologie di ambiente di lavoro confinato (in particolare tralasciando quelli di natura industriale, che presentano combinazioni complesse di fattori di rischio) si può in generale affermare che l'ambiente indoor è caratterizzato dalla presenza di condizioni microclimatiche che, in assenza di adeguata climatizzazione, riflettono quelle outdoor, comportando, ad esempio in estate, l'esposizione a condizioni di temperatura e umidità spesso inaccettabili. Per quanto riguarda l'esposizione a inquinanti presenti nell'aria, alcuni (quali il radon) sono esclusivi degli ambienti confinati, altri (acari, muffe, annessi cutanei di animali domestici) sono tipici di questo tipo di ambiente, mentre altri ancora (ad esempio ozono, VOC, particolato) sono presenti sia in ambito indoor che outdoor, anche se con profili spazio-

temporali di concentrazione diversi. Tuttavia, il gradiente indoor/outdoor può comportare, grazie agli scambi tra i due compartimenti, il trasporto di una quota di inquinanti dall'esterno e influenzare così le esposizioni indoor. In definitiva quindi il CC, combinandosi con l'effetto isola di calore nel caso dell'ambiente urbano, può influenzare i livelli espositivi dei lavoratori indoor e, di conseguenza, i profili di rischio per la loro salute. Va inoltre tenuto presente che per alcuni contaminanti, quali i pollini, le persone che si spostano tra ambienti confinati e ambienti esterni possono fungere da *carrier* e concorrere quindi a modulare (in genere incrementandola) l'esposizione degli occupanti negli ambienti confinati.

L'ambito occupazionale contribuisce all'insorgenza e/o al peggioramento delle patologie allergiche. Il *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) ha pubblicato nel 1997 e nel 1998 due *Alerts* dal titolo, rispettivamente, *Preventing Allergic Reactions to Natural Rubber Latex in the Workplace* (url: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-135/default.html>) e *Preventing Asthma in Animal Handlers* (url: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-116/default.html>) riconoscendo quindi tali forme di allergia, rispettivamente di origine vegetale e animale, quale rischio occupazionale.

Ulteriore documentazione pubblicata da Inail in collaborazione con altre Istituzioni, tratta le allergie da pollini in ambito occupazionale anche nell'ottica del CC (consultabile sul sito dell'Inail, all'indirizzo: <https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/catalogo-generale.html>).

3.4 I LAVORATORI DELLA FILIERA AGROALIMENTARE: FOCUS SULLE ALLERGIE OCCUPAZIONALI

I lavoratori addetti alla filiera agroalimentare necessitano di essere attenzionati anche per la potenziale esposizione ad allergeni di origine biologica, come detto ampiamente modulabili, soprattutto quelli vegetali, in termini di concentrazioni e di fluttuazioni spazio-temporali dal CC, comprendendo tale categoria di allergeni quelli animali, vegetali e alimentari, che possono rappresentare un rischio soprattutto per i lavoratori suscettibili. Gli effetti del CC sono di fatto evidenti anche nella filiera esplicitandosi sotto vari aspetti. L'innalzamento della temperatura ha modificato i cicli stagionali delle fioriture determinando di fatto un prolungamento delle fonti espositive, soprattutto per i lavoratori outdoor. Va comunque considerato che anche i lavoratori indoor, impegnati in varie fasi della lavorazione (raccolta, stoccaggio, imballaggio, trasporto, ecc.), possono essere esposti ad allergeni aerodispersi che vengono prodotti. Va inoltre osservato (come già accennato) che gli aeroallergeni possono interagire con altri contaminanti, ad esempio di origine chimica, potenziando di fatto il potere allergenico e rendendo evidente un ulteriore effetto del CC quale quello associato all'urbanizzazione e quindi all'incremento dell'inquinamento atmosferico.

I pollini prodotti in zone caratterizzate da diverso grado di urbanizzazione possono pertanto essere soggetti a interazioni più o meno marcate con i contaminanti di natura chimica e alterare quindi in modo più o meno accentuato il loro potere allergenico.

Il CC ha potenziali effetti sulle diverse fonti espositive, soprattutto vegetali, le quali hanno l'ulteriore caratteristica di poter scatenare reazioni di reattività crociata (cross-reattività) tra allergeni vegetali e alimentari. Un lavoratore sensibilizzato a determinanti allergeni vegetali deve essere particolarmente attenzionato dal momento che, non soltanto il periodo di esposizione può essere più esteso a causa della più durevole aerodispersione ma, il lavoratore stesso può essere inconsapevolmente esposto anche ad allergeni alimentari. Il fenomeno della *cross-reattività* rappresenta un importante aspetto che deve essere valutato anche nelle fasi di processo riguardanti la lavorazione degli alimenti. In tali fasi, infatti, possono verificarsi aerodispersioni degli allergeni alimentari che, negli individui sensibilizzati, possono dare luogo a manifestazioni cliniche di diversa gravità. Alcune associazioni Internazionali come l'European Academy of Allergy & Clinical Immunology (Eaaci) hanno emanato *Position Papers* riguardanti le patologie allergiche respiratorie nelle fasi di lavorazioni degli alimenti [50-52].

I settori dell'industria e dell'agricoltura sono entrambi a potenziale esposizione di allergeni aerodispersi nelle varie fasi della lavorazione. Il recente aggiornamento del 10 ottobre 2023 delle tabelle delle malattie professionali dell'industria e nell'agricoltura [53] considera nell'industria l'asma bronchiale causato, tra i vari agenti, da polveri o farine di cereali, semi di soia, ricino, caffè verde, carrube, polveri di legno, enzimi, lattice, gomma arabica, miceti, acari (delle derrate e del pollame), derivati animali. Questi ultimi possono essere dermici (forfora, peli, piume, componenti dermici di animali acquatici), liquidi biologici (sangue e urine), escrementi. Considera inoltre tra gli agenti coinvolti nell'eziologia dell'alveolite allergica estrinseca con o senza evoluzione fibrotica, gli actinomiceti termofili, i miceti, i derivati proteici animali.

Riguardo la dermatite allergica da contatto il testo della norma annovera, tra gli agenti, le resine naturali (colofonia, gommalacca, lattice, essenza di trementina), i derivati di piante e fiori ad azione allergizzante, i derivati di proteine di origine animale ad azione allergizzante. Anche la dermatite irritativa da contatto viene considerata nell'elenco delle malattie professionali nell'industria nella fattispecie per le lavorazioni che espongono all'azione di agenti urticanti di origine vegetale o animale.

Lo stesso decreto riporta, tra le malattie professionali nell'agricoltura, la dermatite allergica da contatto causata da cera d'api, propoli, derivati di piante, bulbi e fiori. Considera, inoltre, l'asma bronchiale causato da polveri di granaglie, semi di cotone, lino, soia, ricino, girasole, pollini da coltivazioni di graminacee, oleacee e composite, spore fungine (*Alternaria*, *Cladosporium*, aspergilli, penicilli), acari (del pollame e delle derrate), derivati animali. Questi ultimi includono derivati e annessi

dermici (forfora, peli, piume, componenti dermici di animali acquatici), liquidi biologici (sangue e urine), escrementi. Viene inoltre riportata l'alveolite allergica estrinseca, con o senza evoluzione fibrotica, causata da actinomiceti termofili, miceti, derivati proteici animali.

La filiera agroalimentare rappresenta quindi un settore a potenziale rischio di esposizioni multiple ad agenti allergenici i quali, soprattutto se di origine biologica, sono influenzati dalle variabili ambientali in generale e dal CC in particolare [54].

La realizzazione e la valutazione di diete sane e sostenibili per garantire la sicurezza alimentare e per contribuire a mitigare il CC rappresenta un ambito di ricerca sempre più importante. Propedeutico e parallelo a tale ambito di indagine è la promozione di una cultura dei numerosi aspetti legati al cibo, attuando soprattutto un cambiamento nel modo in cui si pensa alla nutrizione, osservandola cioè secondo prospettive diversificate e tra loro complementari, in particolare in tema di alimentazione globale e di sicurezza nutrizionale [55]. Dovrebbe essere favorito un approccio operativo multidisciplinare, che integri fisiologia, genomica e modellizzazione climatica, in modo da assicurare per il futuro un approvvigionamento alimentare sostenibile alla luce del CC [56]. Considerando che la produzione del bestiame (zootecnia) rappresenta circa il 14,5% dell'emissione dei gas serra è fondamentale pensare a una riduzione della dipendenza degli esseri umani dai nutrienti e dalle calorie ottenute dagli animali da allevamento.

Tra le misure proposte vi è l'utilizzo degli insetti commestibili, attraverso l'implementazione di questo tipo di allevamenti, che hanno il vantaggio di produrre meno gas-serra, di richiedere meno spazi e meno acqua, oltre a poter contare su cicli di vita più brevi [57,58], sebbene vadano considerate e portate a soluzione alcune criticità, soprattutto di natura logistica e in termini di controllo delle variabili ambientali.

È necessario inoltre riconoscere, approfondire e gestire questioni sia di carattere generale, quali gli aspetti di accettazione culturale [59,60], sia più mirate alla tutela della salute, incluso il rischio allergologico potenzialmente associato al consumo di insetti [61-63] sia indirizzate a garantire la sicurezza microbiologica [64].

3.5 DISCUSSIONE

Il CC comporterà verosimilmente un'ulteriore spinta all'evoluzione in atto per quanto riguarda la valutazione dei rischi, le misure di prevenzione e protezione, in generale la tutela della salute (non solo umana, ma anche animale, ambientale e, per estensione, dell'intero pianeta). Fino a tempi recenti i seguenti ambiti di valutazione, intervento e ricerca si sono sviluppati in modo tendenzialmente autonomo, con propri principi, approcci, strumenti concettuali e operativi:

- clinica;
- sanità pubblica;
- salute occupazionale;

- sanità veterinaria;
- salute ambientale ed ecologia.

Nel novero dei rischi per la salute le patologie allergiche rappresentano un esempio paradigmatico (e forse *unico*) di interazione tra esposizioni ambientali e occupazionali, profili di suscettibilità individuale ed effetti sulla salute. In tal senso rientrano in pieno nell'applicazione dell'approccio detto *sindemico*. Quest'ultimo esplora i motivi per i quali numerose patologie colpiscono individui e gruppi, esaminando i percorsi di interazione a livello biologico negli individui e nelle popolazioni che si traducono in un maggior carico complessivo di malattia, ma considerando anche gli ambienti sociali e le condizioni di disuguaglianza che favoriscono la compresenza delle patologie e la loro interazione, con conseguenze anche in termini di vulnerabilità [65]. L'approccio (o la teoria) sindemico (sindemica), inizialmente riferito (riferita) alle epidemie, è stato applicato (applicata) in vari ambiti della medicina, della sanità pubblica e dell'antropologia [66].

L'approccio sindemico si applica pertanto a due o più patologie che, interagendo sinergicamente, contribuiscono ad aumentare il carico patologico complessivo. Quando applicato alla prevenzione dovrebbe focalizzarsi sulle connessioni tra i determinanti della salute, considerando tali connessioni anche in termini di politiche sanitarie e allineandosi con le spinte dinamiche per il cambiamento sociale. L'approccio sindemico si amplia anche alla salute animale, approfondendone i collegamenti con la salute umana soprattutto in termini di prevenzione e rientrando pienamente nell'ottica *One Health* [67], che rappresenta una strategia collaborativa e interdisciplinare con un *focal point* sulle interconnessioni tra salute umana, animale e ambientale [68]. L'ottica *One Health* può supportare la gestione avanzata delle patologie allergiche e dell'asma, quali esempi di patologie complesse, multifattoriali e influenzate dalla risposta complessiva di resilienza all'esposoma. L'esposoma comprende, tra l'altro, un'ampia gamma di allergeni, agenti infettivi, agenti irritanti e altri tipi di inquinanti che influiscono sulla salute dell'ambiente (aria, acqua, suolo) e degli animali. Il CC, giova ribadirlo, influenza tutti questi aspetti, con impatti modulati dall'uso del territorio, dall'urbanizzazione, dalle dinamiche demografiche e migratorie e da numerosi altri fattori. Pertanto, una risposta coordinata e fondamentale a gestire i fattori che contribuiscono allo sviluppo delle malattie allergiche e dell'asma deve essere ad ampio spettro e comprendere l'ambiente, la salute umana e la salute animale. Tale risposta implica la promozione di collaborazioni interdisciplinari, in ambiti quali la sanità pubblica, la medicina veterinaria e le scienze ambientali, dovendo auspicabilmente prevedere anche il coinvolgimento della comunità. È necessario mettere in campo un'ampia gamma di attività, tra le quali monitoraggio e sorveglianza dei dati ambientali e sanitari, interventi mirati per ridurre l'esposizione ad allergeni e sostanze irritanti, ricerche per approfondire i meccanismi che portano allo sviluppo delle patologie allergiche e dell'asma [68].

L'approccio sindemico dovrebbe essere applicato anche al CC, che non va concettualizzato come una variabile a sé stante. Trattarlo in modo distinto comporterebbe infatti un grave limite nella comprensione delle sinergie e delle interazioni tra il CC e la gamma di fattori biotici e abiotici che influenzano la salute delle piante, degli animali e dell'uomo.

In definitiva, l'approccio sindemico si innesta nel complesso processo prima descritto, che parte dalle singole discipline, dai singoli rischi e dagli strumenti per misurarli e valutarli (nonché dalle specifiche misure di tutela) e muove verso una visione integrata e un'operatività multivello, finalizzata a concepire e trattare la salute umana, animale, vegetale e del pianeta. Circoscrivendo nuovamente l'attenzione alle esposizioni ad allergeni di origine biologica, soprattutto vegetale, questa prospettiva offre l'opportunità di valutare numerosi aspetti sia riguardo le esposizioni sia in merito agli effetti, combinando l'applicazione delle metodologie innovative e omiche sia per le analisi dei biocontaminanti aerodispersi [69-73] che per lo studio delle reattività multiple individuali [74-77].

3.6 PROSPETTIVE

Come noto, le risposte a livello sia globale sia locale al CC sono articolabili in *misure di mitigazione (mitigation)* e *misure di adattamento (adaptation)*. Tra le prime, finalizzate a contenere le emissioni di gas clima-alteranti, si possono annoverare:

- decarbonizzazione della produzione energetica;
- contenimento dei consumi ed efficienza energetica degli edifici;
- economia circolare;
- risparmio del suolo;
- tutela della biodiversità;
- verde urbano;
- trasporti a basso impatto sul clima.

Le misure di adattamento, che hanno lo scopo di rendere gli individui, le singole comunità, ma anche le infrastrutture e il territorio, maggiormente resilienti agli effetti del clima che cambia, includono tra le altre:

- manutenzione del territorio e manutenzione/adeguamento delle infrastrutture e degli edifici;
- potenziamento delle strutture sanitarie (ad esempio medicina diffusa sul territorio);
- trasporti a basso impatto sul clima;
- economia circolare;
- verde urbano;
- educazione a stili di vita sani.

Alcune misure possono essere considerate sia di mitigazione che di adattamento, come ad esempio quelle legate alla realizzazione, all'espansione, all'ottimizzazione e alla manutenzione delle aree verdi negli ambienti urbani. Le aree verdi possono infatti mitigare da un lato l'effetto "isola di calore" e l'esposizione a inquinanti, mentre dall'altro favoriscono pratiche salutari e facilitano il contatto con una maggior biodiversità.

Nell'ottica del CC l'informazione e la formazione del lavoratore possono essere viste anche come parte del percorso che può contribuire a realizzare misure di adattamento (in questo caso dell'individuo in quanto lavoratore ma in generale dell'individuo in tutte le proprie dimensioni di vita), in particolare l'educazione a stili di vita sani, concorrendo alla loro implementazione.

Un ultimo aspetto che merita di essere sottolineato riguarda la formazione degli operatori della prevenzione e, in particolare, l'adeguamento dei *curricula* di studio dei medici competenti. Le competenze legate all'impatto del CC e, più in generale, sulla salute ambientale sono infatti sempre più avvertite come parte essenziale della formazione in ambito medico, come si evince anche dalla letteratura [47]. La salute occupazionale non può fare eccezione e la messa in atto di un'attività di sorveglianza sanitaria sempre più efficace ai fini della tutela della salute del lavoratore potrà sempre meno prescindere da valutazioni legate all'impatto del clima che cambia sui determinanti individuali di salute.

Una breve riflessione va svolta in merito all'intelligenza artificiale che, sebbene rappresenti una tematica in rapidissima evoluzione e necessitante di continui approfondimenti in termini di criticità e potenzialità, si configura al tempo stesso come un *tool* sempre più indispensabile per la diffusione della conoscenza, lo studio degli effetti del CC, il supporto alle misure di contrasto al CC, l'acquisizione di nuove conoscenze su specifiche patologie (quali quelle allergiche) e la gestione della salute occupazionale [78-81].

3.7 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Url: <https://www.ipcc.ch/about/> [consultato agosto 2024].
- [2] The Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Sixth Assessment Report [Internet]. Geneva: IPCC. 2023. Url: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> [consultato agosto 2024]
- [3] The Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report—Global Warming of 1.5 °C. Cambridge: Cambridge University Press. 2018. Url: <https://www.ipcc.ch/sr15/> [consultato agosto 2024]
- [4] The Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

- Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2021.3–32. Doi:10.1017/9781009157896.001.
- [5] Kemp L, Xuc C, Depledge J et al. Climate endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proc Natl Acad Sci.* 2022;119:e2108146119.
- [6] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019): Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [Internet]. 2019. Url: <https://www.ipcc.ch/srccl/> [consultato agosto 2024].
- [7] Zhou W, Yu W, Zhang Z et al. How can urban green spaces be planned to mitigate urban heat island effect under different climatic backgrounds? A threshold-based perspective. *Sci Total Environ.* 2023;890:164422. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164422.
- [8] Marando F, Heris MP, Zulian G et al. Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society.* 2022; 77 (Feb 2022): 103564.
- [9] Fan HY, Yu ZW, Yang GY et al. How to cool hot-humid (Asian) cities with urban trees? An optimal landscape size perspective. *Agric For Meteorol.* 2019;265:338–348. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.027>.
- [10] Gomez-Martinez F, Beurs KM, de Koch J et al. 2021. Multi-temporal land surface temperature and vegetation greenness in urban green spaces of Puebla, Mexico. *Land.* 2021;10:1–25.
- [11] Grimmond CSB, Oke TR. An evapotranspiration-interception model for urban areas. *Water Resour Res.* 1991; 27:1739–1755. Url: <https://doi.org/10.1029/91WR00557>.
- [12] Yan H, Wu F, Dong L. Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. *Sci Total Environ.* 2018;622-623:882-891. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.327.
- [13] Akbari H, Kolokotsa D. Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy Build.* 2016;133:834–842.
- [14] Gilbert H, Mandel BH, Levinson R. Keeping California cool: recent cool community developments. *Energy Build.* 2016. 114:20–26.
- [15] Emmanuel R, Rosenlund H, Johansson E. Urban shading-a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. *Int J Climatol.* 2007;27:1995–2004. Url: <https://doi.org/10.1002/joc.1609>.
- [16] He BJ, Ding L, Prasad D. Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustain Cities Soc.* 2020;60: 102289.
- [17] Kirschner V, Macků K, Moravec D et al. Measuring the relationships between various urban green spaces and local climate zones. *Sci Rep.* 2023;13(1):9799. Doi: 10.1038/s41598-023-36850-6.

- [18] Suanno C, Aloisi I, Parrotta L et al. Allergenic risk assessment of urban parks: Towards a standard index. *Environ Res.* 2021;200:111436. Doi: 10.1016/j.envres.2021.111436.
- [19] Stas M, Aerts R, Hendrickx M et al. Exposure to green space and pollen allergy symptom severity: A case-crossover study in Belgium. *Sci Total Environ.* 2021;781:146682. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146682.
- [20] Cariñanos P, Grilo F, Pinho P et al. Estimation of the Allergenic Potential of Urban Trees and Urban Parks: Towards the Healthy Design of Urban Green Spaces of the Future. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(8):1357. Doi: 10.3390/ijerph16081357.
- [21] Cariñanos P, Casares-Porcel M, Díaz de la Guardia C et al. Assessing allergenicity in urban parks: A nature-based solution to reduce the impact on public health. *Environ Res.* 2017;155:219-227. Doi: 10.1016/j.envres.2017.02.015.
- [22] Nassary EK, Msomba BH, Masele WE et al. Exploring urban green packages as part of Nature-based Solutions for climate change adaptation measures in rapidly growing cities of the Global South. *J Environ Manage.* 2022;310:114786. Doi: 10.1016/j.jenvman.2022.114786.
- [23] Bisbis MB, Gruda N, Blanke M. Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality – a review. *J Clean Prod.* 2018; 170:1602-1620. Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.224.
- [24] Feng R, Li Z. Current investigations on global N2O emissions and reductions: Prospect and outlook. *Environ Pollut.* 2023; 338:122664. Doi: 10.1016/j.envpol.2023.122664.
- [25] Singaravadivelan A, Sachin PB, Harikumar S et al. Life cycle assessment of greenhouse gas emission from the dairy production system-review. *Trop Anim Health Prod.* 2023 Sep 25;55(5):320. Doi: 10.1007/s11250-023-03748-4.
- [26] Kumm M, Heino M, Taka M et al. Climate change risks pushing one-third of global food production outside the safe climatic space. *One Earth.* 2021;4(5):720-729. Doi: 10.1016/j.oneear.2021.04.017.
- [27] World allergy organization. The WAO white book on allergy (update 2013). Milwaukee (WI): White Book on Allergy. 2013. Url: <https://allergypaais.org/wp-content/themes/twentytwentyone/pdf/ExecSummary-2013-v6-hires.pdf> [consultato agosto 2024].
- [28] European Academy of Allergy and Clinical Immunology. White Paper on Research, Innovation and Quality Care. Zurich: EAACI. 2018. Url: https://hub.eaaci.org/education_books/eaaci-white-paper/ [consultato agosto 2024].
- [29] World health organization. Discussion Paper on the development of an implementation roadmap 2023 - 2030 for the Who Global Action Plan for the Prevention and Control of NCDs 2023 - 2030 [Internet]. 2021. Url:

- <https://www.who.int/publications/m/item/implementation-roadmap-2023-2030-for-the-who-global-action-plan-for-the-prevention-and-control-of-ncds-2023-2030> [consultato agosto 2024].
- [30] Cianconi P, Janiri L, Hanife B et al. Cambiamento climatico e salute mentale. Dall'ecologia della mente alla mente ecologica. Milano: Raffaello Cortina Editore. 2023. ISBN 9788832855616.
- [31] Segal TR, Giudice LC. Systematic review of climate change effects on reproductive health. *Fertil Steril.* 2022;118(2):215-223. Doi: 10.1016/j.fertnstert.2022.06.005.
- [32] Romanello M, Napoli CD, Green C et al. The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. *Lancet.* 2023; 13:S0140-6736(23)01859-7. Doi: 10.1016/S0140-6736(23)01859-7.
- [33] Wolf S, Teitge J, Mielke J et al. The european green deal - more than climate neutrality. *Inter Econ.* 2021;56(2):99-107. Doi: 10.1007/s10272-021-0963-z.
- [34] Haines A, Scheelbeek P. European Green Deal: a major opportunity for health improvement. *Lancet.* 2020;395(10233):1327-1329. Doi: 10.1016/S0140-6736(20)30109-4.
- [35] Schulte PA, Chun H. Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework. *J Occup Environ Hyg.* 2009;6(9):542-554. Doi: 10.1080/15459620903066008.
- [36] Schulte PA, Bhattacharya A, Butler CR et al. Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health. *J Occup Environ Hyg.* 2016;13(11):847-865. Doi: 10.1080/15459624.2016.1179388.
- [37] Moda HM, Filho WL, Minhas A. Impacts of climate change on outdoor workers and their safety: some research priorities. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(18):3458. Doi: 10.3390/ijerph16183458.
- [38] D'Ovidio MC, Grandi C, Polichetti A et al. Monographic section: Climate change and occupational health. *Ann Ist Super Sanità.* 2016;52:323-343.
- [39] Levi M, Kjellstrom T, Baldasseroni A. Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. *Med Lav.* 2018; 109(3):163-179. Doi: 10.23749/mdl.v109i3.6851.
- [40] Binazzi A, Levi M, Bonafede M et al. Evaluation of the impact of heat stress on the occurrence of occupational injuries: Meta-analysis of observational studies. *Am J Ind Med.* 2019;62(3):233-243. Doi: 10.1002/ajim.22946.
- [41] Johnson RJ, Sánchez-Lozada LG, Newman LS et al. Climate change and the kidney. *Ann Nutr Metab.* 2019;74: Suppl 3:38-44. Doi: 10.1159/000500344.
- [42] Borg MA, Xiang J, Anikeeva O et al. Occupational heat stress and economic burden: A review of global evidence. *Environ Res.* 2021;195:110781. Doi: 10.1016/j.envres.2021.110781.

- [43] International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 109 Outdoor air pollution. Lyon, France: IARC. 2016.
- [44] Orru H, Ebi KL, Forsberg B. The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Curr Environ Health Rep.* 2017;4(4):504-513. Doi: 10.1007/s40572-017-0168-6.
- [45] Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A et al. Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Front public health.* 2020;8:14. Doi: 10.3389/fpubh.2020.00014.
- [46] Mallah MA, Changxing L, Mallah MA et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overview. *Chemosphere.* 2022;296:133948. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133948.
- [47] Grandi C, Lancia A, D'Ovidio MC. Climate change: an issue that should be part of workers' information and training duties envisaged by EU directives on occupational health and safety. *Atmosphere* 2023, 14, 1183. Doi:10.3390/atmos14071183.
- [48] Yuan Y, Li C, Geng X et al. Natural-anthropogenic environment interactively causes the surface urban heat island intensity variations in global climate zones. *Environ Int.* 2022;170:107574. Doi: 10.1016/j.envint.2022.107574.
- [49] Ren Y, Laforteza R, Giannico V et al. The unrelenting global expansion of the urban heat island over the last century. *Sci Total Environ.* 2023;880:163276. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163276.
- [50] Jeebhay MF, Moscato G, Bang BE et al. Food processing and occupational respiratory allergy-An EAACI position paper. *Allergy.* 2019;74(10):1852-1871. Doi: 10.1111/all.13807.
- [51] Werfel T, Asero R, Ballmer-Weber BK et al. Position paper of the EAACI: food allergy due to immunological cross-reactions with common inhalant allergens. *Allergy.* 2015;70(9):1079-90. Doi: 10.1111/all.12666.
- [52] Muraro A, Werfel T, Hoffmann-Sommergruber K et al. EAACI food allergy and anaphylaxis guidelines: diagnosis and management of food allergy. *Allergy.* 2014;69(8):1008-25. Doi: 10.1111/all.12429.
- [53] Ministero del lavoro e delle politiche sociali. Decreto 10 ottobre 2023. Revisione delle tabelle delle malattie professionali nell'industria e nell'agricoltura pubblicato nella Gazzetta ufficiale n. 270 del 18 novembre 2023.
- [54] Parajuli R, Thoma G, Matlock MD. Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. *Sci Total Environ.* 2019;650(Pt 2):2863-2879. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.019.
- [55] Macdiarmid JI, Whybrow S. Nutrition from a climate change perspective. *Proc Nutr Soc.* 2019;78(3):380-387. Doi: 10.1017/S0029665118002896.

- [56] Leisner CP. Climate change impacts on food security- focus on perennial cropping systems and nutritional value. *Plant Sci.* 2020;293:110412. Doi: 10.1016/j.plantsci.2020.110412.
- [57] Park SJ, Kim KY, Baik MY et al. Sericulture and the edible-insect industry can help humanity survive: insects are more than just bugs, food, or feed. *Food Sci Biotechnol.* 2022;31(6):657-668. Doi: 10.1007/s10068-022-01090-3.
- [58] Hawkey KJ, Lopez-Viso C, Brameld JM et al. Insects: A Potential Source of Protein and Other Nutrients for Feed and Food. *Annu Rev Anim Biosci.* 2021;9:333-354. Doi: 10.1146/annurev-animal-021419-083930.
- [59] Olivadese M, Dindo ML. Edible Insects: A Historical and Cultural Perspective on Entomophagy with a Focus on Western Societies. *Insects.* 2023;14(8):690. Doi: 10.3390/insects14080690.
- [60] Ordoñez-Araque R, Quishpillo-Miranda N, Ramos-Guerrero L. Edible Insects for Humans and Animals: Nutritional Composition and an Option for Mitigating Environmental Damage. *Insects.* 2022;13(10):944. Doi: 10.3390/insects13100944.
- [61] Pan J, Xu H, Cheng Y, Mintah BK et al. Recent Insight on Edible Insect Protein: Extraction, Functional Properties, Allergenicity, Bioactivity, and Applications. *Foods.* 2022;11(19):2931. Doi: 10.3390/foods11192931.
- [62] Yang J, Zhou S, Kuang H et al. Edible insects as ingredients in food products: nutrition, functional properties, allergenicity of insect proteins, and processing modifications. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2023;Jun 21:1-23. Doi: 10.1080/10408398.2023.2223644.
- [63] Delgado Calvo-Flores L, Garino C, Moreno FJ et al. Insects in food and their relevance regarding allergenicity assessment. *Efsa J.* 2022;20(Suppl 2):e200909. Doi: 10.2903/j.efsa.2022.e200909.
- [64] Gałęcki R, Bakula T, Gołaszewski J. Foodborne diseases in the edible insect industry in Europe-new challenges and old problems. *Foods.* 2023;12(4):770. Doi: 10.3390/foods12040770.
- [65] Singer M, Bulled N, Ostrach B et al. Syndemics and the biosocial conception of health. *Lancet.* 2017;389(10072):941-950. Doi: 10.1016/S0140-6736(17)30003-X.
- [66] Singer M, Bulled N, Ostrach B. Whither syndemics?: Trends in syndemics research, a review 2015 - 2019. *Glob Public Health.* 2020;15(7):943-955. Doi: 10.1080/17441692.2020.1724317.
- [67] Rock M, Buntain BJ, Hatfield JM et al. Animal-human connections, "one health," and the syndemic approach to prevention. *Soc Sci Med.* 2009;68(6):991-5. Doi: 10.1016/j.socscimed.2008.12.047.
- [68] Jutel M, Mosnaim GS, Bernstein JA et al. The One Health approach for allergic diseases and asthma. *Allergy.* 2023;78(7):1777-1793. Doi: 10.1111/all.15755.

- [69] Levetin E, McCloud JD, Pityn P et al. Air Sampling and Analysis of Aeroallergens: Current and Future Approaches. *Curr Allergy Asthma Rep.* 2023;23(5):223-236. Doi: 10.1007/s11882-023-01073-2.
- [70] Campbell BC, Van Haeften S, Massel K et al. Metabarcoding airborne pollen from subtropical and temperate eastern Australia over multiple years reveals pollen aerobiome diversity and complexity. *Sci Total Environ.* 2023;862:160585. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160585.
- [71] Lancia A, Giofrè A, Di Rita F et al. Aerobiological Monitoring in an Indoor Occupational Setting Using a Real-Time Bioaerosol Sampler. *Atmosphere.* 2023; 14(1). Doi: 10.3390/atmos14010118.
- [72] Jin B, Milling M, Plaza MP. Airborne pollen grain detection from partially labelled data utilising semi-supervised learning. *Sci Total Environ.* 2023;891:164295. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164295.
- [73] Plaza MP, Kolek F, Leier-Wirtz V et al. Detecting Airborne Pollen Using an Automatic, Real-Time Monitoring System: Evidence from Two Sites. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(4):2471. Doi: 10.3390/ijerph19042471.
- [74] Devonshire A, Gautam Y, Johansson E et al. Multi-omics profiling approach in food allergy. *World Allergy Organ J.* 2023;16(5):100777. Doi: 10.1016/j.waojou.2023.100777.
- [75] Radzikowska U, Baerenfaller K, Cornejo-Garcia JA et al. Omics technologies in allergy and asthma research: An Eaaci position paper. *Allergy.* 2022;77(10):2888-2908. Doi: 10.1111/all.15412.
- [76] Vizuet-de-Rueda JC, Montero-Vargas JM, Galván-Morales MÁ et al. Current Insights on the Impact of Proteomics in Respiratory Allergies. *Int J Mol Sci.* 2022;23(10):5703. Doi: 10.3390/ijms23105703.
- [77] D'Ovidio MC, Wirz A, Zennaro D et al. Biological occupational allergy: Protein microarray for the study of laboratory animal allergy (LAA). *AIMS Public Health.* 2018;5(4):352-365. Doi: 10.3934/publichealth.2018.4.352.
- [78] Høj S, Thomsen SF, Meteran H et al. Artificial intelligence and allergic rhinitis: does ChatGPT increase or impair the knowledge? *J Public Health (Oxf).* 2024;46(1):123-126. Doi: 10.1093/pubmed/fdad219.
- [79] Mehryar S, Yazdanpanah V, Tong J. AI and climate resilience governance. *iScience.* 2024;27(6):109812. Doi: 10.1016/j.isci.2024.109812.
- [80] Liu HM, Rayner A, Mendelsohn AR et al. Applying artificial intelligence to identify common targets for treatment of asthma, eczema, and food allergy. *Int Arch Allergy Immunol.* 2024;185(2):99-110. Doi: 10.1159/000534827.
- [81] Fisher E, Flynn MA, Pratap P et al. Occupational safety and health equity impacts of artificial intelligence: a scoping review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2023; 20(13): 6221. Doi: 10.3390/ijerph20136221.

4 – BIODIVERSITÀ

C. Grandi¹, P. Tomao¹, N. Vonesch¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

4.1 ASPETTI GENERALI

La Convenzione sulla diversità biologica dell'Onu (Convention on Biological Diversity o CBD) [1] del 1992 definisce la biodiversità come: "La variabilità tra gli organismi viventi di ogni provenienza, compresi, tra gli altri, ecosistemi terrestri e marini e altri ecosistemi acquatici e i complessi ecologici dei quali essi sono parte; questo include la diversità all'interno delle specie, tra le specie e di ecosistemi" (Nazioni unite, 1992). Più in dettaglio, si può intendere il termine *biodiversità* come la varietà e variabilità degli organismi viventi e dei sistemi ecologici in cui essi vivono, includendo diversità a livello *genetico*, di *specie* e di *ecosistema*. La *diversità genetica* definisce la variabilità a livello del genoma di una determinata specie, esprimibile in particolare in termini di numero e di diffusione delle varianti alleliche dei singoli geni. La *diversità di specie* comprende la *ricchezza* di specie, misurabile in termini di numero delle specie presenti in una determinata zona, o di *frequenza* delle specie, cioè la loro rarità o abbondanza in un territorio o in un *habitat*. *Infine, per diversità di ecosistema* si intende il *numero* e *l'abbondanza* degli *habitat*, delle comunità viventi e degli ecosistemi all'interno dei quali i diversi organismi vivono, si riproducono ed evolvono.

Nel corso del tempo il concetto di biodiversità si è ulteriormente arricchito, finendo per includere aspetti funzionali di specie ed ecosistemi, anche in relazione al supporto da essi fornito all'esistenza e allo sviluppo delle società umane, inclusi quelli nutrizionali, medicinali e financo estetici (ad esempio abbondanza e diversità di colori, suoni e altre stimolazioni sensoriali direttamente legate alla complessità e diversificazione del mondo naturale) [2].

Il problema della perdita di biodiversità, intesa in tutte le accezioni menzionate in precedenza, si è posto soprattutto con la nascita e lo sviluppo delle società industrializzate ed è divenuto particolarmente drammatico negli ultimi decenni. A livello globale, ad esempio, si stima che gli attuali tassi di estinzione delle specie siano anche 100/1000 volte il valore di fondo [3] e che circa un milione di specie siano a rischio estinzione a meno che non siano adottate rapidamente misure in grado di ridurre l'intensità delle cause a monte della perdita di biodiversità, in particolare l'urbanizzazione, la deforestazione e il cambiamento climatico [4]. Considerato che fino a oggi sono state identificate e descritte forse il 10% delle specie viventi sulla terra [5] e probabilmente solo lo 0,001% del sottoinsieme rappresentato dalle specie microbiche [6] non è inverosimile che la maggior

parte delle specie che si stanno estinguendo a seguito dell'impatto dell'attività umana non siano ancora note.

Per gli aspetti della biodiversità che riguardano la variabilità genetica e la diversità/ricchezza ecosistemica è molto più difficile effettuare stime quantitative, ma tutto lascia pensare che anche su questo versante si assista a un deterioramento progressivo e probabilmente accelerato.

La perdita di biodiversità impatta e impatterà in modo sempre crescente sulla disponibilità e fruibilità dei cosiddetti *servizi ecosistemici* [7] definizione con la quale si intende l'insieme dei benefici forniti dagli ecosistemi alle società umane. Questi ultimi possono essere in termini di approvvigionamento (alimenti, acqua potabile, altri materiali) e riciclo delle risorse (smaltimento rifiuti, cicli biogeologici), di natura regolativa (in relazione alla rigenerazione del suolo, all'erosione, alla depurazione delle acque, all'impollinazione, ecc.), ma anche a valenza estetica, identitaria, educativa e ricreativa.

Il concetto di biodiversità è strettamente legato a quello di "ambiente naturale", riferendosi quest'ultimo non a una tipologia di ambiente "non contaminata" (così come viene rappresentato nella non corretta percezione di molte persone), bensì di un ambiente (o di un complesso di ecosistemi) che ancora non ha risentito in modo traumatico dell'azione antropica, oppure che è stato recuperato da un precedente stato di degrado e che usufruisce di qualche forma di tutela. Questi ambienti sono riconosciuti essere sempre più importanti per il recupero, il mantenimento o il miglioramento dello stato di salute individuale e collettiva, dato che la salute, nell'accezione più ampia e in linea con la definizione dell'Organizzazione mondiale della sanità, include il benessere psichico. Quest'ultimo affonda le proprie radici anche in contesti culturali e identitari, i quali, fino a poche generazioni fa, attingevano ampiamente dagli ambienti naturali locali. Un aspetto importante alla base dello sviluppo psichico e del benessere della persona è il legame che si instaura tra ambiente fisico (*landscape*) e paesaggio mentale (*mindscape*). Uno dei rischi è infatti rappresentato dalla cosiddetta *amnesia ambientale generazionale*, che trae origine dalla mancata conoscenza durante l'infanzia del mondo naturale, che non sarà quindi incluso tra i determinanti dell'identità personale e sociale. Questi aspetti [8] mettono in luce sempre nuovi risvolti legati direttamente o indirettamente alla biodiversità del mondo che ci circonda.

4.2 CAUSE E CONSEGUENZE DELLA PERDITA DI BIODIVERSITÀ

I principali fattori che forzano in direzione della perdita di biodiversità (*drivers of biodiversity loss*) sono di seguito riportati.

Urbanizzazione: le aree urbane coprono il 22% della superficie terrestre dell'Unione europea e una quota crescente di territorio nei Paesi in rapido sviluppo e nel sud

del mondo. Si stima che nel 2050 fino ai tre quarti della popolazione mondiale risiederà in aree urbane, molte delle quali hanno assunto o assumeranno lo *status* di megalopoli (*Megacities*, oltre 10 milioni di abitanti). L'espansione dell'ambiente urbano, se non almeno in parte riequilibrata (ad esempio da una concomitante espansione delle aree verdi urbane), comporta di per sé stessa una forte perdita di biodiversità, in quanto si sostituisce semplicemente agli ecosistemi precedenti. La progressiva espansione delle aree urbane, specialmente nel sud del mondo, se non sostenuta da una pianificazione accurata comporterà una perdita di biodiversità particolarmente ampia [9]. È comunque un dato di fatto che l'urbanizzazione può determinare nuovi equilibri ecosistemici nel territorio interessato, spesso però non favorevoli alla vita e al benessere delle comunità residenti, così come esemplificato dal caso dell'invasione o della proliferazione di specie infestanti e dalla sostituzione dell'avifauna locale con specie esotiche.

Consumo del suolo: il suolo rappresenta lo strato più superficiale della crosta terrestre ed è formato da minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi. È una risorsa sostanzialmente non rinnovabile, considerato il lungo tempo necessario alla sua formazione, che tuttavia viene continuamente sottoposto a processi di degrado quali l'erosione, la compattazione, l'impoverimento in materia organica e l'inquinamento. Il consumo di suolo è un processo associato alla perdita di una superficie originariamente agricola, naturale o seminaturale, che viene sostituita con una copertura artificiale rappresentata da edifici, fabbricati e altre infrastrutture. È pertanto strettamente correlato all'urbanizzazione [10], anche se ha una valenza significativamente più estesa: si pensi ad esempio alle superfici occupate dalle reti di trasporti, dalle infrastrutture energetiche e dalle aree di stoccaggio/trattamento rifiuti. Nel nostro Paese, come in altri, il consumo di suolo è periodicamente monitorato (si veda ad esempio il Rapporto Ispra 2023 [11]).

Deforestazione: la distruzione di foreste per creare spazi all'espansione urbana, all'agricoltura intensiva, a infrastrutture o alle attività minerarie si traduce di per sé nella distruzione di ecosistemi complessi, la cui formazione può aver richiesto migliaia o milioni di anni. La distruzione degli ecosistemi forestali è spesso irreversibile, specie nelle aree tropicali, dato che anche in caso di riforestazione è molto difficile ripristinare la ricchezza biologica e la complessità dell'ecosistema precedente.

