



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie

Contributo di oli essenziali ed altre sostanze naturali alla protezione sostenibile delle piante dalle malattie

Essential oils and other natural compounds for a sustainable plant disease management

Relatore:

Prof. Gianfranco Romanazzi

Tesi di laurea di:

Claudio Cappella

Anno Accademico 2019/2020

INDICE

	Pag.
RIASSUNTO	4
ABSTRACT	5
1. CONTESTO GLOBALE	7
1.1. Introduzione	7
1.2. I Sustainable Development Goals	13
1.3. Aspetti Climatici	24
1.4. Biodiversità	31
2. DIFESA DELLE PIANTE	37
2.1. Storia di malattie ed interventi epocali	39
2.2. Difesa Integrata	44
2.2.1. PAN	50
2.2.2. Protocolli e Standard Internazionali	54
2.2.3. Il Prodotto Biologico	61
2.2.4. Impatti ambientali e socio-economici	70
3. OLI ESSENZIALI	76

3.1. Introduzione	76
3.2. Caratterizzazione chemiotipica	79
3.2.1. <i>Controllo dello stato qualitativo</i>	81
3.2.2. <i>Materiali e metodi</i>	82
3.3. Ruolo ecosistemico	84
3.4. Utilizzo	87
3.4.1. <i>Agronomico</i>	90
3.4.1.1 Casi studio	95
3.4.2. <i>Alimentare</i>	99
3.4.3. <i>Medico</i>	102
4. DERIVATI NATURALI	104
4.1. Estratti vegetali	113
4.1.1. <i>Estratti di aglio</i>	119
4.1.2. <i>Neem</i>	122
4.2. Induttori di resistenza	126
4.2.1. <i>Vitamine</i>	132
4.2.1. <i>Estratti di Alghe</i>	134
4.2.3. <i>Chitosano</i>	135
CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	138
BIBLIOGRAFIA	140
SITOGRAFIA	145

RIASSUNTO

Nel seguente elaborato vengono esposte le ragioni per cui è necessario un cambiamento degli schemi guida cui la popolazione è abituata a far capo nel proprio vivere quotidiano. Eventi storici e situazioni attuali rammentano posizioni e strategie applicate fino a pochi anni fa, purtroppo deleterie dal punto di vista ambientale, mettendoli in relazione con lo sviluppo umano supportato dalla comunità vegetale.

Si vuole informare, sensibilizzare ma anche provocare il lettore al quale saranno fornite basi di riflessione e strumenti riguardo la minimizzazione degli impatti ambientali, per incentivare la sicurezza alimentare e l'efficienza tecnica. Dalle Nazioni Unite, alle singole associazioni nazionali, sorgono protocolli e disciplinari di produzione volti all'inserimento della sostenibilità nello stile di vita dell'uomo attuati per una crescita economica e sociale che prescinde una complicità globale nel raggiungimento di un obiettivo di sviluppo comune.

La patologia vegetale svolge un ruolo in prima linea nella lotta alle malattie che affliggono le piante ed intere comunità di esseri viventi. L'uso di derivati naturali, come gli oli essenziali, dimostrano efficacia paragonabile agli strumenti di sintesi chimica ai quali possono affiancarsi nella tutela sostenibile delle piante dalle malattie. Questi subiscono analisi, test e fasi di accreditamento per essere conformi alle attuali normative d'uso dei prodotti fitosanitari su efficacia e tossicità. Emerge quanto in fondo, la salvaguardia della biodiversità vada di pari passo con lo sviluppo del benessere economico e sociale di un'umanità in crescita.

ABSTRACT

In the following paper are exposed the reasons why it is necessary to change the points of view which the population is accustomed to relying in their daily lives. Historical events and current situations recall positions and strategies applied until few years ago, unfortunately deleterious for the environment, in relation to vegetal community supporting human development.

The aims are to inform, raise awareness but also provoke the reader, providing him bases for reflection and tools regarding the minimization of environmental impacts to encourage food safety and technical efficiency. From United Nations to individual national organizations, protocols and regulations arise to include sustainability through people lifestyle for an economic and social growth in a common development goal that disregards global complicity.

Plant pathology has the leading role against plant disease and indirectly also protecting entire communities of living being. The use of natural derivatives, like essential oils, prove to have an effectiveness comparable to chemical synthetic products appearing as an implementation of tools for sustainable management of plant disease. These products undergo analyzes, tests and accreditation phases to comply with current regulations for the use of phytosanitary products on efficacy and toxicity. Here emerges that the safeguarding of biodiversity goes hand in hand with the development of economic and social well-being in an exponentially growing population.

1. CONTESTO GLOBALE

1.1. Introduzione

Lo sviluppo umano, economico e sociale si basa sulla salute degli habitat naturali. La nostra terra infatti alimenta le industrie, fornisce acqua dolce, cibo, alloggio e mezzi di sussistenza garantendo diverse forme di reddito. Un ecosistema sano è in grado di ridurre significativamente l'impatto di alluvioni, tempeste catastrofiche e fenomeni più o meno intensi di siccità, oltre a possedere la capacità di compensare grandi quantità di CO₂. Le piante sono infatti la fonte degli equilibri che governano le leggi in tutti gli ambienti della terra; l'unico vero ago della bilancia cui far riferimento. La cultura di molti paesi industrializzati ha col tempo generato una visione riduttiva e marginale di questi coinquilini che, siccome "immobili", vengono associati a delle risorse esclusive ed illimitate per chi è in grado di trarre profitto dallo sfruttamento del suo potenziale. Viene però troppo spesso dimenticato che questa sorgente di vita è rinnovabile solamente con le proprie tempistiche ed essenzialmente non eterna se mal gestita. Le piante sono la base della capacità degli organismi viventi di poter respirare e svolgere tutte le attività per cui si trovano su questo pianeta. I vegetali seppur resilienti, sono attivi in una miriade di meccanismi diventando parte essenziale nel ciclo dell'acqua, del carbonio e dell'ossigeno. Questi sono in grado di attutire gradualmente brusche oscillazioni in ciascun ciclo ambientale fornendo l'esatta miscela di aria acqua e cibo di cui le specie hanno bisogno per sopravvivere. Qualche dato a proposito può farci rendere meglio conto della valenza delle piante nelle società odierne: l'agricoltura produce una media di 23,7 milioni di tonnellate di cibo, fornisce mezzi

di sussistenza a 2,5 miliardi di persone ed è la principale fonte di reddito e lavoro per famiglie povere localizzate in contesti rurali. Nei paesi in via di sviluppo l'agricoltura rappresenta il 29% del PIL, ed il 65% dei posti di lavoro. In sostanza, il vero motore su cui si basano le economie.

Si stima che nel 2050 si raggiungeranno sulla Terra i dieci miliardi di persone, ciascuna delle quali avrà necessità di alimentarsi a sufficienza ed in maniera quanto più genuina possibile. Le esigenze ed i consumi delle risorse terrestri da parte dell'uomo risultano dunque in forte crescita, oltre ad essere sia globalmente che localmente squilibrati tra le varie fasce economiche generate dal sistema gerarchico che fin dalle prime organizzazioni sociali ci ha accompagnato. Dice il premio Nobel Stiglitz riguardo il progresso tecnologico: *“Più la società è disposta a sostenere la necessità di transizione e a fornire sostegno a coloro che “restano indietro”, più veloce sarà il ritmo dell'innovazione che la società può sostenere garantendo comunque miglioramenti paretiani. Una società che non è disposta ad impegnarsi in tali azioni dovrà aspettarsi resistenza all'innovazione, con conseguenze politiche ed economiche incerte”*. Osservando la mappa del mondo e concentrando l'attenzione su diversi paesi del Continente africano, si può notare quanta difficoltà hanno alcuni popoli nel garantirsi la sopravvivenza: politiche incerte ed infrastrutture praticamente assenti impongono un persistente senso di instabilità, conflitti e prezzi altalenanti ma quasi sempre elevati. La mancanza di tecnologie e metodi all'avanguardia fanno bacillare un sistema già di per sé compromesso, che però non riguarda solo l'Africa. Nel globo sono numerosi gli esempi di paesi asiatici, piuttosto che latinoamericani, nei quali questo scenario si ripropone quotidianamente. Queste ed altre realtà sparse per il pianeta sono

quindi strettamente connesse al continuo supporto esterno nella gestione delle risorse agro-alimentari. Questa situazione quasi apocalittica, intesa come capace di dare rivelazioni e predizioni sul prossimo futuro, viene descritta nel 1992 dalle parole dei 15'364 scienziati in accordo nella dichiarazione intitolata “*World Scientists, Warning to Humanity: A Second Notice*”. Si afferma qui: “ [...] abbiamo scatenato un evento di estinzione di massa, il sesto in circa 540 milioni di anni, in cui molte forme di vita attuali potrebbero essere annientate o essere sulla via dell'estinzione entro la fine di questo secolo”. A sostegno di questo pensiero, si esprime da Stanford (USA) Rodolfo Dirzo, esperto di interazione tra specie che condivide: “ I nostri dati indicano che la Terra sta vivendo un episodio enorme di declino ed estinzione, che avrà conseguenze negative a cascata sul funzionamento degli ecosistemi e sui servizi vitali necessari a sostenere la civilizzazione”. Dietro questi numeri che impressionano, ci sono innumerevoli storie di civiltà che molto spesso si trovano costrette ad abbandonare contesti familiari, abitazioni e villaggi per spostarsi in città già sovraffollate alla ricerca di una posizione lavorativa qualsiasi, necessaria per sopravvivere. Momenti di quotidianità e cenni di una storia non così lontana spazio-temporalmente da chi oggi può permettersi di vivere in agio, vengono ben descritti in chiave romanzesca da John Steinbeck nel suo libro *Furore*, ambientato nella grande depressione che aveva colpito interi Stati negli anni '30.

L'agricoltura europea è stata interessata a partire dal XX secolo da un profondo processo di trasformazione, frutto dell'avanzamento tecnologico e metodologico che ha portato ad un forte aumento della produttività della terra ed alla specializzazione del lavoro nei campi senza alcun precedente nella storia. La

meccanizzazione dell'attività primaria, unita all'utilizzo di sementi selezionate ed alla concimazione chimica, hanno consentito di ottenere un enorme aumento delle rese ed una progressiva riduzione della manodopera impiegata nel settore; e con essa molti dei riti e delle tradizioni tipiche di alcuni contesti culturali. I sistemi monocolturali ed intensivi a cui si è giunti hanno però, nel corso del tempo, alterato i meccanismi di rigenerazione delle risorse che stanno alla base dell'attività agricola. Influenti allo stesso modo sono stati gli abusi nell'utilizzo di input, che siano essi naturali o di sintesi, sotto forma di concimi che hanno rapidamente apportato una concentrazione di minerali e di metalli pesanti nel terreno, influenzando direttamente lo stato qualitativo delle falde acquifere.

Andando a considerare quanto delle produzioni viene sprecato come rimanenza, si vede necessaria la rivalutazione di alcune modalità con cui normalmente affrontiamo la quotidianità. Viene infatti stimato che il 40% del prodotto totale derivante dall'agricoltura subisce perdite derivanti unicamente dalle malattie delle piante; fenomeno soggetto sia agli effetti ancora poco noti ed imprevedibili del cambiamento climatico, che dalla sommatoria delle attività antropiche spesso poco lungimiranti. Si stima prudentemente che malattie di varia natura, insetti e malerbe insieme interferiscono o distruggono ogni anno tra il 31% ed il 42% di tutti i prodotti vegetali in tutto il mondo. Le perdite sono di solito più basse nei paesi più sviluppati e maggiori nei paesi in via di sviluppo. Vengono attribuiti rispettivamente il 14% alle fitopatologie, il 10% agli insetti ed il 12% alle perdite causate da specie vegetali invasive. La perdita annua di raccolti in tutto il mondo dovuto alle sole malattie delle piante è quantificabile in moneta a \$ 220 miliardi. A questi vanno sommati dal 6% al 12% di perdite nel post-raccolta che

interessano in particolare quelle zone del mondo prive di sistemi adatti alla conservazione degli alimenti né di solide infrastrutture, che potrebbero invece minimizzarne gli impatti. Questa serie di dati non tiene conto dell'incidenza dei singoli fattori ambientali come la siccità, la presenza di inquinanti atmosferici o nei suoli, le carenze nutrizionali e la combinazione di questi con le precedenti cause citate.

I suoli capaci di accogliere una coltura vanno via via diminuendo sia per l'espansione dei sistemi urbani, ma anche per l'irrisoria considerazione della fertilità che questi possiedono. Le lavorazioni eccessive dei terreni agricoli hanno dato il via, in relativamente poco tempo, al consumo di una quantità di suolo fertile, rappresentato dai primi strati superficiali, pari alla totalità della superficie ottenuta dall'unione di Cina e Francia. Questo processo si intensifica con ogni evento di pioggia che batte su terreni privi di copertura vegetale, erosi o in procinto di esserlo. In questi si verifica l'asportazione dei primi strati utili alla radicazione vegetale verso valle (se in pendenza), o ristagni di acqua dannosi per alcune colture in pianura. Questi stessi suoli possono essere compromessi dalla presenza di determinati microorganismi, anche patogeni, che richiedono ogni anno misure contenitive basate sull'uso di milioni di chilogrammi di pesticidi usati come fumiganti per suoli, per il trattamento dei semi e utili alla prevenzione ed il mantenimento di uno stato sanitario fin troppo sovraccaricato nell'intero ciclo colturale. Tali misure di controllo si ripercuotono sull'aumento dei costi della produzione alimentare ed alcuni di essi, ad esempio la rotazione delle colture, limitano la quantità di cibo che può essere prodotta da un'unità produttiva. È quindi dovuto alla branca della patologia vegetale il ruolo, in sinergia con il resto dei

soggetti e settori coinvolti, di bilanciare i vari fattori sensibili così da massimizzare la quantità di cibo prodotta col minor numero di effetti collaterali sull'ecosistema.

La sostenibilità dei diversi sistemi di produzione agricoli viene valutata alla luce di tre aspetti: la loro capacità soddisfare il fabbisogno alimentare a prezzi remunerativi (sostenibilità economica) e accessibili a tutti (sostenibilità sociale), lasciando inalterata nel tempo la dotazione di risorse naturali (sostenibilità ambientale). Sulla base di questi parametri non si tratta di dimostrare la superiorità di un sistema produttivo sull'altro. Viene richiesta piuttosto, la valutazione delle opportunità e dei valori aggiunti che i sistemi agricoli conservativi basate sulla resilienza e sulla tutela possono offrire nel ridurre l'impatto ambientale dell'agricoltura convenzionale basata invece su elevati consumi di risorse. Le soluzioni dell'agricoltura moderna derivano da un ampliamento delle conoscenze e degli strumenti applicati ai diversi settori per un'agroindustria più efficiente. Attraverso una serie di pratiche si vanno costruendo sistemi di rigenerazione dei suoli, intaccati dall'intenso sfruttamento; la conversione dei sistemi classici di difesa in strategie polivalenti ed olistiche, che tendono invece, a considerare l'insieme dei punti critici previsionali, ad esempio, dello scaturirsi di una malattia.