Agricoltura intensiva: l'alimentazione umana è sempre meno diversificata a livello globale, data la necessità di far fronte alle esigenze alimentari di una popolazione crescente, attualmente di circa otto miliardi di abitanti, che da un lato comporta la selezione di poche specie e varietà ad alta resa e a maggior resistenza alle avversità ambientali e ai parassiti (con conseguente impiego di vaste aree agricole a mono- o a bicolture in molti Paesi), dall'altro l'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi che, in modo concomitante ad altri fattori (quali il cambiamento climatico), inevitabilmente determina la scomparsa o la forte riduzione della biodiversità degli insetti, compresi gli impollinatori [12] e l'alterazione anche profonda del microbiota del

suolo. Poche specie vegetali fanno fronte alla richiesta alimentare mondiale di carboidrati e di proteine (frumento e mais prevalentemente in occidente, riso in Asia, poche specie di legumi in occidente, soia nell'oriente asiatico), così come poche specie animali (essenzialmente suini, pollame, bovini e ovini) sono ormai utilizzate su larga scala per il consumo di carne. Per quanto riguarda i prodotti ittici, la pesca intensiva da un lato e l'acquacoltura dall'altro hanno contribuito non solo alla perdita di specie di pesci, crostacei e molluschi, ma soprattutto alla drammatica riduzione nel numero di esemplari delle specie pescate: emblematico il caso del merluzzo nel nord Atlantico.

Inquinamento dell'aria, delle acque e dei suoli: l'inquinamento delle matrici ambientali, soprattutto con metalli e composti organici persistenti, non è compatibile con la sopravvivenza di diverse specie e forza il cambiamento evolutivo di altre in direzioni certamente differenti da quelle che avrebbero avuto in assenza delle pressioni selettive dovute a un elevato numero di inquinanti, alcuni dei quali sono spesso presenti in alta concentrazione o con *pattern* complessi di diffusione e fluttuazione temporale. Alcuni ordini di insetti e numerose specie di anfibi sono particolarmente vulnerabili agli inquinanti. In ogni caso le implicazioni dell'impatto dell'inquinamento ambientale a livello di biodiversità sono ancora poco conosciute e necessitano di ricerche approfondite, in grado anche di sviluppare soluzioni innovative [13].

Cambiamento climatico: il cambiamento climatico in corso [14] interagisce con i fattori prima riportati e contribuisce a un'ulteriore perdita di biodiversità. Anche considerato come fenomeno a sé stante può determinare una serie di conseguenze, tutte a impatto negativo in relazione ai diversi aspetti della diversità biologica:

- l'alterazione dei regimi pluviometrici (periodi di eccessiva o prolungata siccità o pioggia) e la maggior frequenza, intensità e durata di eventi meteo estremi possono ridurre numericamente le popolazioni di diverse specie animali e vegetali e costringere altre a spostamenti di habitat;
- l'incremento delle temperature marine può portare alla migrazione di specie ittiche e di crostacei esotiche, innescando una importante competizione alimentare con le specie autoctone o anche predando queste ultime;
- l'aumento delle temperature medie nelle aree continentali può comportare la migrazione di insetti, compresi i vettori di malattie virali e parassitarie, e di altre specie, innescando anche in questo caso fenomeni di concorrenza biologica con le specie locali dagli esiti non sempre prevedibili;
- la maggior frequenza, estensione e durata degli incendi boschivi comporta in quanto tale la distruzione permanente di numerosi habitat forestali.

I principali ordini di conseguenze per la salute e il benessere individuale e sociale dell'uomo dovuti alla perdita di biodiversità sono brevemente riassunti nel seguito:

- riduzione della riserva genetica vegetale e animale di corrente o potenziale uso alimentare;

- scomparsa di specie vegetali o animali potenziali fonti di nuovi principi attivi in campo farmacologico;
- scomparsa o riduzione degli habitat delle specie serbatoio di agenti patogeni, con conseguente aumento della probabilità di passaggio in nuovi ospiti (ad esempio specie addomesticate o allevate per scopi alimentari) e di salti di specie (*spillover*);
- alterazione dei cicli biogeochimici (in particolare a livello del suolo) a causa dei cambiamenti a livello della microfauna e del microbiota;
- diminuzione della capacità di risposta e adattamento (resilienza) degli ecosistemi in relazione a pressioni di origine naturale o antropica.

4.3 MICROBIODIVERSITÀ: IMPLICAZIONI PER LA SALUTE, L'AMBIENTE E LA FILIERA AGROALIMENTARE

Un ambito cruciale legato alla perdita complessiva della biodiversità riguarda l'alterazione antropica delle dinamiche ecologiche della vita microbica, aspetto in passato poco considerato ma ritenuto oggi sempre più importante. La perdita di biodiversità a livello delle specie animali e vegetali (*macrobiodiversità*) può infatti correre in parallelo alla perdita di diversità microbiologica (*microbiodiversità*), che coinvolge non solo i comparti ambientali, ma soprattutto i singoli organismi vegetali e animali, inclusa ovviamente la specie umana.

Al riguardo è importante il concetto di *microbiota*, che si riferisce all'insieme dei microrganismi (soprattutto batteri, virus, funghi, protozoi) che popolano le superfici interne ed esterne degli organismi vegetali e animali. Nell'uomo i distretti corporei nei quali è presente sono anzitutto l'intestino, seguito dal cavo orale, dalla cute, dal canale vaginale e dal polmone. Il microbiota viene oggi ritenuto parte integrante dell'organismo ospite, che può essere quindi considerato a tutti gli effetti un *meta-organismo* e che viene attualmente definito anche come *olobionte* [15,16].

Per *microbioma* si intende invece l'insieme dei genomi di tutti i microrganismi associati a un organismo pluricellulare, ad esempio a quello umano. Il genoma umano, pertanto, non può essere circoscritto, almeno dal punto di vista funzionale, al solo DNA contenuto nei cromosomi delle cellule e al relativo DNA mitocondriale, ma dovrebbe idealmente includere i genomi di tutti i microrganismi del microbiota, ossia il microbioma, ed essere pertanto definito, in analogia con il termine di meta-organismo, un *meta-genoma*.

Le funzioni del microbiota, che vive in stretta simbiosi con l'organismo ospite, sono numerose e la ricerca ne mette in evidenza sempre di nuove (attestate o ipotizzate) [17-19].

Soprattutto in merito al microbiota intestinale, di gran lunga il più importante e diversificato in termini di specie di microrganismi (da solo include circa 100 trilioni

di microorganismi e oltre 500 generi di batteri), sono da tempo riconosciute importanti funzioni in relazione al metabolismo di costituenti alimentari (soprattutto aminoacidi), alla sintesi di principi attivi (ad esempio composti vitaminici e acidi grassi a corta catena) e alla funzionalità complessiva del tratto digerente. Nel tempo è emersa sempre più l'importanza del microbiota nella regolazione di funzioni immunologiche, nel metabolismo, nella partecipazione al controllo della proliferazione cellulare e nel funzionamento dello stesso sistema nervoso centrale, regolazione che si attuerebbe principalmente tramite un complesso e solo in parte noto scambio di mediatori attraverso il circolo ematico e linfatico, nonché attraverso il rilascio di mediatori da fibre nervose a livello soprattutto intestinale. I rapporti tra microbiota intestinale e cervello sembrano essere molto stretti, anche in termini di interazione nello sviluppo di quadri patologici neuropsichici, tanto che si parla esplicitamente di: "*gut-brain axis*" (asse intestino-cervello) [20]. Stanno inoltre emergendo rapporti sempre più complessi tra intestino e apparato respiratorio, ora etichettati anche con la denominazione: "*gut-lung axis* (asse intestino-polmoni)", dove il microbiota sembra svolgere un ruolo per quanto riguarda la modulazione del rischio di patologie quali l'asma e della frequenza e gravità dei loro sintomi [21].

Il microbiota si instaura in genere al momento della nascita soprattutto attraverso il canale del parto, arricchendosi e diversificandosi nell'organismo in sviluppo in relazione all'assunzione di alimenti, al contatto con superfici dell'ambiente, con altre persone, con animali, piante e suolo.

La conoscenza del microbiota è ancora abbastanza sommaria per una serie di distretti corporei, per la gran parte delle specie non umane e in relazione a diversi aspetti che riguardano i risvolti ecologici e fisiopatologici a esso legati, ma l'emergere sempre più abbondante di dati nel settore, al quale sono applicate in maniera crescente metodiche di indagine di tipo "omico" coadiuvate dall'elaborazione sempre più efficiente di *big data* biologici, sta rapidamente arricchendo il bagaglio delle informazioni scientifiche disponibili.

La composizione del microbiota, in termini di specie presenti e di numerosità di microrganismi appartenenti a una stessa specie, tende a rimodularsi nel tempo in relazione non solo all'alimentazione e ai contatti con l'esterno, ma anche con l'età e il sesso, gli stili di vita, l'esposizione ad agenti ambientali e occupazionali di natura fisica, chimica e biologica, la presenza di stati patologici. La sua regolazione è pertanto molto complessa. Prendendo sempre ad esempio il microbiota intestinale, una prima forma di regolazione è rappresentata dalla funzione barriera della mucosa, che impedisce la diffusione di microrganismi nei circoli ematico o linfatico e, attraverso questi, il loro trasporto ad organi e tessuti che fisiologicamente devono rimanere sterili. Un secondo livello regolativo è dato dalla concorrenza tra i diversi generi, specie e ceppi microbici, che tende normalmente a far mantenere un certo equilibrio tra loro. L'intestino è poi sede di numerosi fagi i quali, infettando cellule batteriche, contribuiscono al controllo proliferativo di

queste ultime. Infine, l'aspetto più importante in termini di controllo dinamico del microbiota è l'interazione con il sistema immunitario locale e sistemico dell'ospite. Nell'insieme, l'aspetto dinamico e "flessibile" del microbiota fa ipotizzare per quest'ultimo un ruolo nel coadiuvare risposte rapide ai cambiamenti ambientali cui è sottoposto l'organismo [22].

Le condizioni che comportano squilibri di varia natura tra le componenti del microbiota sono complessivamente note con il nome di *disbiosi*, condizioni che presentano spesso perdita di diversità microbica a livello dei distretti corporei interessati (*in primis* quello intestinale) [15]. La natura e la gravità delle conseguenze dipendono dalle tipologie di equilibrio microbico in gioco, dalle caratteristiche individuali dell'ospite, dalla durata della condizione di disbiosi e dall'esposizione a eventuali cofattori legati all'ambiente di vita e di lavoro. Le conseguenze legate agli stati disbiotici note da più tempo riguardano la funzionalità intestinale (insorgenza di stipsi o diarrea), squilibri nutrizionali e riduzione del senso di benessere complessivo, ma sono sempre più numerosi i dati che suggeriscono un ruolo almeno concausale delle disbiosi nell'insorgenza o nell'aggravamento di disfunzioni immunologiche (come quelle associate alle malattie allergiche o addirittura a patologie autoimmuni), di patologie cronicodegenerative di tipo metabolico (diabete), di condizioni quali l'obesità, di patologie cardiovascolari, di patologie a livello del sistema nervoso (sia di natura neurologica, quali i quadri neurodegenerativi propri delle sindromi dementigene, sia psichiatrica) e di patologie tumorali.

Le cause di disbiosi riconosciute, sospette o solo ipotizzate sono molto numerose. Un sommario elenco di queste è riportato nel seguito:

- terapie antibiotiche;
- stili nutrizionale squilibrati a livello di macronutrienti e micronutrienti;
- parto cesareo vs parto naturale (mancato contatto con il microbiota del canale del parto);
- assenza di allattamento al seno (importante per i risvolti che ha in termini di regolazione immunologica e microbiologica);
- numerosità dei membri della famiglia (famiglie più numerose comportano una maggior diversificazione del microbiota individuale);
- presenza o meno di animali domestici (il contatto con animali domestici arricchisce il microbiota umano);
- residenza in ambiente urbano. Si traduce in diminuite occasioni di contatto con matrici naturali, presenti soprattutto nelle aree verdi, ricche di microbioti diversificati, al contrario dell'ambiente urbano, che sembra presentare una maggior "semplificazione" delle popolazioni microbiche presenti;
- alterazione dei ritmi circadiani e condizioni di stress intenso e/o prolungato (possono agire sul microbiota attraverso l'iperattivazione dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene e l'alterazione di aspetti della funzione immunologica);
- viaggi e spostamenti.

Una crescente attenzione sta ricevendo il microbiota cutaneo [23], in relazione al fatto che la cute rappresenta un tessuto barriera ed è continuamente esposta alla radiazione solare, a forti escursioni di temperatura e a inquinanti ambientali, oltre che a trattamenti di natura cosmetica. Alcuni studi stanno iniziando anche a valutare l'influenza delle condizioni di lavoro sul microbiota e alcune esposizioni occupazionali sono state associate ad alterazioni a questo livello [24,25]. Naturalmente si tratta di un ambito di studio ancora agli inizi, ma non è inverosimile ritenere che il microbiota, le sue dinamiche e le sue influenze avranno riconosciuto un ruolo sempre maggiore nella modulazione dei rischi legati all'esposizione lavorativa ad agenti fisici, chimici e biologici.

L'uso di probiotici, un'alimentazione equilibrata e uno stile di vita più sano, il frequente contatto con animali, vegetali e in generale con matrici dell'ambiente naturale, la frequentazione di aree verdi, il risiedere in ambienti rurali, un buon ritmo sonno-veglia e condizioni di lavoro e di vita limitatamente stressanti contribuiscono, unitamente a tratti individuali favorevoli (ad esempio l'immunotipo Th1), al mantenimento e al miglioramento del proprio microbiota, con ricadute favorevoli in termini di ridotta frequenza e gravità di quadri patologici di varia natura, soprattutto cronici.

Quanto fino ad ora rappresentato vale essenzialmente per il microbiota umano e si applica quindi a considerazioni circa il mantenimento e la promozione della salute individuale. Peraltro, occorre ricordare che il microbiota può essere un fattore di veicolazione di condizioni di antibiotico resistenza, potendo alcune specie essere oggetto di trasferimento genico orizzontale di tratti antibioticoresistenti da parte di microrganismi divenuti tali ed essendo a loro volta in grado di trasmettere orizzontalmente questi tratti a microrganismi patogeni non ancora resistenti. Queste considerazioni rafforzano ulteriormente la raccomandazione circa l'uso mirato degli antibiotici, giustificato solo in presenza di sospette o accertate infezioni di natura batterica sostenute da ceppi sensibili al principio (o ai principi) attivo disponibile.

I microbioti propri delle diverse specie animali e vegetali sono di importanza enormemente superiore da punto di vista ecologico. Sulla base dello stato delle conoscenze e in un'ottica unitaria rispetto alla salute umana, alla salute animale e alla salute dell'ambiente (*one health*) è possibile ipotizzare che la riduzione della microbiodiversità comporta e comporterà verosimilmente sempre più una riduzione della capacità di risposta di un numero crescente di specie animali e vegetali ai cambiamenti (naturali o antropici) dei loro habitat, avendo così un impatto più o meno diretto sulla biodiversità a livello macro. Un'attenzione crescente viene rivolta al microbiota del suolo, per il quale sono state a oggi riconosciute oltre 40 funzioni, che contribuiscono direttamente o indirettamente alla salute umana, animale, delle piante e del suolo medesimo [26].

In secondo luogo, le pratiche di allevamento e agricoltura intensive sono associate alla compromissione dei microbioti di specie addomesticate, contribuendo a

peggiore il loro stato di salute e, conseguentemente, la loro risposta a infezioni e altri insulti ambientali. Questo può innescare un circolo vizioso, nel senso che può spingere a un uso ancora più massiccio di antibiotici, fitosanitari e formulati fertilizzanti, nonché alla realizzazione di contesti agricoli e zootecnici ancora più "artificiali" e "controllati", forieri di un'ulteriore compromissione dello stato di salute per animali e vegetali. Il risultato può concorrere, unitamente ad altri fattori, a una progressiva riduzione delle proprietà nutrizionali e delle qualità organolettiche dei prodotti alimentari così ottenuti.

4.4 INTERVENTI PER IL RECUPERO, IL MANTENIMENTO E LA PROMOZIONE DELLA BIODIVERSITÀ

La necessità di salvaguardare la biodiversità quale una delle condizioni fondamentali per la sostenibilità ambientale, è stato confermato nel corso degli anni. L'Onu ha proclamato il 2010 Anno internazionale della biodiversità, per sensibilizzare tutto il mondo al problema della distruzione di habitat, ecosistemi e specie e la 65ª sessione dell'Assemblea generale ha dichiarato il 2011 - 2020 Decennio delle Nazioni unite sulla biodiversità [27] (Risoluzione Onu 65/161), allo scopo di promuovere l'attuazione degli obiettivi contenuti nel Piano strategico per la biodiversità.

Il 20 maggio 2020, la Commissione europea ha presentato la Strategia dell'Unione europea sulla biodiversità per il 2030 [28], nella quale le principali azioni da realizzare possono essere così sintetizzate: la creazione di zone protette comprendenti almeno il 30% della superficie terrestre e marina e il ripristino degli ecosistemi degradati attraverso misure specifiche. Tra queste ultime si annoverano la riduzione dell'uso dei pesticidi del 50% e la piantumazione di 3 miliardi di alberi all'interno dell'Unione. Ha inoltre previsto uno stanziamento economico consistente per la protezione e la promozione della biodiversità, tramite fondi dell'Ue e finanziamenti nazionali e privati.

La proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio sul ripristino della natura [29] approvata dal Parlamento europeo il 27 febbraio 2024 e ora all'esame del Consiglio dell'Unione europea, prevede una serie di obiettivi vincolanti per gli Stati membri in relazione al ripristino degli ecosistemi degradati, con uno sguardo privilegiato alla tutela della biodiversità, da realizzarsi in un arco temporale compreso tra il 2030 e il 2050.

Gli obiettivi di recupero riguardano gli ecosistemi terrestri, costieri, di acqua dolce, marini e urbani. Per quanto riguarda l'agricoltura, oltre a insistere su pratiche agricole considerate sostenibili, quali l'agricoltura biologica, l'agricoltura estensiva e l'agricoltura di precisione, si prevede ad esempio anche di destinare almeno il 10% delle superfici agricole a elementi caratteristici del paesaggio con elevata diversità. Anche la cosiddetta agricoltura rigenerativa viene proposta come pratica

agricola alternativa, sebbene presenti alcune criticità. Il termine descrive un insieme di pratiche che differiscono in base al tipo di territorio su cui vengono applicate, che hanno lo scopo di ridurre l'alterazione fisica, biologica e chimica del suolo e apportare benefici, tra i quali il miglioramento della qualità dell'acqua e dell'aria, l'incremento della biodiversità degli ecosistemi, la produzione di cibo ricco di nutrienti [30].

Per i corsi d'acqua l'obiettivo è di raggiungere entro il 2030 nel territorio dell'Unione almeno 25.000 km di fiumi a scorrimento libero. Si fa inoltre riferimento alla riumentificazione di torbiere e aree costiere drenate.

Così come emerge anche dagli orientamenti europei (sommariamente riportati in precedenza) e internazionali, nel tempo il concetto di tutela e ripristino di habitat ed ecosistemi è stato oggetto di una notevole evoluzione. Infatti, fino agli anni '60 - '70 le attività di protezione e recupero degli ambienti naturali erano orientate prevalentemente alla realizzazione di parchi, riserve e aree protette, oltre alla reintroduzione di specie in precedenza scomparse a causa dell'attività umana (quali orsi, lupi e cervidi) e a una riduzione dell'inquinamento delle matrici aria, acqua e suolo in queste aree o in aree limitrofe. Con il tempo si è affermato in modo sempre più puntuale il concetto di biodiversità e sono state approfondite cause e conseguenze della perdita di quest'ultima. La tendenza è oggi quella di indirizzare gli interventi a tutela dell'ambiente e del territorio non solo e non tanto verso la creazione di "oasi" naturali, ma in modo diffuso, in termini di ripristino, tutela e progressiva espansione di habitat nei quali siano ridotte le pressioni antropiche e sia possibile un recupero della biodiversità sulla base soprattutto delle dinamiche naturali e delle spinte evolutive che spontaneamente entrano in gioco in assenza o solo con circoscritta presenza di attività umane.

La tutela e il recupero della biodiversità hanno come presupposto anche la conservazione della "geodiversità" [31], intesa come assemblaggi, strutture e sistemi di componenti geologiche, geomorfologiche, del suolo e idrologiche, che sottostanno alla biodiversità stessa. In tal senso, il consumo di suolo altera la biodiversità non solo direttamente, ma anche in funzione della radicale trasformazione o dell'eliminazione dei substrati geologici preesistenti.

Altro fattore imprescindibile per recuperare e tutelare biodiversità è il monitoraggio continuo dei parametri che la caratterizzano a livello dei territori di interesse. Fino a ieri questo comportava notevolissime difficoltà in termini economici, di tempo, di presenza fisica e di parametri effettivamente monitorati. Attualmente il quadro sta rapidamente cambiando, in quanto è possibile l'allestimento di reti con controllo da remoto (che possono basarsi su rilievi satellitari, droni, reti di sensori, ecc.) e l'impiego di tecniche di biologia molecolare e "omiche" per identificare e monitorare rapidamente in continuo i parametri di interesse, nonché l'applicazione di approcci basati sull'intelligenza artificiale [32].

Il quadro delle iniziative internazionali e gli aspetti in precedenza descritti rivestono particolare rilevanza per un Paese quale l'Italia, che in Europa è quello che si colloca

tra i Paesi a maggior ricchezza di biodiversità [8]. Le ragioni sono riconducibili allo sviluppo in latitudine, alle variazioni altimetriche del territorio, al notevolissimo sviluppo della costa e alla conformazione geologica/orografica del territorio stesso. Il nostro Paese è però anche uno dei più vulnerabili alla perdita di biodiversità, considerando la densità della popolazione, il consumo e la cementificazione del suolo, il dissesto idrogeologico, le colture e gli allevamenti intensivi, le aree ad elevato rischio ambientale per insediamenti produttivi attivi e aree industriali dismesse.

4.4.1 L'importanza del verde urbano

Un aspetto da sottolineare, dato che una parte significativa della popolazione risiede in aree urbane, è quello della tutela, del ripristino e della promozione del verde urbano. Quest'ultimo è costituito non solo dai parchi cittadini ma, come ricorda anche la proposta di regolamento europeo, da giardini, fattorie urbane, strade alberate, prati e siepi urbane, che rappresentano habitat importanti per la biodiversità.

I vantaggi per la salute del verde urbano sono ampiamente riconosciuti (si vedano ad esempio i report Who, 2016 [33] e [34] *URBACT Health & Greenspace Network*, 2020) e la tematica è centrale anche nella proposta del Regolamento europeo. Quest'ultima in merito al ripristino degli ecosistemi urbani prevede anzitutto che nell'anno 2030 negli Stati membri non si registri una perdita netta di spazi verdi presenti nelle città, nelle piccole città e nei sobborghi rispetto al 2021. Per le medesime tipologie di centro abitato prevede inoltre che entro il 2040 a livello nazionale la superficie totale degli spazi verdi sia aumentata di almeno il 3% rispetto al 2021 (e di almeno il 5% nel 2050). Entro il 2050 inoltre le stesse tipologie di centro abitato devono presentare almeno il 10% di copertura arborea urbana e: “[...] un guadagno netto di spazi verdi urbani integrati negli edifici e nelle infrastrutture esistenti e nuovi, anche attraverso ristrutturazioni e rinnovi, in tutte le città, piccole città e sobborghi”.

I vantaggi per la salute legati al verde urbano dipendono dall'estensione, dal numero e dall'accessibilità delle aree verdi e sono di natura diretta e indiretta. I numerosi studi condotti, per quanto limitati in termini di aree geografiche (spesso aree urbane e verdi del mondo sviluppato), scale temporali e variabili considerate (spesso non sovrapponibili), forniscono nell'insieme indicazioni positive sull'impatto della frequentazione di o della vicinanza ad aree verdi su diversi aspetti della salute fisica e psichica, incluse una riduzione dei livelli di stress, ansia e depressione.

La frequentazione di (o, come detto, anche la semplice vicinanza a) queste aree consente infatti una riduzione dello stress (maggior relax), un'attenuazione dei fenomeni d'ansia e, verosimilmente, un beneficio per altri disturbi della sfera psichica, non solo grazie all'immersione in ambienti più vicini a quelli naturali ma anche, in molti casi, per la presenza di spazi di incontro e di aree gioco. I vantaggi

del verde sembrano associati in modo significativo al tipo e alla qualità della stimolazione sensoriale. Anche la semplice vista di alberi dalla propria abitazione sembra avere effetti positivi sull'umore, così come esperienze immersive di ambienti naturali ottenute con approcci di realtà aumentata o di realtà virtuale. Questi aspetti sono importanti, in quanto le ricadute positive sullo stato di salute, mediate in parte da meccanismi a livello neuroormonale, sembrano anche legate alla *biodiversità percepita* e non necessariamente alla biodiversità reale. La prima, infatti, è sufficiente a trasmettere l'idea di un'immersione nella natura, provvede a stimolare adeguatamente tutti e cinque i sensi (e non soltanto quelli della vista e dell'udito) e incoraggia un atteggiamento mentale volto a esplorare luoghi prima non conosciuti (quali tratti di bosco, corsi d'acqua, ecc.)

Parchi e giardini urbani mitigano inoltre l'esposizione a inquinanti di natura chimica, esercitando in alcuni casi (come per quanto riguarda il particolato) un'azione "depurativa" dell'aria, e a rumore, oltre a ridurre gli effetti legati alla cosiddetta "isola di calore urbana" [35,36]. Quest'ultima fa riferimento al fenomeno per il quale le aree urbane hanno sempre un differenziale di temperatura rispetto alle aree rurali circostanti, evidente in tutte le stagioni ma più accentuato in estate (anche 5 - 7 °C in più rispetto alle aree rurali), dovuto sia alla presenza di numerosi fonti di calore (traffico, riscaldamento domestico, impianti di produzione, ecc.) sia alla morfologia, alla disposizione e alle superfici degli edifici, che nell'insieme attenuano la ventilazione e comportano, unitamente alla pavimentazione, una maggior esposizione alla radiazione solare riflessa e al calore prodotto da superfici scure. Data la crescente urbanizzazione in corso a livello mondiale e l'aumento del numero globale di megalopoli, l'impatto delle isole di calore urbane sarà verosimilmente sempre più pesante per gli individui e le comunità, a meno della messa in atto di modelli di sviluppo urbanistico che includano, tra gli altri, lo sviluppo di soluzioni architettoniche *ad hoc* e di aree verdi nelle città in espansione. Gli spazi verdi consentono poi di fare attività fisica (anche sportiva), le cui ricadute benefiche sullo stato di salute sono ormai ampiamente e da lungo tempo riconosciute per tutti gli individui della popolazione, e nell'insieme espongono l'organismo a una maggiore biodiversità, inclusa quella microbica. Quest'ultima oltre a favorire una più efficace regolazione delle funzioni immunologiche agisce positivamente anche sul microbiota.

La positiva regolazione immunologica dovuta al contatto con la biodiversità è stata peraltro già da qualche tempo considerata un vero e proprio servizio ecosistemico essenziale per la salute [37]. Più recentemente è stata anche sviluppata la cosiddetta "Ipotesi della biodiversità", la quale afferma che il contatto con gli ambienti naturali arricchisce il microbiota umano, promuove un favorevole bilancio immunologico e protegge dalle allergie e dai disordini infiammatori [38]. Questa ipotesi integra e approfondisce la più datata "Ipotesi dell'igiene", secondo la quale la scarsità di contatti in età infantile e giovanile con le matrici aria, acqua e suolo degli ambienti naturali, nonché con gli animali domestici, e la permanenza

in ambienti caratterizzati da standard igienici sempre più elevati, tipica negli ultimi decenni degli ambienti domestici e in generale confinati, determina una maggior probabilità di sviluppare un sistema immunitario disregolato e un fenotipo atopico, quindi un maggior rischio di patologie allergiche.

Il verde urbano può esplicitare al meglio le proprie potenzialità sulla salute delle persone a condizione che le aree verdi siano adeguatamente pianificate e organizzate o, per quelle esistenti, venga messa in atto una costante e adeguata manutenzione. Una scarsa o errata manutenzione, ad esempio, può comportare infortuni dovuti alla caduta rami o all'intralcio della vegetazione, rendere più frequenti le punture di insetti o il contatto con serpenti velenosi, favorire condotte violente o comunque illecite.

Anche la presenza delle aree verdi in quanto tali non è però esente da rischi. Può esservi ad esempio una maggior esposizione a patologie vettore-trasmesse. Una recente rassegna [39] riguardante la diffusione delle zecche della specie *Ixodes ricinus* e la prevalenza dell'infezione da *Borrelia spp* (della quale la zecca è vettore) nelle aree verdi urbane di 24 Paesi europei rileva che entrambe sono presenti in un elevato numero di habitat propri degli spazi verdi urbani e in stagioni diverse dell'anno, sottolineando la necessità di valutare l'esposizione a zecche e l'incidenza di borreliosi in relazione alle aree verdi dei centri urbani.

Il polline, che nelle aree verdi è spesso presente in forma aerodispersa in maggior quantità nei periodi critici dell'anno e proviene da un maggior numero di specie vegetali rispetto alle aree direttamente urbanizzate, può esacerbare le manifestazioni cliniche dell'allergia pollinica nei soggetti che ne soffrono (comprese quelle gravi, legate all'asma da polline) e favorire lo sviluppo di allergie a pollini specifici in soggetti atopici o comunque predisposti. In relazione al rischio allergologico, un'adeguata pianificazione e/o manutenzione di queste aree dovrebbe quindi prevedere, evitando il più possibile l'ingresso di piante esotiche e mantenendo i biomi locali, la riduzione delle specie più allergeniche e la piantumazione/cura delle specie vegetali a minor potenziale allergizzante o prive di quest'ultimo (un esempio è dato dalla palma). Le specie dovrebbero poi essere selezionate anche in relazione ad altre caratteristiche, quali l'invasività dell'apparato radicale, l'ampiezza della chioma (importante per il riparo dalla radiazione solare o dalle intemperie), la vulnerabilità agli eventi meteo severi/estremi (caduta di rami o dell'intera pianta) ecc.

4.5 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] United Nations. Convention on biological diversity [Internet]. 1992. Url: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf> [consultato luglio 2024].
- [2] Marselle MR, Lindley SJ, Cook PA et al. Biodiversity and Health in the Urban Environment. *Curr Environ Health Rep.* 2021;8(2):146-156. Doi: 10.1007/s40572-021-00313-9.

- [3] Pimm SL, Jenkins CN, Abell R et al. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*. 2014;344(6187):1246752. Doi: 10.1126/science.1246752.
- [4] Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Bonn: IPBES secretariat; 2019.
- [5] Chivian E, Bernstein AS. Embedded in nature: human health and biodiversity. *Environ Health Perspect*. 2004;112(1):A12-3. Doi: 10.1289/ehp.112-a12.
- [6] Locey KJ, Lennon JT. Scaling laws predict global microbial diversity. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016;113(21):5970-5. Doi: 10.1073/pnas.1521291113.
- [7] Hummel C, Poursanidis D, Orenstein D et al. Protected Area management: Fusion and confusion with the ecosystem services approach. *Sci Total Environ*. 2019;651(Pt 2):2432-2443. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.033.
- [8] Cianconi P, Luigi Janiri L, Batul Hanife B et al. Cap. 9 - La perdita della biodiversità. In: *Cambiamento climatico e salute mentale*. Milano: Raffaello Cortina Editore; 2023.
- [9] Simkin RD, Seto KC, McDonald RI et al. Biodiversity impacts and conservation implications of urban land expansion projected to 2050. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2022;119(12):e2117297119. Doi: 10.1073/pnas.2117297119.
- [10] Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (SNPA). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici - Report SNPA 37/23 Munafò M. (a cura di). Ed. 2023.
- [11] Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (Ispra). Atlante nazionale del consumo di suolo. Cimini A, De Fioravante P, Dichicco P et al. (a cura di). Ed. 2023. Roma: Ispra; 2023.
- [12] Raven PH, Wagner DL. Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021;118(2):e2002548117. Doi: 10.1073/pnas.2002548117.
- [13] Sigmund G, Ågerstrand M, Antonelli A et al. Addressing chemical pollution in biodiversity research. *Glob Chang Biol*. 2023;(12):3240-3255. Doi: 10.1111/gcb.16689.
- [14] International Panel on Climate Change (Ipcc). *Ipcc Sixth assessment report - ar6 synthesis report climate change 2023*. Ginevra: IPCC; Url: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/> [consultato luglio 2024].
- [15] Berg G, Rybakova D, Fischer D et al. Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*. 2020;8(1):103. Doi: 10.1186/s40168-020-00875-0.
- [16] Runge S, Rosshart SP. The mammalian metaorganism: a holistic view on how microbes of all kingdoms and niches shape local and systemic immunity. *Front Immunol*. 2021;12:702378. Doi: 10.3389/fimmu.2021.702378.
- [17] Dempsey JL, Little M, Cui JY. Gut microbiome: An intermediary to neurotoxicity. *Neurotoxicology*. 2019;75:41-69. Doi: 10.1016/j.neuro.2019.08.005.

- [18] Fan Y, Pedersen O. Gut microbiota in human metabolic health and disease. *Nat Rev Microbiol.* 2021;19(1):55-71. Doi: 10.1038/s41579-020-0433-9.
- [19] Manos J. The human microbiome in disease and pathology. *Apmis.* 2022;130(12):690-705. Doi: 10.1111/apm.13225.
- [20] Góralczyk-Bińkowska A, Szmajda-Krygier D, Kozłowska E. The Microbiota-Gut-Brain Axis in Psychiatric Disorders. *Int J Mol Sci.* 2022;23(19):11245. Doi: 10.3390/ijms231911245.
- [21] Hufnagl K, Pali-Schöll I, Roth-Walter F et al. Dysbiosis of the gut and lung microbiome has a role in asthma. *Semin Immunopathol.* 2020;42(1):75-93. Doi: 10.1007/s00281-019-00775-y.
- [22] Voolstra CR, Ziegler M. Adapting with microbial help: microbiome flexibility facilitates rapid responses to environmental change. *Bioessays.* 2020;42(7):e2000004. Doi: 10.1002/bies.202000004.
- [23] Isler MF, Coates SJ, Boos MD. Climate change, the cutaneous microbiome and skin disease: implications for a warming world. *Int J Dermatol.* 2023;62(3):337-345. Doi: 10.1111/ijd.16297.
- [24] Lai PS, Christiani DC. Impact of occupational exposure on human microbiota. *Curr Opin Allergy Clin Immunol.* 2019;19(2):86-91. Doi: 10.1097/ACI.0000000000000502.
- [25] Mucci N, Tommasi E, Chiarelli A et al. WORKbiota: a systematic review about the effects of occupational exposure on microbiota and workers' health. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(3):1043. Doi: 10.3390/ijerph19031043.
- [26] Banerjee S, van der Heijden MGA. Soil microbiomes and one health. *Nat Rev Microbiol.* 2023;21(1):6-20. Doi: 10.1038/s41579-022-00779-w.
- [27] United Nations. Decade on biodiversity (Resolution 65/161). Url: <https://www.cbd.int/2011-2020/> [consultato luglio 2024].
- [28] Commissione europea. COM (2020) 380 final. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni. Strategia dell'Ue sulla biodiversità per il 2030 - Riportare la natura nella nostra vita [Internet]. 2020. Url: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF [consultato luglio 2024].
- [29] Commissione europea. Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio sul ripristino della natura (Testo rilevante ai fini del SEE) {SEC(2022) 256 final} - {SWD(2022) 167 final} - {SWD(2022) 168 final}. COM(2022) 304 final 2022/0195 (COD). Url: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022PC0304> [consultato luglio 2024].
- [30] Giller KE, Hijbeek R, Andersson JA et al. Regenerative agriculture: An agronomic perspective. *Outlook Agric.* 2021;50(1):13-25. Doi: 10.1177/0030727021998063.

- [31] Alahuhta J, Tukiainen H, Toivanen M et al. Acknowledging geodiversity in safeguarding biodiversity and human health. *Lancet Planet Health*. 2022;6(12):e987-e992.
- [32] Kerry RG, Montalbo FJP, Das R et al. An overview of remote monitoring methods in biodiversity conservation. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022;29(53):80179-80221. Doi: 10.1007/s11356-022-23242-y.
- [33] World Health Organization (Who). Urban Green space and health. A review of evidence [Internet] 2016.
Url: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341> [consultato luglio 2024]
- [34] URBACT Health&Greenspace network. Impacts of green spaces on physical and mental health. Thematic report. 1 [Internet]. 2020.
Url: https://urbact.eu/sites/default/files/media/thematic_report_no1_impacts_on_health_healthgreenspace_2910.pdf [consultato luglio 2024].
- [35] Yuan Y, Li C, Geng X et al. Natural-anthropogenic environment interactively causes the surface urban heat island intensity variations in global climate zones. *Environ Int*. 2022;170:107574. Doi: 10.1016/j.envint.2022.107574.
- [36] Ren Y, Laforteza R, Giannico V et al. The unrelenting global expansion of the urban heat island over the last century. *Sci Total Environ*. 2023; 880: 163276.
- [37] Rook GA. Regulation of the immune system by biodiversity from the natural environment: an ecosystem service essential to health. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2013;110(46):18360-7. Doi: 10.1073/pnas.1313731110.
- [38] Haahtela T. A biodiversity hypothesis. *Allergy*. 2019;74(8):1445-1456. Doi: 10.1111/all.13763.
- [39] Hansford KM, Wheeler BW, Tschirren B et al. Questing Ixodes ricinus ticks and Borrelia spp. in urban green space across Europe: A review. *Zoonoses Public Health*. 2022;69(3):153-166. Doi: 10.1111/zph.12913.

5 - ZONOSI OCCUPAZIONALI

S. Di Renzi¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

5.1 LA STORIA DELLE ZONOSI: DALL'ANTICHITÀ A OGGI

È noto fin dall'antichità che esistono malattie che possono essere trasmesse dagli animali all'uomo (Tabella 1): queste malattie vengono dette "zoonosi" [1].

Tabella 1 Malattie comuni agli animali e all'uomo nell'antichità		
Malattia	Autore	Anno
Peste	Omero	VIII - VII a.C.
Peste	Erodoto	V sec. a.C.
Peste	Ippocrate	V sec. a.C.
Carbonchio (antrace)	Aristotele	IV sec. a.C.
Vaiolo (?)	Descritta nell'Esodo (Sacre scritture)	II sec. a.C.
Non identificata	S. Italo	212 a.C.
Fuoco sacro	Columella	I sec. a.C.
Fuoco sacro	Lucrezio	I sec. a.C.
Peste	Ovidio	I sec. a.C.
Peste, carbonchio, rabbia	Virgilio	I sec. a.C.
Vaiolo, fuoco sacro	Plinio	I sec.
Carbonchio	Galeno	II sec.
Peste	Gregorio di Tours	580
Peste	Anonimo	801
Antrace	Metaxà	X, XI, XII sec.
Peste (?)	Anonimo	1098

(Mantovani A. Considerazioni sul concetto di zoonosi. S.i.Ve.M.P. Argomenti. 2013; XVI:1. *Elaborazione: Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale*)

Le prime segnalazioni risalgono alla Roma antica (59 a.C. - 17 d.C.) quando Tito Livio riferiva la trasmissione di una forma di rogna trasmessa dal bestiame ai lavoratori agricoli, agli schiavi e a tutti gli abitanti della città. Successivamente furono segnalate altre malattie che colpivano persone che erano in contatto con animali e i loro prodotti come la morva (Renato Vegezio, IV sec.) e il carbonchio (Ramazzini, 1705).

Era allora ignoto il ruolo degli agenti infettivi così come lo conosciamo oggi, ma era già ben chiaro il concetto di "contagiosità" di alcune malattie. La prima malattia individuata come trasmissibile dagli animali all'uomo è la rabbia: la trasmissibilità da cane a cane

è stata segnalata circa novecento anni fa, quella da cane a uomo circa cinque secoli dopo. Nell'evoluzione della definizione di zoonosi è proprio la rabbia a essere citata in un'espressione di Alessandrini che nel 1824 parla de "l'idrofobia e i malori non men di questa appiccaticci". Durante il Medioevo sono state segnalate malattie trasmesse dagli animali all'uomo soprattutto tramite alimenti. Il primo a utilizzare il termine zoonosi fu il medico tedesco Rudolf Virchow che, nel 1855, le definiva *Zoonosen* (da: Infektionen durch contagiösen Thiergifte - Zoonosi: infezioni da veleni animali contagiosi); successivamente nel 1894 Bruno Galli Valerio pubblicò un manuale intitolato: *Zoonosi: malattie trasmissibili dall'animale all'uomo*. Nel 1959 l'Organizzazione mondiale della sanità (Oms) definisce le zoonosi infezioni naturalmente trasmesse tra animali vertebrati e l'uomo e viceversa [2]. In seguito, Adriano Mantovani ha proposto un allargamento della definizione di zoonosi intesa come "danno alla salute e/o qualità della vita umana causato da relazione con (altri) animali vertebrati, o invertebrati commestibili o tossici". Sulla base di questa definizione, le zoonosi vanno a comprendere anche le malattie non infettive che causano danno alla salute umana, come ad esempio le malattie allergiche da contatto con animali o da ingestione di alimenti di origine animale, malattie da sostanze chimiche, come ad esempio gli antibiotici presenti negli alimenti di origine animale e malattie derivanti da morsi di serpente o da punture di artropodi (Tabella 2) [1].

Tabella 2		Cause non infettive di danno alla salute umana dovute a relazioni con animali	
Allergeni	Contatto/inalazione di proteine presenti nel pelo e nei liquidi biologici di animali		
	Da alimenti di origine animale		
Sostanze chimiche negli alimenti di origine animale	Antibiotici		
	Diossine		
	Ormoni		
	Tossine		
	Veleni di origine animale		
Traumi	Morsicature		
	Graffi		
	Calci		
	Punture		
Inquinamento	Da animali		
	Da sostanze di origine animale		
	Artropodi e funghi di origine animale		
Intossicazioni	Morsi di serpente		
	Punture di artropodi		

(Mantovani A. Considerazioni sul concetto di zoonosi. S.i.Ve.M.P. Argomenti. 2013; XVI:1. *Elaborazione: Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale*)

Tabella 3	Evoluzione della definizione di “Zoonosi”
	Tito Livio (59 a.C. - 17 d.C.) riferisce che, nell'anno di Roma 328, la scabbia aveva colpito quasi tutto il bestiame e si era poi diffusa ai contadini, agli schiavi e a tutti gli abitanti della città.
	Era allora ignoto il ruolo degli agenti infettivi così come lo conosciamo oggi, ma era già ben chiaro il concetto di “contagiosità” di alcune malattie. L'idrofobia e i malori non men di questa appiccaticci (Alessandrini, 1824).
	Zoonosi: infezioni da veleni animali contagiosi (Virchow, 1885).
	Malattie nate per infezione di contagio animale – Zoonosi (Reder, Korány e Sigmund, 1875).
	Zoonosi: malattie trasmissibili dagli animali all'uomo (Galli-Valerio, 1894).
	Malattie comuni all'uomo e agli animali (Mosny e altri, 1907).
	Malattie animali trasmissibili all'uomo (Oms, 1951 e 1954).
	Quelle malattie e infezioni naturalmente trasmesse/i tra (altri) animali vertebrati e l'uomo (Oms, 1959).
	Infezioni dell'uomo condivise in natura da altri animali vertebrati (Acha e Szyfres, 1980; Steele, 1982; Schwabe, 1985).
	Danno alla salute e/o qualità della vita umana causato da relazione diretta o indiretta con animali vertebrati o invertebrati (formulazione originale); danno alla salute e/o qualità della vita umana causato da relazione con (altri) animali vertebrati o invertebrati commestibili o tossici (formulazione finale) (Mantovani, 2000).
	Danno alla salute e/o qualità della vita umana derivante da rapporti con (altri) animali (Blancou, 2000).

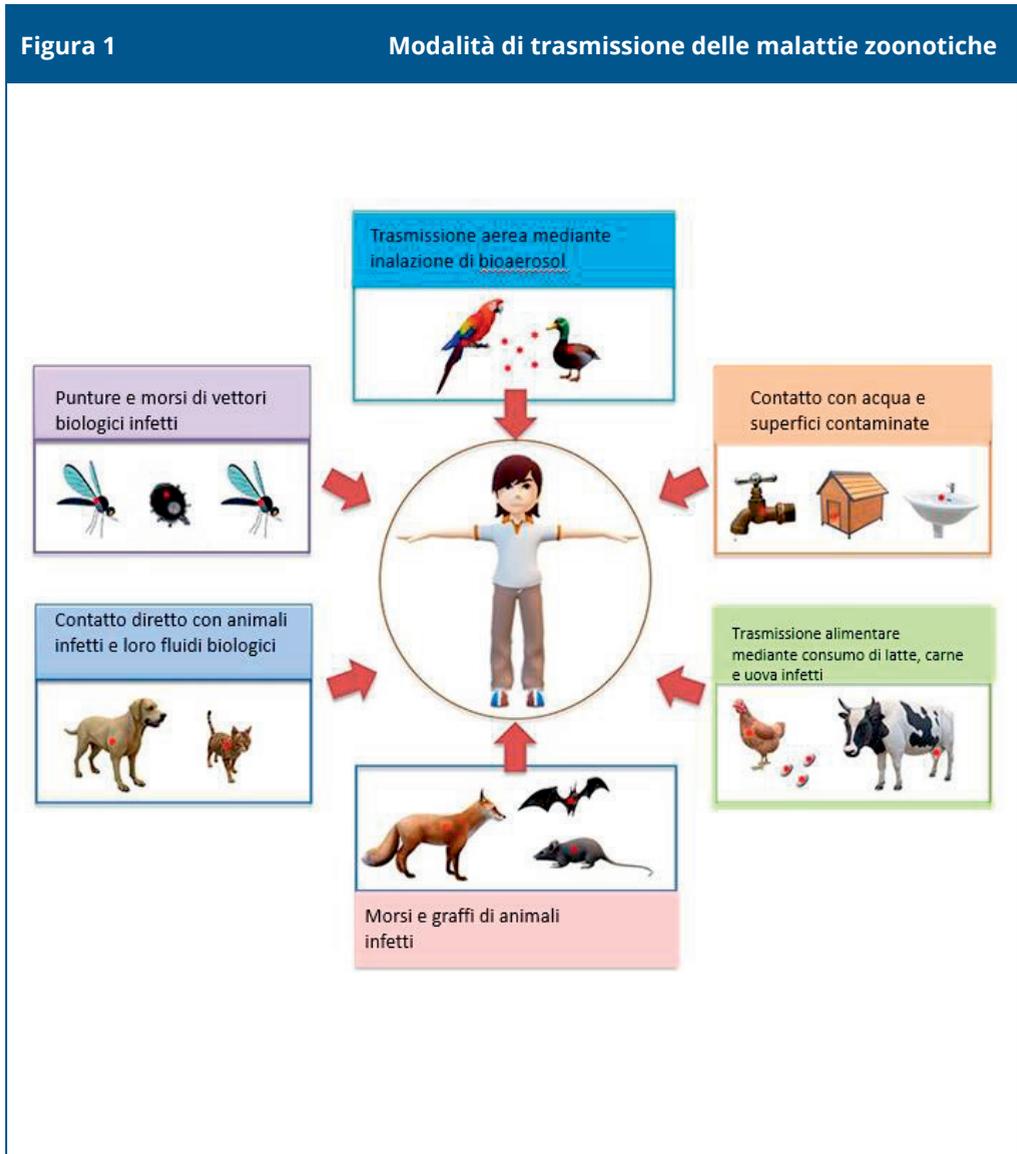
(Mantovani A. Considerazioni sul concetto di zoonosi. S.i.Ve.M.P. Argomenti. 2013; XVI:1. *Elaborazione: Inail – Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale*)

5.2 LA CLASSIFICAZIONE DELLE ZONOSI

Le zoonosi possono essere classificate in base:

- alla natura dell'agente biologico che può essere batterica, virale, fungina e parassitaria;
- alla modalità di trasmissione che può avvenire mediante contatto diretto con animale o materiale biologico (morso, graffio, fluidi biologici) o superfici infette, contatto indiretto tramite ingestione di acqua o alimenti infetti, inalazione e contatto di droplet respiratori infetti (aerosolizzazione) oppure per contatto tramite vettori. I vettori sono organismi viventi in grado di trasmettere un agente infettivo da un animale infetto all'uomo o a un altro animale e si suddividono in biologici e meccanici. I vettori biologici (ad esempio zecche, zanzare) sono anch'essi contagiati dagli agenti patogeni, che si moltiplicano all'interno del loro organismo e che vengono successivamente trasmessi al nuovo ospite tramite morso o

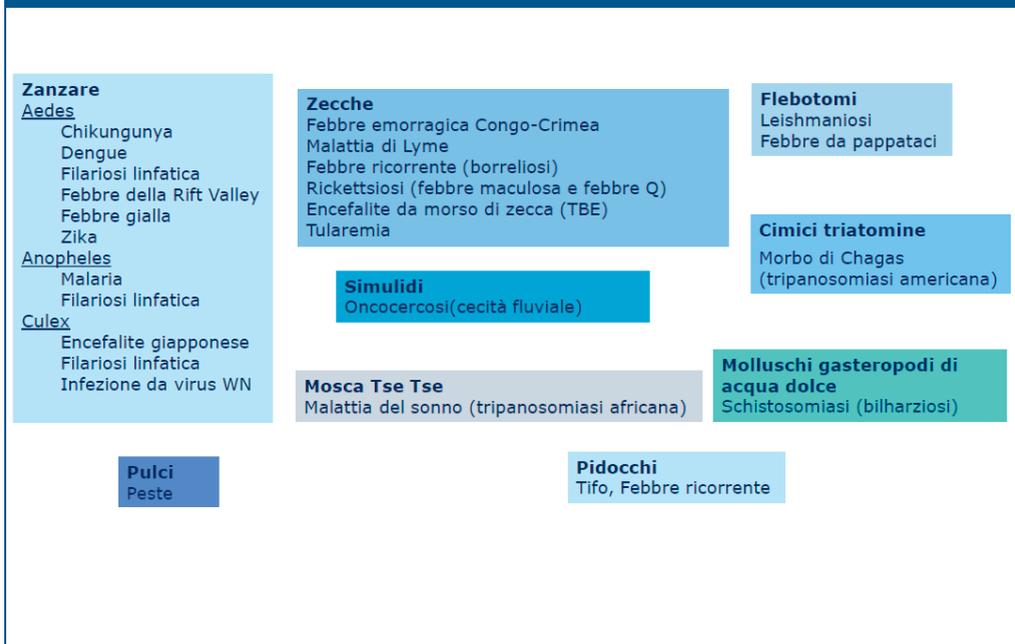
puntura. I vettori meccanici (mosche), invece, possono trasportare l'agente infettivo sulla superficie del loro corpo e trasmetterlo per contatto fisico (Figura 1). Quando le zoonosi sono trasmesse da vettori vengono definite "zoonosi vettore trasmesse" (Figura 2).



(Zucca P, Scagliarini A, Ramma Y et al. Zoonoses-Diseases naturally transmitted from animals to humans. *Frontiers for young minds*. 2022. *Elaborazione: Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale*)

Figura 2

Le principali zoonosi vettore trasmesse



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

- all'ospite serbatoio. Se l'ospite serbatoio è l'animale e quindi l'infezione è trasmessa dall'animale all'uomo parliamo di antropozoonosi, se invece l'ospite serbatoio è l'uomo e quindi l'infezione si trasmette dall'uomo all'animale allora parliamo di zoonotroponosi;
- all'impatto in sanità. In questo caso le zoonosi si suddividono in emergenti, ri-emergenti e neglette. Le zoonosi emergenti presentano una prevalenza più elevata di quanto sia prevedibile in base alle conoscenze scientifiche ed epidemiologiche. Possono essere causate o da agenti patogeni non conosciuti oppure da patogeni già esistenti che diffondono in nuove aree geografiche. Le zoonosi sono definite ri-emergenti quando la loro prevalenza torna ad aumentare dopo periodi più o meno lunghi di bassa endemia. Le malattie neglette sono un gruppo di malattie croniche e disabilitanti di cui molte infettive, diffuse soprattutto in zone povere e marginalizzate (rurali) in cui vi è una scarsa presenza di sistemi sanitari, ambienti tipici delle aree tropicali e subtropicali. In Italia quelle più rilevanti sono le infezioni da echinococcosi cistica e leishmaniosi;
- le zoonosi vengono classificate come occupazionali quando risultano essere correlate all'attività lavorativa dell'operatore.

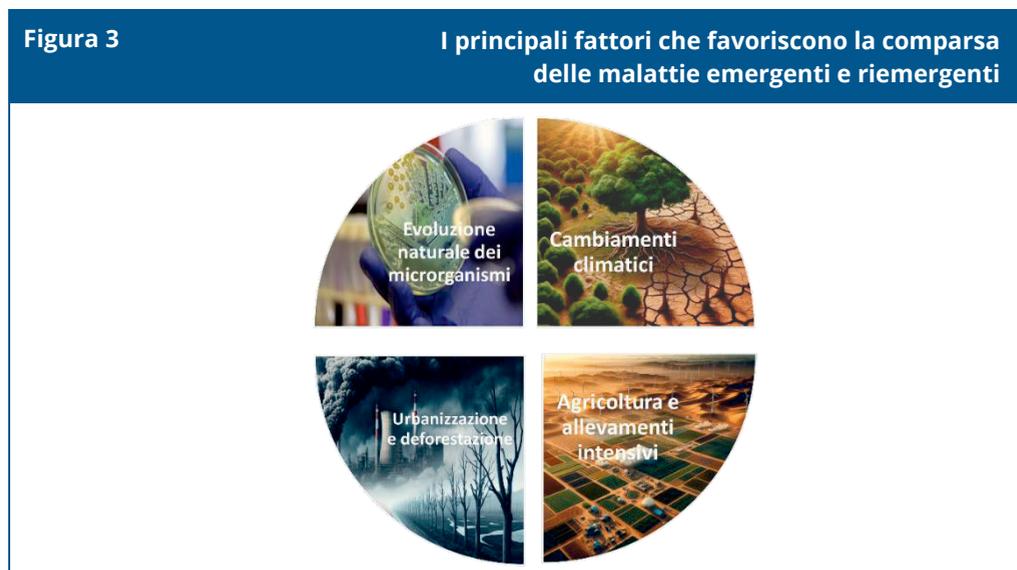
Nella Tabella 4 si riportano alcune parole chiave in tema di zoonosi.

Tabella 4		Parole chiave in tema di zoonosi
Agente zoonotico	Qualsiasi batterio, virus, fungo, parassita o altra entità biologica che possa causare una zoonosi.	
Ospite	Animale vertebrato o invertebrato, recettivo all'agente e quindi in grado di contribuire al completamento del suo ciclo vitale.	
Serbatoio	Specie che assicura il mantenimento dell'infezione in natura e costituisce la riserva naturale dell'agente.	
Veicolo	Supporto o mezzo fisico che funge da tramite per il passaggio dell'agente da un ospite a un altro (alimenti, componenti dell'ambiente, oggetti contaminati).	
Vettore	Animale (per lo più artropode) in grado di trasmettere agenti patogeni da un ospite vertebrato all'altro (facoltativi o obbligati).	
Sorveglianza	Un sistema di raccolta, analisi e diffusione dei dati sull'incidenza di zoonosi, di agenti zoonotici e di resistenza agli antimicrobici a essi correlata.	

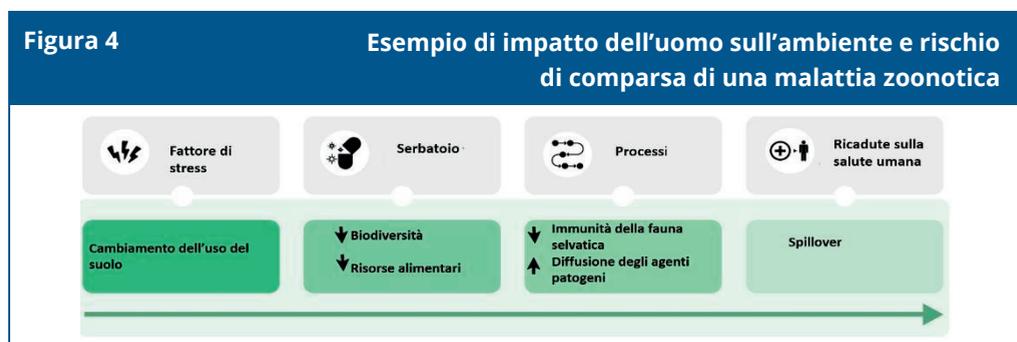
5.3 EMERGENZA E RI-EMERGENZA DELLE ZOOZOSI

Negli ultimi due decenni si è assistito a un aumento a livello globale delle malattie infettive emergenti e riemergenti. Si stima che circa il 60% di queste abbia un'origine zoonotica. Negli ultimi trent'anni sono stati individuati oltre 30 nuovi agenti patogeni per l'uomo, il 75% dei quali ha fatto il salto di specie dall'animale all'uomo, fenomeno meglio conosciuto come "spillover" che si verifica a seguito di un contatto prolungato tra uomo e animale portatore. Dati dell'Oms, nello specifico, indicano che ogni anno le zoonosi interessano oltre un miliardo di persone, causando circa un milione di morti (<https://www.emro.who.int/about-who/rc61/zoonotic-diseases.html>). I fattori che favoriscono l'insorgenza delle malattie emergenti e ri-emergenti sono molteplici e includono l'evoluzione naturale dei microrganismi, le caratteristiche degli agenti patogeni e la suscettibilità degli ospiti, l'ambiente (catastrofi naturali, cambiamenti climatici), la modifica degli habitat, la globalizzazione (aumento demografico, urbanizzazione, nuove richieste alimentari, conflitti, migrazioni, movimenti commerciali e di popolazioni), le modifiche degli stili di vita, l'attività dell'uomo e la degradazione dell'ambiente (Figura 3). Tra questi fattori, l'impatto dell'uomo sull'ecosistema globale e i cambiamenti climatici svolgono un ruolo chiave in quanto alterano gli equilibri tra ambiente e biodiversità, come la distribuzione delle specie, e la presenza di determinati microrganismi, favorendo la diffusione di nuove zoonosi. Un esempio dell'impatto dell'uomo sull'ambiente è rappresentato dalla deforestazione o disboscamento di aree che vengono trasformate in terreni coltivabili

o pascoli da allevamento. La degradazione degli habitat comporta infatti il declino della biodiversità e una minore disponibilità di cibo rendendo le specie selvatiche più suscettibili alle infezioni e aumentando il rischio di spillover [3] (Figura 4).



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)



(World Health Organization. A health perspective on the role of the environment in *One Health*. 2022. Elaborazione: Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

L'insieme degli interventi di trasformazione dell'ambiente naturale da parte dell'uomo è definito antropizzazione e si parla di una nuova epoca geologica, l'Antropocene, termine che deriva dal greco e che indica, letteralmente, l'era dell'uomo.

Un fenomeno associato alle zoonosi è la resistenza antimicrobica (AMR) ovvero la capacità dei microrganismi di resistere ai trattamenti antimicrobici come ad esempio

agli antibiotici. L'uso eccessivo e, in molti casi, inappropriato degli antibiotici, sia in medicina umana che veterinaria, rappresenta la causa della crescita e diffusione di agenti batterici capaci di resistere alla loro azione (Figura 6). Ne è un esempio lo *Staphylococcus aureus* meticillino-resistente. Le infezioni batteriche resistenti rappresentano uno dei principali problemi sanitari a livello globale. Infatti, una ricerca commissionata dal Governo britannico ha stimato che nel 2050 esse causeranno circa 10 milioni di morti/anno con una previsione di costi che supera i 100 trilioni di dollari, diventando la prima causa di morte nel mondo [4]. Inoltre, dati più recenti pubblicati dall'Ecdc indicano che ogni anno in Europa si registrano 33mila morti causate da batteri antibiotico-resistenti e che circa 11mila tra queste si verificano in Italia (Figura 5) (url: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/health-burden-infections-antibiotic-resistant-bacteria-2016-2020>).

Figura 5 Modalità di diffusione della resistenza agli antibiotici



(Ecdc. Url:<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/antibiotic-resistance-how-does-antibiotic-resistance-spread>)

5.4 L'APPROCCIO ONE HEALTH NELLA PREVENZIONE E CONTROLLO DELLE ZONOSI

Le zoonosi sono malattie a eziologia multifattoriale la cui prevenzione e controllo richiedono un approccio multidisciplinare piuttosto complesso in grado di identificare quali animali, alimenti o altre matrici siano la principale fonte di infezione. Tale approccio è conosciuto come *One Health*, termine che l'Amva (Associazione americana dei medici veterinari) meglio definisce come "lo sforzo congiunto di più discipline professionali che operano a livello locale, nazionale e globale per il raggiungimento di una salute ottimale delle persone, degli animali e dell'ambiente" ed è finalizzato al miglioramento della salute in termini globali in quanto il benessere umano, animale e ambientale sono strettamente interconnessi e partecipano a un equilibrio ecologico molto complesso.

Di interesse è una pubblicazione realizzata nel 2019 da Fao, Oms e Woah (World Organization for Animal Health, precedentemente denominata Oie): si tratta di una Guida alle zoonosi (TZG) creata per supportare i Paesi nell'adozione di un approccio multisettoriale One Health per affrontare le malattie zoonotiche (Taking a Multisectoral, One Health Approach: A Tripartite Guide to Addressing Zoonotic Diseases in Countries, 2019 -<https://www.who.int/initiatives/tripartite-zoonosis-guide>).

L'alleanza tripartita Fao, Oms e Woah, insieme con l'Unep (United National Environment Programme), ha sviluppato un Piano di azione congiunto "One health joint plan of action" che ha l'obiettivo di migliorare la salute degli esseri umani, degli animali, delle piante e dell'ambiente e di contribuire allo sviluppo sostenibile. Nel 2022 Fao, Unep, Who e Woah hanno lanciato una nuova piattaforma, *The antimicrobial resistance multi-stakeholders partnership platform*, che nasce dalla consapevolezza della minaccia sempre più insidiosa che la resistenza antimicrobica rappresenta per l'uomo, gli animali, le piante, gli ecosistemi e dalla necessità di promuovere una collaborazione tra stakeholders con competenze specifiche nei diversi settori al fine di garantire che gli antimicrobici siano considerati come farmaci salvavita essenziali e accessibili a tutti ([url: https://www.fao.org/antimicrobial-resistance/quadripartite/the-platform/en/](https://www.fao.org/antimicrobial-resistance/quadripartite/the-platform/en/)).

A giugno 2022 la normativa italiana ha dato seguito normativo all'approccio *One health* con lo sviluppo del Sistema nazionale prevenzione salute dai rischi ambientali e climatici (SNPS) con il d.m. salute 09/06/2022 [5].

In tema di resistenza antimicrobica il Ministero della salute ha promosso una strategia nazionale che fornisce linee strategiche e indicazioni operative di contrasto al fenomeno, anch'essa secondo un approccio *One Health* - Piano nazionale di contrasto all'antibiotico-resistenza 2022 - 2025 [6].

5.5 PREVENZIONE DELLE ZONOSI OCCUPAZIONALI

La salute e sicurezza sul lavoro è normata in Italia dal d.lgs. 81/2008 e s.m.i. [7] normativa di riferimento per il contenimento dell'esposizione ad agenti di diversa origine e per la gestione del rischio che ne potrebbe derivare.

Il Titolo X riguarda l'esposizione ad agenti biologici che sono classificati in 4 gruppi di rischio sulla base di diversi fattori (Tabella 5).

Tabella 5	Classificazione degli agenti biologici
Gruppo 1 <i>Nessun rischio o basso rischio individuale e collettivo</i>	Un agente che presenta poche probabilità di causare malattie in soggetti umani.
Gruppo 2 <i>Moderato rischio individuale, limitato rischio collettivo</i>	Un agente che può causare malattie in soggetti umani e costituire un rischio per i lavoratori; è poco probabile che si propaga nella comunità; sono di norma disponibili efficaci misure profilattiche o terapeutiche.
Gruppo 3 <i>Elevato rischio individuale, basso rischio collettivo</i>	Un agente che può causare malattie gravi in soggetti umani e costituisce un serio rischio per i lavoratori; l'agente biologico può propagarsi nella comunità, ma di norma sono disponibili efficaci misure profilattiche o terapeutiche.
Gruppo 4 <i>Elevato rischio individuale e collettivo</i>	Un agente biologico che può provocare malattie gravi in soggetti umani e costituisce un serio rischio per i lavoratori e può presentare un elevato rischio di propagazione nella comunità; non sono disponibili, di norma, efficaci misure profilattiche o terapeutiche.

L'Allegato XLVI del suddetto Titolo riporta l'elenco degli agenti biologici suddivisi in batteri, virus, agenti di malattie prioniche, parassiti e funghi e fornisce delle note utili a identificare agenti biologici con possibili effetti allergici (A), quelli che producono tossine (T), agenti biologici per i quali è disponibile un vaccino efficace e registrato dalla Ue (V). La nota D indica che l'elenco dei lavoratori esposti a un agente biologico connotato dalla lettera D deve essere conservato per più di dieci anni dalla fine dell'ultima esposizione conosciuta. Gli agenti biologici di gruppo 3 che possono comportare un rischio di infezione limitato perché normalmente non sono veicolati dall'aria sono indicati con il doppio asterisco (**).

Nell'allegato XLIV viene riportato un elenco esemplificativo delle attività lavorative che, pur non utilizzando deliberatamente gli agenti biologici, possono comportare la presenza di tali agenti biologici e tra queste sono riportate "attività in agricoltura, attività in cui vi è contatto con animali e/o prodotti di origine animale e attività in laboratori clinici, veterinari e diagnostici, esclusi i laboratori di diagnosi microbiologica" ovvero tutti quei contesti occupazionali dove potrebbe esserci una maggiore circolazione di agenti zoonotici.

Si fa presente che sia l'Allegato XLVI che l'Allegato XLIV sono stati recentemente aggiornati dal decreto 27 dicembre 2021 [8] che recepisce la dir. 2019/1833/Ue [9]. I lavoratori maggiormente a rischio di contrarre zoonosi sono quelli che svolgono la loro attività a contatto con animali infetti e i loro fluidi biologici e/o in ambiente *outdoor* dove sono potenzialmente esposti alla puntura e/o morsi di vettori biologici infetti. In tabella vengono riportate alcuni esempi di malattie e attività lavorative a rischio di infezione zoonotica (Tabella 6).

Tabella 6		Alcuni esempi di malattie e attività lavorative a rischio	
Actinomicosi		Stallieri, mungitori, porcai, contadini	
Amebiosi		Allevatori, laboratoristi	
Anchilostomiasi		Minatori, fornaciai, giardinieri, ortolani	
Aspergillosi		Contadini, allevatori di piccioni, addetti ai canili, conciatori	
Balantidiosi		Allevatori di suini	
Blastomicosi		Allevatori	
Brucellosi		Allevatori di ovini e bovini, casari, macellai, veterinari, laboratoristi	
Carbonchio (antrace)		Cardatori, cenciaioli, conciatori, veterinari, macellai, cacciatori	
Coccidioidomicosi		Contadini, allevatori	
Dermatiti da acari		Droghieri, speciali, erboristi, stallieri, tappezzieri	
Dermatofitosi		Contadini, stallieri, veterinari	
Echinococcosi (idatidiosi)		Pastori, contadini	
Febbre Q		Macellai, allevatori, veterinari, conciatori, laboratoristi	
Listeriosi		Contadini, stallieri, allevatori, macellai, salumieri, veterinari	
Mal Rossino		Porcai, macellai, veterinari, laboratoristi	
Morva		Stallieri, allevatori, macellai, veterinari	
Psittacosi (ornitosi)		Allevatori, venditori di uccelli	
Rabbia		Cacciatori, guardiacaccia, addetti ai canili, accalappiacani, allevatori	
Spirochetosi		Agricoltori, mondine, fognaioli, cacciatori, pescatori, macellai	
Toxoplasmosi		Contadini, pastori, allevatori, boscaioli, fognaioli, sterratori	
Tubercolosi bovina		Allevatori, mungitori, bovani	
Tubercolosi umana		Personale sanitario e di laboratorio	
Tularemia		Contadini, cacciatori, guardiacaccia, macellai, laboratoristi	

Ai fini della tutela della salute e sicurezza dei lavoratori, il Titolo X indica gli obblighi del datore di lavoro che riguardano la valutazione del rischio biologico, l'adozione di misure tecniche, organizzative, procedurali, igieniche e di emergenza, l'informazione e la formazione dei lavoratori, la sorveglianza sanitaria, l'istituzione dei registri degli esposti, degli eventi accidentali, dei casi malattia e decesso laddove previsti.

5.6 CONTROLLO E SORVEGLIANZA DELLE ZONOSI: LA NORMATIVA COMUNITARIA E NAZIONALE

Le malattie zoonotiche sono disciplinate da diverse norme comunitarie e nazionali sia in materia di sanità animale che pubblica. Il d.lgs. 191/2006 [10] recepisce la cosiddetta "direttiva zoonosi" (dir. 2003/99/Ce) [11] in materia di sicurezza degli alimenti e sanità pubblica veterinaria, disciplina la sorveglianza delle zoonosi, degli agenti zoonotici e della resistenza agli antimicrobici a essa correlata.

Secondo il d.lgs. 191/2006 le zoonosi vengono suddivise in due categorie: quelle di categoria A sono zoonosi da sottoporre a sorveglianza o zoonosi prioritarie; quelle di categoria B sono zoonosi da sottoporre a sorveglianza a seconda della situazione epidemiologica. Per le zoonosi considerate prioritarie e per i focolai epidemici, la direttiva dispone l'obbligo di sorveglianza e di comunicazione annuale, da parte degli organi competenti dei Paesi membri, dei dati segnalati nel settore veterinario all'Efsa e di quelli relativi ai casi umani all'Ecdc. Efsa e Ecdc sintetizzano e pubblicano i dati raccolti in report annuali, la cui produzione è supportata, a partire dal 2020, dal gruppo di lavoro del Consorzio ZOE (Zoonosi in una prospettiva di salute unica nell'Ue), a cui afferiscono numerosi enti nazionali ed europei [12].

Il monitoraggio delle zoonosi, degli agenti zoonotici e della resistenza antimicrobica negli alimenti, nei mangimi e negli animali, condotto come detto ai sensi della direttiva zoonosi, integra il monitoraggio degli isolati umani ai sensi della decisione n.1082/2013/Ue [13] relativa alle gravi minacce a carattere transfrontaliero. Tale decisione stabilisce norme in materia di sorveglianza epidemiologica, monitoraggio, allarme rapido e contrasto alle gravi minacce per la salute a carattere transfrontaliero e comprende la pianificazione della preparazione e della risposta in relazione a tali attività, ai fini di coordinare e integrare le politiche nazionali. Tale decisione è stata tuttavia abrogata dal reg. 2371/2022 del 23 novembre 2022 [14] concepito per creare un mandato più solido per il coordinamento e la cooperazione per una risposta più efficace alle gravi minacce per la salute a carattere transfrontaliero, come la pandemia di COVID-19.

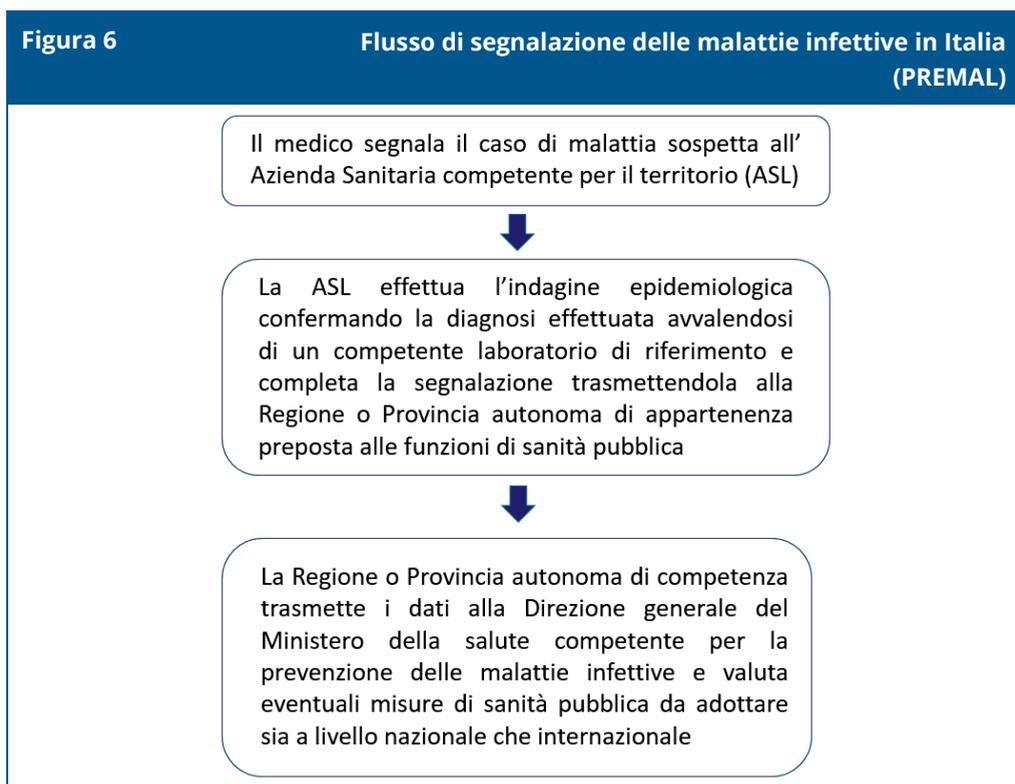
Il regolamento si applica alle misure di sanità pubblica in relazione alle seguenti categorie di gravi minacce:

- minacce di origine biologica, comprese le malattie trasmissibili, le infezioni associate, la resistenza antimicrobica e le biotossine o altri agenti biologici dannosi;
- minacce di origine chimica;

- minacce di origine ambientale, comprese quelle dovute al clima;
- minacce di origine ignota;
- eventi che possono costituire emergenze sanitarie di rilevanza internazionale ai sensi del regolamento sanitario internazionale dell'Oms.

Per quanto riguarda la sorveglianza delle malattie infettive incluse quelle zoonotiche nell'uomo si fa riferimento al decreto 7 marzo 2022 (Revisione del sistema di segnalazione delle malattie infettive-Premal) [15]. Il decreto disciplina le modalità di segnalazione, raccolta, elaborazione e utilizzo dei dati relativi alle malattie infettive che vengono diagnosticate sul territorio nazionale, nonché a bordo delle navi e degli aeromobili presenti nel territorio nazionale. Distingue le malattie infettive da segnalare in "malattia infettiva" e "malattia che genera allerta". Il Premal sostituisce il precedente d.lgs. 15/12/1990 "Sistema informativo delle malattie infettive e diffuse" [16], che suddivideva le malattie infettive in 5 classi, ognuna caratterizzata da procedure di notifica in base alla gravità.

Ai sensi del Premal, il medico, sia ospedaliero sia di medicina generale o pediatra o che svolga attività privata, ha l'obbligo di segnalare la malattia infettiva secondo il flusso riportato in Figura 6.



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Nell'ambito della prevenzione e controllo delle malattie animali che possono essere trasmesse agli animali o agli essere umani, l'Ue ha emanato un regolamento (reg. (Ue) 2016/429) [17] che stabilisce i requisiti per la prevenzione delle malattie e la preparazione verso possibili focolai; l'individuazione e la registrazione di animali e determinati prodotti di origine animale; l'ingresso di animali e di prodotti di origine animale nell'Ue e i loro movimenti interni; il controllo e l'eradicazione delle malattie, comprese le misure di emergenza, tra cui le restrizioni ai movimenti degli animali, l'abbattimento e la vaccinazione. Le norme riguardano le malattie animali per tutti gli animali detenuti, gli animali selvatici e i prodotti di origine animale, sia terrestri che acquatici

Inoltre, il Ministero della salute, con il Centro di referenza per l'epidemiologia veterinaria (COVEPI), ha realizzato un "Sistema informativo nazionale delle zoonosi" (SinZoo) al fine di raccogliere tutti i dati relativi alle zoonosi nel settore veterinario (https://www.vetinfo.it/sso_portale/zoonosi.html). I dati nazionali raccolti vengono successivamente inviati agli organismi europei che si occupano della loro analisi: Ecdc, Efsa, Agenzia europea per i medicinali (Ema) e la Commissione europea sui rischi sanitari emergenti e recentemente identificati (Scenihir).

5.7 BIBLIOGRAFIA, SITOGRAFIA, RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] Mantovani A. Considerazioni sul concetto di zoonosi. S.i.Ve.M.P. Argomenti. 2013; XVI:1.
- [2] Mantovani A, Macrì A, Prosperi S et al. Idrofobia e altre malattie non meno appiccicaticce. *Rev sci tech off int epiz.* 1992;11(1):205-18.
- [3] Allen T, Murray KA, Zambrana-Torriello C et al. Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases, *Nat Commun.* 2017;8(1):1124. Doi: 10.1038/s41467-017-00923-8.
- [4] O' Neill J. Review on antimicrobial resistance Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations. UK Department of Health; 2016.
- [5] Decreto del Ministero della salute 9 giugno 2022, Individuazione dei compiti delle Istituzioni che fanno parte del Sistema nazionale prevenzione salute dai rischi ambientali e climatici (Snps) istituito dall'articolo 27, d.l. 36/2022. Gazzetta ufficiale n. 155 del 5 luglio 2022.
- [6] Ministero della salute. Piano nazionale di contrasto all'antibiotico-resistenza (PNCAR) 2022 - 2025 [Internet]. 2022. Url: https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_3294_allegato.pdf [consultato settembre 2024].
- [7] Decreto legislativo 09 aprile 2008, n.81. Testo coordinato con il decreto legislativo 3 agosto 2009, n. 106. Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro. Attuazione dell'articolo 1 della l. 123/2007, in materia di tutela della

- salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ordinario n. 108. Decreto integrativo e correttivo: Gazzetta Ufficiale n. 180 del 05 agosto 2009 - Suppl. Ordinario n. 142/L. Revisione novembre 2023.
- [8] Decreto del Ministro del lavoro e delle politiche sociali e del Ministro della salute, di concerto con il Ministro dello sviluppo economico del 27 dicembre 2021, che recepisce la dir. 2019/1833/Ue della Commissione del 24 ottobre 2019, che modifica gli allegati I, III, V e VI della dir. 2000/54/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda gli adattamenti di ordine strettamente tecnico.
- [9] Direttiva (Ue) 2019/1833 della Commissione del 24 ottobre 2019 che modifica gli allegati I, III, V e VI della direttiva 2000/54/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda gli adattamenti di ordine strettamente tecnico. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L. 279/2019.
- [10] Decreto legislativo 4 aprile 2006, n. 191. Attuazione della direttiva 2003/99/Ce sulle misure di sorveglianza delle zoonosi e degli agenti zoonotici.
- [11] Direttiva 2003/99/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 novembre 2003. Sulle misure di sorveglianza delle zoonosi e degli agenti zoonotici, recante modifica della dec. 90/424/Cee del consiglio che abroga la dir. 92/117/Cee del Consiglio.
- [12] European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control. EU One health zoonoses report 2021. Efsa Journal 2022;20(12):7666. Doi: 10.2903/j.efsa.2022.7666.
- [13] Decisione 1082/2013/Ue del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 ottobre 2013 relativa alle gravi minacce per la salute a carattere transfrontaliero e che abroga la decisione n. 2119/98/Ce. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L. 293/2013.
- [14] Regolamento (Ue) 2022/2371 del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 novembre 2022 relativo alle gravi minacce per la salute a carattere transfrontaliero e che abroga la decisione 1082/2013/Ue. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 314 del 6 dicembre 2022.
- [15] Decreto del Ministro della salute, 7 marzo 2022. Revisione del sistema di segnalazione delle malattie infettive (Premal).
- [16] Decreto del Ministero della sanità, 15 dicembre 1990. Sistema informativo delle malattie infettive e diffuse.
- [17] Regolamento (Ue) n. 2016/429 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2016, relativo alle malattie animali trasmissibili e che modifica e abroga taluni atti in materia di sanità animale («normativa in materia di sanità animale»).

6 - ESPOSIZIONE AD AGENTI BIOLOGICI IN ALLEVAMENTI DI SUINI E IMPIANTI DI MACELLAZIONE: ESPERIENZE DI RICERCA IN OTTICA ONE HEALTH

A. Gioffrè¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

6.1 COSA SONO LE ZONOSI OCCUPAZIONALI

Da molti anni si cerca di affrontare rischi presenti all'interfaccia uomo-animale-ambiente, spesso rappresentati da infezione di origine zoonosica. Nel 2022 Food and Agriculture Organization of the United Nations (Fao), World Health Organization (Who), World Organization for Animal Health (Woah, formerly Oie) e United Nations Environment Programme (Unep) hanno concordato un piano di azione per prevenire future pandemie con un piano denominato *The One Health Joint Plan of Action (2022 - 2026)* [1].

Secondo questo piano, dovranno essere sviluppate strategie comuni con un approccio One health, da sottoporre all'esame dei diversi organi di governo, per migliorare la prevenzione, il monitoraggio, l'individuazione, il controllo e il contenimento dei focolai di malattie zoonotiche.

Le zoonosi, inoltre, sono tenute sotto controllo dal sistema dell'Unione europea (UE) per il monitoraggio e la raccolta di informazioni sulle zoonosi è sulla base della direttiva sulle zoonosi 2003/99/Ce [2], che obbliga gli Stati membri dell'Ue a raccogliere i dati pertinenti e, se del caso, dati comparabili su zoonosi, resistenza antimicrobica e epidemie di origine alimentare.

Inoltre, gli Stati membri valutano le tendenze e le fonti di questi agenti, nonché i focolai nel proprio territorio, presentando ogni anno entro la fine di maggio una relazione alla Commissione europea. La Commissione successivamente trasmette i dati raccolti all'Autorità europea per la sicurezza alimentare (Efsa). L'Efsa ha il compito di esaminarli e pubblicare le relazioni sintetiche annuali. Nel 2004, la Commissione europea ha affidato all'Efsa il compito di istituire un sistema di segnalazione elettronico e una banca dati per il monitoraggio delle zoonosi (Mandato Efsa n. 2004-0178, proseguito con M-2015-02312).

Secondo la normativa, dati su animali, alimenti e mangimi devono essere segnalati obbligatoriamente per i seguenti otto agenti zoonotici: *Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* produttore della tossina Shiga (STEC), *Mycobacterium bovis*, *Brucella*, *Trichinella* ed *Echinococco*.

Questi rientrano fra le zoonosi principalmente rilevanti, poi sulla base della situazione epidemiologica negli Stati membri, devono essere segnalati i dati relativi ad altri agenti zoonotici attenzionati: i) agenti virali zoonosi: calicivirus, virus

dell'epatite A, virus dell'influenza, rabbia, virus trasmessi da artropodi; (ii) zoonosi batteriche: borreliosi e suoi agenti, botulismo e suoi agenti, leptospirosi e suoi agenti relativi, psittacosi e relativi agenti, tubercolosi dovuta ad agenti diversi da *M. bovis*, vibriosi e agenti loro, yersiniosi e loro agenti; (iii) zoonosi parassitarie: anisakiasi e suoi agenti, criptosporidiosi e relativi agenti, cisticercosi e relativi agenti, toxoplasmosi e relativi agenti; e (iv) altre zoonosi e agenti zoonotici come *Francisella* e *Sarcocystis*.

In questo contesto si inseriscono poi le zoonosi occupazionali. Un'infezione zoonosica viene classificata come occupazionale, quando risulti correlata all'attività lavorativa dell'operatore. Normalmente gli operatori del settore agricolo e zootecnico sono quelli principalmente esposti a questo tipo di zoonosi.