Da qualche decennio, la grande cooperazione tra Nazioni ha reso possibile una presa di coscienza diffusa riguardo le emergenze ed i rischi che si osservano quotidianamente. Contestualmente alla direttiva 91/44/CEE, del 15 luglio 1991, si definisce la salute pubblica prioritaria rispetto agli interessi di protezione dei vegetali, per cui è necessario far sì che eventuali residui non siano presenti a livelli tali da comportare rischi inaccettabili sia per l'uomo che per gli animali. Questi limiti massimi di residui negli alimenti dovrebbero essere fissati al valore minimo

per ciascun antiparassitario compatibilmente con le buone pratiche agricole, allo scopo di proteggere in primis quei gruppi particolarmente vulnerabili, come i bambini. Dal 1991 le riflessioni nella presa di decisioni sono state molte e derivanti da sempre più prove scientifiche che attestavano quanto invece la salute delle piante sia una prerogativa per la salute ambientale ed umana, così da redigere col tempo una serie di linee guida e protocolli internazionali di sostegno alle modalità d'azione sempre più efficienti e sostenibili. Con l'Agenda 2030 per la Crescita Sostenibile viene proposto un cambio di mentalità globale guidato dalla FAO, per eradicare tra gli obiettivi, fame e povertà, frutto di una visione individualistica. Questo piano coinvolge ed assiste ciascun paese, che sia esso ricco o povero, nel processo comune mediato da partnerships fra Stati, per garantire la sopravvivenza ed il benessere in tutto il mondo.

1.2. I Sustainable Development Goals

FAO è l'acronimo di Food and Agriculture Organization e rappresenta un'agenzia delle Nazioni Unite che guida i suoi membri verso il raggiungimento di vari obiettivi di interesse specifico e globale. L'obiettivo principale è quello di ridurre la fame nel mondo, garantendo una forma di alimentazione quanto più sicura ed accessibile a tutti. Per fare questo sono coinvolti più di 194 rappresentanti di Stati che lavorano in oltre 130 paesi nel mondo. Da quando venne istituita nel 1945, ha portato al raggiungimento di una notevole quantità di programmi, tra cui:

Codex Alimentarius del 1963 è una forma di collaborazione con la *World Health Organization* che rappresenta oggi una figura essenziale nell'elevazione degli standard internazionali sulla qualità del cibo. A valorizzare ulteriormente la qualità

delle materie prime che troviamo a tavola, si sono diffuse quelle attente pratiche nello scambio di merci ed alimenti tra paesi che garantiscono la tutela del consumatore. L'eradicazione dal punto di vista sanitario della malattia della cecità del fiume, "*River Onchocerciasis*" nei territori dell'Africa Occidentale, trasmesso da alcuni moscerini che causavano cecità a migliaia di persone. Attraverso un programma *eco-friendly* di controllo della malattia, dal 2002 è stata prevenuta l'infezione di 40 milioni di persone potenzialmente a rischio. La "*Treaty on plant genetic resource for food and agriculture*" adottata nel 2001, regola la conservazione, l'uso sostenibile, l'accesso, la distribuzione ed i benefici derivanti dalla tutela delle risorse genetiche contenute nelle banche del germoplasma.

"*Right to Food Guidelines*" sancito nella Dichiarazione universale per i Diritti Umani è diventato parte del programma guidato cui oltre 30 Paesi fanno riferimento nei propri programmi legali e costituzionali. "*Agriculture Market Information System*" istituito del 2011, amplia la sicurezza alimentare promuovendo la trasparenza comunicativa dei prodotti alimentari e la loro tracciabilità, volta oltretutto ad aumentare la costanza dell'andamento dei prezzi nel settore. Un altro forte supporto alle società ha visto la messa a punto del Simposio Internazionale nella Innovazione Agricola a cui partecipano investitori e membri rappresentativi di diversi stati. Questo ha lo scopo principale di fornire conoscenze sui contesti agricoli riconoscendo direttamente agli agricoltori il ruolo centrale su cui basare le esperienze nell'innovazione del settore; supportare i governi nelle scelte strategiche per sviluppare un'agricoltura sostenibile in sinergia con le piccole imprese, cooperative ed organizzazioni locali. Tra questi ed altri obiettivi, FAO lavora nell'attuazione di nuovi standard sociali ed ambientali attraverso protocolli guidati

ed attento monitoraggio, utili nella gestione in anticipo di rischi e pericoli di calamità. Oggi le Nazioni Unite si pongono dei quesiti dai quali emergono 17 *Goals* per la Crescita Sostenibile (*SDGs*). Questi sono obiettivi globali che seguono i *Millennium Development Goals* del 1° gennaio 2016 e che modellano i piani cui lo sviluppo delle Nazioni dovranno far riferimento nei prossimi anni.



Fig.1 - Obiettivi di sviluppo sostenibile (*sustainable development goals, SDGs*) della FAO.

SDG1: FINE DELLA POVERTA' OVUNQUE ED IN TUTTE LE SUE FORME:

Più di 730 milioni di persone nel mondo vivono in estrema povertà, la maggior parte delle quali si trovano in Asia meridionale e nell'Africa Sub-sahariana vivendo in zone isolate, con uno stile di vita che basa sull'agricoltura, unica forma di alimentazione, la propria sicurezza di sopravvivenza. Pertanto, si tenta di potenziare le istituzioni rurali, affinché siano in grado di fornire protezione sociale;

ampliando gli accessi alle risorse, garantendo equità di genere e condizioni di lavoro che possano diversificare ove possibile le fonti di reddito.

SDG2: PORRE FINE ALLA FAME RAGGIUNGENDO LA SICUREZZA ALIMENTARE E MIGLIORANDO LA NUTRIZIONE PROMUOVENDO FORME SOSTENIBILI DI AGRICOLTURA:

Oggi viene prodotto cibo più che a sufficienza per sfamare fino all'ultimo essere umano, eppure oltre 820 milioni di persone rimangono cronicamente denutrite. Le stime degli sprechi, cui si faceva riferimento nel sotto capitolo precedente, trova ora una valenza non solo di tipo economico, ma comprende in esso tutte le risorse energetiche e naturali utili all'intera filiera che contempla le fasi di produzione; elaborazione; di trasporto, di confezionamento e di pubblicizzazione che si trovano dietro ciascun prodotto alimentare. Gli sprechi alimentari rappresentano inoltre una grande fonte di emissione dei gas serra raggiungendo, senza includere i quantitativi derivanti dalla filiera connessa, il 6% del totale immesso nell'atmosfera dell'intero pianeta. Se considerassimo ipoteticamente questi sprechi alimentari come una vera e propria Nazione a sé stante, nella graduatoria dei territori maggiormente inquinanti, questa raggiungerebbe il terzo posto dopo Cina e USA.

SDG3: ASSICURARE UNA VITA SANA E PROMUOVERE IL BENESSERE IN TUTTE LE ETA':

Una sana nutrizione è prerogativa di una vita in salute. Senza cibo regolare

e nutriente, gli esseri umani non possono sopravvivere, crescere, respingere le malattie e condurre una vita produttiva. Per la FAO, la salute va oltre quella strettamente umana, bensì riguarda anche quella animale, vegetale ed ambientale; un approccio *One Health* per la salute generale. Animali sani contribuiscono ad una produzione alimentare sostenibile e sicura, nella quale viene posta una crescente attenzione al miglioramento delle condizioni sanitarie ed igieniche negli allevamenti volti a proteggere le specie da malattie e prevenire trattamenti che pregiudicano il benessere dei consumatori, frenando in maniera consona la minaccia della possibile resistenza a farmaci che i parassiti e microorganismi possono manifestare.

**SDG4: GARANTIRE UN'ISTRUZIONE DI QUALITÀ PER TUTTI E
PROMUOVERE L'APPRENDIMENTO DI LUNGA DURATA**

Milioni di bambini nelle comunità rurali sono intrappolati dal sistema di sfruttamento del lavoro minorile, mentre il tasso medio di abbandono delle attività scolastiche in tutto il mondo è doppio nelle aree rurali rispetto alle zone urbane. Vanno pertanto promossi i sistemi educativi nelle comunità isolate, ai quali è necessario fornire maggiori possibilità di accesso. Attività di sensibilizzazione agroalimentare, anche attraverso orti sociali educativi che incoraggiano l'inclusione sociale con risvolti economico-ambientali positivi, di lunga durata e per l'intera comunità.

**SDG5: RAGGIUNGERE L'UGUAGLIANZA DI GENERE
RESPONSABILIZZANDO IL MONDO FEMMINILE**

Le donne rappresentano circa la metà della forza lavoro agricola nella totalità dei paesi in via di sviluppo. Queste agisce da agricoltori; operatori agricoli; orticoltori; imprenditori e leader della comunità ottenendo quindi posizioni rilevanti nello sviluppo delle comunità rurali. Evidenze dimostrano una stretta correlazione del benessere sociale ed economico mediato da uguaglianza di genere e dall'emancipazione delle donne, una volta incluse nei sistemi decisionali ed operativi.

SDG6: ASSICURARE LA DISPONIBILITA' E LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE E DEI SERVIZI IGENICO-SANITARI

L'aumento di produttività nei campi utilizzando meno acqua potabile è una grande sfida dei giorni nostri. Le colture ed il bestiame rappresentano già il 70% di tutti i prelievi di acqua e fino al 95% in alcuni paesi in via di sviluppo. L'uso dell'acqua per l'irrigazione e per l'allevamento aumenterà in via proporzionale alla crescita della popolazione globale ed alla conseguente domanda di cibo. Oltre ad essere poca, questa è sempre più compromessa dagli agenti inquinanti, pertanto ci si vuole impegnare nell'applicazione di tecnologie più efficienti, produttive e rispettose dell'ambiente mitigando gli effetti della siccità.

SDG7: GARANTIRE L'ACCESSO AD ENERGIA SOSTENIBILE AFFIDABILE E PULITA PER TUTTI

I sistemi alimentari moderni consumano circa il 30% dell'energia disponibile a livello mondiale producendo oltre il 20% delle emissioni mondiali di gas serra mediante fonti energetiche di origine fossile. I sistemi alimentari e agricoli

dovranno abbracciare fonti di energia rinnovabili che riducano l'impatto sul cambiamento climatico garantendo al contempo la sicurezza alimentare. Per questa conversione è necessario un coordinamento nella creazione di politiche e quadri giuridici atti a sostenere l'azione creando un dialogo globale tra più parti interessate. Con il Programma Alimentare Energia-Intelligente, la FAO sostiene i paesi che accedono ai moderni servizi energetici nei sistemi alimentari, migliorando l'efficienza e minimizzando gli impatti ambientali.

SDG8: PROMUOVERE UNA CRESCITA ECONOMICA, OCCUPAZIONALE E LAVORATIVA SOSTENIBILE PER TUTTI

L'agricoltura è il principale datore di lavoro al mondo, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, nei quali genera una quota considerevole del PIL. La maggior parte dei lavoratori però, in particolare giovani, svolgono lavori precari e mal retribuiti; situazioni che li inducono spesso a migrare verso aree urbane dove i mercati del lavoro sono già saturi. Opportunità di occupazione si trovano nelle catene agroalimentari legate all'agricoltura sostenibile, al suo sviluppo ed ai relativi servizi e settori di sostegno. Tutto ciò contribuisce a rafforzare le capacità tecniche e imprenditoriali, migliorando le condizioni di lavoro e gli standard di vita, con focus su giovani, donne e lavoratori migranti.

SDG9: COSTRUIRE INFRASTRUTTURE RESILIENTI CHE PROMUOVANO L'INDUSTRIALIZZAZIONE SOSTENIBILE E FAVORISCANO L'INNOVAZIONE

Spesso la connessione e l'accesso ai mercati è limitato a causa

dell'isolamento e delle infrastrutture deboli di molti Paesi. Questo fatto incide sui mezzi di sussistenza e sulla sicurezza alimentare della comunità con effetti diretti sulla velocità con cui si potrebbe ridurre la povertà. Le risorse destinate alle piccole città possono svolgere un ruolo di catalizzatore nella trasformazione rurale, agendo da ponti per lo sviluppo agroindustriale. Il miglioramento di queste infrastrutture assieme al rafforzamento dei mercati e dei collegamenti tra zone urbane e marginali possono contribuire ad una società più interconnessa e vivace, rallentando così l'esodo dalle campagne alla città.

SDG10: RIDURRE LE DISUGUAGLIANZE ALL'INTERNO E TRA PAESI

Nonostante i progressi compiuti fin ora, le disuguaglianze persistono e permangono grandi disparità riguardo l'accesso al reddito, al cibo, alla terra, alla salute ed all'istruzione, specialmente nelle zone con difficoltà economiche già consistenti. Non lasciare nessuno indietro è al centro del mandato FAO che lavora con paesi partner per ridurre le disuguaglianze, creando ponti tra industrie, agricoltori e mercati, con lo sviluppo di infrastrutture, col miglioramento dei servizi, creando occupazione e facilitando l'accesso a finanziamenti.

SDG11: RENDERE LE CITTA' INCLUSIVE, SICURE, RESISTENTI E SOSTENIBILI

Oggi circa metà della popolazione vive nelle città. Entro il 2050, due terzi della popolazione mondiale risiederà nelle città. La rapida crescita urbana nei paesi in via di sviluppo sta ponendo enormi richieste ai sistemi alimentari, oltre a ridurre i territori potenzialmente fertili su cui poter coltivare e generare competizione per

risorse naturali come terra ed acqua. I prezzi alimentari fluttuanti colpiscono duramente i consumatori urbani che dipendono quasi esclusivamente dagli acquisti di prodotti alimentari. Le variazioni dei prezzi e dei redditi alimentari si traducono in un minor potere d'acquisto ed in un aumento dell'insicurezza alimentare, compromettendo così la qualità della dieta. FAO promuove un approccio olistico *multi-stakeholder* per affrontare la resilienza urbana ed è impegnata a sostenere i paesi e le realtà locali nella costruzione di capacità multilivello di governance istituzionali, generando partenariati necessari a potenziare le politiche contestualmente alle esigenze reali.