6.2 LA RESISTENZA AGLI ANTIBIOTICI

Un ulteriore problematica da inserire in questo contesto riguarda la resistenza agli antimicrobici (AMR), di cui l'antibiotico-resistenza (ABR) rappresenta uno dei fattori di maggiore rilevanza. Questo fenomeno avviene naturalmente nei microrganismi come forma di adattamento all'ambiente, e permette loro di accumulare nel tempo la capacità di resistere a molecole potenzialmente in grado di ucciderli o arrestarne la crescita.

Alla predisposizione naturale dei microrganismi di acquisire resistenza va affiancata l'enorme pressione selettiva esercitata da un uso eccessivo e spesso improprio degli antibiotici in ambito umano, veterinario e zootecnico. Nel tempo questo fenomeno ha assunto i caratteri di una delle principali emergenze sanitarie globali. Anche qui l'approccio *One Health* costituisce un elemento imprescindibile per affrontare questa problematica, poiché è diventata una delle più gravi minacce per la salute e lo sviluppo globale.

A causa di numerosi fattori che vanno dalla globalizzazione alla mancanza di controllo appropriato della trasmissione delle infezioni in ambito assistenziale, questo fenomeno ha assunto i caratteri di un'emergenza sanitaria, una "pandemia silente" capace di dare vita a veri e propri "superbatteri" multi- o pan-resistenti, che provocano infezioni molto gravi per le quali le opzioni terapeutiche si riducono drasticamente, fino al punto di azzerarsi.

La resistenza agli antibiotici fra gli agenti infettivi zoonotici è un fenomeno che è andato amplificandosi negli ultimi anni in tutto il mondo, rendendo più difficile il trattamento delle infezioni umane e animali. Nella moderna zootecnia gli antibiotici sono utilizzati in quantità elevate non solo per la terapia, ma anche per la prevenzione delle malattie, e vengono somministrati tramite acqua di abbeverata o mangimi medicati con antibiotici. Inoltre, prima del divieto definitivo dell'Unione europea del 2003 con il reg. (Ce) 2003/1831 [3], gli antimicrobici sono

stati per decenni somministrati come promotori della crescita degli animali. La diffusione di batteri antibiotico-resistenti dagli animali all'uomo può avvenire attraverso il contatto diretto con l'animale, il consumo di alimenti contaminati e l'emissione nell'ambiente di reflui zootecnici contenenti residui antibiotici o batteri resistenti (o i loro determinati geni di resistenza) [4].

Con la dir. 2003/99/Ce, l'Unione europea ha adottato, parallelamente al monitoraggio degli agenti zoonosici, misure di sorveglianza del problema dell'antibiotico-resistenza nelle infezioni batteriche sostenute da agenti zoonosici, tra cui batteri appartenenti ai generi *Salmonella*, *Campylobacter* e *Staphylococcus*.

6.3 ATTIVITÀ DI RICERCA: “ANALISI DEL RISCHIO DA ESPOSIZIONE AD AGENTI INFETTIVI EMERGENTI E RI-EMERGENTI NELL'ALLEVAMENTO DI BOVINI E SUINI DEL MERIDIONE D'ITALIA: PREVALENZA, TRAIETTORIE EPIDEMIOLOGICHE, STRATEGIE DI PREVENZIONE”

All'interno di questo quadro si colloca l'esperienza di ricerca multidisciplinare iniziata da Inail nel 2018 con la collaborazione dell'Università degli studi di Messina, dell'Istituto zooprofilattico sperimentale del Mezzogiorno, dell'Università degli studi Roma Tre, che sta continuando tutt'oggi con altri progetti multidisciplinari finanziati. Considerato l'enorme impatto non solo sulla salute ma anche sull'economia dei flussi commerciali di alimenti e di animali, l'attuazione di strategie coordinate nel controllo delle zoonosi e della sicurezza degli alimenti oggi è divenuta una priorità. Quindi tutte le strategie di prevenzione volte a tutelare la salute e la sicurezza dei lavoratori del comparto agrozootecnico, devono essere fortemente incoraggiate, anche perché questo ha una ricaduta su tutta la filiera agroalimentare e sulla salute della popolazione in generale.

La nostra esperienza di ricerca si è quindi articolata su diversi piani, tenendo sempre il lavoratore al centro e scegliendo degli agenti infettivi target negli ambienti lavorativi che abbiamo monitorato.

6.4 MICRORGANISMI TARGET

6.4.1 *Staphylococcus aureus*

Uno dei microrganismi target individuati dal nostro studio è *Staphylococcus aureus*. La scelta è ricaduta su *S. aureus* innanzitutto perché si tratta di un batterio ad ampia diffusione. Infatti, si stima che circa il 60% della popolazione sia colonizzata da *S. aureus* in modo intermittente, e il 20% in modo persistente.

Inoltre, *S. aureus* può provocare infezioni cutanee localizzate che, in soggetti sani, non richiedono trattamento, ma occasionalmente può essere causa di infezioni gravi, talvolta fatali [5].

Il successo di *S. aureus* come patogeno è attribuibile alla produzione di moltissimi fattori di virulenza che gli consentono di evadere le difese dell'ospite e di diffondersi all'interno dell'organismo. In passato i farmaci comunemente utilizzati per il trattamento di infezioni causate da *S. aureus* resistenti alle β -lattamasi erano le penicilline e alcune cefalosporine. Purtroppo, negli ultimi anni si è assistito al crescente isolamento, in ambito ospedaliero e non, di ceppi di *S. aureus* meticillino-resistenti (MRSA) verso i quali il trattamento con le penicilline e le cefalosporine risulta inefficace.

La diffusione di MRSA rappresenta a oggi un allarmante problema per la salute pubblica [6]. Infatti un recente rapporto di sorveglianza del Centro europeo per la prevenzione e il controllo delle malattie (Ecdc) ha mostrato una frequenza di isolamento di MRSA in ambito nosocomiale in Italia del 34,0% nel 2018, confermato dal rapporto Iss Sorveglianza RIS-1/2021, secondo il quale la percentuale di isolati resistenti alla meticillina (MRSA) si è mantenuta stabile, intorno al 34% anche ne 2020, che però è il doppio rispetto alla frequenza media dei Paesi del Unione europea (16,4% nel 2018, [7]). Questa frequenza di isolamento di MRSA non è un fenomeno ascrivibile solo all'ambiente ospedaliero, dal momento che sono stati descritti casi di infezioni comunitarie causate da MRSA in individui sani che non presentavano fattori di rischio predisponenti all'infezione [6]. Inoltre, nell'ultimo decennio gli MRSA sono emersi anche in ambito veterinario dal momento che numerosi studi epidemiologici hanno rivelato il sempre più frequente isolamento di MRSA in animali da compagnia e in allevamenti di suini e bovini. La linea clonale degli isolati di MRSA associati agli allevamenti (*livestock associated MRSA*, LA-MRSA) maggiormente diffusa in tutto il mondo è, a oggi, la linea clonale 398 (ST398) [8]. La principale fonte di isolamento di ceppi di LA-MRSA ST398 sono i suini, che sono portatori asintomatici di MRSA e possono fungere pertanto da serbatoio per zoonosi nell'uomo, in particolare negli operatori zootecnici costantemente a contatto con il bestiame.

Numerosi studi hanno documentato, inoltre, che il clone ST398 può essere causa anche di infezione comunitarie. La maggior parte delle manifestazioni cliniche descritte fino a oggi comprende infezioni della cute e dei tessuti molli, sebbene siano stati descritti casi di batteriemia, osteomieliti e polmoniti, talvolta anche fatali [9]. In Italia, sono stati segnalati due grave casi infezioni comunitarie da LA-MRSA ST398, un ascesso multiloculare pelvico e una fascite necrotizzante [10,11]. Inoltre, studi condotti nel nord d'Italia e in altri paesi europei hanno riportato come la frequenza di isolamento di LA-MRSA ST398 in comunità sia maggiore nelle aree con un'alta densità di impianti d'allevamento suinicolo [12,13].

6.4.2 Hepatitis E virus (HEV)

L'epatite E è una malattia virale acuta spesso anitterica e autolimitante, molto simile all'epatite A, sostenuta da un virus denominato *Hepatitis E virus* (HEV), provvisoriamente classificato nella famiglia dei Caliciviridae. In casi rari l'epatite E può risultare in una forma fulminante fino al decesso, questi casi si presentano più frequentemente nelle donne gravide, specialmente nel terzo trimestre di gravidanza, con letalità che arriva fino al 20%. Seppure rari, casi cronici sono riportati in soggetti immunocompromessi e, in letteratura, sono riportati anche casi di riacutizzazione. Come per l'epatite A, la trasmissione avviene per via oro-fecale, e l'acqua contaminata da feci è il veicolo principale dell'infezione. Il periodo di incubazione va da 15 a 64 giorni.

Proprio per le sue vie di trasmissione e per il fatto che gli animali, in particolare i suini, ne sono il reservoir principale, l'infezione da HEV è considerata una zoonosi emergente a trasmissione oro-fecale che costituisce un rilevante problema di sanità pubblica nei Paesi in via di sviluppo. Nei Paesi industrializzati si presenta come malattia emergente sostenuta prevalentemente da casi importati da aree endemiche. L'HEV è presente in tutto il mondo: epidemie e casi sporadici sono stati registrati principalmente in aree geografiche con livelli igienici inadeguati. Nei Paesi industrializzati, invece, la maggior parte dei casi riguarda persone di ritorno da viaggi in Paesi endemici. Tuttavia, nei Paesi industrializzati è in aumento il numero di casi autoctoni. A oggi, sono stati descritti 4 genotipi (G) di HEV (Tabella 1). La maggior parte delle infezioni in aree non endemiche è causata da HEV G3 che, insieme al G4, infetta sia gli animali che l'uomo. Il serbatoio principale di HEV sono i suini, dove la prevalenza dell'infezione in Europa (e Italia) varia dal 22% al 55% [14,15]. L'isolamento di HEV G3, ampiamente diffuso in allevamenti suinicoli e documentato anche in pazienti che non avevano soggiornato in zone a rischio [15], rende plausibile una possibile trasmissione zoonotica, suffragata dalla elevata omologia tra virus umani e animali. Recentemente è stato isolato in un allevamento di suini in nord-Italia un HEV G4 [16], genotipo che può causare forme di epatite nell'uomo più gravi rispetto al G3.

Tabella 1 Schematizzazione delle caratteristiche dei diversi genotipi di HEV				
Caratteristiche	Genotipo 1 (G1)	Genotipo 2 (G2)	Genotipo 3 (G3)	Genotipo 4 (G4)
Localizzazione geografica	Africa e Asia	Messico e Africa dell'Est	Paesi sviluppati	Cina, Taiwan, Giappone
Vie di trasmissione	Acqua	Acqua	Cibo	Cibo
	Oro-fecale	Oro-fecale		
	Da persona a persona			
Gruppi ad alto rischio di infezione	Giovani adulti	Giovani adulti	Adulti (> 40)	Giovani adulti
			Maschi	
			Persone immuno-compromesse	
Trasmissione zoonotica	NO	NO	SI	SI
Infezione cronica	NO	NO	SI	NO
Verificarsi di focolai	Comune	Focolai su piccola scala	Non comune	Non comune

In Italia l'HEV è sorvegliata attraverso il sistema SEIEVA (Sistema epidemiologico integrato dell'epatite virale acuta), all'interno del quale l'informazione sulla positività per IgM anti-HEV è raccolta già a partire dal 2007. Degli oltre 16 mila casi di epatite acuta notificati al SEIEVA a partire da 2007, 332 (corrispondenti al 2%) sono attribuibili all'epatite E. Nel 2022 sono stati segnalati nel SEIEVA 44 casi di epatite E, 5 dei quali associati a viaggi in zone endemiche, ma i restanti 39 (88,8%) sono casi autoctoni. È possibile, comunque, che questo numero sia sottostimato, e questo potrebbe essere attribuito a una conoscenza ancora limitata su questa infezione, tuttora ancora considerata a carico quasi esclusivo dei viaggiatori provenienti da zone endemiche. Ciò ha come conseguenza che la ricerca dell'HEV non venga effettuata in molti dei casi in cui sarebbe indicata. Un ulteriore dato in linea con quanto osservato mette in evidenza che dal 2007 a oggi, solo nel 38% dei casi di epatite acuta, negativi alla ricerca dei virus A, B e C (casi "possibili" di epatite E), viene effettuata la ricerca delle IgM anti-Epatite E. Quando questi casi vengono testati, si ottiene una positività in oltre il 75% dei casi. La percentuale di casi "possibili" testati sta comunque crescendo e nel 2018 è superiore al 60%. Questi dati riflettono anche quelli presenti in letteratura sulla presenza di HEV negli animali, soprattutto suini; infatti, i prodotti a base di carne di maiale sono spesso

indicati come fonte di molti casi di HEV di origine alimentare umana. I suini sono riconosciuti come il principale serbatoio del genotipo zoonotico HEV-3, il più frequentemente rilevato nei casi umani dell'Unione Europea. In assenza di una sorveglianza ben codificata e standardizzata della circolazione dell'HEV, i dati sulla prevalenza sono eterogenei ma confermano un'ampia circolazione dell'HEV-3 negli allevamenti di suini in tutta l'Ue. L'HEV-3 può attraversare la catena alimentare dall'allevamento alla tavola quando gli animali infetti vengono macellati. In Italia, diversi studi hanno riportato la circolazione di HEV-3 negli allevamenti di suini. Un recentissimo studio trasversale condotto in 51 allevamenti suinicoli in Europa ha messo in evidenza la presenza di HEV nei campioni fecali prelevati in allevamento, confermando la circolazione dei virus all'interno del 35,3% degli allevamenti campionati, dimostrando l'importanza della sorveglianza di questo virus, per ridurre la circolazione nella popolazione generale.

6.4.3 *Mycobacterium bovis* (MB)

Mycobacterium bovis, appartenente al complesso del *Mycobacterium tuberculosis* che include *M. tuberculosis*, *M. bovis*, *M. africanum* e *M. microti*, è il microrganismo associato alla tubercolosi bovina. La patologia si diffonde nel bestiame attraverso inalazione di aerosol prodotto da tosse o da starnuto di animali infetti o da particelle infette di polvere o anche indirettamente da pascoli o acque contaminate. Nel caso di contagio per via intestinale i micobatteri giungono all'animale con l'alimento o attraverso l'acqua. *Mycobacterium bovis* è in grado di provocare anche nell'uomo forme di malattia che risultano non distinguibili per gravità, lesioni e decorso rispetto alla forma causata da *Mycobacterium tuberculosis*.

Per altro *Mycobacterium bovis* risulta estremamente virulento sia per l'animale che per l'uomo. La fonte principale di contagio per l'uomo è rappresentata dal contatto con animali infetti e dall'ingestione di prodotti provenienti da animali infetti, in particolare prodotti derivati da latte non pastorizzato. Gli individui maggiormente a rischio sono quelli a stretto contatto con animali (allevatori e veterinari), sebbene sia possibile anche una trasmissione indiretta attraverso prodotti da bovini infetti [17,18].

La malattia è presente in alcuni territori dell'Italia, prevalentemente al sud, dove risulta di difficile eradicazione per le caratteristiche intrinseche del microorganismo in termini di resistenza all'ambiente esterno e per la tipologia di allevamento improntato alla monticazione e transumanza.

Negli ultimi anni, grazie agli interventi normativi, l'attività di formazione sul campo e l'implementazione di sistemi atti alla verifica puntuale dell'attività svolta sul territorio,

si è assistito a un miglioramento della situazione epidemiologica con riduzione del numero di focolai.

Il bovino è considerato l'ospite naturale e serbatoio principale della malattia; tuttavia, è dimostrato che alcune specie selvatiche possono fungere da reservoir per *M. bovis*/*M. caprae*, come il tasso, il cinghiale [19] e il cervo [20] e anche il capriolo [21]. Questo dimostra la grande capacità di questo microrganismo di adattarsi a diversi ospiti, che quindi ne favoriscono la diffusione. In Italia si registrano ancora circa 4.000 casi di TB per anno, ma è possibile che la TB zoonotica sia sottostimata in quelle aree dove è ancora endemica la TB bovina [18], come alcune aree del Meridione d'Italia, in cui è frequente il contatto dei lavoratori a contatto con animali potenzialmente infetti.

Attualmente la prova ufficiale per la diagnosi di TBC bovina è il test di intradermoreazione alla tubercolina PPD bovina (*Protein Purified Derivative*). È un test cutaneo di allergia all'inoculazione, di un allergene derivato dal Micobatterio tubercolare che negli animali infetti provoca ispessimento cutaneo valutato dopo 72 ore. Altre prove diagnostiche utilizzate per la conferma di TBC sono il gamma interferon, l'isolamento colturale e la prova biologica di laboratorio. La sorveglianza viene garantita anche tramite la sorveglianza degli animali macellati al mattatoio (c.d. ispezione ante mortem e post mortem). Già dal 1995 con il d.m. 592/1995 [22] viene stilato il *Piano nazionale per l'eradicazione della tubercolosi negli allevamenti bovini e bufalini*, dando numerose indicazioni sulla diagnosi e sul trattamento dei capi e degli allevamenti in cui sono presenti i focolai di TBC bovina. Nel caso di capi infetti, devono essere immediatamente isolati e macellati sotto controllo sanitario ufficiale al massimo entro trenta giorni dalla notifica di positività. Questo pone però un ulteriore problema all'esposizione dei lavoratori, infatti durante la macellazione gli operatori degli impianti di macellazione risultano particolarmente esposti sia a bioaerosol contaminati che al contatto con fluidi biologici di animali sicuramente positivi a TBC bovina.

Viste le premesse ci siamo concentrati su questi microrganismi target, che di sicuro rappresentano un alto rischio di zoonosi occupazionale, vista l'ampia diffusione e la facilità di trasmissione per via aerosolica e/o oro-fecale.

6.4.4 Staphylococcus aureus e MRSA

Il progetto si proponeva in primis di stimare la prevalenza di MRSA negli allevamenti suinicoli, sia negli animali che nei lavoratori. Sono state selezionate 32 aziende di allevamento suinicolo poste su tutto il territorio calabrese suddivise in due tipologie diverse per tipo di allevamento (Tabella 2).

Tabella 2		Distribuzione per provincia delle aziende	
Provincia	Azienda da riproduzione	Azienda da ingrasso	Totale
Catanzaro	3	8	11
Cosenza	3	2	5
Crotone	2	1	3
Reggio Calabria	8	2	10
Vibo Valentia	3	0	3
Totale	19	13	32

All'interno di queste aziende sono stati raccolti i tamponi nasali provenienti dai maiali e dagli operatori, processati per la ricerca di MRSA secondo una flowchart definita, che ci ha permesso di isolare tutti i ceppi di MRSA.

In breve, dopo il prelievo, i tamponi nasali sono stati trattati secondo una procedura standard di pre-arricchimento mirata a favorire la crescita selettiva di *S. aureus* e MRSA [23]. Viene utilizzato un terreno di arricchimento per *S. aureus* (Mueller Hinton Broth (MHB) addizionato con 6,5% (w/vol) di cloruro di sodio (NaCl), e successivamente un terreno selettivo differenziale per MRSA, Phenol-Red Mannitol Broth (PRMB) senza e con 4 µg/ml di oxacillina (PRMB + OX). Dopo la crescita e l'eventuale viraggio delle provette, i campioni con sospetto MRSA vengono seminati su piastre selettive per MRSA (Brilliance MRSA 2 agar, Oxoid). A questo punto i possibili isolati MRSA sono stati verificati a livello genotipico per l'appartenenza alla specie *S. aureus* e per la presenza del determinante genico di resistenza alla meticillina. Il genoma degli isolati, estratto mediante QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen) e conservato a -20 °C, è stato usato come stampo (*template*) per una reazione multipla di *polymerase chain reaction* (PCR) secondo una procedura standard [24].

Tale PCR multipla genera tre diversi ampliconi, corrispondenti a un frammento del gene *nuc* (nucleasi termostabile) specifico di *S. aureus*, il gene *mecA* responsabile della resistenza alla meticillina e un frammento del gene codificante l'rDNA ribosomiale 16S, rispettivamente di 270, 533 e 798 paia di basi (pb). Per nessun isolato è stato necessario ricercare la variante *mecC* del gene di resistenza alla meticillina dal momento che il 100% dei campioni di MRSA confermati per PCR, sono risultati positivi alla presenza del gene *mecA*.

Complessivamente, sono stati prelevati tamponi nasali da 475 suini e 88 operatori. I risultati ottenuti dalla stima della prevalenza di *S. aureus* e MRSA negli allevamenti suinicoli della regione Calabria sono riportati in Tabella 3. È stata riscontrata una percentuale di colonizzazione da *S. aureus* del 82,1% (390/475) in campioni animali e del 55,7% (49/88) in campioni umani. La frequenza di MRSA negli animali è del 46,1% (219/457) mentre negli operatori del settore la percentuale è del 21,6% (19/88).

Tabella 3 Percentuale di positività di *S. aureus* e MRSA negli allevamenti suinicoli della regione Calabria

Fonte d'isolamento	N. campioni	<i>S. aureus</i>	MRSA
Operatori	88	55,7% (49)	21,6% (19)
Animali	475	82,1% (390)	46,1% (219)

Gli allevamenti in cui sono stati effettuati i campionamenti sono sostanzialmente di due tipi, cioè di tipo intensivo e di tipo semi brado/brado. A seconda del tipo di allevamento cambia anche la razza del maiale campionato: nel caso delle aziende intensive si tratta di maiale bianco di varie razze, anche d'importazione, mentre nel caso degli allevamenti allo stato brado si tratta sempre di suino nero di Calabria (Tabella 4). Su un totale di 475 animali, 405 sono stati campionati in allevamenti intensivi e 70 in allevamenti bradi e semi-bradi. Dalla Tabella 3 appare subito evidente che sul totale dei suini campionati è stata riscontrata una percentuale di colonizzazione da *S. aureus* del 82,1% (390/475) e una frequenza di MRSA del 46,1% (219/457).

Tabella 4 Prevalenza di *S. aureus* in base alla tipologia di allevamento, alla razza e al trattamento antimicrobico

Variabile	Categorie	N. aziende	N. campioni animali	<i>S. aureus</i> positivi		MRSA positivi	
				N. (%)	<i>P-value</i>	N. (%)	<i>P-value</i>
Tipo di allevamento	Intensivo	25	405	350 (86,4)	NS	218 (53,8)	> 0,001
	Non-intensivo	7	70	40 (57,1)		1 (1,4)	
	Totale	32	475	390 (82,1)		219 (46,1)	
Razza	Suino nero	11 ^a	77	47 (61,0)	NS	7 (9,1)	> 0,001
	Altre razze	25	398	343 (86,2)		212 (53,3)	
	Totale	32	475	390 (82,1)		219 (46,1)	
Trattamento antimicrobico	Trattato ^b	-	60	57 (95,0)	NS	45 (75,0)	0,010
	Non trattato	-	415	333 (80,2)		174 (41,9)	
	Totale	-	475	390 (82,1)		219 (46,1)	

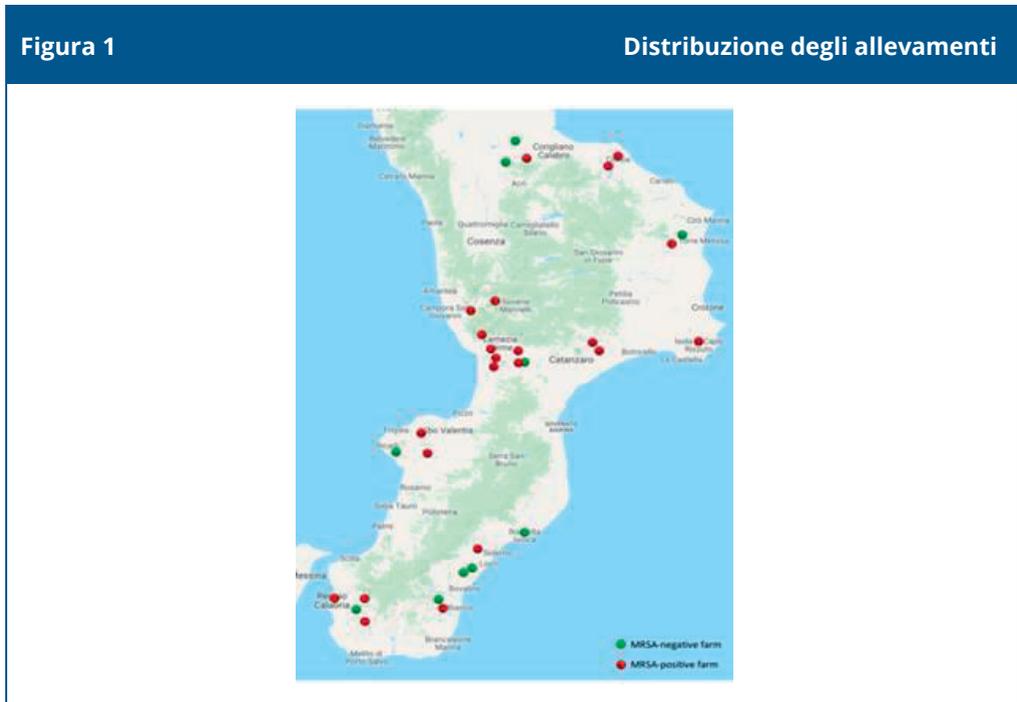
^a Un numero minimo di suino nero è stato trovato in 4 aziende intensive.

^b In corso o sospesa negli ultimi venti giorni.

NS: non significativo.

Facendo un'analisi statistica di tipo comparativo (t-student), non risultano valori di *P-value* significativi per la percentuale di *S. aureus*, ma le significatività sono elevate (*P-value* > 0.001) se compariamo i valori di MRSA; infatti, la quasi totalità dei casi viene riscontrata negli allevamenti di tipo intensivo (218/475), e di conseguenza c'è una prevalenza maggiore per i suini bianchi (212/475) [25].

La Figura 1 mostra la distribuzione degli allevamenti sul territorio calabrese; in verde sono segnalati gli allevamenti negativi per MRSA, mentre in rosso quelli positivi. Come si può notare, gli allevamenti positivi e negativi sono distribuiti equamente sul territorio, a dimostrazione della grande diffusione negli allevamenti intensivi dei ceppi di MRSA.



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Per quanto riguarda gli operatori, abbiamo effettuato un'analisi statistica tenendo conto del tipo di allevamento, del contatto diretto con gli animali e dell'età dei lavoratori.

In questo caso, come mostrato in Tabella 5, non vi è una correlazione forte fra il tipo di allevamento e la prevalenza di *S. aureus*, mentre invece c'è sempre una correlazione fra tutte le variabili e la positività a MRSA.

Tabella 5 Prevalenza di *S. aureus* e MRSA nei lavoratori delle aziende suinicole in base alla tipologia di allevamento, al contatto con gli animali e all'età dei lavoratori

Variabile	Categorie	N. aziende	N. campioni lavoratori	S. aureus positivi		MRSA positivi	
				N. (%)	P-value	N. (%)	P-value
Tipo di allevamento	Intensivo	25	70	41 (58,6)	NS	19 (27,1)	0,01
	Non-intensivo	7	18	8 (44,4)		0 (0)	
	Totale	32	88	49 (55,7)		19 (21,6)	
Contatto diretto con gli animali	SI	-	73	48 (65,8)	< 0,0001	19 (26,0)	0,03
	NO	-	15	1 (6,7)		0 (0)	
	Totale	-	88	49 (55,7)		19 (21,6)	
Età	< 50	-	56	33 (58,9)	NS	17 (30,4)	0,01
	> 50	-	32	16 (50,0)		2 (6,25)	
	Totale	-	88	49 (55,7)		19 (21,6)	

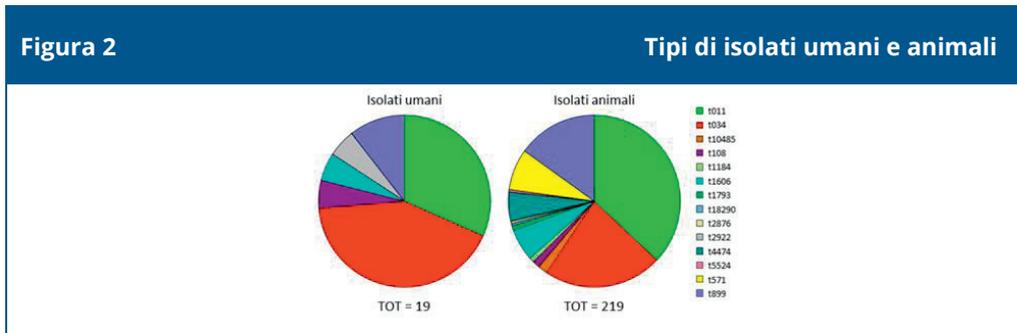
NS: non significativo.

Proprio in un'ottica *One Health*, il lavoro oltre che stimare la prevalenza di MRSA negli allevamenti, ha posto in essere una serie di indagini genotipiche e fenotipiche che miravano a definire sia la traiettoria epidemiologica dei ceppi, sia la loro virulenza e antibiotico-resistenza.

Abbiamo quindi puntato inizialmente sull'identificazione del tipo spa (*spa typing*), una metodica di tipizzazione che consiste nell'analisi della sequenza nucleotidica di un singolo locus all'interno del gene spa codificante la proteina stafilococcica A presente sulla superficie cellulare di *S. aureus* [26].

La regione polimorfica X all'interno del gene spa è costituita da un numero variabile di ripetizione di una sequenza di 24 pb. L'amplificazione mediante PCR della regione X del gene spa, il sequenziamento dell'amplicone e l'analisi della sequenza nucleotidica mediante il software Ridom StaphType (<http://www.ridom.de>) consente di stabilire il tipo spa.

Attraverso questa metodica, è stato possibile individuare 6 tipi spa nei 19 MRSA di origine umana e 13 tipi spa nei 219 MRSA di origine animale (Figura 3). In linea con quanto descritto in precedenti studi condotti in Italia [27,28], i tipi spa t011, t034 e t899 sono risultati più frequenti tra gli isolati MRSA (Figura 2).



(Inail – Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Inoltre, in un MRSA di origine animale, isolato in un allevamento non intensivo, è stato identificato un tipo spa prima d'ora mai descritto.

Gli isolati MRSA sono stati ulteriormente tipizzati in base al tipo di cassetta mec. La cassetta mec è un elemento genico contenente i geni responsabili della resistenza alla meticillina e della mobilità della cassetta stessa, ed è costituita da tre elementi distinti: il complesso genico mec (mecI-mecR-mecA), il complesso genico ccr (costituito da ccrA e ccrB o dal singolo gene ccrC) e la regione J. La combinazione dei diversi tipi di complessi genici mec, ccr e la regione J definisce il tipo di SCCmec. La maggior parte di isolati MRSA (95,0% di origine animale; 89,5% di origine umana) sono risultati portatori di una cassetta mec di tipo V. Questa tipologia di cassetta è stata precedentemente associata a isolati MRSA identificati in allevamenti suinicoli [29-31]. Di contro, la rimanente parte degli isolati MRSA (5,0% di origine animale; 10,5% di origine umana) è risultata essere caratterizzata da una cassetta mec di tipo IVc. L'individuazione del *sequence type* (ST) definisce l'appartenenza di un isolato MRSA a un clone specifico e permette l'inquadramento dell'isolato MRSA nel contesto epidemiologico globale. Una delle metodiche utilizzate per valutare se un MRSA appartiene all'ST398 è l'amplificazione mediante PCR del frammento A07 del gene SAPI2195, che è presente esclusivamente negli isolati appartenenti al ST398 [32]. Nel 100% degli isolati MRSA, sia di origine animale è stato possibile individuare il frammento A07. Come ulteriore conferma dell'appartenenza degli isolati MRSA al ST398, un isolato appartenente a ciascun tipo spa è stato analizzato mediante MultiLocus Sequence Typing (MLST). La metodica del MLST consente di stabilire il ST tramite

l'amplificazione mediante PCR e il successivo sequenziamento di sette geni costitutivi o *housekeeping* (*arcC*, *aroE*, *glpF*, *gmk*, *pta*, *tpi*, *yqjL*). Ad ogni variante allelica di ciascun gene viene attribuito un numero; l'insieme dei numeri ottenuti compone un codice di sette numeri che definisce il ST del ceppo (<http://saureus.mlst.net>). Come previsto, tutti gli isolati di MRSA sono stati confermati appartenere al ST398. Al fine di determinare l'identità genetica tra gli MRSA di origine animale e umana originari della stessa azienda, gli isolati sono stati ulteriormente tipizzati mediante tecniche di *fingerprinting* genetico. Queste metodiche di tipizzazione si basano sulla amplificazione di frammenti nucleotidici interspersi (*rep-PCR*) o randomici (Random Amplified Polymorphic DNA, *RAPD*) nel genoma. Sono stati definiti sei diversi cluster *rep*. Escludendo gli isolati umani dell'azienda 21RC, nella quale nessun MRSA è stato isolato dagli animali, e un isolato umano dell'azienda per il quale non è stato rilevato alcun isolato animale con lo stesso tipo *spa* e *SCCmec*, 14 su 16 MRSA di origine umana mostravano lo stesso profilo epidemiologico (stesso tipo *spa*, *SCCmec* e profilo *rep*) di almeno un MRSA animale della stessa azienda (Tabella 6). Nelle aziende suinicole in cui sono stati isolati MRSA sia da operatori che animali, i risultati della tipizzazione genetica hanno indicato che il 94,1% (16/17) degli isolati dai lavoratori era geneticamente identico o strettamente correlato ad almeno un isolato dai suini della stessa azienda.

Tabella 6 Confronto del tipo epidemiologico *S. aureus* e MRSA nei lavoratori delle aziende suinicole in base alla tipologia di allevamento, al contatto con gli animali

Azienda	Tipo epidemiologico <i>spa</i> , <i>SCCmec</i> , <i>rep-PCR</i> (N. di isolati MRSA)	
	Operatori	Animali
01CZ	t011, V, A (1/2) ; t011, V, C (1/2)	t011, V, A (9/9)
02CZ	t108, V, C (1/2) ; t899, IVc, C (1/2)	t108, V, C (3/8) ; t899, IVc, C (1) ; t034, V, C (4)
03CZ	t034, V, E (1/1)	t034, V, E (2/5) ; t571, V, D (2/5); t034, V, A (1/5)
05CS	t011c, V, C (1/2) ; t1606, V, C (1/2)	t011, V, C (2/24) ; t1606, V, C (13/24) ; t011, V, A (8/24); t5524, V, C (1/24)
07KR	t011, V, C (1/1)	t011, V, C (11/18) ; t011, V, A (7/18)
11RC	t899, IVc, F (1/1)	t899, IVc, F (10/10)
18CS	t011, V, C (2/3) ; t034, V, C (1/3)	t011, V, C (8/10) ; t1184, V, C (2/10)
19RC	t034, V, B (2/2)	t034, V, B (1/6) ; t034, V, D (2/6); t1793, V, B (2/6); t571, V, D (1/6)
21RC	t034, V, D (1/2); t2922, V, D (1/2)	-
29RC	t034, V, A (2/2)	t034, V, A (2/9) ; t899, V, C (7/9)
32RC	t034, V, A (1/1)	t034, V, D (2/8); t10485, V, D (4/8); t011, V, D (1/8); t2876, V, D (1/8)

In grassetto sono evidenziati gli isolati MRSA umani e animali che mostrano lo stesso profilo epidemiologico.

Gli isolati di LA-MRSA appartenenti al ST398 possono essere classificati in base alla loro origine in due gruppi distinti: il clade umano e il clade animale [33]. La presenza del gene *scn*, che codifica per una proteina che inibisce il complemento umano, e l'assenza del gene *tet(M)*, che codifica per il determinante genico che conferisce la resistenza alla tetraciclina, associa un isolato MRSA ST398 al clade umano. Al contrario, l'assenza del gene *scn* e la presenza del gene *tet(M)* permette di assegnare un isolato MRSA ST398 al clade animale. Al fine di definire la direzione della trasmissione tra gli MRSA identificati in operatori e animali, è stato determinato il clade di appartenenza di ciascun MRSA, saggiando la presenza dei geni *scn* e *tet(M)* [34]. Tutti gli isolati MRSA, sia isolati negli operatori che nei suini, stati assegnati al clade animale, risultando positivi per il gene *tet(M)* e negativi per il gene *scn*. Quest'analisi suggerisce quindi la trasmissione unidirezionale di LA-MRSA dai suini ai lavoratori [35].

A completamento dello studio sui ceppi isolati sia da animale che da uomo è stato eseguito un antibiogramma completo. Utilizzando una card AST-P588 sono stati saggiati i seguenti antibiotici: β -lattamici (penicillina, PEN; oxacillina, OXA; amoxicillina/sulbactam, AMS), carbapenemi (imipenem, IMP), aminoglicosidi (gentamicina, GEN; kanamicina, KAN), fluorochinoloni (enrofloxacin, ENR; marbofloxacin, MAR), macrolidi (eritromicina, ERY), ansamicine (rifampicina, RIF), inibitori della sintesi dell'acido folico (trimetoprim/sulfametossazolo, SXT), fucidani (acido fusidico, FUS); lincosamidi (clindamicina, CLI); glicopeptidi (vancomicina, VAN); tetracicline (tetraciclina, TET), nitrofurani (nitrofurantoina, NIT), fenicolici (cloramfenicolo, CHL).

I risultati ottenuti dai saggi dell'antibiogramma mettono in evidenza uno scenario abbastanza conosciuto in realtà ma preoccupante. Infatti è stato osservato che la maggior parte degli isolati sono resistenti a numerosi composti antimicrobici. Il 97,3% (213/219) degli isolati MRSA di origine animale e il 100% (19/19) degli isolati umani hanno mostrato un fenotipo multiresistente (multi-drug resistance, MDR), essendo resistenti a tre o più classi di antimicrobici non β -lattamici.

Tutti gli isolati, sia di origine animale che umana, sono risultati resistenti a PEN, OXA e TET e suscettibili a VAN e FUS. Inoltre, un elevato livello di resistenza è stato osservato per la classe dei fluorochinoloni [ENR (78,9% negli MRSA umani e 65,3% negli MRSA animali) e MAR (63,2% negli MRSA umani e 47,9% negli MRSA animali)] e dei lincosamidi/macrolidi [CLI (73,7% negli MRSA umani e 93,1% negli MRSA animali) ed ERY (57,9% negli MRSA umani e 46,1% negli MRSA animali)], che sono comunemente utilizzati in zootecnia intensiva [36,37]). Una situazione analoga è stata osservata anche per il cotrimossazolo (trimetoprim/sulfametossazolo 1:19; SXT), per il quale si è osservato un elevato livello di resistenza sia negli isolati MRSA di origine umana che animale (89,5% e 68,4%, rispettivamente). L'alta frequenza di resistenti al SXT è probabilmente

dovuta alla forte pressione selettiva imposta dall'esposizione a lungo termine degli animali a questo farmaco, dato che il SXT è usato come agente di prevenzione metafilattico (animale singolo) o profilattico (mandria intera) nell'allevamento suino intensivo [38] (Tabella 7).

Tabella 7		Resistenza antimicrobica degli isolati MRSA di origine umana e animale	
Classe	Composto antimicrobico	Animali [N. (%)]	Operatori [N. (%)]
β-lattamici	<i>PEN</i>	219 (100)	19 (100)
	<i>OXA</i>	219 (100)	19 (100)
	<i>AMS</i>	145 (66,2)	14 (73,7)
Carbapenemi	<i>IMP</i>	22 (10,0)	4 (21,1)
Glicopeptidi	<i>VAN</i>	0 (0)	0 (0)
Fluoroquinoloni	<i>ENR</i>	143 (65,3)	15 (78,9)
	<i>MAR</i>	105 (47,9)	12 (63,2)
Aminoglicosidi	<i>GEN</i>	43 (19,6)	5 (26,3)
	<i>KAN</i>	47 (21,5)	7 (36,8)
Macrolidi	<i>ERY</i>	101 (46,1)	11 (57,9)
Lincosamidi	<i>CLI</i>	204 (93,1)	14 (73,7)
Tetracicline	<i>TET</i>	219 (100)	19 (100)
Fucidani	<i>FUS</i>	0 (0)	0 (0)
Fenicoli	<i>CHL</i>	16 (7,3)	3 (15,8)
Ansamicine	<i>RIF</i>	1 (0,5)	1 (5,3)
Nitrofurani	<i>NIT</i>	10 (4,6)	3 (15,8)
Inibitori della sintesi dell'acido folico	<i>SXT</i>	150 (68,4)	17 (89,5)

I risultati ottenuti da questo studio pongono l'accento sulla diffusione dell'antibiotico-resistenza che ha come veicolo gli animali provenienti da allevamenti intensivi, dove la pressione selettiva favorisce l'insorgenza di batteri mutiresistenti.

Hepatitis E virus (HEV): Il progetto, oltre che target di tipo batterico, come MRSA, si proponeva di valutare anche la diffusione di target virali, ed è stato quindi selezionato il virus dell'epatite E (HEV virus). Quindi dal novembre 2017 al marzo 2019, sono stati collezionati 836 campioni di siero di suini clinicamente sani in allevamenti distribuiti nelle cinque province calabresi e conservati a -20 °C per l'indagine sierologica (Tabella 8).

Tabella 8			
Aree sottoposte a screening sierologico per la ricerca di Anticorpi (Ab) Anti-HEV (IgG) mediante metodica ELISA			
Provincia	N. azienda	N. campioni	N. campioni positivi Ab Anti-HEV (IgG)
Catanzaro	33	746	440
Cosenza	2	10	5
Crotone	5	39	28
Reggio Calabria	2	41	35
Totale	42	836	508

In totale sono stati analizzati 836 campioni di siero di cui 508 sono risultati positivi alla presenza di anti-HEV (IgG) con una prevalenza del 60,8% (Tabella 3). Le aree sottoposte allo screening sierologico comprendono 42 aziende, distribuite nelle aree di Crotone (5/42 aziende), Catanzaro (33/42 aziende), Cosenza (2/42 aziende) e Reggio Calabria (2/42 aziende).