SDG12: GENERARE MODELLI DI CONSUMO E DI PRODUZIONE SOSTENIBILI

Soddisfare i previsti aumenti del fabbisogno idrico, energetico ed alimentare, significa passare ad approcci produttivi e di consumo maggiormente sostenibili. Per nutrire il mondo in maniera sostenibile, i produttori devono coltivare più cibo, riducendo contemporaneamente gli impatti ambientali negativi come perdita di suolo fertile, un uso oculato di acqua e nutrienti e tenendo in considerazione emissioni e degrado ambientale. D'altra parte, i consumatori devono essere incoraggiati alla scelta di diete nutrienti a minor impatto.

SDG13: INTRAPRENDERE AZIONI PER CONTRASTARE IL CAMBIAMENTO CLIMATICO ED I SUOI IMPATTI

L'agricoltura sostenibile può far parte della soluzione della minaccia alla

produzione alimentare, considerata essere la più grande vittima del cambiamento climatico. Questi cambiamenti stanno apportando profonde conseguenze sulla biodiversità e sulla vita delle persone. I livelli del mare stanno aumentando e gli oceani riscaldando. Siccità prolungate ed intensificate minacciano l'approvvigionamento idrico mettendo a rischio il sistema alimentare di una popolazione in crescita. La FAO sta aiutando i Paesi a adattarsi per mitigare gli impatti del cambiamento climatico, sviluppando piani d'azione nazionali e progetti mirati all'adattamento produttivo.

SDG14: CONSERVAZIONE ED USO SOSTENIBILE DI OCEANI, MARI E DELLE RISORSE MARINE

I grandi specchi d'acqua del mondo svolgono ruoli essenziali e forniscono numerosi beni fondamentali per il benessere umano e per la sicurezza alimentare globale. L'acquacoltura è il settore alimentare con più rapido sviluppo e trova il potenziale per produrre pesce a sufficienza. Tuttavia, la pesca eccessiva minaccia il rinnovo dei cicli vitali e l'acquacoltura mal gestita, può inquinare ed aumentare i livelli di anidride carbonica nell'atmosfera, contribuendo indirettamente all'acidificazione degli oceani.

SDG15: GESTIRE IN MANIERA SOSTENIBILE LE FORESTE, COMBATTERE LA DESERTIFICAZIONE, ARRESTARE LA PERDITA DI BIODIVERSITA' ED INVERTIRE LE TENDENZE DI DEGRADAZIONE TERRITORIALE

Un ecosistema sano è capace di proteggere il pianeta e garantire sussistenza.

Le foreste, le zone umide, come le montagne e le zone aride, forniscono una miriade di beni e servizi ambientali: aria ed acqua pulite, innalzamento della biodiversità e attutimento dei fenomeni climatici estremi. Le foreste ed i pascoli sostengono una vasta gamma di settori. Oggi, tuttavia, le risorse naturali si stanno deteriorando, gli ecosistemi stressando e la diversità biologica perdendo. I cambiamenti nell'uso del suolo, compresa la deforestazione, comportano una perdita di habitat preziosi, una diminuzione di acque pulite, degrado del suolo, erosione ed ulteriori rilasci di carbonio nell'atmosfera. Le alleanze multi-stakeholder supportano approcci di governance inclusiva che promuove l'equilibrio tra conservazione e piani di sviluppo.

SDG16: PROMOZIONE DI SOCIETA' GIUSTE, PACIFICHE ED INCLUSIVE

La sicurezza alimentare, assieme ad un settore agricolo sano, possono svolgere un ruolo fondamentale nella prevenzione di conflitti e delle migrazioni di emergenza, sia nella costruzione di contesti pacifici. In molti paesi i disastri o le instabilità politiche hanno provocato crisi prolungate e carenze alimentari non indifferenti. Le popolazioni rurali continuano ad essere le più gravemente colpite dai conflitti, portando le persone a lasciare la propria quotidianità una volta minati i mezzi di sussistenza. Pace e sicurezza alimentare spesso si rafforzano a vicenda.

SDG17: REVITALIZZARE LA COMPLICITA' GLOBALE PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE

La complessità e l'interconnessione degli *SDGs* richiedono un nuovo modo

di fare business a tutti i livelli che prevede l'impegno e la condivisione di conoscenze tra paesi. Sono necessarie azioni urgenti per reindirizzare e sbloccare il potere trasformativo di trilioni di dollari di risorse private in fondi per la realizzazione degli obiettivi di sviluppo sostenibile. Si vedono necessari investimenti a lungo termine, in particolare nei paesi in via di sviluppo per implementare forme energetiche sostenibili, modelli applicativi per infrastrutture e trasporti, nonché delle tecnologie di informazione e comunicazione. L'efficacia dell'organizzazione, come forum decisionale e unico centro di eccellenza, conoscenza e competenza tecnica dipende in gran parte dalla sua capacità di sviluppare sinergia strategica con tutti gli attori del settore agroalimentare.

Questi Goals interessano quindi ciascun individuo della Terra, il quale con le proprie scelte ed il proprio grado di consapevolezza, può giocare un ruolo essenziale nella salvaguardia del mondo nell'attuale situazione di emergenza.

1.3. Aspetti Climatici

La Convenzione sui cambiamenti climatici è promossa dalle Nazioni Unite e stabilisce un quadro generale sugli sforzi intergovernativi volti ad affrontare la sfida posta dai cambiamenti climatici. Il sistema climatico viene riconosciuto come una risorsa condivisa la cui stabilità è direttamente influenzata dalle emissioni di anidride carbonica ed altri gas serra. Attraverso l'Accordo di Parigi del 2016, per la prima volta tutte le Nazioni si riuniscono nella causa comune per attutire e adattarsi agli effetti che questo processo sta causando. Le emissioni di gas a effetto serra (detti *GHG*) derivanti da una considerevole serie di attività umane rappresentano un fattore trainante della modificazione dei parametri ambientali cui siamo abituati e coi quali

ci siamo evoluti. Queste sostanze, infatti, una volta disperse nell'aria sono capaci di intrappolare il calore: accumulandosi nell'atmosfera terrestre, questi innescano fenomeni di riscaldamento distribuito e generale in tutti gli emisferi. Questi cambiamenti hanno impatti sia diretti che indiretti sulla produttività agricola, apparendo in primo luogo critici sull'andamento pluviometrico instabile che genera, da un estremo fenomeni di siccità prolungati e dall'altro, inondazioni, innalzamento dei livelli di mari e oceani; oltre ad una redistribuzione geografica di insetti, parassiti e delle conseguenti apparizioni di malattie in contesti non abituali. Le grandi quantità di CO₂ sono assorbite dagli specchi d'acqua che subiscono acidificazione influenzando direttamente tutti i soggetti coinvolti dalla loro qualità ed il cui sostentamento dipende da essi. Sebbene questi fattori influenzino tutte le piante che crescono in natura, questa è considerevolmente maggiore per le piante coltivate che invece di crescere nel proprio habitat di riferimento, lo fanno in un contesto puramente antropico che ne limita fortemente i requisiti minimi per uno sviluppo evolutivo classico. La riduzione delle specie coltivate, il loro mantenimento in "scatole di vetro" e l'assoggettamento ad una serie di pratiche colturali che tendono a simulare il coinvolgimento diretto delle piante nelle varie fasi del ciclo vitale (fecondazione, irrigazione, irrorazione con sostanze difensive o concimazioni), oltre ad avere effetti sulla crescita, genererà implicazioni importanti dal punto di vista della pressione evolutiva cui sono e dovrebbero essere soggetti.

Oltre duemila anni fa Teofrasto (370-286 a.C.) osservò che i cereali coltivati in posizioni sopraelevate esposte ai venti, avevano un'incidenza delle malattie di molto inferiori rispetto agli stessi, coltivati in areali di bassa quota. Solo tra il diciottesimo secolo e l'inizio del diciannovesimo, si iniziò a prendere in

considerazione altri fattori: anche il sistema di alimentazione, l'umidità dell'aria, le temperature ed i venti iniziavano ad essere punti critici nell'insediarsi di una malattia.

Le condizioni ambientali possono essere coinvolte più o meno direttamente all'insorgere delle malattie negli organismi viventi: in particolar modo nei vegetali, una malattia rappresenta la combinazione di un individuo suscettibile colpito da un patogeno virulento in un ambiente favorevole all'insorgere della stessa. Esistono però anche malattie di natura abiotica, causate invece dal singolo contesto in cui l'organismo vive e cresce, agendo quindi, sulla relazione dualistica di pianta-ambiente. Sono stati fatti diversi studi sull'andamento dell'anidride carbonica in relazione allo sviluppo di possibili malattie. I risultati di questi indicano che l'arricchimento in CO₂ può consentire alle piante debilitate di competere meglio con i vicini sani; mentre gli effetti sull'epidemiologia di alcune malattie virali dipenderanno fortemente dalla risposta biologica dello specifico vettore. In generale si evince quindi che le piante tenderanno a subire un aumento nel numero di attacchi, in contrapposizione alla riduzione nella gravità delle stesse.

Le malattie causate dal solo sistema ambientale, non essendo di tipo infettivo, si verificano in assenza di agenti patogeni, e non possono pertanto essere trasmesse da un individuo malato ad uno sano. Queste sono in stretta dipendenza invece dalle mancanze o eccessi delle varie forme di alimentazione, non strettamente di tipo nutrizionale. Possono colpire le piante in tutte le fasi del ciclo vitale ed organi indistinti, arrivando a causare danni economici che iniziano in campo, per poi susseguirsi nelle fasi di stoccaggio e conseguentemente sul rivenditore finale che deve poter proporre un prodotto qualitativamente

apprezzabile. I sintomi causati da queste malattie variano in forme e gravità con il tipo di clima che espone gli individui a problematiche più o meno gravi per la specie in questione. Il loro controllo avviene garantendo un sistema di coltivazione che limiti l'esposizione a contesti ambientali estremi o a specifiche condizioni igienico-sanitarie. Ad esempio, è frequente ricorrere alla sistemazione di barriere fisiche, o all'uso di sostanze inerti capaci di attutire i rischi a livelli favorevoli per la crescita delle piante. Quelle di origine biotica, dunque infettive, nelle piante si verificavano ovunque, in tutte le parti del mondo, purché le piante siano capaci di insediarsi. Risultano particolarmente frequenti e gravi, tuttavia, nelle aree umide e bagnate in cui le temperature sono mediamente elevate, rispetto agli individui che in zone aride sono meno predisposti a subire attacchi fungini gravi, malattie batteriche o causate da nematodi. Quasi tutte queste malattie si verificano solo o si sviluppano meglio durante la parte più calda dell'anno. Inoltre, è sapere comune nel campo delle scienze biologiche e agrarie, che le piante che si trovano in questi contesti critici sono ancor più sensibili quando concimate con abbondanti carichi di azoto. Questi esempi generali indicano chiaramente che l'ambiente condiziona notevolmente lo sviluppo della malattia; anzi, tende a determinarne i fattori scatenanti. Tra i parametri ambientali che più influenzano l'avvio e lo sviluppo di infezioni, emergono sul podio: temperatura, umidità e le carenze, o gli eccessi nutrizionali. In misura minore pesano luce e pH del suolo, i quali, assieme ai precedenti tre, generano una cartella clinica del singolo organismo vegetale o dell'intero areale microclimatico che può descrivere crescita, metabolismo e suscettibilità verso alcuni patogeni; gli stessi che modificano la propria pericolosità e virulenza in base

agli stessi parametri. Vengono quindi modificati gli schemi relazionali e le attività che avranno luogo tra i due soggetti in questione.

La rappresentazione grafica di una malattia infettiva è geometricamente associata ad un triangolo, nel quale in ciascun lato appaiono le voci “Ospite”, “Patogeno” ed “Ambiente”. Mentre la suscettibilità dell’ospite e la virulenza del patogeno, in un contesto isolato, rimangono essenzialmente invariate, sono l’ambiente e le condizioni esterne che possono mutare più o meno repentinamente ed avere un peso variabile sui processi biotici. Tali modificazioni possono influenzare drasticamente l’andamento delle malattie in corso o dar luogo a nuove malattie, favorendo in alcuni casi l’ospite, il patogeno o entrambi in varia misura.

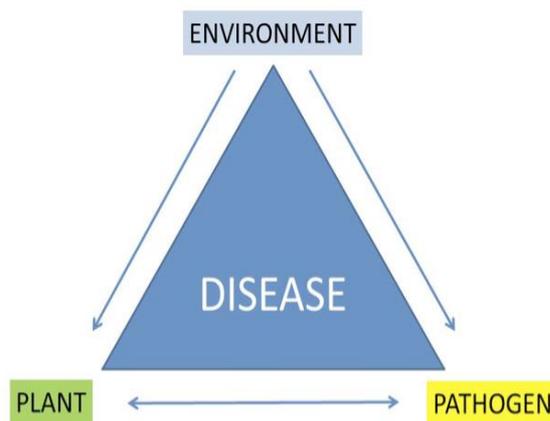


Fig.2 - Rappresentazione grafica di una malattia infettiva.

L’entità e la frequenza dell’insorgere di una malattia, così come la gravità, sono associabili al grado di deviazione cui ogni variabile ambientale è sottoposta, rispetto al contesto in cui lo sviluppo della malattia sarebbe ottimale. L’agricoltura

intelligente per il clima (CSA) è un approccio guidato alle azioni necessarie per trasformare e riorientare i sistemi agricoli per supportare efficacemente lo sviluppo e garantire la sicurezza alimentare in un clima che cambia. CSA mira a raggiungere tre obiettivi principali:

- Aumentare in modo sostenibile la produttività e le entrate agricole;
- Adattamento e costruzione della resilienza ai cambiamenti climatici;
- Ridurre e/o rimuovere le emissioni di gas serra, ove possibile.

CSA è una delle undici aree tematiche per la mobilitazione delle risorse nell'ambito degli obiettivi strategici della FAO ed è capace di fornire i mezzi per aiutare le parti interessate a livello locale, nazionale ed internazionale nell'identificazione delle strategie agricole adatte alle specifiche condizioni locali. Si ricorre alternativamente all'utilizzo di modelli matematici applicati al clima, come il *General Circulation Models (GCM)*, per quantificare e prevedere le tendenze dei compartimenti climatici (atmosfera, oceani, vegetazione, suoli, ecc.) oltre alle loro interazioni. Questi mezzi altamente all'avanguardia consentono la stima delle variabili climatiche come temperature medie, massime e minime; precipitazioni; ed altre, per valutare i potenziali scenari di emissione di gas serra. Uno studio che vede questi modelli a supporto delle economie in Finlandia, conclude che il crescente riscaldamento amplierà l'area di coltivazione per i cereali entro il 2050 da 100 a 150 km lineari, per aumento di grado Celsius di temperatura media annua. Inoltre, ha previsto l'ottenimento di rendimenti maggiori del 20-30% in relazione ad una maggiore concentrazione di CO₂ che impone effetti sulle rese produttive. Tuttavia, è prevista anche una nuova distribuzione e un maggior numero di generazioni l'anno del nematode della patata (*Globodera rostochiensis*). Se questo prospetto si

concretizzasse, aumenterebbe anche il rischio di peronospora della patata (*Phytophthora infestans*) e dei conseguenti danni che ne subirebbero le varie tipologie dei soggetti sensibili. L'uso dei modelli presenta però alcuni problemi pratici: intanto i risultati ottenuti hanno una bassa risoluzione, sia spaziale che temporale, rendendo complicata la simulazione di scenari previsionali in riferimento alle innumerevoli risposte e coinvolgimenti biologici per i quali sono necessarie delle raccolte di dati giornaliere, se non orarie. A seconda poi del tema cui si basa l'esperienza di analisi, spesso per uniformare i dati ed ottenere una panoramica dettagliata e rappresentativa, si ricorre alla standardizzazione del soggetto cui gli esperimenti fanno capo. In alcuni recenti studi viene proposta la scelta di specifiche cultivar, tra cui le solanacee, come modelli di riferimento per la sperimentazione agro-ecologica su scala globale. Prendendo come nota la relazione ospite-ambiente ed ospite-patogeno, si otterrebbe una referenziazione che consente di porre la giusta attenzione sui meccanismi ambientali e climatici che si instaurano durante l'intero processo.

Gli organismi patogeni e no, sono generalmente presenti sia nei sistemi naturali che in quelli coltivati. Questi, oltre a rappresentare una possibile minaccia, possono essere anche importanti indicatori biologici: sono infatti tra i primi organismi a mostrare gli effetti di un cambiamento climatico che li coinvolge. Vista la numerosità di popolazioni e la rapidità con cui questi crescono e si riproducono, possono costituire un indice fondamentale di monitoraggio, come lo è una flora batterica alterata nell'uomo, presupposto per l'instaurarsi di una patologia.

1.4. Biodiversità

Di ogni pianta raccolta, nel bunker sotterraneo dove svolge le proprie ricerche da genetista a San Pietroburgo, Nikolaj Vavilov raccoglie un'immensa varietà di semi, tra cui oltre 50 000 esemplari derivanti dalla flora spontanea, ed oltre 30 000 campioni diversi si grano. Durante la sua vita ed i suoi studi si accorge di quanto fosse importante per l'umanità tutelare il patrimonio genetico vegetale, arrivando ai giorni nostri ad essere considerato tra i più grandi scienziati, oltre che promotore dell'importanza nella tutela della biodiversità.

La biodiversità basa le proprie radici nell'agricoltura. Ha permesso ai sistemi agricoli di evolversi da quando questa ancestrale attività è stata sviluppata per la prima volta oltre 10'000 anni fa, rappresentando l'origine di tutte le specie vegetali coltivate e animali allevati oggi. La biodiversità e l'agricoltura sono fortemente interconnesse perché, sebbene la diversità vegetale sia fondamentale per l'agricoltura, questa, se promossa da principi di sostenibilità, può anche contribuire alla conservazione ed al potenziamento della biodiversità nei sistemi coltivati. Il mantenimento di questa è essenziale non solo per la produzione di alimenti di qualità e per l'intera filiera agroindustriale, ma anche per i grandi benefici che questi offrono all'umanità: dalle forme di sussistenza alla sicurezza alimentare supportano direttamente quei sistemi che vogliono recuperare un certo tenore di fertilità nei suoli, per non dimenticare dell'impollinazione ed il controllo biologico dei parassiti attraverso l'ampliamento delle fasce ecologiche di interazione tra specie nelle porzioni marginali dei campi. A questo proposito, viene esposto un esempio storico di quanto l'intervento umano possa generare squilibri a livello degli ecosistemi, ma senza dover andare poi così indietro con gli anni. Tra il 1958 ed il

1962 la manovra cinese messa in atto da Mao, meglio nota come il Grande Balzo in Avanti, prevedeva una grande rivoluzione nel debellamento delle più pericolose forme di malattia interne a quella che ben poco tempo dopo diventò una delle principali potenze industriali. Il programma prevedeva, tra gli interventi, un aumento dei sistemi di depurazione delle acque, un miglioramento del Servizio sanitario nazionale e l'introduzione di vaccini per bloccare il diffondersi di peste e vaiolo. Vennero promosse dal partito comunista, coinvolgendo l'intera comunità, delle manovre per limitare i vettori che provocavano malattie. Nell'elenco figuravano zanzare, topi, mosche ed anche i passeri, responsabili del calo di produttività dei campi di riso. Gli stessi passeri avevano però un ruolo ecosistemico non indifferente; infatti, mantenevano sotto controllo una serie di insetti che ben presto causarono altrettanti danni alle colture dell'intera Cina.

Col tempo, la riduzione della biodiversità e con essa la scomparsa di processi e relazioni naturali hanno reso i sistemi di produzione agricola sempre più precaria e strettamente dipendente dall'uso di pesticidi. Attraverso l'adesione degli Stati alla Convenzione sulla diversità biologica in agricoltura e biodiversità, in collaborazione con la FAO, si mira al raggiungimento dello sviluppo sostenibile. Il protocollo di Nagoya sull'accesso alle risorse genetiche e la ripartizione equa dei benefici derivanti dal loro utilizzo (ABS) è un accordo supplementare al precedente citato, entrato in vigore il 12 ottobre 2014 per fornire un quadro giuridico trasparente per l'effettiva attuazione dei programmi di conservazione e tutela della biodiversità.

La valutazione dello stato degli ambienti a livello europeo è gestita sia dalle

università comunitarie, che dalle organizzazioni europee che sfruttano sistemi come il *Mapping Europe's Ecosystems*. Questo strumento utilizza informazioni spaziali dettagliate sulla copertura del suolo basate principalmente sui servizi Copernico, sulla classificazione dell'habitat del sistema europeo di informazione sulla natura EUNIS e su altri dataset a riferimento spaziale di supporto. Con queste apparecchiature si osserva che i principali ecosistemi in Europa sono rappresentati dai campi coltivati (33%), dalle foreste (30%) e dalle terre urbane (2%).

La linea di base dell'UE sulla biodiversità 2010, pubblicata dall'Agenzia europea dell'ambiente, indica che il 50% delle specie ed il 65% degli habitat che dovrebbero essere sottoposti a tutela hanno uno stato di conservazione sfavorevole. I maggiori cambiamenti tra il 1990 ed il 2006 includono un aumento generale delle aree antropiche: figurano i corpi idrici artificiali con una percentuale del 4,4%; 8% per le aree urbane; mentre sono in forte calo le aree naturali e le terre agricole.

Il benessere a lungo termine delle economie e delle società dell'Unione Europea è sostenuto dal suo capitale naturale, dalle risorse genetiche, dalla ricchezza in specie ed ecosistemi. Va tenuto conto, infatti, che la fertilità dei suoli, la multifunzionalità delle foreste e la produttività dei mari vanno a migliorare l'adattamento alle esigenze imposte dal clima. Sfortunatamente però, molti ecosistemi europei sono ora così fortemente degradati che la loro capacità di fornire questi preziosi servizi è drasticamente ridotta. Tra le principali pressioni e fattori che causano perdita di biodiversità vi rientrano sicuramente la frammentazione degli habitat, dovuta all'espansione urbana; il degrado e la diminuzione delle sostanze revitalizzanti dei suoli. Le praterie naturali, ad esempio, vengono ancora trasformate in coltivazioni seminative se va bene, altrimenti in aree cementificate. Un buon 30% delle specie

è minacciato dallo sfruttamento di foreste, oceani, fiumi e laghi. Si hanno dati dimostranti che tra gli attuali consumi umani, l'88% degli stock marini viene pescato al di là delle rese massime sostenibili, rendendoli così non reintegrabili nel breve periodo. Almeno un altro 26% è in continua minaccia dagli inquinanti, sia disciolti nelle acque che quelli presenti in atmosfera. In particolare, la metà della gamma geografica degli habitat naturali e semi-naturali in tutta Europa è stata esposta a depositi di azoto atmosferico al di sopra del carico critico raggiunto già nel 2004.

Un problema in particolare è quello dell'impollinazione degli insetti che vedono sempre più difficoltà nel garantire gli standard in Europa: questa operazione ha un valore economico stimato di 15 miliardi di euro l'anno nei quali rientrano tutti i servizi offerti dagli insetti pronubi, nei quali la produzione di miele occupa solo una minima parte. Le crescenti minacce alla biodiversità sono rappresentate inoltre dalle specie esotiche invasive: circa 12'000 specie aliene sono state trovate in ambienti nei quali si sono adattate. Queste specie rischiano di modificare gli ambienti naturali come li conosciamo, competendo invece con le specie autoctone.

Si vuole di seguito elencare quattro macrocategorie in cui rientrano i servizi ecosistemici forniti dagli habitat:

- Fornitura: si ottengono dai vari ecosistemi cibo, acqua dolce, legno, fibre, risorse genetiche e medicine;
- Gestione: la regolazione del clima e dei fenomeni naturali, la depurazione delle acque, la degradazione dei rifiuti, la fissazione del carbonio oltre all'impollinazione ed al controllo delle specie;

- Abitativi: sono fornite soluzioni vitali per le specie sia ad attitudine migratoria che stanziali, delle quali mantengono stabile il pool genico;
- Culturali: benefici non materiali che le persone ottengono dalla variabilità di climi ed ambienti, come l'arricchimento sia spirituale che intellettuale nei quali rientrano le funzionalità dei valori estetici e di benessere.

Nel giro di 10 anni il pianeta dovrà essere pronto ad alimentare altri 1,5 miliardi di persone; 90% delle quali vivrà nei paesi in via di sviluppo. Per far fronte a questa sfida la produzione mondiale dovrà aumentare del 60-70% entro il 2050, quando si raggiungeranno e supereranno i 9 miliardi di abitanti. Con la rapidità con cui si osserva il degrado del suolo e l'esaurimento delle risorse idriche, assieme all'uso eccessivo di pesticidi e fertilizzanti così in voga fino ad oggi, è tempo di riconoscere il fatto che l'agricoltura non può rimanere la stessa. Si dovrà necessariamente spingere il cambiamento di abitudini e le priorità avute fin ora dai tanti che coinquilini del pianeta. Fortunatamente però l'agricoltura non è solo una delle cause, ma può rivelarsi parte della soluzione: con sistemi di produzione sostenibili, essa può contribuire alla salvaguardia della biodiversità mentre ne è fruitrice dei suoi benefici. Ponendo l'attenzione verso gli aspetti conservativi di questa, i tecnici e gli operatori possono lavorare insieme agli enti pubblici per raggiungere il compromesso utopico con cui l'uomo riesce a vivere in armonia con la natura. Diversamente dal capitale economico ed umano, il valore del capitale naturale secondo la visione delle economie e della società viene spesso sottovalutato. Non ha questo, abbastanza considerazione nella fase decisionale sia nei sistemi amministrativi pubblici che in quelli privati poiché difficilmente monetizzabile e dal quale non si possono ottenere benefici nel breve periodo.

“A qualsiasi livello, dal macroscopico al microscopico, sono le comunità, intese come relazioni fra viventi, che permettono la persistenza della vita.” è quanto suggerisce il neurobiologo vegetale Stefano Mancuso nel suo libro *La Nazione delle Piante*.

2. DIFESA DELLE PIANTE

Una buona difesa delle piante segue una serie di strategie che presuppongono una conoscenza agronomica, chimica e tecnica dei mezzi attualmente a disposizione, mantenendo particolare attenzione verso le continue scoperte in campo scientifico.



Fig.3 – 2020, *International Year of Plant Health*.

Gli organismi vegetali durante il processo evolutivo hanno lottato autonomamente con le malattie che li affliggevano. Si stima oggi che per ciascuna specie di pianta, esistano almeno cento differenti tipologie di microorganismi capaci di debilitarla, instaurando legami competitivi; risultare innocui di fronte alla serie di mezzi difensivi messi in atto per sconfiggerli; oppure capaci di convivere col vegetale generando complicità e benefici per entrambi. La capacità delle piante di tutelarsi sfrutta la combinazione di più strategie difensive. Queste strategie possono dividersi in barriere fisiche e reazioni biochimiche. Entrambe progrediscono più o meno contemporaneamente al variare della minaccia in questione e, mentre nel

primo caso queste si esplicano limitando penetrazione e conseguente invasione, nel secondo agiscono inibendo la crescita e la riproduzione tramite la produzione di sostanze tossiche per il microorganismo patogeno. Volendo semplificare il quadro generale, manteniamo fisso il sistema pianta-patogeno ed osserviamo la quantità di variabili che si interpongono nella riuscita dell'impresa che costerà la sopravvivenza per uno o per l'altro contendente. Il contesto ambientale, come anticipato in precedenza, gioca un ruolo essenziale sia nelle capacità di sporulazione di alcuni patogeni, ma anche nella costituzione dell'individuo in termini di nutrienti. In combinazione ai meccanismi citati, un peso rilevante nella dinamica va attribuito all'organo soggetto all'attacco; la presenza di malattie pregresse e la possibilità di una contemporanea emergenza di malattie dovuta ad altri organismi. Sicuramente la modalità più efficace di difesa avviene quando non si verificano attacchi. La banalità di questa frase ha però ripercussioni concettuali nello studio dei sistemi di incompatibilità tra specie. Essendo il fenomeno infettivo completamente gestito da programmazioni genetiche degli attori in questione, risulta necessario l'instaurarsi di un sistema diretto di riconoscimento per far sì che la malattia si manifesti. Pur non essendoci stati contatti in precedenza, molte piante sembrano essere geneticamente predisposte, immunizzate o semplicemente più reattive di altre: questa osservazione è imputabile alla presenza nelle cellule vegetali di sostanze dette "fitoanticipine" già presenti prima dell'infezione. Il riconoscimento del patogeno da parte della pianta avviene mediante dei specifici recettori proteici, controllati da molecole e porzioni di DNA. Per poter affidarsi alle proprie difese però, è necessaria una compatibilità detta "gene per gene" tra i due soggetti. La capacità patogenica del microorganismo si verifica quando questo non

invia segnali anticipati dell'attacco alla pianta, che viene generalmente mediato dagli elicitori. La stessa situazione può ricrearsi nel caso in cui, nonostante vengano inviati segnali d'allerta alla pianta, questa non possiede recettori per tradurre il messaggio in reazioni difensive. Quando invece esiste una combinazione tra elicitore patogeno e recettore ospite, vengono mobilitate le strategie difensive. Inerentemente alla genetica del riconoscimento reciproco, si è visto che quando specifici geni di resistenza appaiono nella forma dominante, nel fenotipo, la pianta sarà capace di riconoscere l'arrivo di uno specifico elicitore; mentre nel caso in cui la resistenza si trovi nella sua forma recessiva, il vegetale, che arrivi o meno il segnale d'attacco, non avrà la possibilità di riconoscerlo e difendersi. Nell'organismo patogeno, la recessività, o la mancanza di determinati geni, invece, implica la virulenza che, solo nel caso in cui i geni appaiano nella loro forma dominante, verranno tradotti in segnali tangibili d'attacco.