Per poter effettuare un'analisi statistica accurata, abbiamo considerato un totale di 692 campioni di siero da 26 allevamenti situati in Calabria. In 25 allevamenti su 26 (96,2%) almeno un singolo campione è risultato HEV-positivo e la sieroprevalenza complessiva è stata del 56,8%.

La dimensione degli allevamenti ha giocato un ruolo importante poiché suini allevati in piccoli allevamenti hanno mostrato una sieropositività significativamente più elevata (79,6%) rispetto a quelli allevati in medi e grandi allevamenti.

Inoltre, vi è una maggiore frequenza di suini sieropositivi in età di macellazione (> 4,5 mesi) rispetto a quelli di età compresa fra 2,5 e 4,5 mesi e a quelli appena svezzati (< 2,5 mesi). La percentuale di suini sieropositivi era leggermente più alta negli allevamenti da ingrasso rispetto agli allevamenti da riproduzione. Ci potrebbe essere inoltre un'associazione tra la sieropositività HEV nei suini e la frequenza delle pratiche di pulizia. Infatti, vi è una percentuale inferiore di suini HEV-sieropositivi sono stati osservati tra quelli alloggiati in allevamenti dove le procedure di pulizia sono state eseguite una volta al giorno (Tabella 9).

Tabella 9 Sieroprevalenza di HEV in relazione alla dimensione dell'azienda, al tipo di allevamento, all'età degli animali, alla frequenza delle procedure di pulizia e all'importazione degli animali					
Variabile	Categoria	N. campioni	N. campioni positivi (%)	OR (95% CI)	P-value
N. di animali per azienda	> 500	213	100 (46,9)	<i>Reference</i>	
	100 - 500	317	164 (51,7)	1,21 (0,86 - 1,72)	NS
	< 100	162	129 (79,6)	4,42 (2,79 - 6,95)	< 0,001
	Totale	692	393 (56,8)		
Tipo di allevamento	Riproduzione	105	45 (42,9)	<i>Reference</i>	
	Ingrasso	587	348 (59,3)	1,94 (1,29 - 2,98)	0,002
	Totale	692	393 (56,8)		
Età degli animali	< 2,5 mesi	90	22 (24,4)	<i>Reference</i>	
	2,5 - 4,5 mesi	89	40 (44,9)	2,52 (1,35 - 4,63)	0,005
	> 4,5 mesi	513	331 (64,5)	5,62 (3,40 - 9,26)	< 0,001
	Totale	692	393 (56,8)		
Frequenza delle procedure di lavaggio	1 volta al giorno	499	266 (53,3)	<i>Reference</i>	
	1 volta a settimana o più	193	127 (65,8)	1,67 (1,19 - 2,37)	0,003
	Totale	692	393 (56,8)		
Animali importati da paesi Eu	No	117	61 (52,1)	<i>Reference</i>	
	Si	575	332 (57,7)	1,25 (0,84 - 1,86)	0,311
	Totale	692	393 (56,8)		

Per l'indagine virologica, sono stati prelevati 104 campioni di feci random individuali dalle aziende risultate positive all'indagine sierologica (Tabella 9). Per l'analisi, sono state preparate sospensioni fecali al 10% in acqua sterile; dopo agitazione per circa 2 min al vortex, il materiale grossolano è stato eliminato attraverso centrifugazione a 3000 rpm per 20 min a 4 °C. I sopranatanti chiarificati sono stati utilizzati per l'estrazione dell'RNA virale. Le sospensioni fecali e l'RNA virale estratto sono stati conservati a -80 °C. L'estrazione dell'RNA virale dai campioni di sospensioni fecali suine è stata effettuata utilizzando il kit commerciale QIAamp Viral RNA Extraction (QIAGEN, Hilden, Germany).

L'RNA estratto è stato immediatamente retrotrascritto in cDNA e amplificato mediante nested ed heminested PCR, utilizzando il kit SuperScript III One-Step RT-PCR, Platinum Taq (Invitrogen, Carlsbad, CA, Usa). Per identificare gli isolati virali suini di HEV, sono stati applicati due differenti protocolli molecolari, amplificando rispettivamente due regioni del gene ORF2, codificante la proteina capsidica [39]. Il primo protocollo molecolare [40] ci ha consentito di effettuare un'indagine virologica qualitativa, mediante l'amplificazione di una piccola regione conservata della ORF2 (short region, 146 bp), e uno screening delle sospensioni fecali positive per la presenza dell'RNA virale. Gli estratti di RNA, positivi al primo protocollo di RT-nested-PCR, sono stati testati mediante il secondo protocollo molecolare [41] di RT-heminested-PCR per consentire l'amplificazione di una regione più ampia e variabile del gene ORF2 (long region, 390 bp) per gli studi di caratterizzazione molecolare degli isolati virali suini.

Gli ampliconi ottenuti sono stati sequenziali in entrambe le direzioni mediante il sequenziatore automatico Sanger ABI PRISM 3500 genetic analyzer sequencer (Applied Biosystems) utilizzando la chimica BigDye Terminator v1.1. Le sequenze ottenute sono state editate manualmente mediante Chromas v. 2.6.4. e allineate con sequenze di riferimento depositate in GenBank per identificare il genotipo degli isolati virali. La caratterizzazione molecolare è stata effettuata mediante la costruzione di un albero filogenetico (Figura 3) generato mediante il programma MEGA v.7.0 [42].

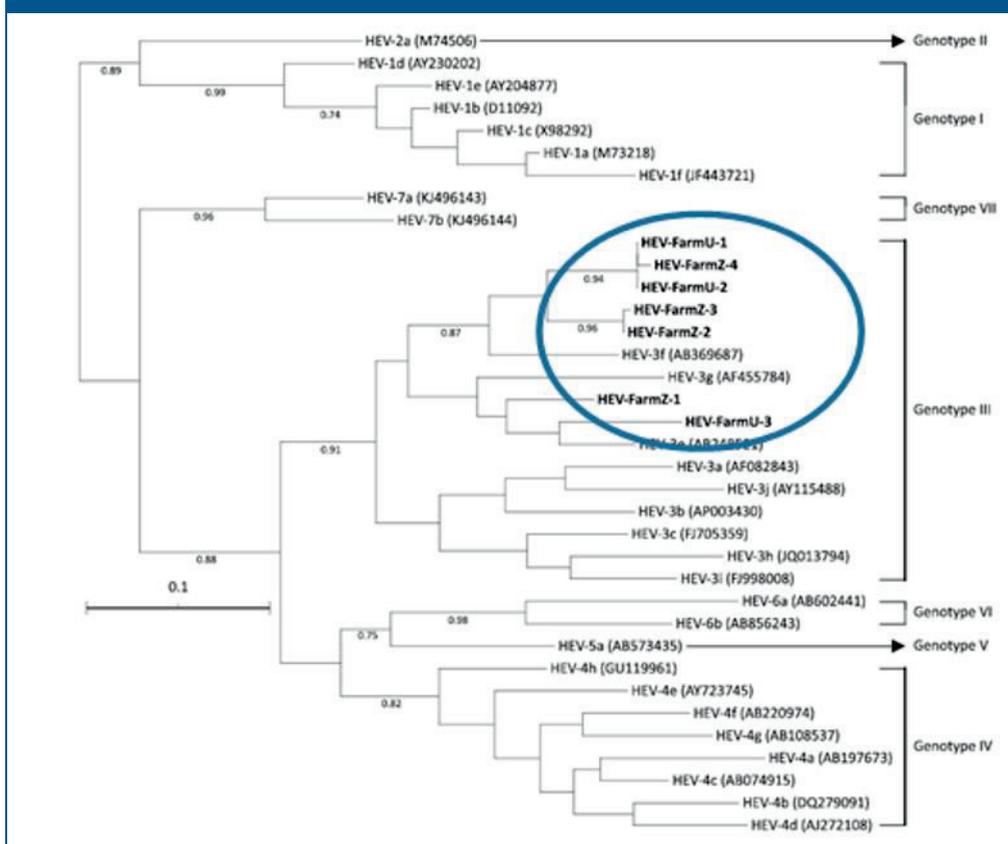
Le sequenze degli isolati di HEV saranno depositate in GenBank [43]. L'analisi di caratterizzazione molecolare sui 7 isolati ha consentito di genotipizzare tutti gli isolati come HEV-3, in particolare due di questi (HEV60 ed HEV85) come HEV-3 sottotipo (Tabella 10).

Tabella 10		Campioni di feci collezionate e amplificazione	
ID Azienda	N. Campioni	N. campioni positivi	
		Short region (145 pb)	Long region (390 pb)
Azienda C	5	0	0
Azienda D	18	2	0
Azienda H	3	1	0
Azienda M	4	0	0
Azienda N	4	0	0
Azienda O	9	0	0
Azienda P	4	0	0
Azienda T	3	0	0
Azienda U	3	3	3
Azienda X	5	0	0
Azienda Y	5	0	0
Azienda Z	4	4	4
Totale	67	10	7

I nostri risultati mostrano che tutti gli RNA HEV rilevati appartenevano a HEV-3. È interessante notare che due su sette degli isolati virali del nostro studio sono stati raggruppati in HEV-3e (HEV-FarmZ-1 e HEV-FarmU-3), implicato in un caso di epatite fulminante Italia [44]. I rimanenti isolati erano strettamente imparentati HEV-3f, che è il sottotipo più frequente nell'uomo in diversi paesi europei, tra cui Spagna, Francia e Belgio [45,46]. Il commercio di suini è riconosciuto come un fattore determinante nella diffusione di zoonosi, tra cui HEV-3 alimentare (Efsa, 2017). Gli isolati HEV-3 della nostra indagine sono stati trovati in allevamenti che importano suini provenienti dai paesi europei, in particolare dalla Danimarca, che è il paese con il maggior numero di suini importati in Italia e dove l'infezione da HEV è altamente prevalente nella popolazione suina (73%) e agricoltori (50%) [47,48].

Figura 3

Albero filogenetico basato sulla regione ORF2(390bp) di isolati virali suini di HEV



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Mycobacterium bovis (MB): Nell'ambito della realtà zootecnica della Calabria, dove la tubercolosi è ancora presente negli allevamenti bovini e dove ogni anno vengono abbattuti centinaia di capi bovini risultati positivi al test intradermico della tubercolina (IDT), il monitoraggio di MB in ambienti particolari come gli impianti di macellazione è fondamentale. Le normative vigenti dispongono che gli animali reattivi al test devono essere considerati infetti e come tali macellati presso stabilimenti di macellazione autorizzati. La macellazione deve avvenire in giornate differenti dalla macellazione ordinaria di bovini sani, oppure nella stessa giornata però dopo la macellazione ordinaria (macellazione differita). Poiché nel biennio 2017 - 2018 in Calabria sono stati notificati 42 focolai di tubercolosi bovina (prevalenza 0,35 - 0,42%, incidenza 0,33 - 0,38%) in altrettanti allevamenti, con 334 animali macellati perché reattivi all'IDT, abbiamo scelto proprio il *Mycobacterium bovis* come target negli impianti di macellazione.

Sono stati individuati e reclutati 4 impianti di macellazione autorizzati alla macellazione differita presenti sul territorio regionale. Nel corso della macellazione differita è stata valutata la contaminazione ambientale, la contaminazione delle carni prodotte e degli operatori ad opera di *M. bovis* (Tabella 11).

Tabella 11		Campioni prelevati per ogni azienda			
Tipologia di campione	ID Impianto di macellazione				Totale
	1	2	3	4	
Carcasse bovine	18	28	7	24	77
Tamponi su carcasse	72	130	35	105	342
Tamponi su operatori	1	5	2	3	11
Filtri Aria	3	4	3	3	13
Acqua di scarico	1	1	1	1	4

Nello specifico, i campioni di aria sono stati prelevati attraverso l'utilizzo di filtri aspiranti caricati su 4 campionatori SKC (2 litri/minuto - 4 litri/minuto) e filtri in PTFE in IOM di acciaio sterili, nel corso delle macellazioni differite praticate negli impianti arruolati. I quattro campionatori sono stati posizionati su uno stativo lungo la linea di macellazione; in un caso un campionatore è stato fatto indossare dall'operatore sanitario che ha effettuato i prelievi sulle carcasse.

È stata poi effettuata la ricerca di *M. bovis* nelle carcasse di 77 bovini infetti (reattivi al test IDT) macellati nei 4 stabilimenti reclutati in momenti diversi e destinate al libero consumo in seguito all'esito favorevole della visita ispettiva

post-macellazione. Le macellazioni sono avvenute negli stabilimenti arruolati per la ricerca, dopo le macellazioni ordinarie di animali sani, secondo le modalità stabilite dalle normative vigenti. Al termine della macellazione e prima dell'introduzione delle carcasse nella cella frigorifera, ogni singola mezzena è stata sottoposta a prelievo mediante strisciamento sulla superficie esterna e interna con tamponi secchi sterili, in alcuni casi associando anche le *sponge bag* (TWIRL'EM® Sterile Sampling bag, Canada). In totale sono stati raccolti e analizzati 397 tamponi e 40 *spongebag*. Subito dopo il prelievo ogni singolo tampone veniva riposto nel proprio contenitore, mentre le *sponge-bag* in un sacchetto sterile e addizionate con *buffered peptone water*, prontamente refrigerati e recapitati in laboratorio dove sono stati sottoposti a un test PCR e a prove batteriologiche per l'isolamento su terreni di coltura selettivi di *M. bovis*. In uno stesso stabilimento e con le stesse modalità dei tamponi sono state inoltre controllate le carcasse di 12 bovini sani, regolarmente macellati a distanza di 24 h dalla macellazione dei bovini infetti da TB (Tabella 12).

Tabella 12 Risultati dei test di PCR per <i>Mycobacterium spp.</i> e <i>M. bovis</i>			
Campioni	N.	Positivi	
		<i>Mycobacterium spp.</i>	<i>M. bovis</i>
Carcasse (animali positivi - IDT)	65	21	14
Carcasse (animali sani)	12	9	7
Aria	13	9	0
Lavoratori	11	9	1
Acqua di scarico	4	4	2
	105	52	24

Per quanto riguarda gli operatori degli stabilimenti, sono stati controllati 11 operatori impiegati sulla linea di macellazione degli stabilimenti, attraverso prelievi effettuati mediante tamponi sulle mani e sugli indumenti di lavoro di ciascun operatore. Sono stati poi controllati 4 campioni di acqua di scarico provenienti dal lavaggio finale delle carcasse. Dopo filtrazione, sono state eseguite prove in PCR per *M. bovis* sugli stessi filtri.

I campioni sono stati processati per l'estrazione del DNA totale e per la PCR; inizialmente per valutare la presenza di *Mycobacterium spp.*, e successivamente per confermare o meno la presenza di *M. bovis*. Per quanto riguarda i campioni animali *Mycobacterium spp.* è stato rilevato in 32 % (21/65) delle carcasse e in 14 di esse (14/21, 66%) era successivamente identificato come *M. bovis*.

Nei test sull'aria, il 69% dei filtri (9/13) ha prodotto il DNA di *Mycobacterium spp.* dopo lo screening PCR, ma in nessun caso si trattava di *M. bovis*.

I test effettuati su campioni di acqua dal lavaggio finale delle carcasse, effettuato prima dell'ingresso dell'acqua il sistema di drenaggio del macello, ha rivelato la presenza di *M. bovis* nel 50% (2/4) dei campioni di acque reflue. Il DNA del *Mycobacterium spp.* è stato poi rilevato anche sulle mani e vestiti dell'81,8% (9/11) dei lavoratori, anche se è stato possibile identificare *M. bovis* solo sulla mano di un lavoratore (9,1%).

Un dato interessante che abbiamo notato esaminando la frequenza di contaminazione delle carcasse sia da *Mycobacterium spp* che da *M. bovis* è stato l'aumento della frequenza con la progressione dei bovini macellati. Infatti, i campioni prelevati dalle carcasse all'inizio della sessione di macellazione sono risultati negativi, mentre in DNA di *Mycobacterium spp* e *M. bovis* veniva rilevato sempre con maggiore frequenza nelle carcasse successive. Questo può essere collegato, probabilmente alla crescente contaminazione ambientale e degli strumenti di taglio durante le fasi di macellazione. Risultati interessanti sono stati ottenuti campionando le carcasse di 12 bovini sani regolarmente macellati il giorno successivo alla macellazione differita di animali IDT positivi nel macello. In questo caso la PCR ha rivelato la presenza di DNA di *M. bovis* nel 58% delle carcasse (7/12) degli animali sani. Questo è indicativo della persistenza di *M. bovis* nell'ambiente, probabilmente a causa di un processo di pulizia non efficiente [49].

A conclusione di questo progetto di ricerca è emerso che i lavoratori del comparto zootecnico, che si tratti di allevamento o di impianti di macellazione, sono ad alto rischio di esposizione ad agenti biologici potenzialmente patogeni, poiché abbiamo sempre riscontrato la presenza dei microrganismi target ricercati. Questo ci fa insistere sull'importanza della formazione e dell'informazione in questi particolari ambienti lavorativi.

6.5 BIBLIOGRAFIA, SITOGRAFIA, RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] The One Health Joint Plan of Action (2022–2026).
- [2] Direttiva 2003/99/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 novembre 2003 sulle misure di sorveglianza delle zoonosi e degli agenti zoonotici, recante modifica della decisione 90/424/Cee del Consiglio e che abroga la direttiva 92/117/Cee del Consiglio.

- [3] Regolamento (Ce) 2003/1831 del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 settembre 2003 sugli additivi destinati all'alimentazione animale. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 268/29 del 18 ottobre 2003.
- [4] Ministero della salute. Piano Nazionale di Contrasto all'Antibiotico-Resistenza (PNCAR) 2022 - 2025 [Internet]. 2022.
Url: https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_3294_allegato.pdf [consultato settembre 2024].
- [5] Plata K, Rosato AE, Wegrzyn G. Staphylococcus aureus as an infectious agent: overview of biochemistry and molecular genetics of its pathogenicity. *Acta Biochim Pol.* 2009;56(4):597-612.
- [6] Bal AM, Coombs GW, Holden MTG et al. Genomic insights into the emergence and spread of international clones of healthcare-, community- and livestock-associated methicillin-resistant Staphylococcus aureus: Blurring of the traditional definitions. *J Glob Antimicrob Resist.* 2016;6:95-101. Doi: 10.1016/j.jgar.2016.04.004.
- [7] European Centre for Disease Prevention and Control. Surveillance of antimicrobial resistance in Europe 2018. Stockholm: ECDC; 2019.
- [8] Ballhausen B, Kriegeskorte A, van Alen S et al. The pathogenicity and host adaptation of livestock-associated MRSA CC398. *Vet Microbiol.* 2017;200:39-45. Doi: 10.1016/j.vetmic.2016.05.006.
- [9] Becker K, Ballhausen B, Kahl BC et al. The clinical impact of livestock-associated methicillin-resistant Staphylococcus aureus of the clonal complex 398 for humans. *Vet Microbiol.* 2017;200:33-38. Doi: 10.1016/j.vetmic.2015.11.013.
- [10] Pan A, Battisti A, Zoncada A et al. Community-acquired methicillin-resistant Staphylococcus aureus ST398 infection, Italy. *Emerg Infect Dis.* 2009;15(5):845-7. Doi: 10.3201/eid1505.081417.
- [11] Soavi L, Stellini R, Signorini L et al. Methicillin-resistant Staphylococcus aureus ST398, Italy. *Emerg Infect Dis.* 2010;16(2):346-8. Doi: 10.3201/eid1602.091478.
- [12] Feingold BJ, Silbergeld EK, Curriero FC et al. Livestock density as risk factor for livestock-associated methicillin-resistant Staphylococcus aureus, the Netherlands. *Emerg Infect Dis.* 2012;18(11):1841-9.
- [13] Monaco M, Pedroni P, Sanchini A et al. Livestock-associated methicillin-resistant Staphylococcus aureus responsible for human colonization and infection in an area of Italy with high density of pig farming. *BMC Infect Dis.* 2013;13:258. Doi: 10.1186/1471-2334-13-258.
- [14] Emerson SU, Purcell RH. Hepatitis E virus. *Rev Med Virol.* 2003;13(3):145-54. Doi: 10.1002/rmv.384.
- [15] Romanò L, Paladini S, Tagliacarne C et al. Hepatitis E in Italy: a long-term prospective study. *J Hepatol.* 2011 ;54(1):34-40. Doi: 10.1016/j.jhep.2010.06.017.
- [16] Monne I, Ceglie L, DI Martino G et al. Hepatitis E virus genotype 4 in a pig farm, Italy, 2013. *Epidemiol Infect.* 2015;143(3):529-33. Doi: 10.1017/S0950268814001150.

- [17] Health Protection Agency. Reducing the risk of human *M. bovis* infection: Information for farmers. Bovine TB pages. 2009.
- [18] Olea-Popelka F, Muwonge A, Perera A et al. Zoonotic tuberculosis in human beings caused by *Mycobacterium bovis*-a call for action. *Lancet Infect Dis.* 2017;17(1):e21-e25. Doi: 10.1016/S1473-3099(16)30139-6.
- [19] Hardstaff JL, Marion G, Hutchings MR et al. Evaluating the tuberculosis hazard posed to cattle from wildlife across Europe. *Res Vet Sci.* 2014;97 Suppl:S86-93. Doi: 10.1016/j.rvsc.2013.12.002
- [20] Fink M, Schleicher C, Gonano M et al. Red deer as maintenance host for bovine tuberculosis, Alpine region. *Emerg Infect Dis.* 2015;21(3):464-7. Doi: 10.3201/eid2103.141119.
- [21] Balseiro A, Oleaga A, Orusa R et al. Tuberculosis in roe deer from Spain and Italy. *Vet Rec.* 2009;164(15):468-70. Doi: 10.1136/vr.164.15.468.
- [22] Decreto del Ministero della sanità 15 dicembre 1995, n.592. Regolamento concernente il Piano nazionale per la eradicazione della tubercolosi negli allevamenti bovini e bufalini. *Gazzetta ufficiale* n. 125 del 30 maggio 1996.
- [23] Linhares LL, Yang M, Sreevatsan S et al. The effect of anatomic site and age on detection of *Staphylococcus aureus* in pigs. *J Vet Diagn Invest.* 2015;27(1):55-60. Doi: 10.1177/1040638714559598.
- [24] Louie L, Goodfellow J, Mathieu P et al. Rapid detection of methicillin-resistant staphylococci from blood culture bottles by using a multiplex PCR assay. *J Clin Microbiol.* 2002;40(8):2786-2790. Doi: 10.1128/JCM.40.8.2786-2790.2002.
- [25] Pirolo M, Gioffrè A, Visaggio D et al. Prevalence, molecular epidemiology, and antimicrobial resistance of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from swine in southern Italy. *BMC Microbiol.* 2019;19(1):51. Doi: 10.1186/s12866-019-1422-x.
- [26] Harmsen D, Claus H, Witte W et al. Typing of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in a university hospital setting by using novel software for spa repeat determination and database management. *J Clin Microbiol.* 2003;41(12):5442-8. Doi: 10.1128/JCM.41.12.5442-5448.2003.
- [27] G Battisti A, Franco A, Meriardi G et al. Heterogeneity among methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from Italian pig finishing holdings. *Vet Microbiol.* 2010;142(3-4):361-6. Doi: 10.1016/j.vetmic.2009.10.008.
- [28] Normanno G, Dambrosio A, Lorusso V et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in slaughtered pigs and abattoir workers in Italy. *Food Microbiol.* 2015;51:51-6. Doi: 10.1016/j.fm.2015.04.007.
- [29] Vanderhaeghen W, Hermans K, Haesebrouck F et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in food production animals. *Epidemiol Infect.* 2010;138(5):606-25. Doi: 10.1017/S0950268809991567.
- [30] Alt K, Fetsch A, Schroeter A et al. Factors associated with the occurrence of MRSA CC398 in herds of fattening pigs in Germany. *BMC Vet Res.* 2011;7:69. Doi: 10.1186/1746-6148-7-69.

- [31] Peeters LE, Argudín MA, Azadikhah S et al. Antimicrobial resistance and population structure of *Staphylococcus aureus* recovered from pigs farms. *Vet Microbiol.* 2015;180(1-2):151-6. Doi: 10.1016/j.vetmic.2015.08.018.
- [32] van Wamel WJ, Hansenová Manásková S, Fluit AC et al. Short term microevolution and PCR-detection of methicillin-resistant and -susceptible *Staphylococcus aureus* sequence type 398. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2010;29(1):119-22. Doi: 10.1007/s10096-009-0816-3.
- [33] Price LB, Stegger M, Hasman H et al. *Staphylococcus aureus* CC398: host adaptation and emergence of methicillin resistance in livestock (published correction appears in *MBio.* 2013;4(1)). *MBio.* 2012;3(1):e00305-11. Doi: 10.1128/mBio.00305-11.
- [34] Stegger M, Liu CM, Larsen J et al. Rapid differentiation between livestock-associated and livestock-independent *Staphylococcus aureus* CC398 clades. *PLoS One.* 2013;8(11):e79645. Doi: 10.1371/journal.pone.0079645.
- [35] Pirolo M, Visaggio D, Giofrè A et al. Unidirectional animal-to-human transmission of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* ST398 in pig farming; evidence from a surveillance study in southern Italy. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2019;8(121):187. Doi: 10.1186/s13756-019-0650-z.
- [36] Pyörälä S, Baptiste KE, Catry B et al. Macrolides and lincosamides in cattle and pigs: use and development of antimicrobial resistance. *Vet J.* 2014;200(2):230-9. Doi: 10.1016/j.tvjl.2014.02.028
- [37] Hoeltig D, Rohde J, Brunner B et al. Efficacy of a one-shot marbofloxacin treatment on acute pleuropneumonia after experimental aerosol inoculation of nursery pigs. *Porcine Health Manag.* 2018;4:13. Doi: 10.1186/s40813-018-0089-2.
- [38] van Rennings L, von Münchhausen C, Ottilie H et al. Cross-sectional study on antibiotic usage in pigs in Germany. *PLoS One.* 2015;10(3):e0119114. Doi: 10.1371/journal.pone.0119114.
- [39] Pavia G, Giofrè A, Pirolo M et al. Seroprevalence and phylogenetic characterization of hepatitis E virus in pig farms in Southern Italy. *Prev Vet Med.* 2021 Sep;194:105448. Doi: 10.1016/j.prevetmed.2021.105448.
- [40] Erker JC, Desai SM, Mushahwar IK. Rapid detection of Hepatitis E virus RNA by reverse transcription-polymerase chain reaction using universal oligonucleotide primers. *J Virol Methods.* 1999;81(1-2):109-13. Doi: 10.1016/s0166-0934(99)00052-x.
- [41] Wang B, Harms D, Papp CP et al. comprehensive molecular approach for characterization of hepatitis e virus genotype 3 variants. *J Clin Microbiol.* 2018; 56(5):e01686-17. Doi: 10.1128/JCM.01686-17.
- [42] Kumar S, Stecher G, Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for Bigger Datasets. *Mol Biol Evol.* 2016;33(7):1870-4. Doi: 10.1093/molbev/msw054.
- [43] Benson DA, Clark K, Karsch-Mizrachi I et al. GenBank. *Nucleic Acids Res.* 2014;42(Database issue):D32-D37. Doi:10.1093/nar/gkt1030.

- [44] Festa S, Garbuglia AR, Baccini F et al. Acute fulminant hepatitis E virus genotype 3e infection: description of the first case in Europe. *Scand J Infect Dis.* 2014;46(10):727-31. Doi: 10.3109/00365548.2014.928417.
- [45] Adlhoch C, Avellon A, Baylis SA et al. Hepatitis E virus: Assessment of the epidemiological situation in humans in Europe, 2014/15. *J Clin Virol.* 2016;82:9-16. Doi: 10.1016/j.jcv.2016.06.010.
- [46] Suin V, Klamer SE, Hutse V et al. Epidemiology and genotype 3 subtype dynamics of hepatitis E virus in Belgium, 2010 to 2017. *Euro Surveill.* 2019;24(10):1800141. Doi: 10.2807/1560-7917.ES.2019.24.10.1800141.
- [47] Breum SØ, Hjulsgaard CK, de Deus N et al. Hepatitis E virus is highly prevalent in the Danish pig population. *Vet Microbiol.* 2010;146(1-2):144-9. Doi: 10.1016/j.vetmic.2010.05.002.
- [48] Christensen PB, Engle RE, Hjort C et al. Time trend of the prevalence of hepatitis E antibodies among farmers and blood donors: a potential zoonosis in Denmark. *Clin Infect Dis.* 2008;47(8):1026-31. Doi: 10.1086/591970.
- [49] Ciambrone L, Giofrè A, Musarella R et al. Presence of *Mycobacterium bovis* in slaughterhouses and risks for workers. *Prev Vet Med.* 2020;181:105072. Doi: 10.1016/j.prevetmed.2020.105072.

7 - BENESSERE ANIMALE

G. Di Martino³, V. Tregnaghi³

³ IzsVe - Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie

7.1 PREMESSA

In un contesto *One Health*, il benessere animale ricopre un tassello fondamentale, nelle sue diverse declinazioni. Per capirne l'impatto dobbiamo brevemente ripercorrere la sua genesi ed evoluzione, per analizzare poi le complesse interconnessioni con gli aspetti normativi di sanità animale, igiene delle produzioni zootecniche, sicurezza e qualità igienico-sanitaria degli alimenti. Esamineremo brevemente il ruolo rivestito dagli avanzamenti della ricerca scientifica e il punto di vista del consumatore nell'influenzare le politiche comunitarie di oggi e di domani. Infine porremo l'accento sulla relazione tra il concetto di *One health* e il concetto di *One Welfare*, tra loro strettamente affini, in quanto non limitati a talune categorie/specie animali destinate alla produzione di alimenti, ma applicabili a tutti gli animali detenuti per gli scopi più disparati (ludico-ricreativi, assistenziali, sportivi) e, di riverbero, all'uomo stesso.

7.2 UN PO' DI STORIA

Negli anni successivi al secondo conflitto mondiale gli avanzamenti tecnologici consentirono nei paesi più sviluppati di ridisegnare radicalmente i modelli produttivi degli allevamenti zootecnici, con la finalità di poter produrre sempre di più, e a costi inferiori. L'utilizzo dell'incubazione artificiale per gli avicoli permise la nascita sincrona di centinaia di migliaia di pulcini; i progressi della tecnologia mangimistica, farmaceutica e del miglioramento genetico consentirono di poter allevare in tempi ridotti a elevate densità di stabulazione nuove linee/razze dai tratti produttivi sempre più esasperati a discapito dei bisogni etologici e della "resilienza", ovvero la naturale capacità di adattamento all'ambiente e alle sue avversità (climatiche, microbiologiche, nutrizionali, ecc.) che è propria delle specie selvatiche.

Furono scoperte e utilizzate molte nuove sostanze farmacologiche, in particolare quelle ad azione antibiotica. Il loro utilizzo non era limitato per legge agli scopi terapeutici, in quanto ne fu scoperto l'apparente beneficio preventivo e promotore della crescita in animali sani, con possibilità di ottenere un ulteriore miglioramento delle performance produttive e la riduzione delle perdite legate all'incidenza delle patologie. I fattori predetti, assommata a una assenza di cultura del rispetto per gli animali e di alcuna normativa che ne garantisse la tutela, portò a situazioni significativamente degradanti, che furono oggetto di denuncia attraverso il testo

Animal Machines della giornalista Ruth Harrison. Lo scandalo che ne seguì portò a un approfondimento scientifico da parte del governo inglese, che nominò una commissione di esperti per una valutazione ad hoc. La reportistica che fu prodotta (*Rapporto Brambell*) viene considerata la pietra miliare del benessere animale [1], inteso come assenza o limitazione delle sofferenze in modo da garantire almeno le libertà considerate fondamentali per tutti gli animali, ovvero:

- dalla fame, dalla sete e dalla malnutrizione;
- da dolore, lesioni e malattie;
- dalla paura e la sofferenza mentale;
- di fruire di ambienti fisici adeguati;
- di manifestare il proprio repertorio comportamentale specie-specifico.

7.3 L'IMPIANTO NORMATIVO ATTUALE

L'approccio utilizzato dalla commissione Brambell è diventato il fondamento di tutte le norme promulgate a livello europeo su questa tematica, a partire dagli anni '80. A tale riguardo, riconosciamo normative di tipo trasversale, che si applicano a tutte le specie allevate imponendo requisiti sempre valevoli (ad esempio la disponibilità di acqua), e norme specie-specifiche, la cui lista è a oggi ancora incompleta:

- Regolamento 2005/1 sulla protezione degli animali durante il trasporto.
- Regolamento 2009/1099 sulla protezione degli animali durante l'abbattimento.
- Direttiva 98/58/Ce sulla protezione degli animali negli allevamenti (recepita in Italia attraverso il d.lgs. 146/2001).
- Direttiva 1999/74/Ce sulla protezione delle galline ovaiole (recepita in Italia attraverso il d.lgs. 267/2003).
- Direttiva 2007/43/Ce sulla protezione dei polli allevati per la produzione di carne (recepita in Italia attraverso il d.lgs. 181/2010).
- Direttiva 2008/120/Ce sulla protezione dei suini (recepita in Italia attraverso il d.lgs. 122/2011).
- Direttiva 2008/119/Ce sulla protezione dei vitelli (recepita in Italia attraverso il d.lgs. 126/2011).
- Direttiva 2010/63/Ce sulla protezione degli animali utilizzati a fini scientifici (recepita in Italia attraverso il d.lgs. 26/2014).
- Direttiva 1999/22/Ce relativa alla custodia degli animali selvatici nei giardini zoologici (recepita in Italia attraverso il d.lgs. 73/2005).

Si noti come nessuna delle norme suddette menzioni esplicitamente il termine "benessere" ma piuttosto "protezione". Il rationale è sotteso infatti alla prevenzione del maltrattamento, mentre il concetto di benessere, come vedremo, è in realtà molto più complesso e articolato.

Tali norme inoltre presentano dei caratteri comuni in stretta continuità e coerenza con quanto previsto per le altre discipline della Sanità pubblica veterinaria (la Sanità animale e la sicurezza igienico sanitaria degli alimenti), ovvero prevedono un esame documentale, delle strutture di alloggiamento, degli animali e delle procedure gestionali. Includono la raccolta dati attraverso un'intervista agli allevatori, la misurazione di elementi strutturali e indicatori ambientali attraverso opportuni strumenti di misura e un piano di campionamento predefinito. Infine, e questo è l'aspetto innovativo che attualmente contraddistingue tale disciplina, contemplano di ausilio al veterinario ispettore, la valutazione di parametri chiamati *Animal Based Measures* (ABM), ovvero misurazioni effettuate sugli animali in relazione alle condizioni cliniche, etologiche e nutrizionali. Questi parametri *diretti*, combinati a quelli *indiretti* (ambientali o relativi alle strutture di stabulazione) rivestono un interesse crescente anche a livello scientifico e saranno tra quelli più utilizzati in futuro in un approccio sempre più integrato di valutazione del benessere.

Ad esempio, nel caso del suino, la normativa specifica è caratterizzata da un notevole dettaglio di requisiti strutturali e ambientali, che il veterinario ispettore deve misurare attraverso strumenti idonei: livello di luminosità, rumorosità e qualità dell'aria. Risulta necessaria, prima di procedere con l'ingresso nelle strutture, una visualizzazione delle mappe aziendali per definire un piano di campionamento che preveda per ciascuna fase di allevamento (gestazione, sale parto, svezzamento, ingrasso) una distribuzione di una numerosità campionaria prefissata, ripartita nei diversi capannoni.

Tutte queste informazioni pratico-applicative sono state rese pubblicamente disponibili dal Centro di referenza nazionale per il benessere animale (CReNBA), presso l'Istituto zooprofilattico sperimentale della Lombardia e dell'Emilia-Romagna (IZSLER), in un sito web dedicato (www.classyfarm.it) dove sono scaricabili i manuali applicativi delle diverse normative e le relative checklist per il controllo ufficiale.

Ciascuna specie e categoria zootecnica presenta criticità proprie in relazione al benessere, pertanto all'interno dell'impostazione comune sopramenzionata, è possibile identificare elementi peculiari che a titolo esemplificativo e non esaustivo sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 Peculiarità e criticità per le diverse specie allevate in relazione alle norme di benessere animale		
Specie/categoria	Documenti di riferimento	Criticità/Particolarità
<p>Suini</p>	<p>Report Efsa 2007: rischi associati alla morsicatura della coda tra i suini e possibili strategie per ridurre la pratica sistematica del taglio della coda considerando le diverse stabulazioni e tipi di allevamento.</p> <p>Raccomandazione 336/2016: applicazione della direttiva 2008/120/Ce del Consiglio che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini in relazione alle misure intese a ridurre la necessità del mozzamento della coda.</p> <p>DG(SANTE) 2017-6257: Report finale dell'audit condotto in Italia il 13 - 17 novembre 2017.</p> <p>DGSAF 0015340 del 22 giugno 2018 - Piano di azione per il miglioramento dell'applicazione del d.lgs. 122/2011.</p>	<p>Verifica di idoneità del materiale manipolabile (paglia, legno, segatura, compost, ecc.) per rispondere al bisogno etologico investigativo e di grufolamento.</p> <p>Divieto del mozzamento routinario della coda per prevenire i fenomeni di morsicatura e cannibalismo. La gestione di tale problematica ha imposto a livello nazionale la definizione di un Piano d'azione con l'obiettivo di un progressivo abbandono della mutilazione attraverso azioni di miglioramento delle modalità di allevamento.</p>
<p>Bovini e bufalini</p>	<p>Report scientifico Efsa 2015: valutazione del benessere delle bovine da latte negli allevamenti di piccole dimensioni.</p> <p>Report Efsa 2009: effetti complessivi dei sistemi di allevamento sul benessere delle vacche da latte.</p> <p>Manuali ClassyFarm pubblicati dal CREnBA</p>	<p>Manca una norma specifica per la protezione delle vacche da latte e dei bovini da carne, ma è presente una norma per i vitelli che pone l'accento in particolare sui bisogni etologici e fisiologici attraverso il divieto di detenzione in recinti individuali dopo le 8 settimane di vita, salvo per motivazioni sanitarie, e la necessità anche prima di tale età di garantire il contatto visivo e tattile con i conspecifici. Devono essere somministrati alimenti fibrosi per prevenire fenomeni di anemia ferropriva.</p>

Tabella 1 segue		Peculiarità e criticità per le diverse specie allevate in relazione alle norme di benessere animale
Specie/categoria	Documenti di riferimento	Criticità/Particolarità
Galline ovaiole	Relazione finale dell'audit europeo tenutosi in Italia dal 12 al 23 aprile 2021 al fine di: «valutare la protezione del benessere delle galline ovaiole in tutte le fasi della produzione». Report scientifico Efsa pubblicato il 1 giugno 2015: valutazione sull'utilizzo dei posatoi come strumento per il benessere delle galline ovaiole.	La norma fissa requisiti sulla base della tipologia delle strutture di allevamento: in voliera, in gabbie modificate o a terra. Le cosiddette ovaiole "in batteria" sono infatti state parzialmente abolite: la maggior parte degli allevamenti adotta sistemi alternativi al chiuso o all'aperto, mentre l'utilizzo di gabbie è possibile solo se queste sono dotate di opportuni arricchimenti ambientali (zona nido separata, maggiori spazi, dispositivi per accorciare le unghie ...)
Polli da carne	Parere scientifico Efsa 2010: aspetti relativi al benessere della gestione e della stabulazione degli stock di <i>grand-parents</i> e <i>parents</i> allevati a scopo riproduttivo. Parere scientifico Efsa pubblicato il 28 luglio 2010: influenza dei parametri genetici sul benessere e la resistenza allo stress dei polli da carne commerciali.	La norma consente tre diversi limiti di densità di allevamento (kg di peso vivo per mq) in base alle performance tecniche che il capannone può garantire in termini di limiti di gas nocivi (ammoniaca e anidride carbonica) e gestione di temperatura e umidità nei periodi stagionali estremi. Poiché nel pollo le condizioni di allevamento non adeguate portano a uno scadimento delle lettiere, e tale processo causa a sua volta un aumento di lesioni podali negli animali, è previsto un meccanismo di controllo ispettivo <i>ad hoc</i> in fase di macellazione.
Conigli	Risoluzione del Parlamento europeo del 14 marzo 2017 sulle norme minime per la protezione dei conigli d'allevamento. Report scientifico Efsa pubblicato il 9 gennaio 2020: salute e il benessere dei conigli allevati in diversi sistemi produttivi.	In assenza di una norma specifica il CReNBA ha prodotto una checklist per il controllo ispettivo prendendo in considerazione aspetti molto dettagliati riguardo alle modalità e tipologie degli alloggiamenti. Il coniglio viene allevato in gabbie di diverse tipologie, delle quali quella più innovativa detta "Park" consiste di un recinto piuttosto ampio con una superficie di circa 2 m ² che può ospitare fino a una quarantina di soggetti.