I sintomi della malattia, che siano questi di natura biotica piuttosto che abiotica, concorreranno ad una modificazione delle normali attività dell'individuo che in scala epidemiologica possono avere forti ripercussioni nei sistemi produttivi, economici, sociali ed ambientali influenzando profondamente la vita dell'uomo e delle specie viventi.

2.1. Storia di malattie ed interventi epocali

Lo studio e la ricerca di nuovi sistemi produttivi da parte dell'uomo risultano una formula basilare, iniziata già dai tempi di Omero (1 000 a.C), per garantire la sopravvivenza della popolazione. Le malattie vegetali hanno portato nel corso della storia a carestie, epidemie, adattamenti, modifica delle abitudini alimentari, per non

parlare delle migrazioni di massa, dei cali demografici e della nascita di miti popolari. I primi racconti di carestie causate da malattie epidemiche delle piante si trovano nella Bibbia, arrivando ai nostri giorni con documentazioni argomentate sia da Teofrasto prima, che da Plinio successivamente. Queste storie ci mostrano quanto queste fossero temute, da essere paragonabili alle malattie che colpivano direttamente l'uomo o alle guerre. Nell'Antico Testamento già si faceva riferimento alle più importanti malattie alle quali l'uomo non aveva però possibilità di sottrarsi; fin quando il cosiddetto "padre della botanica" (Teofrasto) coi suoi studi guidati dall'intuito, giunse a considerazioni rivoluzionarie sulla gestione delle colture e sui meccanismi coi quali molti eventi si verificavano. Perdite consistenti di derrate alimentari si sono conseguite nel tempo per gli agenti patologici di ruggini e carboni nelle colture cerealicole. Relativamente poco fa su queste coltivazioni, che sappiamo essere parte integrante della dieta cui l'uomo si appoggia da millenni, sono state effettuate manovre per il miglioramento genetico, contestualmente alla maggior richiesta di cibo da parte della popolazione, con ottime ripercussioni sull'aumento di produttività delle cultivar di bassa taglia. Nonostante la manovra riscosse forte successo nel breve tempo, si osservarono altri risultati considerando tempistiche più lungimiranti: questa specificità varietale nei campi, ha condizionato l'elevata suscettibilità delle nuove varietà ad alcune malattie fungine epidemiche come la ruggine del grano (-55% di produzione), la septoriosi (-80%), la maggior suscettibilità del riso a diverse malattie batteriche prima sconosciute ed al brusone; infine, il mais sensibile alla razza T dell'elimintosporiosi. Al tempo dei romani, proprio le ruggini furono così devastanti rispetto altre malattie che decisero di dedicargli un vero e proprio Dio, Robigus, al quale venivano offerti sacrifici per

ottemperare al manifestarsi dei sintomi che avrebbero altrimenti pregiudicato i raccolti. Fu solo intorno al 1200 a.C, quando Alberto Magno riconobbe il primo evidente meccanismo cui il vischio traeva vantaggi del parassitismo di alcuni alberi che apparivano debilitati e sintomatici, che la patologia vegetale ebbe una svolta epocale, esclusiva però per chi aveva occhi ed orecchie per accorgersene. Ovunque, per oltre 2000 anni, si è imputata alle malattie che colpivano sia uomini che piante la totale generazione spontanea: erano considerati i sintomi visibili la vera malattia, piuttosto che essere associati alle conseguenze degli effetti d'insieme delle reali cause. Non si era ancora pronti a considerare la presenza di esseri invisibili, potenzialmente dannosi, fino la scoperta del microscopio nel 1600. Questo strumento ha permesso agli scienziati di proporre teorie e spiegazioni incentrate sul coinvolgimento di minuscoli organismi nel sistema pianta-malattia. Continuavano però, secondo molti, ad essere come nel caso dei sintomi, il risultato del processo piuttosto che la causa scatenante. La dimostrazione si ebbe con Pier Antonio Micheli nel 1729, quando tentò di spiegare alla comunità scientifica che la capacità dei funghi di riprodursi consisteva in strutture prodotte dallo stesso. Purtroppo, però non sembrò sufficiente a provare che questi fossero entità capaci di vita propria posticipando il cambiamento dei paradigmi scientifico-filosofici a qualche tempo dopo. Questo pensiero rimase stabile fino gli inizi dell'860, momento in cui Anton deBary contribuì al sapere scientifico attribuendo ad un fungo la malattia della peronospora della patata; e contemporaneamente alle affermazioni di Pasteur sul susseguirsi delle generazioni anche nel mondo microscopico, se ne ebbe la conferma tramite la metodica universalmente approvata e valida tutt'ora, messa a punto da Koch. Questa si basava su una serie di postulati utili inizialmente per

identificare il primo batterio patogeno di uomini ed animali, il *Bacillus anthracis*, per poi essere applicata anche al mondo vegetale come procedura standard nella diagnostica.

A nostro favore oggi, la valutazione dei danni arrecati dalle malattie all'umanità nel corso della storia concorrono alla loro presa in considerazione per trarne insegnamenti preziosi. Ricordiamo ad esempio la gravità degli scoppi nel centro-nord Europa dell'ergotismo: questa è una malattia che ha afflitto umani e diverse altre specie animali che si cibavano di alimenti contaminati dalle spore di un fungo attivo sulle colture cerealicole. Fu agli inizi del 1800 che sempre in Europa, coi suoi territori a vocazione viticola, si subirono forti impatti dovuti alla sporulazione di malattie fungine ed alla capacità di queste zone di accogliere l'afide da cui venne trasmessa una delle più dannose malattie della vite, la fillossera. Questo agente proveniva dai vitigni del Nord America e trovò particolarmente indicate le zone europee per la propria crescita. Nei confronti dei funghi vennero applicati composti a base di zolfo, mentre per la fillossera si agì per via genetica: alcune piante che si scoprirono resistenti vennero usate per la creazione di ibridi tramite l'innesto di questi con le precedenti cultivar maggiormente produttive. Qualche anno dopo, intorno al 1840, si trova l'Irlanda in profonda crisi. In questo scenario catastrofico si sono avute perdite di oltre due milioni di vite dovuti alla carestia indotta dall'agente della peronospora della patata. Di questa malattia che aveva colpito il principale alimento su cui si basava l'alimentazione umana in quegli anni si conosceva poco, né tanto meno si avevano mezzi di controllo efficaci per un suo possibile contenimento. Una pandemia, quella, che interessò attraverso il flusso migratorio, anche quei territori in stretto contatto commerciale con il

focolaio col quale la malattia si è diffusa. Altrettante perdite si ebbero a causa del clima eccezionalmente umido che nel 1942 in Bengala portò alla ricerca di nuove forme di sostentamento differenti dal comune riso. Quest'ultimo venne colpito dalla precedentemente citata elimintosporiosi, il cui agente patogeno è *Bipolaris oryzae*. In quel contesto i raccolti furono così scarsi da poterseli permettere solo chi aveva solide basi economiche per far fronte all'aumento vertiginoso dei prezzi.

Anche in ambito forestale nel tempo si sono corsi seri rischi dei quali ricordiamo la Ruggine del castagno nell'est degli USA; luogo in cui si verificò anche la grafiosi dell'olmo che interessò anche porzioni di Francia ed Olanda, causata invece da una specie particolarmente virulenta di funghi ascomiceti chiamati *Ophiostoma* o ceratostomella. Questa malattia si abbatté anche su molti dei grandi olmi in tutta Italia, determinandone la scomparsa pressoché totale dai campi, parchi e regioni montane. Tra le colture arboree le palme di cocco nei caraibi vennero sterminate a metà degli anni 90 da un fitoplasma, una forma di vita simile a batteri, impattante sulla parete cellulare causando giallumi e deperimento all'ospite. Negli stessi anni si osservavano i cancri del cipresso sia nel Nord America che nelle isole greche. Nell'areale europeo questi causarono perdite evidenti colpendo fino al 98% degli individui. Oggi le specie di olivo, oleandro e vite sono le protagoniste di uno scenario spaventoso. *Xylella fastidiosa* è un batterio fitopatogeno da quarantena, aerobico e Gram-negativo, che causa la malattia di Pierce, da Newton B. Pierce che ne studiò le caratteristiche. Questo microorganismo sta da tempo facendo scalpore nel mondo agricolo dell'intero pianeta estendendosi dall'Argentina, dove colpisce agrumi e caffè, fino agli areali viticoli ed olivicoli americani, in Texas e California. Il suo meccanismo prevede la

proliferazione nei vasi xilematici che una volta occlusi implicano debilitazioni all'intero individuo, specialmente se colpito contemporaneamente da altre malattie anche minori. Il Sud Italia in questa storia, visto l'ordinamento colturale salentino soprattutto vocato all'olivicoltura, è la sede assoggettata al Complesso del disseccamento rapido dell'olivo" causato dallo stesso batterio, sub-specie *Pauca*, la stessa artefice della moria di agrumi in Costa Rica. Oggi quest'infezione ha reso improduttive oltre 4 milioni di piante; più di 50 mila ettari di oliveti andati distrutti per prevenire la diffusione comportando una repentina flessione della produzione olivicola italiana. La diffusione di questa malattia è ulteriormente amplificata da una serie di insetti vettori sui quali si interviene direttamente nel contenimento, oltre che nella sanificazione degli attrezzi utilizzati ad esempio nelle patate. Nel contenimento della malattia di Pierce vengono seguiti i disciplinari preventivi della quarantena fitopatologica secondo il D.M. 18giugno 1993 sul controllo di materiale in entrata ed in uscita tramite passaporti identificativi dello stato sanitario delle piante.

2.2. Difesa Integrata

Con la legge n4 del 3 febbraio 2011 art.4, viene definita "produzione integrata" quel sistema agroalimentare che utilizza tutti i mezzi produttivi e di difesa delle colture agricole dalle avversità, volti a ridurre al minimo l'uso delle sostanze chimiche di sintesi e a razionalizzare la fertilizzazione, nel rispetto dei principi ecologici, economici e tossicologici.

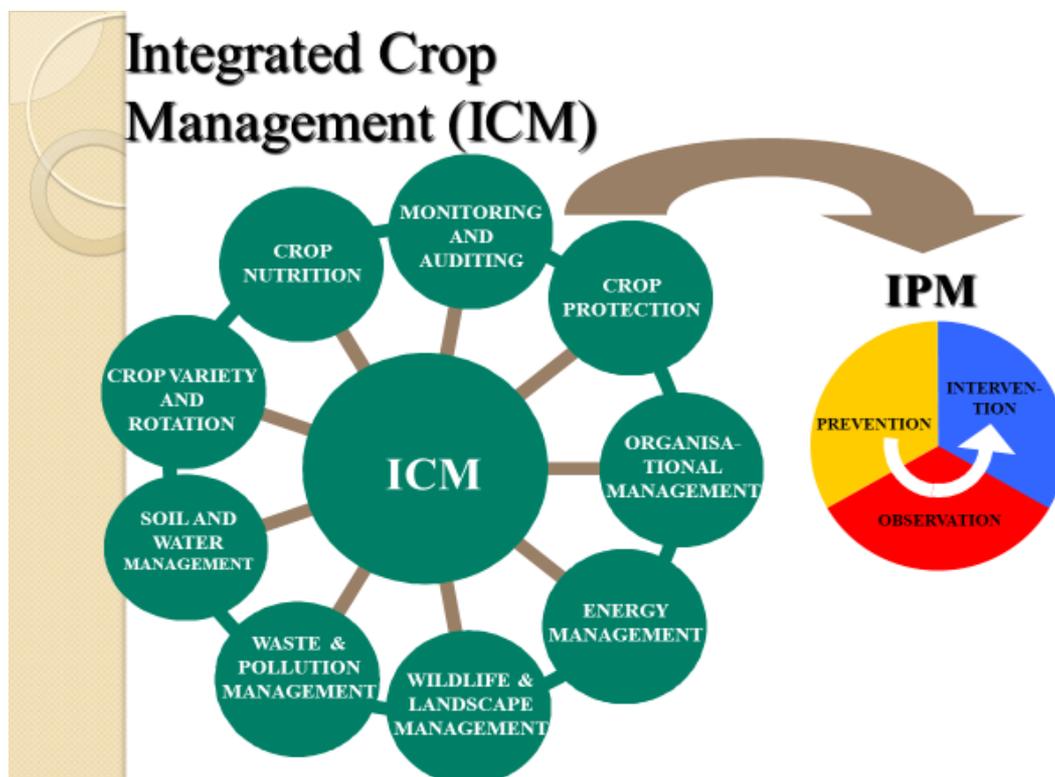


Fig. 4 – Schema dei parametri di riferimento di una produzione integrata.

La difesa integrata, anche nota come *Integrated Pest Management (IPM)*, è una strategia di gestione delle colture che prevede una serie di misure preventive nel controllo delle malattie. Questi interventi applicano i saperi di più settori tecnici che includono approcci genetici, biologici, fisici e chimici, coadiuvati sia dal sapere agronomico che dall'applicazione di normative; così facendo, si ottengono risultati efficaci con l'uso ridotto di input esterni, o se necessari, con la scelta ragionevole di questi. Il sistema normalmente seguito per decenni dagli agricoltori era basato su una lotta a calendario: prevedeva interventi chimici con prodotti fitosanitari nonostante non sussistessero le condizioni per cui una malattia si sarebbe potuta manifestare. Questa strategia ha contribuito all'impatto sugli elementi ambientali più sensibili, generando squilibri ecologici e pericoli sia diretti che indiretti sulla

salute delle persone. Da questa fase operativa si è passati poi, ad una modalità guidata degli interventi effettuati basandosi, in questo caso, sulle soglie di rischio epidemiologico di una specifica malattia. Con un approccio di tipo integrato, invece, si iniziano a considerare i contesti già dal preimpianto, proprio quando si vanno a definire le migliori strategie d'intervento. In relazione alla condizione ambientale su cui si svilupperà una specifica coltura, questo approccio si pone l'obiettivo di utilizzare materiale di propagazione sano, possibilmente resistente alle malattie endemiche del territorio, per poter garantire l'assenza di una certa malattia pregiudizievole la qualità del prodotto finale. La coltivazione viene gestita considerando gli specifici sistemi di controllo dei patogeni e della flora spontanea per i quali è frequente l'uso di serre o locazioni isolate spazialmente da malattie o vettori. L'ulteriore conoscenza delle basi genetiche delle colture fornisce una marcia in più nella tutela delle piante. Queste informazioni permettono di implementare la scelta varietale considerando anche il potenziale genetico di alcune cultivar rispetto ad altre meno idonee per i corrispettivi livelli di resistenza. Fondamentale risulta la fase di monitoraggio della situazione epidemiologica in campo per prevenire danni e limitare quelli già in atto eliminando, ad esempio, le porzioni di pianta o l'intero individuo se malato; si procede poi a sanificare l'ambiente e le attrezzature ove necessario.

Nel postraccolta ci sono una serie di mezzi fisici atti a rimuovere inoculi e gestire infezioni in atto. Queste sono spesso le più innocue dal punto di vista della sicurezza alimentare rendendo il prodotto che arriverà al consumatore esente da eventuali residui chimici, pur ché non applicati in precedenza. Tra queste figurano la frigoconservazione, l'uso di ambienti iper o ipobarici, o ricchi di ozono che

costituiscono ottime barriere, se opportunamente implementate da attente analisi su campioni rappresentativi e da sistemi sempre più delicati ed efficaci di confezionamento. Anche la fase logistica del trasporto di materiale richiede un alto livello di accorgimenti per poter essere meno rischioso possibile, soprattutto quando si muovono prodotti al di fuori dei confini dello Stato. Lo spostamento di persone, animali e merci aumenta la possibilità di inserire in un qualsiasi territorio delle specie esotiche potenzialmente dannose per quell'ambiente. Sono pertanto previste frequenti ispezioni doganali e regolamentazioni internazionali sul flusso di materiale.

Il concetto alla base di una produzione integrata che prevede un sistema di difesa integrato da più tecniche e mezzi, riprende il detto popolare per il quale prevenire sia meglio che curare. A questo scopo si possono attuare singolarmente o una combinazione di strategie, coi presupposti dalle attuali conoscenze in campo scientifico, come avviene ad esempio mediante meccanismi di induzione di resistenza nelle piante tramite composti chimici, selezione di specie tolleranti ad una o più malattie, oppure ponendo volontariamente l'individuo in condizioni ambientali calibrate per risultare stressanti. In questo modo l'individuo "memorizza" uno specifico evento con cui è stato in contatto risultando così, pronto a reagire sia allo stesso evento che ad una serie di altri potenziali rischi qualora si verificassero in condizioni non controllate. In questi casi si parla di "*priming*"; ed un effetto simile si può ottenere con l'uso di alcuni microorganismi che, come per le specie animali, una volta che la pianta entra in contatto con un virus non virulento, questa può risultarvi immunizzata come fosse vaccinata specificatamente per quel ceppo. Vari esperimenti in ambito agronomico vedono il *priming* efficace

negli individui normalmente soggetti al Tobacco Mosaic Virus. A differenza dei virus, nelle malattie causate da batteri e funghi, si ha una induzione difensiva transitoria ma aspecifica, quindi rivolta a più ceppi o specie potenzialmente patogene. Attraverso l'uso di composti naturali come l'acido esanoico o altre sostanze a bassa tossicità come il chitosano, si può migliorare la resistenza delle piante ai parassiti senza lasciare residui chimici in frutta e verdura.

Un corretto programma di trattamenti che alterna questi composti e quelli classici potrebbe essere utile sia per la riduzione dei danni da parassiti che per la salubrità del prodotto finale. Inoltre, l'uso di questi agenti d'innesco, se coadiuvati a composti nutrizionali come NH_4^+ o la colonizzazione con micorrize, potrebbero potenziare ulteriormente l'individuo risultando un'alternativa interessante ai tradizionali trattamenti preventivi e curativi. Dunque, l'induzione di resistenza è una possibilità preventiva come lo sono le terapie per sanificare il materiale di propagazione vegetativo che possono derivare da fornitori, come enti vivaistici non convenzionati, che potrebbero vendere talee potenzialmente infette. Su questo materiale si può agire preventivamente con un'opportuna termoterapia.

Sebbene i mezzi a disposizione dell'agronomo possano essere stati utilizzati al meglio facendo ad esempio buone rotazioni colturali, sesti d'impianto adatti ed una buona combinazione di piante adatte e suoli ospitali, potrebbero non risultare sufficienti: si agisce quindi, attraverso una preventiva diagnosi, alla scelta difensiva più consona al caso. In questo sistema l'agricoltore andrà a gestire la nutrizione luminosa, idrica, piuttosto che in elementi che potrebbero apparire per diverse ragioni squilibrati o insufficienti. In combinazione all'adeguato apporto nutritivo, si può mettere in pratica una lotta biologica introducendo organismi viventi e

diversi dall'uomo o dall'ospite, che sono in grado di agire direttamente contro il patogeno, il vettore o indirettamente contro le loro capacità espansive. I risultati di questo procedimento possono derivare da una predazione o dal parassitismo dell'organismo dannoso; piuttosto che dalla genesi di ambienti tossici mediato da molecole deterrenti. Alternativamente, possono verificarsi anche fenomeni di competitività tra organismi vicendevolmente antagonisti o di mutua collaborazione. Sono interventi questi, che si rifanno ai principi dei terreni repressivi, nei quali si gestisce l'ambiente per gestire il problema, mantenendo l'attenzione su eventuali ripercussioni o rischi al sistema più ampio.

Una lotta chimica che prevede l'uso di principi attivi singoli o all'interno di prodotti fitosanitari, viene normata a seconda dei potenziali rischi che si arrecherebbero alla salute diretta degli operatori, dei consumatori finali o verso qualsiasi specie possa involontariamente subirne gli effetti tossici. La normativa tutela anche indirettamente l'ambiente, limitando le quantità riscontrabili a livello del suolo, per lo stesso discorso per cui concimazioni azotate andrebbero calibrate, anche i fitofarmaci, specie se di sintesi, rischiano di raggiungere le falde acquifere sotterranee inquinandole. Di questi prodotti, oltre le prove di tossicità e valutazione di periodi di degradabilità dei relativi principi attivi, se ne considera l'efficacia e la relativa dose d'utilizzo. Per l'acquisto, la detenzione e l'uso di prodotti fitosanitari, l'operatore è tenuto a conseguire un patentino che ne attesti un buon livello di consapevolezza e conoscenza delle modalità d'impiego. Attualmente il mercato degli agrofarmaci sta virando la propria attenzione verso una serie di prodotti di origine naturale, da cui ci si aspetta il miracolo di una salvaguardia generale degli

ecosistemi, associata ad una efficacia quanto più paragonabile ad un principio attivo di sintesi. Si tenga a mente che ogni misura messa in atto parte dalla dimostrazione scientifica della propria validità nello specifico campo di applicazione; per tanto, deve risultare integrabile, monitorabile al fine di risultare quanto più efficiente e sostenibile.

Alcune ricerche avanguardiste sulle innovazioni nel settore agricolo stanno prendendo in considerazione la validazione delle cure tramite l'omeopatia di Hahnemann applicate al mondo vegetale. Questa metodica puramente sperimentale per il momento tende però ad aumentare di credibilità, in quanto, a differenza delle applicazioni sull'uomo, le ricerche condotte sul tema fin' ora sentono di escludere potenziali effetti placebo cui si imputa il fenomeno curativo. Pertanto, è prematuro escludere la possibilità che in un prossimo futuro si potrebbero venire a creare nuovi protocolli e modalità d'intervento che contemplino anche l'uso di questa.

2.2.1. PAN

Il Piano d'Azione Nazionale sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari rappresenta una manovra politica con obiettivi di lungo periodo. Con le azioni promosse nel primo ciclo di programmazione (2014-2019) si vuole regolamentare, sensibilizzare e guidare i soggetti e gli operatori interessati dal mondo agricolo e vegetale durante le proprie attività quotidiane. Nello specifico, la direttiva 2009/128/CE assegna agli Stati membri, il compito di garantire l'implementazione di politiche ed azioni volte alla riduzione dei rischi e degli impatti sulla salute umana, sull'ambiente e sulla biodiversità, derivanti dall'impiego dei prodotti fitosanitari: viene pensata per garantire le attività di coordinamento e

coinvolgimento delle istituzioni, alle quali appartengono Autorità locali, Amministrazioni regionali oltre a quelle centrali competenti nell'attuazione delle misure del Piano.

Il Consiglio Tecnico Scientifico per l'uso dei prodotti fitosanitari si pone l'intento di supportare le varie fasi mediante la corretta interpretazione ed applicazione normativa. In questo senso, vengono promosse una serie di attività comunicative, di sensibilizzazione ed informazione per aumentare il livello di consapevolezza di tutti i soggetti coinvolti. I temi vertono principalmente sui rischi per la salute umana e per l'ambiente derivanti dall'uso smodato di prodotti ad elevato rischio limitandone l'intervento laddove indispensabile. La formazione degli utilizzatori sulla conoscenza degli stessi interventi e delle tecniche produttive a basso impatto ambientale come la produzione integrata, l'agricoltura biologica e quella di precisione porta ad un innalzamento delle potenzialità e dell'efficienza dell'intero settore. In questo senso, gli interventi economici a sostegno degli investimenti produttivi incentivano la diffusione dell'agricoltura cosiddetta "2.0", così come previsto dalle Linee Guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia, oltre a tutte quelle tecnologie capaci di assicurare un impiego più efficace ed efficiente dei prodotti fitosanitari, a vantaggio dei metodi produttivi.

Il supporto diretto agli agricoltori viene fornito attraverso servizi di consulenza finalizzati alla difesa integrata delle colture, alla corretta gestione dei prodotti fitosanitari (stoccaggio, manipolazione, trattamento delle rimanenze e dei contenitori vuoti) cui gli strumenti finanziari di sussistenza della PAC fanno fronte. Contestualmente ha l'obiettivo di aprire possibilità di formazione personale per diventare consulenti preparati con capacità critiche e tecniche nel suggerire

l'adozione di specifiche soluzioni colturali e di impiego di mezzi tecnici, volti a mitigare i possibili effetti negativi derivanti dall'utilizzo dei prodotti fitosanitari, sia sulla salute umana (operatore, residente, astante) che sull'ambiente (riduzione dei fenomeni di deriva e ruscellamento). Appare importante sottolineare che ciascuna Regione e Provincia autonoma sarà tenuta a sviluppare campagne informative, comunicando sulla base di un'analisi del livello di consapevolezza degli utilizzatori professionali, di quelli non professionali e della cittadinanza, circa i rischi associati all'uso dei prodotti fitosanitari.

La PAC contribuisce esplicitamente all'attuazione del Piano a livello territoriale, facilitando direttamente e indirettamente il rispetto degli obblighi, il monitoraggio degli impegni, la valutazione degli impatti e la diffusione delle buone pratiche previste dal Piano i cui interventi finanziati dai Programmi di Sviluppo Rurale (PSR), in particolare, rappresentano un importante strumento di incentivazione delle azioni virtuose, sinergiche e coerenti con quelle previste dal Piano. Questo strumento consente inoltre di intervenire con sussidi compensativi degli svantaggi territoriali derivanti da requisiti cui le aziende in alcune zone sensibili risultano vincolati. Pertanto, l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari rappresenta una priorità d'intervento imposto dalla Strategia Nazionale della PAC che seguirà il 2020. Un importante contributo viene fornito dal DM 15/7/2015 - "Modalità di raccolta ed elaborazione dei dati per l'applicazione degli indicatori previsti dal Piano di Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari": questo decreto ministeriale si rivolge alla verifica dei progressi ed evidenziare eventuali criticità generando un sistema feedback nel quale le

Amministrazioni competenti sono in grado di riesaminare e correggere le misure adottate.

Il PAN s'impone l'ulteriore obiettivo di armonizzare e rafforzare le sinergie fra diversi strumenti di tutela come, ad esempio, quelli che riguardano i siti della Rete Natura 2000 e delle aree naturali protette, delle acque, della biodiversità e di ogni altro strumento di politica agro ambientale sul territorio previsti dalla PAC e dagli altri Fondi strutturali dell'Unione Europea. Si garantisce inoltre una più efficace sinergia tra le azioni del Piano e gli obiettivi di altre norme europee, tra cui la "direttiva quadro acque" (2000/60/CE), la "direttiva habitat" (92/43/CEE) e la "direttiva 57 uccelli" (2009/147/CE), oltre a fornire il sostegno finanziario per l'attuazione delle misure agro-ambientali finalizzate alla sostenibilità dell'uso dei prodotti fitosanitari con conseguente diminuzione della presenza di residui di sostanze attive di prodotti fitosanitari nelle acque. Il PAN viene pensato inoltre, per garantire la tutela degli impollinatori e delle api e dei relativi servizi ecosistemici; promuovere la ricerca e l'innovazione sui temi che maggiormente contribuiscono a rendere sostenibile l'uso dei prodotti fitosanitari e a diminuire il rischio connesso al loro impiego; tutelare la popolazione potenzialmente esposta al rischio connesso all'impiego dei prodotti fitosanitari nelle aree frequentate dalla popolazione, da gruppi vulnerabili e nelle stesse aree limitrofe alle superfici agricole nelle quali viene praticata la difesa delle colture mediante l'utilizzo di prodotti fitosanitari.

Contestualmente al panorama globale, il PAN di ciascuna nazione è tenuto a confrontarsi ed attenersi alle disposizioni comunitarie che regolano l'impiego di pesticidi e dei prodotti fitosanitari.