Tabella 1 segue	Peculiarità e criticità per le diverse specie allevate in relazione alle norme di benessere animale	
Pesci	<p>Efsa (2008): aspetti di benessere animale nell'allevamento di Salmone, Carpa, Spigola, Orta, Anguilla, Trota.</p> <p>Efsa (2009): <i>Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare "General approach to fish welfare and to the concept of sentience in fish"</i>.</p>	<p>In assenza di normativa specifica sono disponibili numerosi documenti scientifici relativi alle buone pratiche di allevamento in particolare in relazione a caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua, gestione degli stadi giovanili, trasporto e abbattimento.</p>
Animali utilizzati a fini scientifici	<p>Direttiva 2010/63/UE sulla protezione degli animali utilizzati a fini scientifici.</p> <p>Decreto legislativo 4 marzo 2014, n. 26. Attuazione della direttiva 2010/63/UE sulla protezione degli animali utilizzati a fini scientifici.</p>	<p>La norma risulta molto dettagliata e più restrittiva rispetto alle norme di protezione per gli animali a fini zootecnici. Qualsiasi trattamento sperimentale che preveda un dolore pari o superiore alla puntura di un ago è obbligatoriamente oggetto di autorizzazione ministeriale. È vietata ogni forma di sperimentazione per prodotti cosmetici, viene per quanto possibile incentivato il principio della sostituzione dei modelli animali con la sperimentazione in vitro, della riduzione del numero di animali (senza compromettere la robustezza scientifica degli studi) e l'affinamento delle tecniche per ridurre il dolore. Inoltre, ogni protocollo sperimentale è oggetto di valutazione etica e scientifica da parte di organi competenti in materia.</p>
Animali selvatici nei giardini zoologici	<p>Direttiva 1999/22/CE del Consiglio, del 29 marzo 1999, relativa alla custodia degli animali selvatici nei giardini zoologici.</p> <p>Decreto legislativo 21 marzo 2005, n. 73, Attuazione della direttiva 1999/22/CE relativa alla custodia degli animali selvatici nei giardini zoologici.</p>	<p>La legislazione nazionale detta norme più dettagliate di quella comunitaria. Gli animali devono essere ospitati in condizioni volte a garantire il loro benessere e a soddisfare le esigenze biologiche e di conservazione delle singole specie, provvedendo ad arricchire in modo appropriato l'ambiente delle singole aree di custodia, a seconda delle peculiarità delle specie ospitate.</p>

7.4 IL RUOLO DELLA RICERCA SCIENTIFICA

Gli interrogativi sollevati dal *Rapporto Brambell* in merito al concetto di benessere animale hanno fornito considerevole impulso anche alla ricerca scientifica, nei suoi numerosi tentativi di esplicitarne una definizione esaustiva (Tabella 2) e di affrontare le tematiche di nuova frontiera.

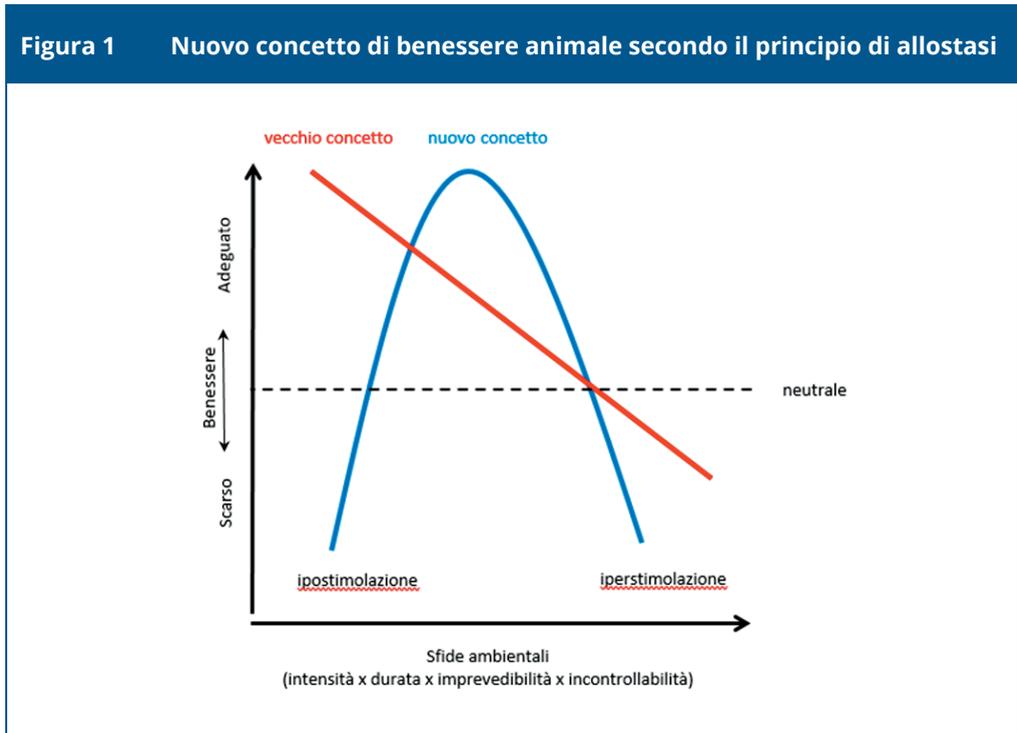
Come precedentemente richiamato, infatti, il concetto di benessere animale è definibile attraverso una sorta di “cromatismo” su scala continua di grigi rispetto a una dicotomia bianco/nero insita nel concetto di protezione. Tale valutazione implica una disamina multifattoriale non sempre facile dell'animale *del suo stato in relazione alla capacità di adattarsi all'ambiente* [2] e dovrebbe considerare anche elementi di positività, non solo l'eliminazione di stimoli negativi. Ricordiamo a tal proposito il promettente campo di ricerca scientifica degli indicatori di *positive welfare*, quali ad esempio comportamenti affiliativi e di gioco che si esprimono solo in condizioni particolarmente favorevoli [3].

Tabella 2		Definizioni di benessere animale
Definizione		Riferimento
“Stato di completa salute mentale e fisica, dove l'animale si trova in armonia con l'ambiente in cui vive”		[4]
“Il benessere di un animale è il suo stato in relazione ai tentativi di rispondere agli stimoli ambientali/di far fronte all'ambiente”		[2]
Il benessere coinvolge le percezioni soggettive degli animali		[5]
“Il benessere corrisponde anche all'assenza di stati emotivi negativi, normalmente chiamati sofferenze, e probabilmente con la presenza di stati emotivi positivi”		[6]

Nel 2007 un gruppo di ricercatori olandesi [7] ha proposto un nuovo “modello” di benessere, basato sul concetto di “allostasi”. Secondo questa visione innovativa, la capacità di cambiamento/adattamento è la chiave per un buono stato di salute e benessere animale. Seguendo questa logica, infatti, il benessere animale è caratterizzato dalla capacità fisiologica e comportamentale di anticipare condizioni ambientali sfavorevoli per contrastarle efficacemente. Di conseguenza, il benessere animale è garantito quando i meccanismi allostatici messi in atto dall'animale rispondono efficacemente agli stimoli ambientali.

Negli animali detenuti in cattività, solitamente le condizioni ambientali richiedono un notevole adattamento (iperstimolazione), esitando in uno stato allostatico caratterizzato da ridotta capacità di regolazione. Dall'altra parte, anche in assenza

di stimoli ambientali il benessere risulterebbe compromesso. Dunque, ponendo il benessere animale in relazione agli stimoli ambientali (curva a U invertita) (Figura 1), secondo il concetto di allostasi, l'assenza o l'esposizione cronica a stimoli ambientali produce uno stato di deviazione cronica del sistema regolatore dal suo funzionamento ottimale.



(Korte SM, Olivier B, Koolhaas JM. A new animal welfare concept based on allostasis. *Physiology & behaviour*. 2007; 92(3):422-428. Elaborazione: IzsVe - Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie)

Come precedentemente richiamato, un importante ambito di indagine scientifica ha permesso di identificare per le principali specie zootecniche specifici parametri ABM la cui valutazione può essere oggettivata attraverso l'attribuzione di una scala qualitativa di punteggio (0-1-2). Un grande contributo in tal senso è stato apportato dal progetto *Welfare Quality* [8], finanziato all'interno del sesto programma quadro dell'Unione europea, che ha consentito di creare delle procedure per una valutazione del benessere dalla fase di allevamento fino alla macellazione. Sono procedure facili e pratiche, disponibili per sette categorie zootecniche (vacche da latte, vitelloni, vitelli a carne bianca, scrofe, suini da ingrasso, galline ovaiole e polli da carne), basate su misurazioni effettuate direttamente sugli animali, ma prevedono anche rilievi

strutturali e manageriali. La grande varietà degli ambienti in cui gli animali sono allevati richiede che i parametri siano applicabili in tutte le condizioni di allevamento, e gli ABM possono essere valutati a prescindere dalle condizioni di allevamento. Ogni parametro è stato scelto in modo da essere sufficientemente chiaro e valutabile velocemente e in modo accurato da chiunque. L'utilizzo di questi sistemi, infatti, dipende molto dalla loro praticità e facilità di applicazione.

A livello fisiologico, diversi gruppi di ricerca si sono avvicinati nella ricerca di marker acuti, subacuti e cronici di stress, in relazione alle quantificazioni ormonali legate alla reattività dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrenale (cortisolo e suoi cataboliti), allo stress ossidativo, allo stato infiammatorio e immunitario.

Il cortisolo rappresenta il principale "ormone dello stress", viene prodotto nella corticale delle ghiandole surrenali a partire dal colesterolo. La sua produzione è stimolata dall'ormone adenocorticotropo (ACTH), secreto dall'ipofisi, ed è favorita sia da stati fisiologici sia patologici, quali le condizioni di stabulazione, lattazione, esercizio fisico, interventi chirurgici, anestesia, caldo, freddo, digiuno [9]. Con lo stress cronico si registra un'aumentata reattività della corteccia surrenalica all'ACTH, mentre rimane inalterata la sensibilità ipofisaria alla stimolazione ormonale per il rilascio di corticotropine (CRH) o vasopressina.

Il cortisolo può essere quantificato in varie matrici biologiche con un diverso significato in termini di finestra temporale. Infatti la sua quantificazione è espressione del grado di sollecitazione dell'organismo in risposta a stimolazioni ambientali, a livello acuto (sangue, saliva), subacuto (urine e feci) e cronico (pelo e altri annessi cutanei) [10].

Tra i marker dello stress ossidativo degni di nota si annoverano le *Heat shock proteins* (HSP) e gli antiossidanti totali del siero. Le prime sono proteine inducibili fortemente regolate da fattori ambientali allo scopo di garantire l'integrità cellulare con riscontri interessanti ad esempio in relazione allo stress da trasporto nei suini [11]. Gli antiossidanti totali del siero, che possono essere di origine endogena (per esempio enzimi antiossidanti, GSH, ecc.) o esogena (assunti con la dieta, per esempio vitamina C, vitamina E, carotenoidi, ecc.) contrastano i composti reattivi dell'ossigeno (ROS) e dell'azoto (RNS) per rallentare o prevenire danni molecolari ossidativi. Queste molecole in diversi studi hanno mostrato correlazioni non solo con la qualità dell'alimentazione, ma più in generale con le condizioni di allevamento [12].

Anche gli indicatori inducibili dello stato infiammatorio, ad esempio le proteine di fase acuta (siero amiloide A, proteina C reattiva, aptoglobina, ecc.) sono stati utilizzati come marker sensibili ma poco specifici di scarso benessere [13,14]. L'aumento di questi parametri a livello ematico in risposta a stimoli infiammatori è rapido con incremento variabile in base alla specie. Taluni parametri sono specie-specifici (Pig-MAP) o specifici di alcune classi animali, come ad esempio il rapporto eterofili/linfociti nel caso degli uccelli [9].

Negli ultimi anni un ambito di grande interesse è stato l'approfondimento scientifico relativo alle possibili applicazioni della cosiddetta "Zootecnia di precisione" (*Precision*

Livestock farming, PLF) al campo del benessere animale. Tramite l'utilizzo di sensori sull'animale come accelerometri al collo, podometri, boli ruminali, o centraline ambientali, l'utilizzo di telecamere e dell'intelligenza artificiale per l'analisi de dati, la PLF può aggiungere valore alla valutazione del benessere degli animali consentendo il monitoraggio costante e in tempo reale di singoli individui o sottogruppi ed evitando procedure stressanti che comportano la manipolazione dell'animale durante la valutazione (ad esempio, la misurazione del peso corporeo mediante videocamere o analisi del suono anziché la pesatura manuale) [15]. Inoltre, consente l'implementazione di segnali di allarme precoce in caso di stato non ottimale degli animali, per prevenire problemi di benessere. La ricerca e lo sviluppo di tecnologie innovative può dunque garantire una migliore gestione e controllo del benessere animale in allevamento, al trasporto e al macello.

A questo proposito ricordiamo alcuni esempi di applicazione di PLF per indagare problematiche di benessere animale. È stato recentemente sviluppato un metodo in grado di riconoscere e localizzare il comportamento di morsicatura della coda in suini allevati in gruppo, utilizzando *computer vision* [16]. L'algoritmo è in grado di identificare e tracciare interazioni tra due individui all'interno del gruppo (immagine e video), questo metodo è in grado di individuare l'89,23% delle interazioni che comprendono la morsicatura della coda all'interno del gruppo. In tale contesto è in corso di realizzazione uno studio (frutto della collaborazione di UniTo con Ku Leuven e IzsVe) per validare un sistema automatizzato per identificare lo schiacciamento di suinetti nel box parto [17]. L'obiettivo finale sarà poter fornire un allarme precoce quando la probabilità di schiacciamento è molto elevata in risposta a fattori di rischio legati sia al suinetto (stato di salute, stato nutrizionale, età, ecc.), che alla scrofa (dinamica che utilizza per buttarsi, ordine di parto, attitudine materna, ecc.), che all'ambiente (temperatura ambientale e del nido, design del box) (Figura 2).

Figura 2

Analisi d'immagine applicata al riconoscimento dei suinetti in sala parto



Inquadratura della telecamera installata al di sopra della sala parto (foto a sinistra) e successiva identificazione manuale dei soggetti per insegnare al modello a riconoscere scrofa e suinetti (foto a destra).

(IzsVe - Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezia)

7.5 IL RUOLO DEL CONSUMATORE

Un contributo sostanziale al rafforzamento delle politiche comunitarie sul benessere animale è stato fornito dal fronte dei consumatori, sempre più sensibili e informati rispetto alle pratiche considerate crudeli e alle sofferenze negli allevamenti. La rete informativa sostenuta dalle associazioni protezioniste attraverso i canali *social* ha ulteriormente rafforzato e radicalizzato tali posizioni, attraverso l'utilizzo di materiale audiovisivo relativo a incursioni in allevamenti e mattatoi, che evidenziano l'esistenza di condotte penalmente perseguibili.

In tale contesto ritroviamo posizioni di totale negazione dello sfruttamento animale a fini alimentari, ma anche posizioni più dialoganti che richiamano verso migliori pratiche di allevamento e offrono delle premialità per gli allevatori che abbiano dimostrato uno sforzo innovativo in tal senso.

Il miglioramento delle pratiche di allevamento implica, nella maggior parte dei casi, investimenti onerosi e di conseguenza un aumento del costo dei prodotti.

La sensibilità emotiva del consumatore talora si scontra con una limitata volontà di spesa per prodotti *animal friendly*: infatti se si fa riferimento ai dati dell'Eurobarometro 2023 [18] in merito al benessere animale, si nota come il 92% degli intervistati italiani si dichiara convinto sostenitore del benessere animale, ma che solo il 30% sia disposto a pagare non oltre 5% in più per prodotti derivanti da sistemi di produzione attenti alla qualità del benessere animale. Questo dato scende ulteriormente (3%) se si considera la disponibilità di spesa superiore al 20%.

Tuttavia, un sondaggio effettuato su un pubblico di nicchia [19] mostra un quadro più favorevole, con una disponibilità per il 32% degli intervistati a spendere oltre il 20% in più per prodotti originati da pratiche più attente al benessere animale.

Pertanto questi risultati esprimono una differenziazione del settore dei consumatori, che devono essere intercettati attraverso politiche commerciali specifiche puntando quanto più possibile sulla trasparenza e qualità del percorso produttivo per giustificare i costi.

7.6 BENESSERE, ONE HEALTH E ONE WELFARE

Come precedentemente anticipato, il concetto di benessere deve essere inserito in un contesto più ampio nell'ottica di una convergenza di obiettivi: negli allevamenti, il pieno rispetto delle normative e l'agire responsabile di tutti gli operatori coinvolti nelle varie fasi della produzione può infatti consentire una maggiore efficienza produttiva, una riduzione del consumo di antibiotici e una maggiore qualità dei prodotti. Tale stretta connessione, oltre al superamento di apparenti conflittualità, è messa in evidenza in diversi studi

scientifici [20]. Inoltre, secondo il concetto One Welfare, il miglioramento delle condizioni di vita degli animali allevati porta a un miglioramento della qualità di vita delle persone, attraverso la gratificazione personale all'interno di ambienti di maggiore qualità, la sensibilizzazione verso gli stati di sofferenza, lo stimolo alla formazione e aggiornamento multidisciplinare (tecnologico, sanitario, etologico, mangimistico, ecc.) [21].

7.7 BENESSERE DEGLI ANIMALI DA AFFEZIONE, DA LAVORO E SPORTIVI

Tra gli animali allevati per scopi diversi dalla produzione di alimenti rientrano le specie da compagnia, da lavoro e sportive. In considerazione dell'eterogeneità dei contesti, degli ambienti e degli utilizzi questo capitolo del benessere animale trova a oggi ancora limitati riferimenti normativi, rispetto al settore degli animali destinati alla produzione di alimenti (DPA).

Per quanto riguarda la tutela degli equidi non DPA, il Ministero della salute [22] si è espresso con un documento dal titolo *Codice per la tutela degli equidi*, in cui vengono forniti i criteri essenziali per la gestione degli stessi, secondo buone prassi e comportamenti responsabili.

Nel caso degli animali da affezione, le condizioni ambientali e di gestione possono presentare non solo criticità legate al maltrattamento propriamente detto (ad esempio cani legati, privati di acqua e cibo, lasciati in condizioni sanitarie compromesse), ma anche alle privazioni di tipo sociale e alle patologie "del benessere" proprie della specie umana, legate a eccessi calorici e scarso movimento fisico, quali ad esempio obesità e diabete. Nel 2023 l'Efsa [23] ha pubblicato un parere scientifico sulla protezione dei cani e gatti nelle strutture di allevamento, destinato alla Commissione europea, che prelude a iniziative legislative.

Inoltre, un ulteriore punto critico oggetto di dibattito è la cosiddetta selezione genetica delle caratteristiche estreme, ovvero la promozione di caratteristiche che vanno ad accentuare esageratamente la morfologia dell'animale, compromettendone il benessere e la salute sia a causa diretta delle anomalie fisiche (razze brachicefale) ma anche portando a stati patologici secondari legati all'elevata consanguineità, quali ad esempio ernie discali, degenerazioni valvolari e cardiomiopatie.

Stando alle attuali raccomandazioni comunitarie, gli allevatori non dovrebbero allevare animali con difetti genetici noti o con condizioni dannose, e si auspica a livello comunitario l'introduzione di limitazioni e requisiti per regolamentare l'allevamento di cani e gatti con tali caratteristiche. Inoltre, per disincentivare la selezione delle caratteristiche dannose si propone di agire anche sul lato economico, impedendo la vendita e l'importazione di tali soggetti sul territorio europeo.

7.8 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] Brambell FWR. Report of the Technical Committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems; London: H.M.S.O; 1965.
- [2] Broom DM. Indicators of poor welfare. *Br. Vet. J.* 1986; 142:524-526.
- [3] Yeates JW, Main DC. Assessment of positive welfare: A review. *Vet J.* 2008; 175(3): 293-300.
- [4] Hughes BO. Behaviour as index of welfare. In: European Poultry Conference, World's Poultry Science Association. 5th European Poultry Conference. Malta: World Poultry Science Association; 1976. 1005-1018.
- [5] Dawkins MS, From an animal's point of view: Motivation, fitness and animal welfare. *Behav Brain Sci.* 1990;13:1-61. Doi:10.1017/s0140525x00077104.
- [6] Duncan IJH. Poultry welfare: science or subjectivity? *Brit Poultry Sci.* 2002;43:643-652.
- [7] Korte SM, Olivier B, Koolhaas JM. A new animal welfare concept based on allostasis. *Physiology & behaviour.* 2007; 92(3):422-428.
- [8] Blokhuis HJ, Veissier I, Miere M et al. The welfare quality project and beyond: safeguarding animal well-being. *Acta Agric Scand Sect A.* 2010;60:129-40. Doi: 10.1080/09064702.2010.523480.
- [9] Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML. *Clinical biochemistry of domestic animals.* 6a ed. San Diego, California: Academic Press; 2008.
- [10] Cook NJ. Review: minimally invasive sampling media and the measurement of corticosteroids as biomarkers of stress in animals. *Can J Anim Sci.* 2012; 92:227-259. Doi: 10.4141/cjas2012-045.
- [11] Zhang M, Yue Z, Liu Z et al. Hsp70 and HSF-1 expression is altered in the tissues of pigs transported for various periods of times. *J Vet Sci.* 2012; 13(3):253-259.
- [12] Skaperda Z, Veskoukis AS, Kouretas D. Farm animal welfare, productivity and meat quality: Interrelation with redox status regulation and antioxidant supplementation as a nutritional intervention. *World Academy of Sciences Journal.* 2019;1(4):177-183.
- [13] Eckersall PD, Bell R. Acute phase proteins: Biomarkers of infection and inflammation in veterinary medicine. *Vet J.* 2010;185(1):23-7. Doi: 10.1016/j.tvjl.2010.04.009.
- [14] Saco Y, Bassols A. Acute phase proteins in cattle and swine: A review. *Vet Clin Pathol.* 2023; 52:50-63.
- [15] Fontana I, Tullo E, Carpentier L et al. Sound analysis to model weight of broiler chickens. *Poult Sci.* 2017; 1;96(11):3938-3943. Doi: 10.3382/ps/pex215.
- [16] Liu D, Oczak M, Maschat K et al. A computer vision-based method for spatial-temporal action recognition of tail-biting behaviour in group-housed pigs. *Biosystems Engineering.* 2020;195:27-41.

- [17] Gan H, Menegon F, Sun A et al. Peeking into the unseen: Occlusion-resistant segmentation for preweaning piglets under crushing events. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2024; 219,108683. Doi: 10.1016/j.compag.2024.108683.
- [18] European Commission. Attitudes of Europeans towards animal welfare. 2023. Url: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2996> [consultato giugno 2024].
- [19] Slow Food. Meat consumption and animal welfare: A survey of European. Slow Food Members. July-August 2013. Url: https://www.slowfood.com/wp-content/uploads/2023/12/ING_sondaggio_benessere.pdf [consultato giugno 2024].
- [20] de Passillé AM, Rushen J. Food safety and environmental issues in animal welfare. *Rev Sci Tech*. 2005;24(2):757-66.
- [21] Pinillos RG, Appleby MC, Manteca X et al. One Welfare—a platform for improving human and animal welfare. *Vet Rec*. 2016; 179(16):412-413.
- [22] Ministero della salute. Codice per la tutela e la gestione degli equidi. 2015.Url: https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pagineAree_1911_listaFile_itemName_0_file.pdf [consultato giugno 2024].
- [23] European Food Safety Authority, Candiani D, Drewe J et al. Scientific and technical assistance on welfare aspects related to housing and health of cats and dogs in commercial breeding establishments. *Efsa Journal* 2023;21(9):8213. Doi: 10.2903/j.efsa.2023.8213.

8 - INTERFACCIA UOMO AGRICOLTURA: RISCHIO DI ESPOSIZIONE AD AGENTI CHIMICI

M. Gherardi¹, R. Cabella¹, G. Fabrizi¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

8.1 RISCHI PER LA SALUTE DI LAVORATORI, RESIDENTI E CONSUMATORI

Le produzioni agricole nel loro complesso, ovvero includendo le coltivazioni e gli allevamenti, comportano un uso intensivo di prodotti chimici utilizzati a vario titolo per proteggere i prodotti vegetali dagli organismi nocivi, per migliorare la fertilità del terreno agrario o il nutrimento delle piante coltivate oppure per distruggere, eliminare e rendere innocuo un qualsiasi organismo nocivo presente in questo contesto produttivo.

Il largo impiego di prodotti chimici in agricoltura rappresenta un ben noto fattore di rischio per la salute umana. L'ambiente di lavoro agricolo è considerato un ambiente a rischio nel quale ogni attività è contraddistinta da una sua specifica pericolosità legata ai fattori di nocività a essa connessi. Per quanto riguarda il rischio chimico, i principali rischi per la salute umana derivano dall'utilizzo diretto dei prodotti chimici, dalla conseguente contaminazione degli ambienti circostanti e dalla possibile presenza di residui di prodotto negli alimenti e nell'acqua potabile. Ad esempio, il trattamento di colture con prodotti fitosanitari espone potenzialmente ad agenti chimici sia i lavoratori addetti alle attività di preparazione e applicazione dei prodotti fitosanitari che i lavoratori addetti alle attività di rientro nelle colture trattate e deve essere inoltre anche considerata la possibile esposizione della popolazione residente nelle vicinanze delle colture trattate e il rischio per i consumatori determinato dalla possibile presenza di residui di pesticidi negli alimenti. Il numero e la tipologia di prodotti chimici utilizzati in agricoltura sono molto ampi e comprendono prodotti fitosanitari, fertilizzanti, prodotti biocidi (disinfettanti, insetticidi, rodenticidi) detergenti e altri ancora (solventi, lubrificanti, ecc.).

8.1.1 *Prodotti fitosanitari*

I prodotti fitosanitari sono formulati che contengono sostanze attive di pesticidi utilizzati principalmente per mantenere in buona salute le colture e impedire loro di essere distrutte da malattie e infestazioni. Comprendono erbicidi, fungicidi, insetticidi, acaricidi, fitoregolatori e repellenti [1]. L'esposizione a prodotti fitosanitari interessa sia direttamente le persone che lavorano nel settore agricolo che indirettamente la popolazione generale potenzialmente esposta attraverso il cibo e l'acqua, l'aria che respiriamo nelle zone agricole e urbane e attraverso il contatto con eventuali residui di pesticidi depositati sui terreni circostanti. Vivere

vicino ai luoghi in cui i prodotti fitosanitari vengono fabbricati, utilizzati o smaltiti può aumentare in modo significativo l'esposizione umana. Particolare attenzione deve essere inoltre prestata alla possibile esposizione per via cutanea e inalatoria determinata dalla dispersione degli aerosol di prodotti fitosanitari durante il trattamento delle colture (effetto deriva), Figura 1.

Figura 1

Scenario esposizione agricoltura



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Rispetto ad altri prodotti chimici, i prodotti fitosanitari si contraddistinguono essenzialmente per due caratteristiche:

1. Notevole tossicità intrinseca (diretti a eliminare forme di vita indesiderate).
2. Dispersione volontaria nell'ambiente in quantità elevate (possibilità di raggiungere concentrazioni ambientali pericolose per l'uomo).

Per quanto riguarda l'esposizione dei lavoratori in agricoltura, le principali caratteristiche che contraddistinguono lo scenario di esposizione a prodotti fitosanitari in agricoltura sono:

- impiego limitato e/o intermittente nel tempo;
- impiego simultaneo di più prodotti;
- variabilità delle mansioni lavorative;
- variazione dei prodotti e/o delle dosi di impiego.

In ambito agricolo i lavoratori utilizzano un elevato numero di prodotti fitosanitari per periodi di tempo limitati risultando potenzialmente esposti a una combinazione di pesticidi. La durata delle esposizioni, in un anno, può variare da pochi giorni fino a circa tre mesi, con l'eccezione degli applicatori professionisti (contoterzisti). Le vie di esposizione a pesticidi rilevanti per l'operatore agricolo sono due: la via cutanea e la via inalatoria. La via orale può essere considerata trascurabile, a condizione che vengano rispettate buone pratiche igieniche. La via di assorbimento cutanea rappresenta normalmente la principale via di esposizione a pesticidi. L'esposizione cutanea può essere definita come "la quantità di sostanza chimica che raggiunge la barriera cutanea e diventa disponibile per l'assorbimento nell'unità di tempo". L'esposizione per via inalatoria riveste in generale un ruolo secondario, anche se affatto trascurabile, a causa della scarsa volatilità dei principi attivi e in considerazione del fatto che la maggior parte delle tecniche di applicazione genera prevalentemente particelle non inalabili. Tuttavia, l'impiego in ambienti chiusi (serre, vivai) di prodotti fitosanitari può determinare una esposizione per via inalatoria non trascurabile. I livelli di esposizione a pesticidi in agricoltura sono estremamente variabili in quanto dipendono da diversi fattori tra cui:

- estensione del terreno da trattare;
- tipo di coltura;
- formulazione del prodotto fitosanitario;
- attrezzatura utilizzata;
- modalità di applicazione;
- professionalità dell'operatore;
- condizioni climatiche;
- uso di dispositivi di protezione individuale.

I lavoratori agricoli possono essere esposti a prodotti fitosanitari durante lo svolgimento delle seguenti attività:

- immagazzinamento dei prodotti fitosanitari;
- miscelazione/carico/applicazione;
- pulizia e manutenzione dell'attrezzatura utilizzata;
- smaltimento dei recipienti dei prodotti fitosanitari utilizzati;
- controllo delle colture trattate;
- raccolta delle colture trattate;
- attività svolte nelle vicinanze di aree interessate a trattamenti con prodotti fitosanitari.

Le modalità di esposizione variano nel corso delle diverse fasi lavorative. Durante la miscelazione, ad esempio, l'operatore è esposto a prodotti più concentrati e la via di esposizione prevalente è la cutanea (mani). Durante l'applicazione l'esposizione dipende principalmente dalla tecnica di applicazione utilizzata (con veicolo o manuale) e dal tipo di coltura (alta o bassa): anche in questo caso la via di esposizione prevalente è la cutanea (mani, tronco, testa). I lavoratori addetti alla raccolta delle colture trattate e ad altre attività di rientro, sono potenzialmente esposti ai residui dei prodotti fitosanitari presenti sulla superficie delle colture trattate che costituiscono una potenziale fonte di esposizione per via cutanea. L'esposizione dipende principalmente dalla quantità di residuo sul fogliame e dall'intensità e durata del contatto con lo stesso. Infine, la popolazione residente nelle vicinanze delle colture trattate è potenzialmente esposta a pesticidi a causa del fenomeno di deriva degli aerosol dei trattamenti e attraverso il contatto con residui superficiali dei prodotti impiegati. Tutta la popolazione è comunque potenzialmente esposta a residui di pesticidi, principalmente attraverso il consumo di alimenti, sia di origine vegetale che animale, ma anche attraverso l'acqua che beviamo e l'aria che respiriamo.

Occorre ricordare che un prodotto fitosanitario può essere immesso in commercio e quindi autorizzato solo se, tenuto conto delle normali condizioni di impiego e delle conseguenze degli usi proposti, il prodotto non ha effetti inaccettabili, immediati o ritardati, di per sé stesso o quale risultato dei residui, sulla salute dell'uomo, compresa quella dei gruppi vulnerabili, direttamente o attraverso l'acqua potabile, gli alimenti, i mangimi o l'aria. Ai fini dell'autorizzazione di un prodotto fitosanitario viene valutato il rischio di esposizione dell'operatore alla sostanza attiva e/o ad altre sostanze pericolose per la salute contenute nel prodotto fitosanitario (coformulanti, solventi) nelle condizioni d'uso proposte. L'autorizzazione può però stabilire prescrizioni motivate, riportate in etichetta, relative alle condizioni di distribuzione e d'impiego dei prodotti al fine di garantire la protezione della salute non solo di lavoratori, ma anche di residenti e consumatori. In particolare, non viene

concessa l'autorizzazione se i livelli di esposizione di operatori, lavoratori e residenti, determinati dall'impiego del prodotto fitosanitario secondo le modalità proposte, superano la dose accettabile di esposizione dell'operatore (AOEL) e/o se la dose massima giornaliera calcolata di residui del pesticida è superiore alla dose giornaliera accettabile (ADI) [2]. Occorre precisare che tale meccanismo autorizzativo rappresenta sicuramente una misura di tutela per la salute dei lavoratori e della popolazione generale ma non prende in considerazione gli effetti sulla salute determinati dall'impiego di più prodotti fitosanitari.

Ai fini della riduzione del rischio di esposizione a prodotti fitosanitari si segnalano le seguenti misure di prevenzione:

- scegliere, a parità di efficacia, sempre i prodotti meno pericolosi;
- privilegiare prodotti con bassa persistenza (tempi di carenza più brevi);
- leggere attentamente l'etichetta e seguire scrupolosamente le condizioni di impiego del prodotto indicate;
- per i preparati in polvere, privilegiare i prodotti confezionati in sacchetti idrosolubili, monodose, in formulazioni flow, in pasta, ecc.;
- acquistare la quantità di prodotto strettamente indispensabile;
- richiedere la scheda di sicurezza del prodotto;
- acquistare i prodotti in confezioni integre ed etichettate;
- conservare i prodotti nei loro contenitori originali;
- non conservare nello stesso locale prodotti fitosanitari e prodotti alimentari;
- utilizzare di vasche di contenimento per lo stoccaggio di prodotti liquidi;
- chiudere a chiave la porta del magazzino;
- segnalare il deposito dei prodotti (ad. es. con la scritta "antiparassitari - pericolo di avvelenamento").

8.1.2 Fertilizzanti

I fertilizzanti comprendono sostanze che, per il loro contenuto in elementi nutritivi o per le loro caratteristiche chimiche, fisiche o biologiche, contribuiscono al miglioramento della fertilità del terreno agrario o al nutrimento delle piante coltivate o al loro miglior sviluppo. I fertilizzanti si dividono in concimi, ammendanti e correttivi. I concimi forniscono alle colture gli elementi chimici necessari alle piante per lo sviluppo del loro ciclo vegetativo e produttivo. Ammendanti e correttivi modificano le proprietà e le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche di un terreno, migliorandone l'abitabilità per le specie vegetali coltivate. L'impiego dei fertilizzanti generalmente non comporta un rischio di esposizione ad agenti chimici rilevante per i lavoratori addetti alla distribuzione. Tuttavia, il largo

impiego di questa tipologia di prodotti costituisce un rischio di esposizione per residenti e consumatori a diversi residui di fertilizzanti sia attraverso l'inquinamento delle fonti di acqua potabile (nitrati) che attraverso il notevole contributo all'inquinamento atmosferico di polveri, ammoniaca e ossidi di azoto.

8.1.3 Prodotti Biocidi

8.1.3.1 Disinfettanti

I disinfettanti comprendono un vasto gruppo di sostanze che hanno lo scopo di distruggere, eliminare e rendere innocuo, impedire l'azione o esercitare altro effetto di controllo su batteri, virus, spore, alghe o altri microrganismi. Grazie a tali caratteristiche i disinfettanti trovano largo impiego nella produzione alimentare e negli allevamenti dove vengono utilizzati per l'igiene veterinaria, per disinfettare materiali e superfici associate al ricovero o al trasporto degli animali e per la disinfezione di attrezzature, contenitori, utensili, superfici o tubazioni utilizzati per la produzione, il trasporto, la conservazione di alimenti o mangimi destinati al consumo umano o animale. I disinfettanti possono inoltre essere usati per la disinfezione dell'acqua potabile per il consumo umano e animale. I disinfettanti possono essere utilizzati per disinfettare superfici dure, sia porose che non porose, in aree quali alloggi per animali (stalle, gabbie, alloggi per animali domestici, ecc.), veicoli per il trasporto di animali, incubatoi, ecc. Le superfici interessate possono essere tavoli, pavimenti, pareti, parti esterne di macchinari di mungitura, attrezzature, stivali, ecc. I prodotti vengono generalmente applicati mediante spruzzatura, strofinamento, schiumatura o immersione e possono essere lavati o asciugati dopo un certo tempo di contatto.

I lavoratori interessati sono agricoltori e addetti delle imprese di pulizia. Per la protezione dei lavoratori durante l'irrorazione e la nebulizzazione ad alta pressione, occorre prevedere l'impiego di tute da lavoro (poliestere o impermeabili), stivali e guanti impermeabili e protezioni per il viso. Laddove vengono utilizzati prodotti irritanti e nei capannoni per pollame dove esiste un rischio di infezione zoonotica o di sensibilizzazione, è probabile che siano necessari dispositivi di protezione delle vie respiratorie. Per quanto riguarda la disinfezione vanno tenuti in considerazione anche macelli, allevamenti, lavorazione di frutta e verdura, prodotti da forno e dolci, birrifici e vendita al dettaglio di prodotti alimentari. Anche in questo caso i lavoratori potenzialmente esposti a disinfettanti sono agricoltori e addetti delle imprese di pulizia. Generalmente nelle industrie alimentari i lavoratori interessati fanno parte di una squadra di pulizia e sono spesso formati dai fornitori di prodotti disinfettanti.

8.1.3.2 Insetticidi e rodenticidi

Nel settore zootecnico l'impiego di insetticidi e rodenticidi è necessario per proteggere la salute degli animali e degli operatori e per proteggere le merci. Inevitabilmente, il loro impiego comporta la potenziale esposizione ad agenti chimici da parte dei lavoratori addetti. Le attività di disinfestazione vengono generalmente condotte da operatori professionisti del settore adeguatamente formati. Le misure di mitigazione del rischio comprendono il rispetto delle istruzioni e delle modalità d'uso indicate in etichetta e l'impiego di adeguati dispositivi di protezione (indumenti da lavoro, guanti, dispositivi di protezione delle vie respiratorie, visiera o occhiali protettivi). In considerazione del fatto che l'impiego di insetticidi e rodenticidi è generalmente limitato nel tempo e che i prodotti vengono normalmente impiegati nelle aree interne degli allevamenti interessati, il rischio di esposizione per la popolazione residente nelle vicinanze degli allevamenti a seguito delle operazioni di disinfestazione può essere considerato trascurabile.

Così come avviene per i prodotti fitosanitari, anche l'immissione in commercio dei prodotti biocidi è soggetta ad autorizzazione. In particolare, un biocida è autorizzato solo se non ha effetti inaccettabili, immediati o ritardati, di per sé stesso o quale risultato dei residui, sulla salute dell'uomo, compresa quella dei gruppi vulnerabili, direttamente o attraverso l'acqua potabile, gli alimenti, i mangimi o l'aria o attraverso altri effetti indiretti. Tuttavia, occorre ricordare come, nel caso dei rodenticidi anticoagulanti comunemente impiegati in agricoltura, l'autorizzazione può essere concessa qualora la mancata autorizzazione comportasse un impatto negativo sproporzionato per la società rispetto ai rischi per la salute umana, la salute animale o l'ambiente derivante dall'uso del prodotto biocida alle condizioni previste dall'autorizzazione.

8.2 SICUREZZA DEI PRODOTTI FITOSANITARI

La sicurezza dei prodotti fitosanitari prevede tre livelli di controllo e di applicazione delle norme in materia di sicurezza alimentare [3].

1. Un livello europeo, attraverso la legislazione comunitaria atta a disciplinare la commercializzazione e l'impiego per garantire un alto livello di protezione della salute dei consumatori, coprendo tutti i settori della catena alimentare "Farm to Fork". Prima che una sostanza attiva possa essere utilizzata all'interno di un prodotto fitosanitario nell'Ue, occorre l'approvazione della Commissione attraverso un approfondito processo di valutazione di autorizzazione alla vendita, all'uso e al controllo dei prodotti fitosanitari, disciplinato dal regolamento (Ce) 2009/1107 [4] che riconosce il principio di precauzione. Attualmente a livello europeo sono autorizzate circa 500 sostanze attive di

- prodotti fitosanitari, il cui elenco è consultabile nel data base del sito ufficiale della Comunità europea [5].
2. Un livello nazionale, in cui l'Autorità competente nazionale (Acn), il Ministero della salute, autorizza a livello di Stato membro Ue l'immissione in commercio dei PF in ottemperanza al regolamento di cui sopra, attraverso un iter di valutazione della sicurezza dell'operatore, degli alimenti, degli animali e dell'ambiente. L'elenco dei PF autorizzati a livello nazionale è consultabile nella banca dati dedicata del Ministero della salute [6].
 3. Un livello regionale, attraverso le Autorità competenti regionali (Acr), gli Assessorati alla sanità e le Asl, che attuano i piani di controllo ufficiale sia sulla sicurezza dei prodotti alimentari di origine vegetale, in termini di livelli di residui di prodotti fitosanitari, sia sull'impiego e commercio di prodotti fitosanitari.

Gli elementi chiave per la salvaguardia della salute umana e ambientale, di cui tener conto per autorizzare una sostanza attiva, sono riassunte nell'art. 4 della Sezione I, Sostanze attive, alla Sottosezione 1, Requisiti e condizioni di approvazione del regolamento (Ce) 2009/1107. In particolare, un prodotto fitosanitario contenente una o più sostanze attive deve soddisfare ai determinati requisiti di tutela della salute pubblica e ambientale che verranno dettagliati nel prossimo paragrafo.

8.3 PIANO DI AZIONE NAZIONALE PER L'USO SOSTENIBILE DEI PRODOTTI FITOSANITARI: PAN

Le basi per la strategia tematica volta a ridurre gli impatti dei pesticidi sulla salute umana e sull'ambiente e, più in generale, a giungere a un uso più sostenibile erano già state poste con la prima comunicazione della Commissione CE ("Verso una strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi", COM 2002-349) che aveva l'obiettivo di avviare una consultazione tra agricoltori, industria, autorità pubbliche e parti sociali per giungere a un modello agricolo sostenibile in accordo con le indicazioni dell'art. 37 (Tutela dell'ambiente) della Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea: "Un livello elevato di tutela dell'ambiente e il miglioramento della sua qualità devono essere integrati nelle politiche dell'Unione e garantiti conformemente al principio dello sviluppo sostenibile" [7].

8.3.1 Strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi

La Commissione Ce nella comunicazione *Strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi* (COM (2006) 372) [8], getta le basi di una strategia tematica volta a ridurre gli impatti dei pesticidi sulla salute umana e sull'ambiente e, più in generale, a giungere a un uso più sostenibile dei pesticidi e a una riduzione globale

significativa dei rischi e delle applicazioni. Gli elementi fondamentali della strategia sono i seguenti:

- adozione di Piani di azione nazionali;
- partecipazione dei soggetti interessati;
- revisione del quadro normativo.

Con la dec. 1600/2002/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 luglio 2002 è stato istituito il *Sesto Programma* di azione in materia di ambiente (6PAA) (2002 - 2012) [9]; il programma aveva l'obiettivo di promuovere la qualità della vita e il benessere sociale per i cittadini dell'Unione attraverso la riduzione dell'inquinamento ambientale. Concentrandosi su quattro settori d'intervento prioritari quali cambiamento climatico, biodiversità, ambiente e salute, gestione sostenibile delle risorse e dei rifiuti, esso prevedeva anche l'elaborazione della strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi (art. 7) che aveva i seguenti obiettivi (già dichiarati nella COM (2006) 372:

- ridurre i pericoli e i rischi per la salute e l'ambiente derivanti dall'impiego dei pesticidi;
- migliorare i controlli sull'utilizzo e sulla distribuzione dei pesticidi;
- ridurre i livelli di sostanze attive nocive anche mediante la sostituzione con sostanze meno pericolose o con tecniche alternative;
- incentivare l'utilizzo di coltivazioni con un impiego ridotto o nullo di pesticidi;
- istituire un sistema trasparente di notifica e monitoraggio dei progressi compiuti mediante indicatori appropriati.

Una delle iniziative adottate nell'ambito della *Strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi* è la dir. 2009/128/Ce del 21 ottobre 2009 (Sustainable Use Directive, SUD) [10] che istituisce un quadro per l'uso sostenibile dei pesticidi; l'iniziativa rientra nell'attività di revisione del quadro normativo proposta con la "Strategia tematica".

In questo contesto, la dir. 2009/128/Ce definisce le norme per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari.

Gli obiettivi della direttiva sono riassunti nell'articolo 1: ridurre i rischi dei prodotti fitosanitari, gli impatti sulla salute umana e sull'ambiente, promuovere l'uso della difesa fitosanitaria integrata e di tecniche e di approcci alternativi o metodi non chimici. Nell'art 4 si definisce, invece, l'adozione dei *Piani di azione nazionali* e vengono definiti gli obiettivi quantitativi, le misure e i tempi per la riduzione dei rischi e degli impatti dell'utilizzo dei pesticidi sulla salute umana e sull'ambiente e per incoraggiare lo sviluppo e l'introduzione della difesa integrata e di approcci o tecniche alternativi al fine di ridurre la dipendenza dall'utilizzo di pesticidi. Tali obiettivi possono riguardare diversi settori di interesse, ad esempio la protezione dei lavoratori, la tutela dell'ambiente, i residui, l'uso di tecniche specifiche o l'impiego in colture specifiche.

La direttiva è stata recepita nell'ordinamento nazionale italiano con il d.lgs. n. 150 del 14 agosto 2012 [11]. Il decreto prevede, nell'articolo 6, l'adozione del Piano d'azione nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (PAN), che definisce gli obiettivi, le misure, le modalità e i tempi per la riduzione dei rischi e degli impatti dell'utilizzo dei prodotti fitosanitari sulla salute umana, sull'ambiente e sulla biodiversità.

Il decreto evidenzia la necessità di adottare una strategia d'azione che sia sostenuta e condivisa dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, dal Ministero della salute e dalle Regioni e Province autonome. Ognuna di queste istituzioni, nell'ambito delle proprie competenze, programma, attua, coordina e monitora le misure previste dal decreto e quelle previste dal PAN avvalendosi anche del supporto del Consiglio tecnico-scientifico istituito con l'articolo 5 del decreto.

Il Consiglio tecnico scientifico sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (CTS), istituito con decreto n. 14799 del 24/07/2013 del Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali e del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare è di supporto per la programmazione, l'attuazione, il coordinamento e il monitoraggio delle misure previste dal decreto stesso e di quelle previste dal PAN. Il Consiglio è composto da un massimo di ventitré componenti e loro sostituti scelti tra persone di comprovata esperienza e professionalità nei settori inerenti all'attuazione del decreto, così designati:

- a) quattro esperti dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, di cui uno con funzioni di Presidente;
- b) quattro esperti dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, di cui uno con funzioni di Vicepresidente;
- c) quattro esperti dal Ministero della salute;
- d) un esperto dal Ministero dell'istruzione, dell'università e della ricerca;
- e) un esperto dal Ministero dello sviluppo economico;
- f) nove esperti dalla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano, di cui quattro da individuare nell'ambito dell'Organismo tecnico-scientifico di cui all'articolo 2, comma 6, della legge 3 febbraio 2011, n. 4. Il Consiglio dura in carica cinque anni e i suoi componenti possono essere riconfermati soltanto una volta.

8.3.2 Obiettivi del PAN

Al fine di ridurre i rischi associati all'impiego dei prodotti fitosanitari e in linea con i contenuti della dir. 2009/128/Ce, il PAN si prefigge di attuare un cambiamento delle pratiche d'uso dei prodotti fitosanitari verso forme più compatibili e sostenibili dal punto di vista ambientale e sanitario. Nel piano si prevede anche

di ridurre l'impatto dei prodotti fitosanitari in aree extra agricole frequentate dalla popolazione quali le strade, le ferrovie i giardini, le scuole, gli spazi ludici di pubblica frequentazione e tutte le loro aree a servizio.

Più specificamente gli obiettivi generali del Piano sono:

- ridurre i rischi e gli impatti dei prodotti fitosanitari sulla salute umana, sull'ambiente e sulla biodiversità;
- promuovere l'applicazione della difesa integrata, dell'agricoltura biologica e di altri approcci alternativi;
- proteggere gli utilizzatori dei prodotti fitosanitari e la popolazione interessata;
- tutelare i consumatori;
- salvaguardare l'ambiente acquatico e le acque potabili;
- conservare la biodiversità e tutelare gli ecosistemi.

Per il raggiungimento dei citati obiettivi il Piano, in via prioritaria, si propone di:

- assicurare una capillare e sistematica azione di formazione sui rischi connessi all'impiego dei prodotti fitosanitari;
- garantire un'informazione accurata della popolazione circa i potenziali rischi associati all'impiego dei prodotti fitosanitari;
- assicurare una capillare e sistematica azione di controllo, regolazione e manutenzione delle macchine irroratrici;
- prevedere il divieto dell'irrorazione aerea, salvo deroghe in casi specifici;
- garantire specifiche azioni di protezione in aree a elevata valenza ambientale e azioni di tutela dell'ambiente acquatico;
- favorire la corretta manipolazione e uno stoccaggio e smaltimento sicuri dei prodotti fitosanitari e dei loro contenitori;
- prevedere la difesa a basso apporto di prodotti fitosanitari delle colture agrarie, al fine di salvaguardare un alto livello di biodiversità e la protezione dei nemici naturali, privilegiando le opportune tecniche agronomiche;
- prevedere un incremento delle superfici agrarie condotte con il metodo dell'agricoltura biologica, ai sensi del reg. (Ce) 2007/834 e della difesa integrata volontaria (l. 4/2011);
- individuare indicatori utili alla misura dell'efficacia delle azioni attuate con il Piano e favorire un'ampia divulgazione dei risultati del relativo monitoraggio.

Nella Tabella 1 sono riportate in sintesi le azioni previste dal Piano e i target interessati.

Tabella 1 Azioni previste dal Piano di azione nazionale per l'uso sostenibile dei pesticidi e target interessati	
Campi d'azione	Azioni principali
Formazione degli utilizzatori, consulenti e distributori di PF	Rilascio Certificato di abilitazione per consulenti, distributori e utilizzatori professionali.
Vendita dei PF	Prescrizioni per la vendita.
Informazione e sensibilizzazione	Programmi per la sensibilizzazione dei consumatori e degli utilizzatori professionali e non professionali.
	Sistema informativo nazionale per la sorveglianza sulle intossicazioni acute da PF.
	Segnalazione del trattamento alla popolazione potenzialmente esposta.
	Attivazione di insegnamenti ad hoc in corsi di laurea attinenti.
Controllo funzionale delle macchine irroratrici di PF	Obbligo del controllo funzionale delle attrezzature utilizzate per il trattamento.
	Regolazione delle attrezzature utilizzate per il trattamento presso i centri autorizzati.
Divieto di irrorazione aerea	Divieto di irrorazione aerea
Misure specifiche per la tutela dell'ambiente acquatico	Specifiche sostituzioni e/o limitazioni d'uso dei PF e misure di mitigazione del rischio per la tutela delle acque superficiali
	Specifiche sostituzioni e/o limitazioni d'uso dei PF per la tutela delle acque destinate al consumo umano e delle falde acquifere
Misure specifiche per la tutela delle aree protette	Specifici divieti, sostituzioni e/o limitazioni d'uso dei PF nelle aree identificate ai fini della conservazione (dir.79/409/Cee e 92/43/Cee) e nelle altre aree naturali protette (parchi nazionali e regionali, riserve, ecc.)
	Specifici divieti, sostituzioni e/o limitazioni d'uso dei PF, entro 1 anno dall'entrata in vigore del PAN, nelle Zone Ramsar
Misure per la tutela di aree specifiche	Specifici divieti, sostituzioni e/o limitazioni d'uso dei PF nelle aree di accesso al pubblico: parchi, giardini pubblici, campi gioco, campi sportivi, cortili, ecc.
	Specifici divieti, sostituzioni e/o limitazioni d'uso dei PF lungo linee ferroviarie e strade
	Tutela dei corpi idrici intesi a scopo ricreativo

Tabella 1 segue		Azioni previste dal Piano di azione nazionale per l'uso sostenibile dei pesticidi e target interessati	
Campi d'azione	Azioni principali		
Manipolazione, uso, stoccaggio, smaltimento dei PF	Obblighi per la manipolazione, lo stoccaggio e lo smaltimento dei PF		
	Applicazione delle BPA (buone pratiche agricole) nella gestione dei PF all'interno dell'azienda		
Difesa fitosanitaria a basso apporto di PF	Difesa integrata obbligatoria a partire dal 1° gennaio 2014		
	Difesa integrata volontaria		
	Agricoltura biologica		

Il PAN attuale [12] è entrato in vigore nel 2014 ed è scaduto nel febbraio 2019. Nella prima fase di applicazione (2014 - 2017) sono emerse diverse criticità che sono state oggetto di analisi per eventuali modifiche e/o aggiornamenti in sede di revisione.

8.3.3 Il nuovo PAN

Con l'insediamento del nuovo CTS avvenuto nel luglio 2020 è iniziata l'opera di revisione che doveva portare al nuovo PAN. La bozza del nuovo PAN è stata resa disponibile sui siti istituzionali dei Ministeri delle politiche agricole, dell'ambiente e della salute, per la consultazione (associazioni, portatori di interesse, istituzioni, enti di ricerca, imprese e singoli cittadini) ai fini di eventuali osservazioni. Tutti i contributi pervenuti (circa 22.000 osservazioni) sono stati valutati ai fini della stesura definitiva del nuovo *Piano d'azione nazionale*.

Per la stesura del nuovo PAN si è tenuto conto anche delle criticità riscontrate sul PAN 2014 - 2019 e delle osservazioni e raccomandazioni fatte da una delegazione della Ue in occasione dell'audit sul PAN del marzo 2021. Le maggiori criticità riguardano: l'assenza di indicatori di tipo quantitativo per misurare l'efficacia del PAN, con particolare riferimento a indicatori armonizzati di rischio per il monitoraggio delle sostanze attive che destano maggiore preoccupazione, il ridotto numero di irroratrici controllate, l'assenza di un preciso piano di controlli sull'applicazione della difesa integrata obbligatoria. Anche se la bozza del nuovo PAN è stata giudicata positivamente in quanto interviene sulla maggior parte delle criticità riscontrate nel 2014, la Ue ha fatto una serie di raccomandazioni di seguito riassunte:

- garantire un coordinamento efficiente ed efficace tra tutte le autorità coinvolte nell'attuazione della SUD (*Sustainable Use Directive*), al fine di assicurare la coerenza e l'efficacia dei controlli ufficiali, come richiesto dall'articolo 4, paragrafo 2, del regolamento (Ue) 2017/625;

- garantire che il PAN sia riesaminato almeno ogni cinque anni e che eventuali modifiche sostanziali siano comunicate alla Commissione senza indebiti ritardi, come previsto dall'articolo 4, paragrafo 2 della SUD;
- garantire che il PAN sia rivisto per fissare obiettivi quantitativi per ridurre i rischi e gli impatti associati all'uso dei PPP e garantire che il PAN riveduto includa indicatori per monitorare i PPP contenenti sostanze attive di particolare preoccupazione, come richiesto dall'articolo 4, paragrafo 1 della SUD;
- assicurarsi che vengano utilizzate solo le apparecchiature di applicazione dei prodotti fitosanitari che hanno superato con successo l'ispezione richiesta, come richiesto dall'articolo 8, paragrafo 2 della SUD;
- garantire che siano adottate misure adeguate a proteggere l'ambiente acquatico e l'acqua potabile dall'impatto dei pesticidi, come previsto dall'articolo 11, paragrafo 1 della SUD;
- garantire che l'attuazione degli otto principi generali dell'IPM di cui all'allegato III della dir. 209/128/Ce sia soggetta a controlli ufficiali ai sensi dell'articolo 14, paragrafo 4 della dir. 209/128/Ce, in combinato disposto con l'art. n. 55 del reg. (Ce) 2009/1107;
- garantire che le tendenze nell'uso di talune sostanze attive e voci prioritarie o buone pratiche siano identificate come richiesto dall'articolo 15, paragrafo 2, lettera b) ed e) della SUD;
- prendere in considerazione l'adozione di ulteriori azioni per ridurre ulteriormente del 50% l'uso dei principi attivi più pericolosi nei PPP, in linea con la strategia *Farm to Fork*;
- garantire che la Commissione sia immediatamente informata di tutte le autorizzazioni rilasciate ai sensi dell'articolo 53, paragrafo 1, del regolamento (Ue) 2009/1107.

8.3.4 Indicatori armonizzati di rischio

Nel 2022 la Commissione europea ha presentato una proposta di regolamento relativa all'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari [13] definendo gli obiettivi di riduzione riguardanti i prodotti fitosanitari chimici per il 2030. La proposta di regolamento prevede che ciascuno Stato membro, attraverso l'adozione e il conseguimento di obiettivi nazionali, consegua entro il 2030 una riduzione del 50 %, rispetto alla media degli anni 2015, 2016 e 2017, dell'uso e dei rischi dei prodotti fitosanitari chimici (obiettivo di riduzione nazionale 1 per il 2030) e dell'uso dei prodotti fitosanitari più pericolosi (obiettivo di riduzione nazionale 2 per il 2030). La stessa Commissione ha previsto anche di monitorare l'andamento di diminuzione nel corso negli anni per il raggiungimento di questi due obiettivi, misurando nello specifico:

- per il primo obiettivo, le quantità di sostanze attive contenute nei pesticidi immessi sul mercato (venduti), e quindi presumibilmente utilizzati, in ciascuno Stato membro, e le proprietà pericolose di tali sostanze attive;
- per il secondo obiettivo, le quantità di sostanze attive più pericolose, i cosiddetti “candidati alla sostituzione”, contenuti nei pesticidi immessi sul mercato (venduti), e quindi presumibilmente utilizzati, in ciascuno Stato membro.

Nel contesto della strategia *Farm to Fork* e della strategia sulla biodiversità, i pesticidi più pericolosi sono quelli caratterizzati dalla presenza di una o più sostanze attive candidate alla sostituzione ai sensi dell'articolo 24 del reg. (Ce) 2009/1107 ed elencate nella parte E dell'allegato del reg. di esecuzione (Ue) 2011/540 [14], o contenenti uno o più principi attivi elencati nell'allegato del reg. di esecuzione (Ue) 2015/408 [15].

Storicamente l'iniziativa che ha originato per prima l'adozione di specifiche politiche comunitarie atte a un uso sostenibile di pesticidi è la dir. 128/2009/Ce che “istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi”. Nel 2019 tale Direttiva è stata modificata attraverso l'emanazione della dir. (Ue) 2019/782 della Commissione [16] introducendo la definizione di indicatori di rischio armonizzati, affinché gli Stati membri possano dimostrare i progressi conseguiti seguendo le istanze della Direttiva sull'uso sostenibile dei pesticidi. In Italia il recepimento di questa Direttiva si è tradotto nell'emanazione del decreto del 7 novembre 2019 [17]. In base ai criteri della dir. (Ue) 2019/782, gli Stati membri dovrebbero produrre e pubblicare i seguenti indicatori:

- indicatore di rischio armonizzato 1 (HRI1): basato sul pericolo, che dipende dalle quantità di sostanze attive immesse sul mercato nei prodotti fitosanitari a norma del reg. (Ce) 2009/1107;
- indicatore di rischio armonizzato 2 (HRI2): basato sul numero di autorizzazioni rilasciate a norma dell'art. n. 53 del reg. (Ce) 2009/1107.

Ai fini del calcolo dell'indicatore di rischio armonizzato HRI1, le sostanze attive di prodotti fitosanitari vengono ripartite in quattro Gruppi per 6 categorie, come riportato nella Tabella 2.

Tabella 2		Gruppi di sostanze attive di prodotti fitosanitari ai fini del calcolo dell'indicatore di rischio armonizzato HIR1
Gruppo	Categoria	
Gruppo 1	Sostanze attive a basso rischio che sono approvate o considerate approvate a norma dell'articolo 22 del regolamento (Ce) n. 1107/2009 e sono elencate nell'allegato, parte D, del reg. di esecuzione (Ue) 2011/540. Appartengono a questo Gruppo le Categorie A e B: microrganismi e sostanze attive chimiche, rispettivamente.	
Gruppo 2	Sostanze attive approvate o considerate approvate a norma del reg. (Ce) 2009/1107, che non rientrano in altre categorie e sono elencate nell'allegato, parti A e B, del reg. di esecuzione (Ue) 2011/540. Appartengono a questo Gruppo le Categorie C e D: microrganismi e sostanze attive chimiche, rispettivamente.	
Gruppo 3	Sostanze attive approvate o considerate approvate a norma dell'articolo 24 del reg. (Ce) 2009/1107, che sono candidate alla sostituzione e sono elencate nell'allegato, parte E, del reg. di esecuzione (Ue) 2011/540. Appartengono a questo gruppo la Categoria E: Non classificate come: cancerogene di Categoria 1A o 1B e/o tossiche per la riproduzione di Categoria 1A o 1B e/o interferenti endocrini; la Categoria F: Non classificate come: cancerogene di Categoria 1A o 1B e/o tossiche per la riproduzione di Categoria 1A o 1B e/o interferenti endocrini se l'esposizione degli esseri umani è trascurabile.	
Gruppo 4	Sostanze attive che non sono approvate a norma del reg. (Ce) 2009/1107 e perciò non sono elencate nell'allegato del reg. di esecuzione (Ue) 2011/540.	

Inoltre, per questi quattro Gruppi si fa riferimento alle ponderazioni del pericolo applicabili alle quantità di sostanze attive immesse sul mercato nei prodotti autorizzati a norma del reg. (Ce) 2009/1107, che sono: 1, 8, 16 e 64 per il Gruppo 1, 2, 3 e 4 rispettivamente. L'indicatore HRI1 è calcolato da Istat a partire dai dati di "Distribuzione per uso agricolo dei prodotti fitosanitari" disponibili su base annuale. Le sostanze attive sono suddivise nelle sette categorie A, B, C, D, E, F, G di cui sopra e a ciascuna è attribuito il peso

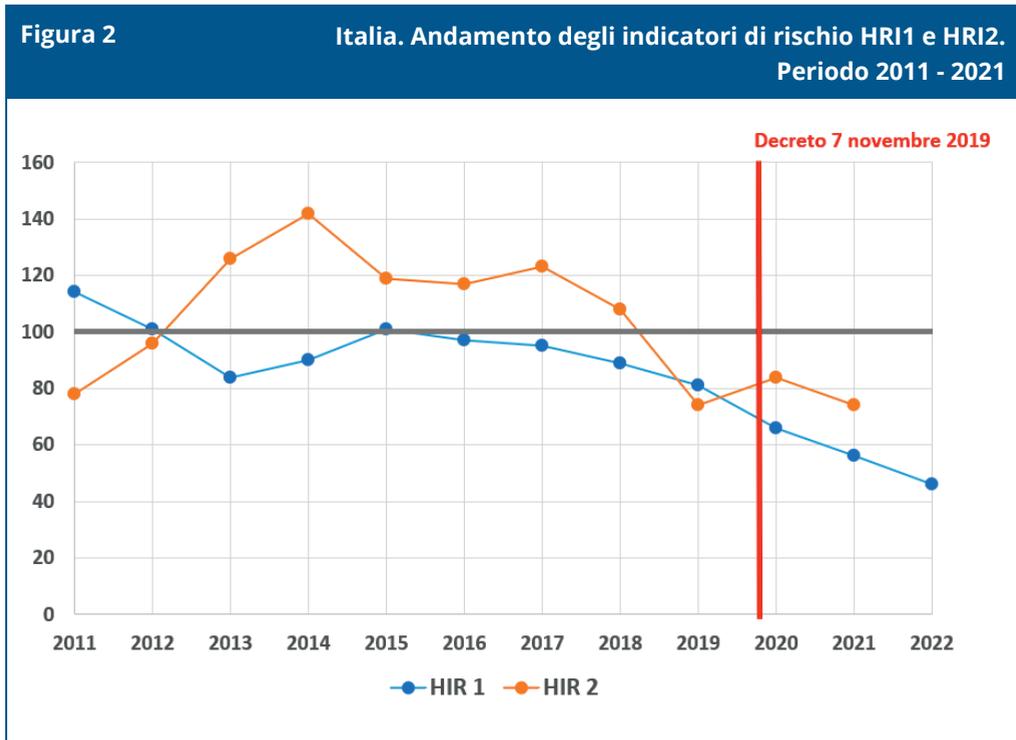
(ponderazione) che rappresenta il 'rischio' associato al loro utilizzo. L'indicatore si ottiene come media ponderata delle quantità di ciascuna sostanza per il relativo peso e il risultato viene rapportato al valore di riferimento fissato a 100 e uguale al risultato medio del calcolo sopraindicato per il periodo 2011 - 2013. Ai fini del calcolo dell'indicatore di rischio armonizzato HRI2, le autorizzazioni rilasciate per situazioni di emergenza fitosanitaria, ovvero approvazioni per i casi in cui esiste una emergenza dovuta alle malattie delle piante, a norma dell'articolo 53 del reg. (Ce) 2009/1107, vengono correlate al numero di sostanze attive autorizzate suddivise nelle 7 categorie da A a G, a ciascuna delle quali è attribuito un peso, la stessa ponderazione del pericolo applicata per il calcolo dell'indicatore HRI1.

Anche in questo caso l'indicatore si ottiene come media ponderata del numero di autorizzazioni per sostanza attiva per il relativo peso, che viene confrontato con un valore di riferimento fissato a 100, in rapporto alla media del triennio 2011 - 2013.

Il 30 agosto 2023 la Commissione ha pubblicato i risultati del calcolo degli indicatori di rischio armonizzati per i pesticidi Ue, aggiornati per il periodo 2011 - 2021, indicando le tendenze dei rischi associati all'uso dal 2011, ai sensi della dir. 2009/128/Ce. L'indicatore HRI1, che misura l'uso e il rischio dei pesticidi, mostra a livello europeo una generale diminuzione del 38% rispetto al periodo di riferimento nel 2011 - 2013 e un calo di 6 punti percentuali rispetto al 2020. L'indicatore armonizzato di rischio HRI2, che si basa sul numero di autorizzazioni di emergenza, mostra un aumento del 41% rispetto al periodo di riferimento nel 2011 - 2013 e una diminuzione di 3 punti percentuali rispetto al 2020 [18]. I dati, come riportato dalla Commissione stessa, "mostrano continui progressi nella riduzione del rischio e supportano il raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei pesticidi previsti dalla strategia *Farm to Fork*".

Per quanto riguarda gli indicatori di rischio per la situazione italiana, Eurostat rende disponibili i dati che vengono illustrati nella Figura 2 [19] per HRI1, mentre i dati HRI2 sono ricavati dal sito Ispra (<https://indicatori-panfitosanitari.isprambiente.it/>). Come si evince dall'andamento, per il nostro Paese i valori dell'indicatore HRI1 sono mediamente più bassi se confrontati con il valore di riferimento (media HRI1 2011 - 2021 = 85,0), rispetto al quale si assiste a una tendenza in diminuzione, con un decremento medio annuo di circa il 5%. Per l'indicatore HRI2, valori più bassi rispetto al riferimento si osservano in anni più recenti solo a partire dal 2019, mentre mediamente l'indicatore è più alto del valore di riferimento (media HRI2 2011 - 2021 = 103,7): la diminuzione percentuale media annua per HRI2 si attesta al 2,5%.

Dunque, l'introduzione nel 2019 degli indicatori di rischio armonizzati, sembra avere avuto un effetto positivo sulla politica nazionale di autorizzazione all'immissione in commercio di prodotti fitosanitari verso un loro uso sempre più sostenibile.

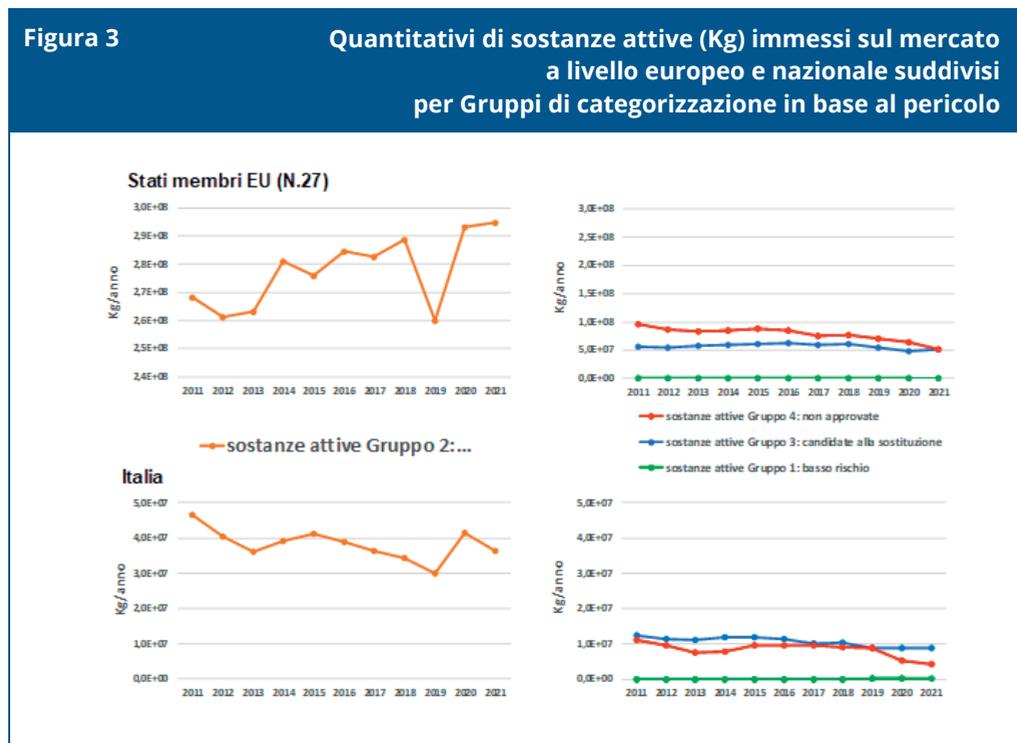


(Fonte: Eurostat - Ispra)

Sempre dal data base dell'Eurostat è possibile ricavare i dati di vendita di prodotti fitosanitari. I dati sono pubblicati dalla Commissione come dato annuale riferito alle quantità (Kg/anno) per i 27 Stati membri e sono disponibili nel data base Eurostat dal 2011. Tali dati possono essere consultati nel data base attraverso una interrogazione che tiene conto della suddivisione dei pesticidi nei Gruppi di pericolo sulla base delle sostanze attive contenute. In ambito Ue i Paesi che presentano i maggiori quantitativi di vendita dal 2011 al 2021 (ultimo anno di rilevazione) per il Gruppo 2 (sostanze attive Categorie C e D) sono, Spagna, Francia, Germania e Italia, con posizioni prima e seconda stabili per Spagna e Francia (nell'ordine elencato) e terza e quarta per Germania e Italia: quest'ultima, in particolare, è stabile al quarto posto per gli anni dal 2019 al 2021 con 41.359.676 Kg e 36.365.013 Kg, rispettivamente per 2020 e 2021.

Per uso di sostanze attive del Gruppo 1 (Sostanze a basso rischio) l'Italia, poi, è passata dalla quindicesima posizione nel 2011 al quinto posto per gli anni 2017 e 2018 e al secondo posto per gli anni 2019, 2020 e 2021. Si mantiene invece stabile nelle prime posizioni (secondo posto dal 2020) per l'uso di sostanze attive candidate alla sostituzione e stabile al primo/secondo posto, dal 2011, per uso di sostanze del Gruppo 4, ovvero non autorizzate [20].

Nella Figura 3 sono illustrati i risultati dell'interrogazione della banca dati Eurostat per le quantità di pesticidi immessi sul mercato sulla base dei raggruppamenti delle sostanze attive nei quattro Gruppi previsti dalla direttiva del 2019: andamento globale per i 27 Stati Membri Ue; andamento per l'Italia.



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Dalla Figura 3, si osserva per l'Italia una tendenza in diminuzione (mediamente -2% annuo) per i quantitativi dei pesticidi del Gruppo 2, a fronte di una situazione in crescita per l'Europa nel suo complesso (mediamente +1% annuo). Più stabile per l'Europa l'uso di sostanze attive candidate alla sostituzione (diminuzione media annua -1%) rispetto a quanto si osserva per l'Italia (diminuzione media annua -3%). Per le sostanze attive non approvate resta ancora elevato l'uso a livello europeo (23.446.513 Kg come valore medio per gli anni 2011 - 2021), anche se con una tendenza in decrescita decisamente più marcata di quella che si registra a livello nazionale (-13% medio annuo europeo, contro -5% medio annuo italiano, con un consumo medio in Kg per gli anni 2011 - 2021 pari al 36% di quello registrato in Europa per lo stesso periodo). L'uso di sostanze attive a basso rischio risulta praticamente trascurabile, sia a livello globale europeo che a livello nazionale.

8.4 BIBLIOGRAFIA, SITOGRAFIA, RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] Fabrizi G, Barrese E, Scarpelli ML et al. Prevenzione e protezione dei lavoratori nell'utilizzo di pesticidi in agricoltura. Agricoltura: salute e sicurezza sul lavoro a 100 anni dall'introduzione della tutela assicurativa Quaderni della Rivista degli infortuni e delle malattie professionali. Inail, 2017.
- [2] Charistou A, Coja T, Craig P et al. Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment of plant protection products. Efsa Journal 2022;20(1):7032, 134 pp.
Url: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7032>.
- [3] Ministero della salute. Url: <https://www.salute.gov.it/portale/fitosanitari.jsp>. [consultato dicembre 2024].
- [4] Regolamento (Ce) 2009/1107 del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009 relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari e che abroga le direttive del Consiglio 79/117/Cee e 91/414/Cee. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 309/1 del 14 novembre 2009.
- [5] European Commission. EU Pesticides Database (v3.1). https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en [consultato settembre 2024]
- [6] Banca dati dei prodotti fitosanitari.
Url: <https://www.salute.gov.it/portale/fitosanitari/homeFitosanitari.jsp>. [consultato dicembre 2024].
- [7] Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea (2000/C 364/01. Gazzetta ufficiale delle Comunità Europee C 364/1 del 18 dicembre 2000.
- [8] Commissione delle Comunità europee. Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento europeo, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni (COM (2006) 372 definitivo) "Strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi". 2006. Url: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0372&from=ES> [consultato settembre 2024].
- [9] Decisione 1600/2002/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 luglio 2002, che istituisce il sesto programma comunitario di azione in materia di ambiente [Internet]. Url: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002D1600>. [consultato settembre 2024].
- [10] Direttiva 2009/128/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 309/71, del 24 novembre 2009.
- [11] Decreto legislativo 14 agosto 2012, n. 150. Attuazione della direttiva 2009/128/Ce che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi. (12G0171). Gazzetta ufficiale serie generale n. 202 del 30 agosto 2012 - Suppl. ordinario n. 177.
- [12] Adozione del Piano di azione nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari, ai sensi dell'articolo 6 del decreto legislativo 14 agosto 2012, n.

- 150 recante:” Attuazione della dir. 2009/128/Ce che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi”. Gazzetta ufficiale serie generale n. 35 del 12 febbraio 2014.
- [13] Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio relativo all'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari e recante modifica del reg. (Ue) 2021/2115. COM (2022) 305 Def. del 22/06/2022 EUR-Lex - 52022PC0305.
- [14] Regolamento di esecuzione (Ue) 2011/540 della Commissione del 25 maggio 2011 recante disposizioni di attuazione del reg. (Ce) 2009/1107 del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda l'elenco delle sostanze attive approvate. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea l. 153/2011.
- [15] Regolamento di esecuzione (Ue) 2015/408 della Commissione dell'11 marzo 2015 recante attuazione dell'articolo 80, paragrafo 7, del reg. (Ce) 2009/1107 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari e che stabilisce un elenco di sostanze candidate alla sostituzione. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea l. 67/18 del 12 marzo 2015.
- [16] Direttiva (Ue) 2019/782 della Commissione del 15 maggio 2019 recante modifica della direttiva 2009/128/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la definizione di indicatori di rischio armonizzati. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea del 16 maggio 2019.
- [17] Decreto 7 novembre 2019. Attuazione della direttiva (Ue) del 15 maggio 2019, che modifica la direttiva 2009/128/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio, concernente la definizione di indicatori di rischio armonizzati (19A08054). Gazzetta ufficiale serie generale n. 303 del 28 dicembre 2019.
- [18] European Commission. Trends in harmonised risk indicators for the European Union. Url: https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/harmonised-risk-indicators/trends-eu_en [consultato settembre 2024].
- [19] Eurostat 2022. Key figures on the European food chain, 2022 edition. Url: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-key-figures/w/ks-fk-22-001> [consultato settembre 2024].
- [20] Eurostat, Data Browser. Url:https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/aei_pestsal_rsk_ [consultato settembre 2024].

9 - ESPOSIZIONE A MICOTOSSINE AERODISPERSE E RISCHIO OCCUPAZIONALE

E. Paba¹, A. Chiominto¹, A.M. Marcelloni¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

9.1 LE MICOTOSSINE: STRUTTURA E FUNZIONE

Le micotossine sono sostanze chimiche naturali prodotte dal metabolismo secondario di alcuni funghi filamentosi, meglio noti come muffe, tossiche per la salute umana e animale.

Tali metaboliti non hanno effetti biochimici significativi sulla crescita fungina ma la loro funzione rappresenta, probabilmente, una risposta a stress esterni o una forma di difesa da attacchi di altri patogeni, con i quali il microrganismo produttore entra in competizione, insetti, volatili e nematodi.

Dal punto di vista chimico il termine indica un gruppo eterogeneo di molecole, ad alto peso molecolare, rappresentato prevalentemente da alcaloidi, ciclopeptidi, cumarine, strutture aromatiche, fenoliche e terpenoidi (Figura 1). Tali differenze strutturali derivano dai diversi percorsi biosintetici che conducono alla loro sintesi.

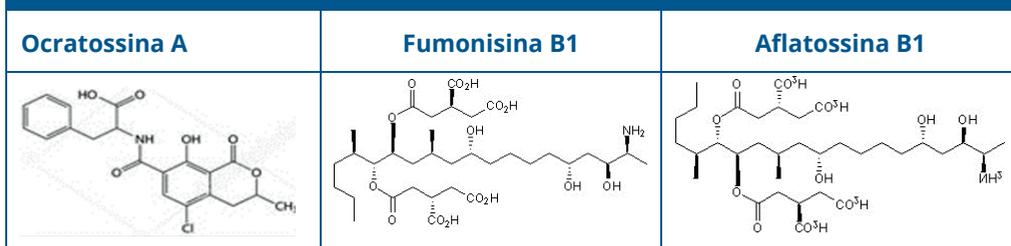
Sono molecole termostabili ovvero difficili da eliminare o inattivare anche dopo esposizione a temperature elevate quali quelle previste nell'ebollizione o nei processi di tostatura. Di conseguenza, le operazioni tecnologiche di lavorazione degli alimenti e le procedure domestiche di cottura generalmente non esercitano alcuna azione significativa di abbattimento sulle tossine inizialmente presenti nella materia prima.

Le micotossine, inoltre, residuano anche laddove la muffa abbia cessato il suo ciclo vitale o sia stata rimossa. Per questo motivo, la presenza di funghi non indica necessariamente una contaminazione da micotossine poiché le condizioni necessarie per produrle sono specifiche e indipendenti da quelle che promuovono la crescita fungina. Allo stesso modo, la rimozione di funghi non garantisce l'assenza di micotossine a causa della loro natura chimica resistente.

A oggi sono state caratterizzate chimicamente oltre 400 micotossine molto diverse tra loro per quanto concerne l'origine fungina, la struttura, la funzione e l'effetto biologico ma soltanto alcune hanno maggiore rilevanza sanitaria e un impatto sulla salute pubblica e occupazionale: l'ocratossina A (OTA A), la patulina (PAT), le fumonisine (FBs), le aflatossine (AFs), lo zearalenone (ZEN) e i tricoteceni (DON, T-2).

Figura 1

Struttura chimica di alcune micotossine



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

9.2 LE MICOTOSSINE NELLA FILIERA AGROALIMENTARE

Analogamente ai funghi, le micotossine sono contaminanti ubiquitari, presenti nelle diverse matrici ambientali (suolo, acqua, aria), ma tendono a contaminare soprattutto le derrate alimentari sia direttamente sul campo che lungo tutta la filiera a partire dalle fasi di raccolta, trasporto, stoccaggio e lavorazione, fino al prodotto finito (Figura 2). Contaminazioni consistenti possono essere rinvenute soprattutto nei cereali (mais, frumento, orzo, segale, ecc.), ma anche in semi oleaginosi (arachidi, girasole, cotone, ecc.), frutta fresca, secca ed essiccata (uva, mandorle, noci, nocciole, fichi secchi), semi di cacao e caffè nonché in alcune spezie come il peperoncino, il pepe e lo zenzero. Si stima che oltre il 25% dei prodotti cerealicoli prodotti a livello mondiale sia contaminato da micotossine in misura significativa, di cui il 5 - 10% in maniera irrimediabile con perdite economiche ingenti [1].

Sono suscettibili di contaminazione anche i vari prodotti di trasformazione delle suddette materie prime (es. farine ad uso umano e animale, birra e vino) nonché i prodotti alimentari derivanti da animali nutriti con mangime contaminato (carne, formaggi, latte, insaccati).

Figura 2

Esempi di attività lavorative a rischio



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Sebbene siano note oltre 100.000 specie di funghi filamentosi, solo alcuni di essi, e precisamente quelli appartenenti ai generi *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* sono ritenuti responsabili della produzione della maggior parte delle micotossine che possono colpire la filiera agroalimentare in maniera significativa, rappresentando un rischio per la salute dei lavoratori addetti.

La Tabella 1 riporta un elenco delle micotossine maggiormente riscontrate a livello internazionale in tale settore lavorativo e la rispettiva classificazione IARC (<https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>).

Tabella 1		Micotossine riscontrate in ambito agroalimentare		
Micotossine	Genere e/o specie fungina produttrice	Ambienti lavorativi	IARC	Riferimenti bibliografici
Tricoteceni - DON, DON-3-G - 15-AcDON - Nivalenolo (NIV) - T-2, HT2	<i>Fusarium</i> spp. (<i>F. graminearum</i>)	Industrie cerealicole panifici, pizzerie, ristoranti	3	[2-5]
Aflatossine - AFB1 - AFM1	<i>Aspergillus</i> spp. (<i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i>)	Industrie cerealicole, mulini zuccherifici, laboratori analisi per alimenti	1, 2B	[5-10]
Fumonisine - FB1 - FB2	<i>Fusarium</i> spp. (<i>F. verticillioides</i> , <i>F. proliferatum</i>) <i>Aspergillus niger</i>	Industrie cerealicole, panifici, pizzerie, ristoranti	2B	[3,5]
Zearalenone (ZEN)	<i>Fusarium</i> spp, (<i>F. graminearum</i>)	Industrie cerealicole, panifici, pizzerie, ristoranti	3	[3-5,7]
Sterigmatocistina (STC)	<i>Aspergillus</i> spp. Sez. Versicolores (<i>A. griseoaurantiacus</i> , <i>A. jensenii</i>)	Mulini	2B	[11]
Ocratossina A (OTA)	<i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>A. carbonarius</i> <i>Penicillium verrucosum</i>	Industrie cerealicole, panifici, pizzerie, ristoranti	2B	[3,5]

9.3 FATTORI CHE DETERMINANO LA PRODUZIONE DI MICOTOSSINE

La sintesi e il successivo rilascio di micotossine da parte del microrganismo dipendono sia da fattori intrinseci, correlati alla specificità del ceppo fungino (es. potenziale tossigeno e fase di crescita), che da fattori estrinseci e precisamente da parametri chimico-fisici quali temperatura, umidità, ventilazione, pH, composizione gassosa e natura del substrato. Quest'ultimo parametro rappresenta l'elemento che probabilmente più di ogni altro influenza il rilascio di micotossine: i substrati vegetali favoriscono la produzione di micotossine più dei substrati animali. Un fattore importante è la loro composizione e, in particolare, la presenza di amido e zinco sembra incrementare la loro sintesi.

Il valore del pH, invece, influenza l'espressione dei geni coinvolti nella biosintesi di micotossine e, in particolare, condizioni acide sembrano promuovere maggiormente la loro produzione.

I fattori climatici svolgono anch'essi un ruolo chiave influenzando non solo lo sviluppo, la sopravvivenza e la distribuzione dei funghi produttori ma anche il successivo rilascio di tossine nell'ambiente. In particolare, hanno un ruolo determinante temperatura, umidità e *water activity* (contenuto di acqua libera disponibile di un substrato). Tuttavia, nessun intervallo di tali parametri può essere definito come inducente per tutte le specie fungine poiché ogni specie ha intervalli propri per la crescita, la germinazione e la produzione di metaboliti. Un'ulteriore criticità è data dal fatto che una medesima specie può rilasciare tossine diverse a temperature diverse e ne è un esempio l'*Aspergillus ochraceus* che sintetizza acido penicillico a 20 °C e ocratossina A a 25 °C.