2.2.2. Protocolli e Standard Internazionali

Il Protocollo di Vienna, messo in atto dal 2019, indica i trattamenti fitosanitari (PT) come strumenti essenziali nel controllo degli organismi nocivi, in particolar modo verso quelli pericolosi per gli scambi su scala internazionale. Esso, oltre ad indicare validi supporti agricoli alternativi al bromuro di metile ed alti, aiuta a proteggere la biodiversità e gli ecosistemi. Vengono qui forniti i requisiti minimi necessari a controllare parassiti pericolosi o da quarantena, fungendo anche come guida su questioni specifiche relative alle modalità d'impiego dei singoli trattamenti fitosanitari. Gli Standard Internazionali delle Misure Fitosanitarie (*ISPMs*) sono adottati dalla Commissione delle Misure Fitosanitarie (*CPM*). Questo ente rappresenta l'organo governativo della Convenzione Internazionale sulla Protezione delle Piante (*IPPC*). Dal 1993, anno di partenza, fino allo scorso dicembre 2019, a cadenza annuale, ci sono stati 42 standard adottati, 29 protocolli diagnostici e 32 trattazioni fitosanitarie sui temi d'interesse globale quali: aumento della sicurezza alimentare; agricoltura sostenibile; protezione ambientale tutelando deforestazione ed incremento della biodiversità; sviluppo di politiche riguardo economie e commerci internazionali. La IPPC rappresenta un trattato che coinvolge oltre 180 paesi in tutto il mondo che rientra fra le misure riconosciute dalla *World Trade Organization (WTO)* col suo accordo sulle Misure Sanitarie e Fitosanitarie (*SPS*). Oltre la precedente, questo accordo riconosce sia il *Codex Alimentarius Commission* per gli standard nel settore della alimentare, che la *World Organization for Animal Health (OIE)* sugli standard della salute del mondo animale. Il corpo esecutivo del sistema è rappresentato dal *CMP Bureau*: esso si riunisce almeno 5 volte tra una sessione *CMP* e l'altra ed è formato da 7 membri eletti che cooperano

assieme al segretario generale *IPPC* sulle direzioni strategiche e sulla gestione operativa e finanziaria delle attività. Ciascun membro appartiene ad una regione *FAO*, così da tener presente le voci dei diversi contesti applicativi, le necessità e le risorse globali. Tra i temi dell'ultima riunione tenutasi in via telematica il 27 maggio 2020 è stato trattato il prolungamento degli eventi inerenti all'Anno Internazionale Della Salute delle Piante (*IYPH*) fino a giugno 2021 a causa dell'epidemia COVID-19. Il 2020 è stato infatti nominato dalla stessa (*FAO*) come l'anno in cui si mira quanto mai prima alla sensibilizzazione della comunità sul ruolo che le piante hanno per la nostra alimentazione e nella nostra vita. Si tratteranno con il proseguire degli eventi, temi che interconnettono il mantenimento della salute delle piante agli obiettivi per una crescita sostenibile. Altri argomenti d'interesse riguardano la maggior attenzione negli scambi di piante e derivati tra le frontiere; il raggiungimento degli standard qualitativi di salubrità; la connessione tra piante in salute e protezione ambientale. Si qualificano i soggetti e le manovre con cui ciascuno può agire coinvolgendo governi; comunità di persone; donatori; organizzazioni non governative; educatori ed agricoltori.

Strutturalmente ogni nazione può scegliere di aderire all'organizzazione intergovernativa detta *Regional Plant Protection Organization (RPPO)* che fa da tramite tra le singole Organizzazioni Nazionali per la Protezione delle Piante (*NPPO*) e la *IPPC*. C'è da chiarire che non tutti i membri *RPPO* sono contraenti dell'*IPPC*, né esiste una obbligazione che lega la *IPPC* ad essere organizzata attraverso ciascuna *RPPO* nazionale. Si può dunque affermare che la *RPPO* è un tramite adesione volontaria cui una Nazione può far riferimento allo scopo di

ottimizzare la coordinazione, la cooperazione, la divulgazione e l'armonizzazione delle misure in base alle condizioni della zona in cui si trova.

Le misure ISPM, con questa fitta rete burocratica di *feedback*, possono agevolare il lavoro di ciascuno Stato fornendo linee guida su varie tematiche. Una di queste è il sistema di certificazione fitosanitaria che tutela gli scambi di materiali vegetativi tra diversi Paesi, ciascuno dei quali poi interverrà con opportune verifiche interne. A questo proposito darà indicazioni su come comportarsi nelle zone sottoposte a quarantena, con le rispettive regolamentazioni, manovre d'indagine, di monitoraggio e d'azione; oltre a dei protocolli per evitare si presentino le condizioni per far emergere un'epidemia. Queste misure suggeriscono inoltre le scelte più appropriate sul controllo con microorganismi di alcune malattie, attente a minimizzare quelle controindicazioni che possono verificarsi attraverso l'introduzione di nuove specie in un habitat o ecosistema.

Una corposa legislazione UE disciplina la commercializzazione e l'utilizzo dei prodotti fitosanitari e dei loro residui negli alimenti. I prodotti fitosanitari non possono essere commercializzati o utilizzati se non prima autorizzati. Si usa un sistema a due livelli in cui l'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (*EFSA*) valuta la corposa mole di sostanze attive contenute nei prodotti fitosanitari e gli Stati membri valutano e autorizzano i prodotti a livello nazionale. Il ruolo dell'*EFSA* è quello di fornire consulenza scientifica indipendente ai gestori del rischio in base delle proprie valutazioni del rischio sottoponendo ad una serie di protocolli standard le varie miscele. Sarà poi della Commissione europea e gli Stati membri la scelta di adottare specifiche decisioni di gestione del rischio su questioni normative, tra cui l'approvazione delle sostanze attive e l'impostazione dei limiti di

legge per i residui di pesticidi nei prodotti alimentari e nei mangimi. Per esempio, all'inizio del 2013, a seguito della pubblicazione della relazione sugli effetti nocivi di alcuni insetticidi neonicotinoidi, il Parlamento Europeo ha invitato la Commissione ad agire con fermezza per proteggere le popolazioni di api. Nel marzo 2013 lo stesso Parlamento ha approvato una risoluzione sull'amianto relativa alle minacce per la salute sul luogo di lavoro e le prospettive di eliminazione di tutto l'amianto esistente. Il 16 gennaio 2019, nella sua seduta plenaria, il Parlamento Europeo ha adottato la relazione della commissione speciale PEST con la quale si è giunti ad una serie di conclusioni tra cui si ricordano: il pubblico dovrebbe avere accesso agli studi utilizzati nella procedura di autorizzazione; il quadro dell'UE dovrebbe stimolare l'innovazione e promuovere i pesticidi a basso rischio; esperti scientifici dovrebbero esaminare gli studi sulla cancerogenicità del glifosato; qualsiasi requisito relativo ai dati dovrebbe comprendere la tossicità a lungo termine.

Il Programma di Crescita delle Nazioni Unite (*UNPD*) è sistema tra i più all'avanguardia nel riprodurre in scala le azioni esemplari che si ritrovano nel mondo rispetto gli adattamenti ecosistemici alle nuove esigenze dovute cambiamento climatico. Nell'ultimo decennio questo ha reso possibile, con oltre mezzo miliardo di dollari in finanziamenti derivanti dal Fondo di adattamento, dal Fondo per l'ambiente globale e da quello per il clima verde, il supporto ai governi nel reimpianto di oltre 213.000 ettari di mangrovie e foreste, oltre che nella protezione oltre due milioni di ettari di terra, 16.000 chilometri di costa vulnerabile e 145.000 ettari di habitat marino. Queste manovre applicate verso il potere della natura, capace di proteggere l'umanità, hanno anche portato in 853.800 ettari di

terreni agricoli una gestione migliorata ed un migliore stile di vita; così da riuscire a garantire il sostentamento di 25,5 milioni di persone: i primi veri superstiti della crisi climatica globale in atto.

I prodotti fitosanitari sono disciplinati essenzialmente dal Regolamento quadro (CE) 1107/2009, mentre tutte le questioni relative ai limiti di legge dei residui di pesticidi nei cibi sono trattati nel Regolamento (CE) 396/2005. Quest'ultimo regolamento disciplina anche i controlli ufficiali sui residui di pesticidi negli alimenti di origine vegetale e animale, che possono derivare dall'impiego dei pesticidi per proteggere le colture ed i foraggi.

Per inserire una nuova sostanza attiva nell'UE all'interno di un formulato commerciale, questa deve essere approvata dalla Commissione europea attraverso un approfondito processo di valutazione dei rischi associati alle sostanze attive: questa indagine mira a determinare se i suddetti prodotti, purché usati correttamente, possono produrre, direttamente o indirettamente, effetti nocivi sulla salute dell'uomo o degli animali (per esempio attraverso l'acqua potabile, gli alimenti o i mangimi) e non compromettono la qualità delle falde acquifere. Inoltre, con la valutazione del rischio ambientale, l'Unità "Pesticidi" dell'*EFSA* che è responsabile degli esami, si prefigge l'obiettivo di valutare l'impatto potenziale di tali prodotti sugli organismi non bersaglio. Questa unità ha inoltre il compito di redigere l'annuale relazione sui residui di pesticidi nell'UE fornendo poi supporto amministrativo e scientifico al gruppo di esperti scientifici dell'*EFSA* sui prodotti fitosanitari e i loro residui (gruppo *PPR*). I documenti sviluppati e rivisti dal gruppo e dall'unità contengono le linee guida forniscono indicazioni sulle metodologie scientifiche, compresi i documenti orientativi, ai richiedenti ed agli Stati membri,

oltre a fornire informazioni sulle modalità di conduzione della valutazione del rischio per un dato settore nel contesto della revisione paritetica delle sostanze attive usate nei prodotti fitosanitari. Le sostanze attive vengono generalmente autorizzate per un periodo di dieci anni, dopo di che il produttore è tenuto a richiederne il rinnovo; mentre per le sostanze di base (SdB) che sono, in generale, i principi attivi non utilizzati principalmente come prodotti fitosanitari, ma che possono essere utili a proteggere le piante, i criteri di approvazione sono stabiliti dal regolamento quadro. Col Regolamento (CE) n. 1907/2006 concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (*REACH*) che costituisce un'Agenzia europea per le sostanze chimiche, si fornisce invece un quadro giuridico completo per la fabbricazione e l'uso delle sostanze chimiche in Europa, mirando, qualora siano disponibili, a sostituire le sostanze più pericolose con alternative più sicure. All'interno di questa documentazione si commentano temi come l'uso di detergenti; amianto; glifosate; inquinanti organici persistenti (*POP*); biocidi; indicazioni di classificazione, imballaggio, etichettatura, import ed export dei prodotti chimici; oltre all'utilizzo sostenibile dei pesticidi. Il Regolamento (CE) 1107/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 ottobre 2009, relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari, è finalizzato al raggiungimento di più elevati standard di tutela della salute dell'uomo e degli animali, nonché dell'ambiente. Si delinea con questo, un nuovo quadro organizzativo e procedurale che richiede un significativo adeguamento non solo dell'Amministrazione, ma anche degli operatori del settore, per ottemperare puntualmente agli obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alla comunità europea e per consentire l'allineamento dell'organizzazione interna

alle nuove disposizioni comunitarie sui processi autorizzativi che non avranno più solo un profilo nazionale, ma comunitario.

Nel caso specifico italiano, il Ministero della Salute indica come sostanze attive quegli elementi chimici e i loro composti, allo stato naturale o sotto forma di prodotti industriali, includendo le impurezze derivanti dal procedimento di fabbricazione. Ne fanno parte le sostanze o i microrganismi, compresi i virus, aventi un'azione generale o specifica sugli organismi nocivi o su vegetali, su parti di vegetali o su prodotti vegetali. In Italia i prodotti fitosanitari possono essere immessi in commercio ed utilizzati solo se sono stati autorizzati dal Ministero della Salute, conformemente alle disposizioni previste dal Regolamento (CE) N. 1107 del 21 ottobre 2009, dal D.P.R. 28 febbraio 2012, n. 55 e dal D.P.R. 23 aprile 2001, n. 290. I prodotti fitosanitari autorizzati devono essere utilizzati tenendo conto dei principi delle buone pratiche agricole e, se possibile, dei principi della lotta integrata considerando quanto stabilito dal decreto legislativo 14 agosto 2012, n. 150, ai fini dell'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari, ed in particolare, di quanto previsto dall'art. 6 per quanto riguarda l'attuazione della direttiva 2009/128/CE e l'adozione del Piano di azione nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (decreto interministeriale 22 gennaio 2014).

Ciascuno Stato membro è tenuto ad eseguire controlli per garantire che gli alimenti immessi sul mercato rispettino i limiti di legge. Coi suoi programmi di monitoraggio, l'Europa costituisce uno dei più completi programmi di verifica sugli alimenti al mondo, e analizza ogni anno oltre 75 000 campioni di alimenti per rilevare la presenza o meno di oltre 600 pesticidi diversi. Spostandoci invece verso Occidente, è l'*United States Environmental Protection Agency (US-EPA)* l'ente

predisposto a registrare e autorizzare i pesticidi per l'uso negli Stati Uniti. L'EPA riceve la sua autorità di registrazione dei pesticidi ai sensi della legge federale sugli insetticidi, i fungicidi e i rodenticidi (*FIFRA*). Inoltre, ai sensi della *Federal Food, Drug and Cosmetic Act (FFDCA)*, l'EPA stabilisce le tolleranze (livelli massimi legalmente ammessi) per i residui di pesticidi negli alimenti.

2.2.3. Il Prodotto Biologico

Produrre alimenti biologici è una soluzione che permette di ridurre il rilascio di pesticidi nell'ambiente e l'esposizione per l'uomo. Nell'agricoltura biologica l'impiego di pesticidi chimici, fertilizzanti sintetici, antibiotici e altre sostanze è sottoposto a limitazioni rigorose; se vogliono definire biologici i loro prodotti, le aziende agricole biologiche devono seguire alcune norme rigide. La nascita del settore biologico in Europa si colloca intorno agli anni 1960-70. La sua successiva espansione è stata favorita dalle misure di sviluppo rurale legate alla rimodulazione della PAC e dalla crescente domanda da parte dei consumatori di prodotti di sicuri e di qualità. Nella ripartizione delle superfici destinate al biologico nel mondo, l'Europa figura al secondo posto, con una quota pari al 24% del totale, mentre tra gli stati membri, i mercati del biologico più importanti si trovano in Germania e in Gran Bretagna, seguiti da Francia e Italia. Questo settore in Europa è costituito da un nucleo di aziende specializzate che adottano il sistema biologico esclusivamente per opportunità commerciali, ovvero per il *premium price* che questo garantisce e da altre attività che, pur non essendo orientate al biologico, si sono convertite ad esso grazie agli incentivi comunitari. Il *premium price* che varia tra il 10 ed il 50% in più rispetto ai prodotti dell'agricoltura convenzionale e le migliori prospettive di

collocazione sul mercato permettono di bilanciare sia le minori rese unitarie che i costi di certificazione. La conversione è facilitata dalle misure di compensazione adottate nell'ambito delle politiche nazionali. Si stimano che quasi il 60% delle aree destinate al biologico si trovano nei paesi europei mediterranei, in cui il 32% nei Balcani e il 9% nei paesi del Nord Africa e del Medio Oriente. In base ai dati del 2007, l'Italia risultava il primo produttore di biologico in Europa sia per estensione di superfici messe a coltura (1 milione di ettari) che per numero di operatori (oltre 50.000), seguita dalla Spagna e dalla Francia.