In linea generale, valori di temperatura compresi tra 25 e 30 °C, un contenuto di acqua libera disponibile > 0,78 e un'umidità relativa compresa tra l'88% e il 95% sono considerati favorevoli per la crescita fungina e la successiva sintesi di metaboliti secondari.

Fattori di stress dell'ospite (ad esempio, condizioni di aridità del terreno, irrigazione inadeguata, assorbimento sbilanciato di nutrienti) possono aumentare sensibilmente la sua suscettibilità all'infezione di funghi micotossigeni, sebbene l'ipotesi di uno sviluppo fungino in condizioni di crescita ottimali non possa essere totalmente esclusa.

Insetti e volatili possono influire anch'essi sulla contaminazione fungina e il successivo rilascio di metaboliti secondari poiché, danneggiando direttamente i prodotti, ne facilitano l'ingresso delle spore; inoltre, possono agire da agenti vettori e favorire la loro dispersione nell'ambiente.

Improprie pratiche agricole quali semine squilibrate o realizzate in stagionalità non idonee, mancato ricorso a rotazioni colturali nonché inadeguato utilizzo di fitofarmaci rientrano anch'essi tra i fattori favorevoli la produzione e il rilascio di micotossine.

In campo, il ricorso a procedure di raccolta automatizzate può determinare un indebolimento e/o danno diretto dei tegumenti protettivi favorendo la

penetrazione delle spore fungine e la successiva germinazione. I “raccolti rasoterra” rappresentano un ulteriore fattore di rischio di contaminazione da parte di micromiceti poiché il terreno è notoriamente contaminato da tali microrganismi. Fattori biologici e, precisamente, la presenza di colture maggiormente suscettibili all’infezione fungina rispetto ad altre, possono pregiudicare la contaminazione da micotossine lungo la filiera agroalimentare; a tal riguardo, ad esempio, sono state individuate varietà di arachidi dotate di baccelli con tegumenti ispessiti e maggiormente resistenti alla colonizzazione da parte di *Aspergillus flavus*.

9.4 VIE DI TRASMISSIONE ED EFFETTI SULLA SALUTE OCCUPAZIONALE

Nella popolazione generale l'esposizione a micotossine avviene principalmente attraverso la catena alimentare, tramite ingestione di alimenti contaminati (prodotti agricoli o prodotti alimentari derivanti da animali nutriti con colture contaminate), e gli effetti sulla salute che ne derivano sono ampiamente riconosciuti e sottoposti a un rigoroso controllo normativo nella maggior parte dei Paesi occidentali.

In ambito lavorativo e, in particolare, nel settore agroalimentare, un crescente interesse sta suscitando la possibile esposizione a micotossine per via inalatoria. Tali metaboliti, sebbene poco volatili a causa del loro elevato peso molecolare, possono diffondersi nell'aria ambiente se adesi a particelle (spore, frammenti fungini, conidi, detriti non organici) che agiscono da vettori per il sistema respiratorio. Le particelle di piccole dimensioni (< 5µm) sono in grado di raggiungere le vie più profonde, fino agli alveoli polmonari, e interferire con la risposta immunitaria.

In minor misura, è stata dimostrata la possibilità di esposizione per via cutanea, soprattutto negli ambienti lavorativi in cui l'utilizzo di indumenti corti espone estese zone cutanee alla deposizione del particolato.

Superfici, attrezzature e macchinari di lavoro possono rappresentare un ulteriore veicolo di trasmissione (contatto indiretto).

Per quanto concerne le patologie indotte a seguito di inalazione di particelle contaminate da micotossine, studi sperimentali *in vitro* e *in vivo* riportano irritazione delle mucose, danno agli epitelii, effetti endocrini, reazioni sistemiche (febbre, nausea, affaticamento), immunosoppressione, effetti immunotossici e nefrotossici (insufficienza renale acuta), esiti riproduttivi e cancro. Relativamente a quest'ultimo aspetto, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) ha classificato alcune micotossine come di Gruppo 1, cancerogene per l'uomo (aflatossine), e di Gruppo 2B, possibilmente cancerogene per l'uomo (fumonisine B1, ocratossina A) [url: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>].

Nel settore agroalimentare, l'esposizione a micotossine aerodisperse è ritenuta responsabile di diverse manifestazioni patologiche, tra cui effetti irritativi da

polveri di granaglie, sintomi respiratori correlati alla bronchite cronica, al disturbo asmatico e al deficit delle funzioni polmonari (in caso di esposizioni continuative a polveri di grano), sindrome da polveri organiche tossiche-ODTS (frequente nei lavoratori esposti a polveri di cereali e fieno), immunosoppressione e neoplasie (con percentuali maggiori negli addetti alla lavorazione delle arachidi).

Studi di settore indicano, inoltre, che le micotossine possano giocare un ruolo importante nello sviluppo di un complesso di sintomatologie note con il termine di *Sick Building Syndrome* (febbre, mal di testa e astenia), ipotizzando un potenziale rischio di esposizione a tali agenti di rischio anche per gli occupanti di ambienti indoor [12].

In caso di esposizione cutanea, le micotossine possono accumularsi e persistere nelle cellule epidermiche causando morte cellulare e tumori della pelle.

La severità delle suddette patologie dipende da diversi fattori tra i quali la tossicità della micotossina, via, durata e intensità dell'esposizione, età e stato di salute dell'ospite, nonché dall'effetto sinergico di altre sostanze chimiche, comprese altre micotossine (co-esposizione).

9.5 PROCEDURE LAVORATIVE A RISCHIO ESPOSITIVO

L'esposizione ad aerosol contaminati da micotossine può verificarsi nel contesto di procedure operative che prevedono la manipolazione di materiali suscettibili alla contaminazione fungina.

Pertanto, i lavoratori a rischio espositivo risultano essere gli addetti alla coltivazione, raccolta, manipolazione o molitura di prodotti di origine vegetale, alle attività di stoccaggio presso silos e magazzini, di carico e scarico in mezzi deputati al trasporto di cereali (es. autotrasportatori), alla produzione e distribuzione di mangimi animali.

In particolare, le attività a maggior rischio espositivo sono quelle che generano la dispersione di ingenti quantità di polveri (es. versamento, movimentazione e selezione delle granaglie, molitura di grano e orzo, svuotamento degli essiccatori e dei silos). Le operazioni di pulizia e manutenzione degli impianti di produzione, dei silos vuoti, dei contenitori del mangime per uso zootecnico rappresentano anch'esse attività a rischio espositivo.

Tra le categorie occupazionali potenzialmente a rischio anche gli operatori addetti alle attività di trattamento e smaltimento dei rifiuti vegetali nonché alla manutenzione di macchinari e attrezzature utilizzati per l'agricoltura, la silvicoltura e la zootecnia.

Infine, mansioni comuni a tutti gli impianti di trasformazione agricola e alimentare, quali le attività di pulizia, che spesso prevedono lo spazzamento o la rimozione della polvere mediante compressori d'aria, sono ben noti per essere associati a un'alta esposizione a polvere contaminata da micotossine per via inalatoria [13].

La Tabella 2 riporta i livelli medi di micotossine rilevati nella polvere aerodispersa e/o sedimentata durante specifiche procedure operative.

Tabella 2		
Concentrazioni riscontrate nel contesto di specifiche procedure lavorative		
Procedure operative/mansioni	Concentrazioni	Riferimenti bibliografici
Raccolta e scarico del grano	AFB1: 0,04 - 92 ng m ³	[10]
Manipolazione del grano	OTA: 0,002 ng m ³ - 0.4 ng m ³ DON: 2 ng m ³ - 416 ng m ³ ZEN: 1 ng m ³ - 126 ng m ³	[7]
Molitura arachidi	AFB1: 0,11 pg/m ³ AFB2: < LOQ	[6]
Procedure di pulizia (industria cerealicola)	DON: 65 ng/m ³ NIV: 59 ng/m ³ ZEN: 3 ng/m ³ .	[4]
Scarico del grano	DON: 53 ng m ³ NIV: 46 ng m ³ ZEN: 4 ng m ³	[4]
Pulizia elevatori per grano	DON: 28,3 - 108 ng m ³ AFB1: 80,0 - 120 pg m ³ FB1: 97,0 - 873 pg m ³ OTA: 38,0 - 194 ng m ³ ZEN: 32,1 - 285 ng m ³	[5]
Pulizia elevatori per grano	DON: LOQ-80,1 ng m ³ ZEN: LOQ-778 ng m ³ FB1: LOQ-248 ng m ³ T-2: LOQ-417 ng m ³ HT-2: LOQ-2232 ng m ³	[5]
Manipolazione farine uso umano (miscelazione, impasto, cottura pizze e pane)	DON: <18 - 170,1 ng/g ZEA: < 1,2 - 3,3 ng/g,	[3]

9.6 MONITORAGGIO AMBIENTALE: CRITICITÀ E PROSPETTIVE DI VALUTAZIONE

Il rilevamento di micotossine aerodisperse in un ambiente complesso come quello agroalimentare deve tener conto di vari fattori tra cui la possibilità di una co-esposizione a differenti metaboliti; pertanto, in sede di valutazione del rischio, dovrebbero essere presi in considerazione eventuali effetti sinergici o additivi.

Data la complessità della problematica, non sono a oggi disponibili metodologie di campionamento e di analisi standardizzate e universalmente condivise con conseguente difficoltà di comparazione dei risultati scaturiti dalle attività di monitoraggio e di correlazione tra esposizione ambientale ed effetti sanitari osservati.

Relativamente alle procedure di campionamento, dalla letteratura scientifica internazionale, emerge che la raccolta di polveri sedimentate su superfici e/o attrezzature di lavoro (campionamento passivo) rappresenta l'approccio più comune, seguito dal campionamento attivo del bioaerosol mediante gorgogliatori (*impingers*) o impattori d'aria su agar nutrienti o gelatine. Tali dispositivi sono spesso affiancati da campionatori personali, equipaggiati con frazionatori di particelle inalabili posti in prossimità dell'area respiratoria (naso-bocca) del lavoratore, che consentono di caratterizzare puntualmente i livelli di esposizione durante l'intero turno lavorativo.

Negli ultimi anni è in forte tendenza l'utilizzo simultaneo dei differenti metodi di raccolta (passivi e attivi) poiché tale approccio permette di ottenere una caratterizzazione del rischio espositivo più accurata e realistica.

Dal punto di vista analitico, la cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC) accoppiata alla spettrometria di massa tandem (HPLC-MS/MS) rappresenta la strumentazione dominante per l'analisi delle micotossine poiché consente di rilevare, con alta sensibilità e selettività, più tossine in un unico *step*. La *Molecular Polymerase Chain Reaction* (PCR) viene spesso applicata per identificare le muffe come surrogati delle micotossine; trattasi, tuttavia, di un approccio indiretto sempre meno utilizzato dal momento che l'individuazione di specie tossigene non può, in generale, predire la presenza di micotossine.

Studi di settore sottolineano, inoltre, l'importanza di prevedere anche un monitoraggio biologico dei lavoratori potenzialmente esposti che, a differenza del monitoraggio ambientale, fornisce una misura diretta dell'esposizione mediante analisi di indicatori in fluidi biologici (metaboliti nelle urine o IgG-IgE sieriche specifiche). Tuttavia, tale approccio deve necessariamente tener conto della tossico-cinetica della micotossina di interesse ai fini di una corretta interpretazione dei dati e puntuale identificazione delle sorgenti di esposizione (ambiente di lavoro o consumo di cibo).

Data la mancanza di procedure di valutazione univoche, alcuni autori ritengono che un possibile approccio da seguire potrebbe essere quello di adattare la norma UNI EN 689:2019 (Misurazione dell'esposizione per inalazione agli agenti chimici) alla valutazione dell'esposizione a micotossine per via inalatoria. Tale approccio prevede, tra l'altro, di misurare l'esposizione delle singole *working tasks* e di utilizzare i dati ottenuti per stimare i livelli medi di esposizione dell'intero turno lavorativo. Ulteriormente, l'individuazione di gruppi di esposizione simili (SEG), ovvero lavoratori con lo stesso profilo di esposizione per l'agente di rischio a causa della somiglianza e della frequenza dei compiti svolti, da sottoporre a

monitoraggio in rappresentanza dell'intera categoria professionale, potrebbe semplificare significativamente la valutazione dell'esposizione.

Oltre alle suddette problematiche vi sono ulteriori criticità dovute alla possibile presenza nei campioni ambientali di micotossine cosiddette "mascherate" (derivanti da micotossine native ma, a differenza di queste, coniugate con zuccheri o proteine), che si formano durante i processi di trasformazione alimentare e che, data la loro differente natura chimica, spesso sfuggono ai protocolli analitici. Tali micotossine si comportano come quelle native e, analogamente a esse, possono essere veicolate, inalate, trasportate lungo tutta la filiera agroalimentare e causare effetti avversi sui lavoratori esposti.

L'indisponibilità di metodologie di valutazione univoche rende difficoltoso definire limiti di esposizione occupazionale a cui rapportare i dati ambientali. Al momento, l'unico approccio possibile è l'eliminazione del rischio o, ove non attuabile, la sua riduzione al più basso livello possibile. In letteratura, è stata proposta un'estensione del concetto TTC (soglia di preoccupazione tossicologica) alle sostanze inalate, convertendo l'unità di misura da $\mu\text{g}/\text{persona}/\text{giorno}$ a ng/m^3 (concentrazione nell'aria), tenendo conto dell'assunzione per vie diverse dall'inalazione e assumendo implicitamente una biodisponibilità del 100% delle sostanze tossiche inalate. La concentrazione risultante di "Nessuna Preoccupazione Tossicologica" (CoNTC), pari a $30 \text{ ng}/\text{m}^3$, è una concentrazione generica che presumibilmente non rappresenta un pericolo per l'uomo [14]. È bene sottolineare che esposizioni reali o potenziali al di sopra del CoNTC non predicano necessariamente effetti avversi sulla salute; tuttavia, un suo superamento suggerisce di mettere in atto misure di prevenzione e contenimento della polverosità ambientale e di effettuare valutazioni più dettagliate del rischio di esposizione.

9.7 MISURE DI PREVENZIONE E CONTROLLO

La prevenzione e il controllo della contaminazione da funghi filamentosi e micotossine in ambito agroalimentare è sicuramente di difficile attuazione sia per l'ubiquitarietà e la molteplicità di tali agenti di rischio, che per la forte influenza che i parametri microclimatici e la tipologia del substrato esercitano sulla loro sintesi e rilascio nell'ambiente.

La normativa nazionale di riferimento in tema di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, il d.lgs. 81/2008 e s.m.i., impone l'eliminazione del rischio di esposizione o, qualora non realizzabile, la sua riduzione al più basso livello possibile. Non essendo possibile eliminare totalmente la presenza di muffe è possibile contenerne la proliferazione, e di conseguenza, la sintesi di micotossine attraverso opportune strategie quali il mantenimento negli ambienti confinati (es. magazzini) di condizioni microclimatiche e ambientali idonee (bassi livelli di temperatura e

umidità, pH acido, illuminazione, ventilazione, ecc.), sebbene le esigenze di tali microrganismi varino notevolmente da specie a specie.

Il principale controllo della contaminazione deve avvenire sul campo anche se condizioni non idonee di stoccaggio e/o conservazione delle derrate potrebbero favorire la contaminazione fungina e la conseguente sintesi di micotossine.

Di seguito si riportano alcune misure di prevenzione e controllo in grado di ridurre la contaminazione fungina e tutelare i lavoratori del settore agroalimentare dall'esposizione a micotossine aerodisperse:

- monitoraggio periodico dei livelli di temperatura e umidità nei locali di stoccaggio (es. magazzini);
- controllo periodico delle condizioni igieniche di contenitori e mezzi utilizzati per il trasporto del raccolto dal campo agli impianti di essiccazione/stoccaggio. Questi devono essere mantenuti asciutti e privi di residui e/o insetti;
- individuazione di misure orientate a limitare la contaminazione dei prodotti agricoli (tecniche agronomiche), a risanare le granaglie dalle muffe (es. attraverso l'uso di macchine vagliatrici a elevata efficienza), ad abbattere o diluire la dispersione di polveri attraverso sistemi trattamento aria, ventilazione, aspirazione, idonei ricambi d'aria, ecc.;
- ricorso, ove possibile, a cabine ventilate, considerate validi presidi in grado di ridurre i livelli di esposizione;
- attività di formazione e informazione volte ad aumentare la consapevolezza circa questa tipologia di rischio;
- utilizzo di idonei DPI per la protezione delle vie respiratorie (facciali filtranti) nel contesto di attività lavorative a rischio;
- adeguato programma di sorveglianza sanitaria che preveda, ad esempio, il dosaggio di specifici indicatori di effetto precoce nei fluidi biologici del personale potenzialmente esposto.

9.8 CONCLUSIONI E PROSPETTIVE DI RICERCA

Ulteriori indagini sul campo e una più ampia conoscenza degli effetti sulla salute a seguito dell'inalazione di micotossine sono necessarie e utili per individuare con maggiore accuratezza le mansioni/procedure operative a maggior rischio espositivo nonché per stabilire i limiti di esposizione occupazionale e prevenire effetti avversi. Pertanto, è necessario disporre di metodologie di valutazione univoche e globalmente condivise che consentano una comparazione e riproducibilità dei dati.

Dal punto di vista analitico, gli approcci convenzionali dovrebbero essere affiancati da metodologie innovative; gli strumenti OMICs come la genomica, la proteomica,

la trascrittomiche e la metabolomiche possono essere utilizzati per classificare e quantificare i geni coinvolti nella biosintesi delle micotossine.

Un'interessante attività di ricerca è rappresentata dallo sviluppo di sistemi sensoriali per la rilevazione rapida e la gestione del rischio. Tuttavia, l'accuratezza predittiva dei nasi elettronici sviluppati finora è ancora limitata e inadatta all'applicazione in campo. Ulteriori ricerche devono concentrarsi sui materiali dei sensori, sull'analisi dei dati e sui sistemi di riconoscimento dei modelli.

9.9 BIBLIOGRAFIA

- [1] Eskola M, Kos G, Elliott CT et al. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2020;60(16):2773-2789. Doi: 10.1080/10408398.2019.1658570.
- [2] Viegas C, Faria T, Caetano LA et al. Characterization of occupational exposure to fungal burden in portuguese bakeries. *Microorganisms.* 2019;7(8):234. Doi: 10.3390/microorganisms7080234.
- [3] Viegas C, Fleming GTA, Kadir A et al. Occupational exposures to organic dust in irish bakeries and a pizzeria restaurant. *microorganisms.* 2020;8(1):118. Doi: 10.3390/microorganisms8010118.
- [4] Niculita-Hirzel H, Hantier G, Storti F et al. Frequent occupational exposure to fusarium mycotoxins of workers in the Swiss grain industry. *Toxins (Basel).* 2016;8(12):370. Doi: 10.3390/toxins8120370.
- [5] Ndaw S, Remy A, Jargot D et al. Mycotoxins exposure of french grain elevator workers: biomonitoring and airborne measurements. *Toxins (Basel).* 2021;13(6):382. Doi: 10.3390/toxins13060382.
- [6] Traverso A, Bassoli V, Cioè A et al. Assessment of aflatoxin exposure of laboratory worker during food contamination analyses. Assessment of the procedures adopted by an A.R.P.A.L. laboratory (Liguria Region Environmental Protection Agency). *Med Lav.* 2010;101(5):375-80.
- [7] Mayer S, Curtui V, Usleber E et al. Airborne mycotoxins in dust from grain elevators. *Mycotoxin Res.* 2007;23(2):94-100. Doi: 10.1007/BF02946033.
- [8] Mo X, Lai H, Yang Y et al. How does airway exposure of aflatoxin B1 affect serum albumin adduct concentrations? Evidence based on epidemiological study and animal experimentation. *J Toxicol Sci.* 2014; 39(4):645-53. Doi: 10.2131/jts.39.645.
- [9] Lai H, Mo X, Yang Y et al. Association between aflatoxin B1 occupational airway exposure and risk of hepatocellular carcinoma: a case-control study. *Tumour Biol.* 2014;35(10):9577-84. Doi: 10.1007/s13277-014-2231-3.
- [10] Selim MI, Juchems AM, Pependorf W. Assessing airborne aflatoxin B1 during on-farm grain handling activities. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1998;59(4):252-6. Doi: 10.1080/15428119891010514.

- [11] Despot DJ, Kocsubé S, Bencsik O et al. Species diversity and cytotoxic potency of airborne sterigmatocystin-producing *Aspergilli* from the section *Versicolores*. *Sci Total Environ*. 2016;562:296-304. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.183.
- [12] Straus DC. Molds, mycotoxins, and sick building syndrome. *Toxicol Ind Health*. 2009;25(9-10):617-35. Doi: 10.1177/0748233709348287.
- [13] Schlosser O, Robert S, Noyon N. Airborne mycotoxins in waste recycling and recovery facilities: Occupational exposure and health risk assessment. *Waste Manag*. 2020;105:395-404. Doi: 10.1016/j.wasman.2020.02.031.
- [14] Hardin BD, Robbins CA, Fallah P et al. The concentration of no toxicologic concern (CoNTC) and airborne mycotoxins. *J Toxicol Environ Health A*. 2009;72(9):585-98. Doi: 10.1080/15287390802706389.

10 – TUTELA DELLA SALUTE DEI LAVORATORI IN OTTICA ONE HEALTH

M.C. D'Ovidio¹, M. Gherardi¹, C. Grandi¹, P. Tomao¹, N.Vonesch¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

La visione olistica One Health è riconosciuta ufficialmente dal Ministero della salute italiano, dalla Commissione europea e da tutte le organizzazioni internazionali quale strategia rilevante in tutti i settori che beneficiano della collaborazione tra diverse discipline (medicina, veterinaria, scienze ambientali, economia, sociologia, ecc.) ed è un approccio ideale per raggiungere la salute globale perché affronta i bisogni delle popolazioni più vulnerabili.

Il PNP 2020 - 2025 rafforza tale visione e promuove l'applicazione di un approccio multidisciplinare, intersettoriale e coordinato per affrontare i rischi potenziali o già esistenti che hanno origine dall'interfaccia tra ambiente, animali, ed ecosistemi.

Per la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori, come noto, il riferimento legislativo è rappresentato dal d.lgs. 81/2008 e s.m.i. [1], che contiene sia i principi generali sia le disposizioni relative a singoli fattori di rischio o classi di fattori di rischio. Sono chiaramente individuati gli attori della prevenzione, i loro obblighi e le modalità della loro interazione (datore di lavoro, dirigenti e preposti, RSPP, ASPP, lavoratore, rappresentante dei lavoratori per la sicurezza, medico competente). Un punto che va sempre ribadito è l'obbligo di valutare da parte del datore di lavoro *tutti* i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori (art. 28). La valutazione del rischio rappresenta quindi il primo e principale obbligo del datore di lavoro. Sulla base delle risultanze della valutazione vengono infatti identificate e applicate le misure di prevenzione (eliminazione o riduzione dei rischi alla fonte) e protezione (riduzione o eliminazione del contatto tra il fattore di rischio e il lavoratore), sia collettive (misure tecniche, organizzative e procedurali) che individuali (ad esempio uso di dispositivi di protezione individuale - DPI). Tra le misure di tutela un ruolo particolare è rivestito dalla sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a specifici fattori di rischio e la informazione/formazione dei lavoratori. L'informazione e la formazione, nel d.lgs. 81/2008 e s.m.i., sono disciplinate tanto a livello dei principi generali di tutela (artt. 36 e 37 del Titolo I) quanto a livello dei singoli Capi e Titoli riferiti a specifici agenti di rischio o a specifiche classi di agenti di rischio. L'informazione e la formazione dei lavoratori è un obbligo in capo al datore di lavoro, ma, per la parte di propria competenza (ossia per gli aspetti più strettamente sanitari), è appannaggio del medico competente (art. 25, comma a), costituendo parte integrante dei compiti di questa figura professionale.

Per la valutazione e la gestione di rischi specifici il d.lgs. 81/2008 e s.m.i. fa esplicito riferimento al ricorso a norme tecniche armonizzate (ad esempio norme Uni En,

norme Cei, norme Iso), nonché a linee guida e a documenti di buone prassi (se disponibili). Implicito è il riferimento a istruzioni d'uso e manuali operativi per quanto riguarda attrezzature di lavoro, sorgenti di esposizione, DPI. Infine, per quanto non eventualmente ancora coperto dalle fonti ora citate, è sottinteso il ricorso alla letteratura scientifica più aggiornata.

Il riferimento a norme tecniche, linee guida, buone prassi, ecc. è ancora più rilevante in considerazione del fatto che non per tutti i rischi esiste un capo o un titolo dedicato, ad esempio per alcuni rischi di natura fisica, inclusi il microclima e la radiazione solare. Al riguardo si richiamano importanti documenti tecnici, quali le Faq (*Frequently Asked Questions*) del Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome - Gruppo tematico agenti fisici, in particolare quelle relative al microclima e alla radiazione solare in ambiente di lavoro (disponibile al *link*: https://www.portaleagentifisici.it/filemanager/userfiles/web_xxx_FAQ_totale_5_parti_2021_08_23.pdf?lg=IT). Più in generale, un riferimento imprescindibile nel nostro Paese è dato dal Portale agenti fisici (PAF, al *link*: <https://www.portaleagentifisici.it/index.php?lg=IT>), in particolare per quanto riguarda il microclima (al *link*: https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_index.php?lg=IT) e la radiazione solare (al *link*: https://www.portaleagentifisici.it/fo_ro_naturali_index.php?lg=IT).

Sempre in tema di siti web a supporto delle attività di valutazione, prevenzione e gestione del rischio in agricoltura, si segnalano i siti:

- “Workclimate 2.0” (Url:<https://www.workclimate.it/>), sviluppato nell’ambito del progetto WORKCLIMATE 2.0 – Temperature estreme e impatti su salute, sicurezza e produttività aziendale: strategie di intervento e soluzioni tecnologiche, informative e formative;
- “Prevenzione agricoltura” (<https://www.prevenzioneagricoltura.it/>), un modello di sistema informativo a supporto delle attività di prevenzione e gestione dei rischi in agricoltura, concepito nell’ambito di un progetto CCM finanziato dal Ministero della salute con destinatario istituzionale il Dipartimento Dimeila dell’Inail, nel quadro del Piano nazionale prevenzione agricoltura e silvicoltura e dei lavori del Coordinamento tecnico interregionale per la prevenzione nei luoghi di lavoro.

In molti contesti lavorativi la valutazione dei rischi può essere complessa. Tra questi sono senz’altro compresi luoghi di lavoro all’aperto, data la molteplicità degli agenti di natura fisica (microclima, radiazione solare), chimica (inquinanti in fase gas e vapore e materiale particolato, incluso quello fine, ultrafine e il nanoparticolato) e biologica (agenti e vettori di malattia, allergeni) potenzialmente presenti e i livelli, anche elevati, di esposizione dei lavoratori ad alcuni di essi. E si guardi per questo proprio al settore agricoltura nel suo insieme, inclusi gli allevamenti, che configura scenari espositivi particolarmente complessi a causa della molteplicità delle mansioni e dell’ampia diversificazione delle condizioni

strutturali e operative, anche con forte connotazione territoriale. In questo settore, i dati Inail sulle malattie professionali indicano ai primi posti (anni di segnalazione 1999 - 2019) le patologie muscoloscheletriche (per esposizione a sovraccarico biomeccanico, posture incongrue e movimenti ripetuti), seguite dalle sordità (esposizione a rumore) (Scheda MalProf Inail, 2021). Sempre dai dati MalProf, a fronte di percentuali molto basse se non addirittura trascurabili di altri tipi di patologie, come altri disturbi dell'orecchio, tumori maligni della pleura, asma, tumori maligni della cute, tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni, alveolite allergica estrinseca e, genericamente, "altre malattie", quelle maggiormente associate all'agricoltura in base al valore del *Proportional Reporting Ratio (PRR)* e agli intervalli di confidenza (anni di segnalazione 1999 - 2019) risultano i tumori benigni della cute, l'alveolite allergica estrinseca, la cheratosi attinica e il morbo di Parkinson, a testimoniare che molti rischi del settore sono di difficile individuazione, anche per il periodo di latenza che intercorre tra l'esposizione e l'insorgenza della patologia stessa. Si consideri come esempio cardine il tema del rischio chimico di esposizione a pesticidi, fertilizzanti e altre sostanze, con prevalenza di basse dosi di esposizione a miscele complesse, ma anche il rischio fisico in generale e il rischio biologico.

In questa ottica, il processo di valutazione del rischio richiede competenze altamente professionali e un aggiornamento continuo delle metodologie applicate alla luce delle nuove conoscenze tecnico-scientifiche, sia per quanto riguarda la valutazione dell'esposizione sia per quanto riguarda lo studio degli effetti dell'esposizione stessa, ambiti ai quali la ricerca contribuisce in modo determinante.

Il settore dell'igiene del lavoro è investito da problematiche legate al monitoraggio degli agenti chimici, fisici, biologici in condizioni sempre più complesse di multi-esposizione a basse dosi a numerosi agenti di rischio presenti contemporaneamente ed è chiamato a rispondere alla necessità di investigare appropriatamente nuovi agenti di rischio e rischi emergenti. D'altra parte, la medicina del lavoro è da tempo investita da problematiche legate all'idoneità dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio e all'individuazione dei potenziali effetti a breve, medio e lungo termine dovuti a esposizioni multiple con profili temporali complessi. In questi contesti si colloca anche la ricerca di affidabili biomarcatori: questi possono essere di esposizione, e ricadono anche nella prassi dell'igiene del lavoro in quanto complementari al monitoraggio ambientale (integrando diverse vie di assorbimento), di effetto precoce e di suscettibilità individuale. I biomarcatori una volta identificati e dopo aver completato un percorso di validazione, possono essere introdotti nella pratica della medicina del lavoro e sono in grado di estendere, affinare e rendere sempre più routinario il ricorso al monitoraggio biologico.

Il tema della sorveglianza sanitaria, soprattutto per l'aspetto che riguarda la formulazione del giudizio di idoneità alla mansione è caratterizzato da una complessità crescente, anche per la diffusione sempre maggiore di patologie

multifattoriali che riconoscono tra le concause fattori di rischio “subdoli” e di difficile interpretazione. Va in questa direzione il recente recepimento della direttiva (Ue) 2022/431 nel d.lgs. 135/2024, che include le sostanze chimiche reprotossiche di Categorie 1A e 1B, secondo la classificazione armonizzata europea, nell’ambito degli adempimenti ai sensi del d.lgs.81/2008 e s.m.i. Si pongono pertanto nuove sfide per la sorveglianza sanitaria, dato che dovranno essere considerati in modo più approfondito e circostanziato gli aspetti riguardanti gli effetti sulla salute riproduttiva.

In fase di sorveglianza sanitaria si prospetta pertanto sempre più complessa la valutazione del rischio individuale, soprattutto in relazione ai profili di suscettibilità nei confronti di esposizioni combinate multiple e variabili sul piano spazio-temporale.

Nel contesto dell’agricoltura, sia per le lavorazioni che si svolgono in ambienti aperti sia per gli ambienti chiusi o semichiusi, un ulteriore fattore di criticità è rappresentato dal cambiamento climatico, che si potrebbe quasi definire *un meta-rischio*, dato il suo impatto a livello espositivo per quanto riguarda numerosi agenti di natura fisica, chimica e biologica. Le tematiche legate al monitoraggio ambientale degli agenti di rischio sono pertanto direttamente coinvolte e richiedono verosimilmente una rimodulazione complessiva di diversi aspetti applicativi per tener conto di ambienti caratterizzati da un clima che cambia. Si ripropone ad esempio l’esigenza di sistemi multisensori, “intelligenti” e flessibili, controllabili da remoto, che possano effettuare valutazioni integrate di esposizioni complesse e variabili.

I temi sopra citati tendono a rendere sfumati e di fatto superano i confini disciplinari che finora hanno caratterizzato l’igiene e la medicina del lavoro, sottolineando la necessità di un ricorso sempre più spinto all’interdisciplinarietà e alla cooperazione tra le diverse figure professionali della prevenzione. Lo sforzo in atto a livello di Organismi internazionali, gruppi di ricerca e molti operatori della prevenzione è proprio quello di integrare ambiti fino ad ora pensati e gestiti in modo separato nell’affrontare la valutazione e gestione dei rischi. Sono quindi emersi concetti, ancora però carenti in termini di risvolti operativi, quali quelli di *one health*, *eco health*, *global health*, *planetary health* [2,3], *total worker health* (<https://www.cdc.gov/niosh/twh/index.html>)

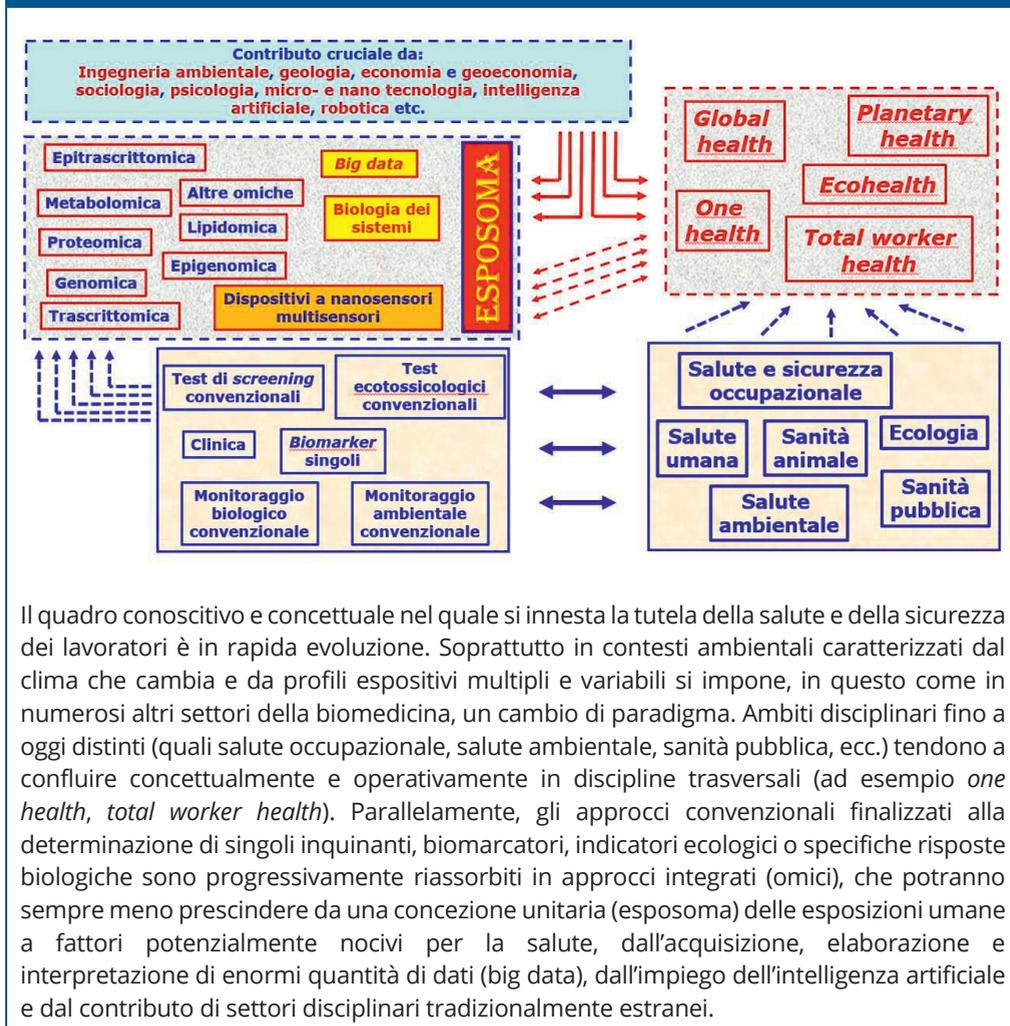
Uno degli aspetti di ricerca maggiormente innovativi che sta affrontando il Dipartimento di medicina, epidemiologia e igiene del lavoro e ambientale dell’Inail riguarda l’introduzione degli approcci *omici*, ossia di quell’insieme di principi operativi e di strumenti biotecnologici in grado di valutare globalmente un’intera classe di macromolecole biologiche e/o l’insieme dei metaboliti presenti a livello di singole cellule e tessuti, in termini di andamento temporale e soprattutto in risposta a esposizioni singole o combinate. Questi approcci stanno rivoluzionando l’intero settore della clinica e della medicina preventiva, comprese la medicina occupazionale e ambientale, e sono affiancate con sempre maggiore successo agli

studi di esposizione eseguiti attraverso il monitoraggio ambientale e il biomonitoraggio di indicatori di dose e di effetto.

Particolarmente importanti al riguardo, oltre alla *genomica*, sono le tecniche *proteomiche*, *metabolomiche* e, più recentemente, *epigenomiche* (ossia quelle in grado di rilevare singole categorie di modificazioni epigenetiche, quali i *pattern* di metilazione del genoma e i profili dei microRna). Al di là delle problematiche di natura tecnico-operativa e dei costi, che concorrono a ostacolare l'applicazione delle *omiche*, la maggior limitazione attuale legata all'utilizzo di questi approcci è connessa all'interpretazione in termini funzionali e fisiopatologici dei risultati che emergono dall'uso delle *omiche* stesse [4,5] e che richiedono la elaborazione di una gran quantità di informazioni per correlare i risultati stessi a una esposizione lavorativa a uno specifico agente di rischio o a più agenti.

Questo aspetto si ricollega immediatamente alla necessità di raccogliere una quantità enorme di dati, elaborarli ed estrarne il significato biologico e biochimico in un particolare contesto fisiopatologico o ambientale, investe cioè direttamente la tematica dei *big data* e dei collegati strumenti statistici per il loro trattamento, anche in relazione ad aspetti di medicina di precisione, di medicina personalizzata [6] e di chemiometria. Connesso a tutto ciò è l'ambito cosiddetto della biologia dei sistemi, una branca trasversale della biologia che esiste da tempo ma che è in rapida espansione, il cui scopo consiste sostanzialmente nella comprensione funzionale sempre più integrata dei sistemi biologici (e anche dei sistemi ecologici). La Figura 1 riassume schematicamente questo importante e multilaterale cambio di paradigma.

Figura 1 Evoluzione concettuale e di approccio metodologico nell'ambito della tutela della salute e sicurezza dei lavoratori



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Un altro concetto, che chiude il cerchio di quanto finora illustrato, è quello di *esposoma*. Introdotto per la prima volta da Wild [7], l'*esposoma* fa riferimento alla totalità delle esposizioni esperite da un organismo nel corso della propria vita, compresa l'epoca prenatale. Le esposizioni non sono solo quelle di natura ambientale (sottoinsieme detto *esposoma ambientale*) o occupazionale (*esposoma occupazionale*), ma anche tutte quelle connesse agli stili di vita, all'ambiente familiare e sociale. Successivamente, il concetto è stato ulteriormente esteso ricomprendendo nell'*esposoma* anche la risposta combinata

dei sistemi biologici (in particolare dell'organismo umano) al complesso delle esposizioni, investendo direttamente il campo delle *omiche*, dato che solo tramite questi approcci è possibile evincere la risposta biologica complessiva a determinati profili espositivi, peraltro come detto altamente fluttuanti e variabili nel tempo.

Quanto delineato sopra è ovviamente un tendenziale di sviluppo, che non ha ancora, per le motivazioni indicate, ricadute operative nell'ambito della valutazione dei rischi e della predisposizione delle misure di prevenzione e protezione dei lavoratori, che si concretizzeranno quando l'impostazione descritta in precedenza potrà essere fattualmente calata nella gestione della salute e della sicurezza in ambito occupazionale. È auspicabile che la crescente necessità di valutare in modo integrato i rischi, l'affermazione progressiva di un concetto globale di salute anche in ambito occupazionale (quale quello noto come *total worker health*) [8] e lo svolgimento di mansioni in contesti ambientali sempre più influenzati dal clima che cambia inducano un'accelerazione in tal senso, soprattutto per quanto riguarda la valutazione individuale dei rischi e le pratiche di sorveglianza sanitaria.

10.1 BIBLIOGRAFIA, SITOGRAFIA, RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81. Testo coordinato con il d.lgs. 3 agosto 2009, n. 106. Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Decreto integrativo e correttivo pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 180 del 05 agosto 2009 - Suppl. Ordinario n. 142/L.
- [2] Pungartnik PC, Abreu A, Dos Santos CVB et al. The interfaces between One Health and Global Health: A scoping review. *One Health*. 2023;16:100573.
- [3] Weatherly C, Carag J, Zohdy S et al. The mental health impacts of human-ecosystem-animal relationships: A systematic scoping review of Eco-, Planetary, and One Health approaches. *One Health*. 2023;17:100621.
- [4] Jung GT, Kim KP, Kim K. How to interpret and integrate multi-omics data at systems level. *Anim Cells Syst (Seoul)*. 2020;24(1):1-7. doi: 10.1080/19768354.2020.17213211.
- [5] Subramanian I, Verma S, Kumar S et al. Multi-omics data integration, interpretation, and its application. *Bioinform Biol Insights*. 2020;14:1177932219899051.
- [6] Hassan M, Awan FM, Naz A et al. Innovations in genomics and big data analytics for personalized medicine and health care: a review. *Int J Mol Sci*. 2022;23(9):4645.
- [7] Wild CP. Complementing the genome with an "exposome": the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2005;14(8):1847-1850.
- [8] National Institute of Occupational Safety and health (NIOSH) About the Total Worker Health® Approach [Internet]. 2023. Url: <https://www.cdc.gov/niosh/twh/about/index.html> [consultato agosto 2024].

INAIL - Direzione centrale pianificazione e comunicazione

Piazzale Giulio Pastore, 6 - 00144 Roma
dcpianificazione-comunicazione@inail.it

www.inail.it

ISBN 978-88-7484-909-3