Nel regime biologico sono applicati limiti molto rigorosi per l'uso di prodotti agrochimici, pesticidi, fertilizzanti, antibiotici e additivi alimentari; il divieto di utilizzare organismi geneticamente modificati (OGM); uso delle risorse in loco; oltre ad un'attenta selezione delle specie vegetali e animali resistenti alle malattie e capaci di adattarsi alle condizioni locali.

Uno degli obiettivi nella produzione biologica è di ridurre l'uso di input esterni. Qualsiasi sostanza utilizzata nell'agricoltura biologica per combattere i parassiti o le malattie delle piante deve essere precedentemente approvata dalla Commissione europea. Inoltre, principi specifici guidano l'approvazione di input esterni come fertilizzanti, pesticidi e additivi alimentari in modo che solo le sostanze e i composti elencati come approvati nella legislazione specifica possano essere utilizzati nelle produzioni biologiche. Gli alimenti trasformati devono essere prodotti principalmente con ingredienti agricoli che possono contenere anche preparati di microorganismi ed enzimi, tracce minerali; vitamine ed altri additivi autorizzati dalla normativa. A tutelare ulteriormente l'affidabilità del processo, ciascun organismo vegetale per la produzione biologica deve derivare da una

propagazione vegetativa come semi e rizomi, anch'essi conformi agli standard normativi.

Il Regolamento CE 673/2016 del 29 aprile 2016 ha apportato alcune modifiche al precedente Regolamento CE 889/2008 tra cui l'aggiornamento dell'elenco delle sostanze utilizzabili come antiparassitari e/o prodotti fitosanitari in agricoltura biologica (Allegato II del Reg. CE 889/2008). Tra le novità, nell'elenco delle sostanze di origine vegetale o animale viene inserita la categoria delle Sostanze di Base (SdB). Il regolamento ne autorizza l'utilizzo unicamente per il controllo di organismi nocivi e malattie ma non come diserbanti. La normativa europea che regola questa categoria di sostanze è il Reg. CE 1107/2009, l'art. 23 definisce la SdB come *“una sostanza che non è potenzialmente pericolosa; non possiede una capacità intrinseca di provocare effetti nocivi sul sistema endocrino o effetti neurotossici o immunotossici, non è utilizzata principalmente per scopi fitosanitari, ma è comunque utile a tal fine, direttamente o in un prodotto da essa costituito e da un semplice agente diluente e non è immessa sul mercato come prodotto fitosanitario”*, per cui in sintesi, le SdB sono sostanze e/o prodotti già commercializzati per altri fini, per esempio per usi alimentari, ma che possono ugualmente trovare utile impiego per scopi fitosanitari. Affinché le SdB possano essere approvate come tali, occorre presentare una domanda alla Commissione Europea. Una sostanza di base è approvata se le valutazioni, effettuate su tale sostanza per la sua autorizzazione per scopi diversi da quello fitosanitario (uso tradizionale come prodotto alimentare), mostrano che la sostanza non ha un effetto nocivo, sulla salute umana, animale e sull'ambiente. Una volta approvate, queste vengono inserite dalla Commissione Europea in una lista risultando così utilizzabili

soltanto secondo le disposizioni specifiche indicate. Al contrario, se si volesse immettere sul mercato preparati costituiti da SdB miscelate a coadiuvanti e/o solventi di sintesi, tali preparati dovranno essere registrati come prodotti fitosanitari. Le Sostanze di base attualmente autorizzate sono:

- *Equisetum arvense* L. (integratore alimentare avente anche attività fungicida);
- Chitosano Cloridrato (utilizzato in medicina, negli alimenti e in cosmetica avente anche funzione fungicida e battericida);
- Saccarosio (utilizzato negli alimenti avente anche funzione insetticida);
- Idrossido di calcio (di qualità alimentare avente anche funzione fungicida);
- Aceto (di qualità alimentare, contenente un massimo del 10% di acido acetico, avente anche funzione fungicida e battericida);
- *Salix spp cortex* (corteccia di salice avente anche funzione fungicida);
- Lecitine (additivo alimentare avente anche attività fungicida);
- Fruttosio (utilizzato negli alimenti avente anche funzione di elicitore);
- Bicarbonato di sodio (utilizzato negli alimenti e in medicina avente anche funzione fungicida);
- Siero di latte (utilizzato negli alimenti avente anche funzione fungicida);
- Fosfato di diammonio (utilizzato in campo enologico avente anche funzione di attrattivo).

Altri aggiunti recentemente sono: talco, birra, ortica, olio di girasole, polvere di senape, olio di cipolla, carbone di argilla e L-cisteina.

Per questa categoria di sostanze non sono previsti Limiti Massimi di Residui (LMR), ed a differenza dei prodotti fitosanitari, possono essere venduti liberamente seppure secondo modalità ancora poco definite, soprattutto per quanto riguarda

l'etichettatura. Queste SdB non possono essere commercializzate unicamente per scopi fitosanitari, e la loro etichetta deve sempre riportare gli usi per i quali tali sostanze sono state inizialmente e principalmente immesse sul mercato, dall'altra parte, quando impiegate per finalità di difesa delle piante, occorre indicare le disposizioni specifiche per le quali sono state autorizzate dalla Commissione Europea. Gli agricoltori che intendono coltivare in biologico sono tenuti a adottare approcci conservativi per mantenere la fertilità del suolo e la salute degli animali e delle piante, tra le quali sono essenziali la rotazione delle colture nelle quali inserire piante azoto-fissatrici ed altre cultivar revitalizzanti la fertilità del suolo; il divieto nell'uso di concimi minerali di sintesi e tecniche ionizzanti o irradianti; scelta di cultivar resistenti e tecniche che incoraggiano il controllo naturale di parassiti e piante spontanee. Sono tenuti inoltre, a generare ambienti sani e rispettosi degli spazi essenziali; alimentare in base alle esigenze nutrizionali e curare gli animali tutelandone la salute ed il benessere, che si tradurrà facilmente in salute per il consumatore. Le rigide regole impartite per i prodotti biologici nell'UE seguono tutte le fasi del processo: dalla produzione primaria allo stoccaggio, durante eventuali trasformazioni, trasporti, distribuzione e fornitura al cliente finale. Elevato è quindi l'interesse sviluppato attorno ai distretti biologici e alla loro capacità di diventare soggetti di sviluppo locale. L'agricoltura biologica, oltre a portare un miglioramento ambientale generale e favorire il ripristino dei servizi ecosistemici, può contribuire alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti

climatici. Il potenziale di sequestro del carbonio è significativo e dovrebbe essere considerato nella futura politica agricola.

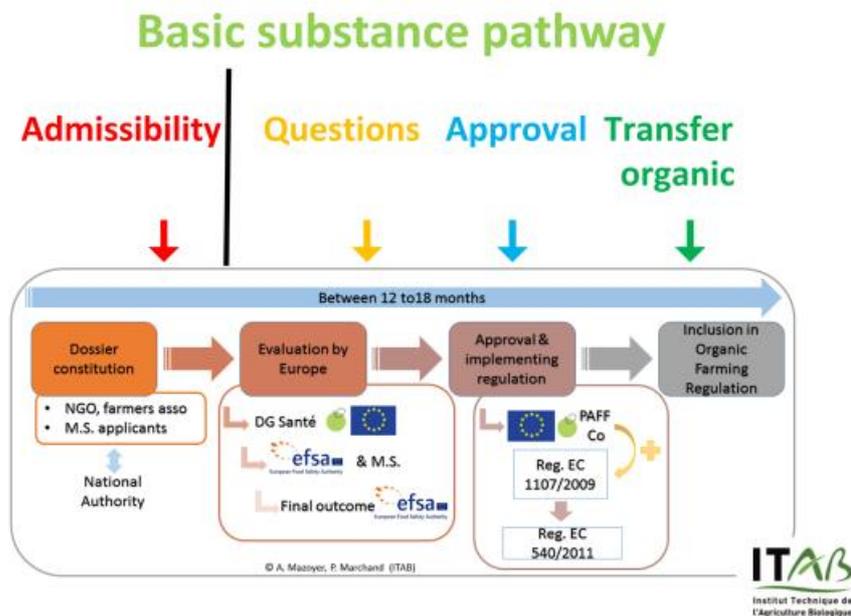


Fig.5 – Processo di approvazione delle SdB.

Ulteriori elementi a favore di una conversione al biologico sono stati la precocità di maturazione dei prodotti legata alle condizioni agro-climatologiche e i buoni rendimenti di alcune produzioni quali gli agrumi, l’olio di oliva, i datteri e le erbe aromatiche. Negli ultimi anni l’agricoltura biologica, più di quella convenzionale, sembra in grado di contrastare gli effetti del cambiamento climatico. I terreni coltivati con il metodo biologico presentano, infatti, un contenuto di humus che li rende meno esposti ai processi di erosione idrica e alle inondazioni. Inoltre, la maggiore presenza di humus aumenta la capacità di ritenzione idrica del suolo e, dunque, la possibilità di superare i periodi di siccità, sempre più frequenti all’interno dell’area.

Di contro si potrebbe obiettare che la produzione Biologica risulti meno efficiente sia in termini di rese che di costi unitari, anche se i maggiori costi di produzione possono essere compensati dal prezzo di vendita più elevato del biologico rispetto al convenzionale. Vanno considerate anche le opportunità che l'agricoltura biologica consente, come in alcuni casi, di integrare il reddito proveniente dalla vendita dei prodotti agricoli con quello legato all'erogazione di servizi turistici e ricreativi. L'assetto fondiario e la situazione occupazionale nelle aree rurali influenzano la scelta tra agricoltura biologica e convenzionale. La conversione al biologico risulta infatti più facile in quelle aree in cui prevalgono appezzamenti di modeste dimensioni nelle quali si registrano grandi disponibilità di manodopera, in quanto questa tipologia di approccio richiede dimensioni non eccessivamente ampie delle unità produttive e un elevato impiego di forza lavoro.

L'iter di accreditamento per le aziende che vogliono convertirsi ad un regime più conservativo prevede una richiesta al servizio di controllo e certificazione mediante il Sistema Informativo Biologico (SIB), al quale verranno dichiarate impostazioni di filiera ed attività ed ordinamento produttivo delle varie aree coltivate. A questo segue una presentazione del piano di gestione inerente alle misure che si vuole adottare. Una ispezione da parte di un Tecnico Controllore di ICEA effettuata sull'intera filiera produttiva verifica ed accerta mediante un certificato di conformità. ICEA si impone l'obbligo di monitorare annualmente le attività al fine di mantenere costanti gli standard produttivi.

A partire dal 2007 l'UE ha reso obbligatorio l'uso del marchio comune del biologico (la bandierina verde con la fogliolina di stelle europee) per tutti i prodotti confezionati, prodotti nel territorio della Comunità, che contengono almeno il 95%

di ingredienti Bio. Vicino al marchio europeo deve essere indicato il codice dell'organismo di controllo e l'effettiva origine (UE/non UE) degli ingredienti che lo costituiscono. Per origine si intende il luogo di produzione agricola, informazione che rende il biologico all'avanguardia e in controtendenza rispetto alle politiche europee in tema di informazione al consumatore. Quando si legge ITALIA (o Spagna, Francia, ecc.) significa che il 100% degli ingredienti sono stati coltivati sul territorio nazionale. Sugli Organismi di controllo autorizzati dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali per la certificazione degli operatori del biologico in Italia vigilano le Regioni e le altre autorità pubbliche preposte alla vigilanza (Repressione Frodi, NAS, ecc.). In questi casi l'obbligo di assoggettamento al regime di controllo, inizialmente previsto solo per i produttori agricoli, zootecnici e preparazioni alimentari, è stato esteso prima alla vendita al dettaglio di prodotti sfusi e preincartati (es. reparto ortofrutta, gastronomia, pane e prodotti da forno, ecc.) per poi raggiungere le attività di immagazzinamento e distribuzione all'ingrosso.

A favorire la cooperazione nel settore biologico nel mediterraneo, agiscono due reti principali: il gruppo regionale Ifoam ed il Moan. Il primo è un organismo associativo a cui aderiscono 750 membri di 100 paesi e che fissa, di concerto con i suoi membri, gli standard del biologico. Questa comunità ha creato un'organizzazione regionale denominata AgroBioMediterraneo (Abm) all'interno della quale sono rappresentati molti paesi mediterranei. Lo scopo è quello di divulgare informazioni, esperienze e pratiche legate all'agricoltura biologica, puntando non solo sull'assistenza ai produttori locali, ma anche sulla crescita del mercato interno tramite azioni di divulgazione presso i consumatori. Il Moan è

invece una rete creata dall'Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari a cui partecipano rappresentanti dei Ministeri dell'Agricoltura dei paesi membri, esperti e operatori del settore e che svolge attività di divulgazione nel settore biologico.

Una pubblicazione finale del CREA, curata dal Dr. Alberto Sturla, sui distretti biologici, realizzata nell'ambito del Programma Rete Rurale Nazionale 2014-20, Piano di azione biennale 2017-18 afferma quanto segue: *“i distretti biologici rappresentano una nuova forma di auto-organizzazione dei territori, in cui una pluralità di soggetti differenti, sia pubblici che privati, è chiamata a contribuire allo sviluppo locale, partendo dai valori dell'agricoltura biologica”*.

A partire dal 2009, anno dell'Istituzione del primo Bio-distretto nella zona del Cilento, il loro numero è andato via via aumentando, trascinato non solo dalle ottime performance economiche dell'agricoltura biologica, sempre più considerata come una scelta strategica per le filiere agroalimentari locali, ma anche (e soprattutto) dalla consapevolezza che i valori di sostenibilità ambientale, equità sociale e trasparenza debbano essere centrali in ogni discorso sullo sviluppo locale. Una prima valutazione di queste esperienze e individuazione dei tratti comuni è utile al fine di sistematizzarle e ottenere indicazioni di carattere generale sia per il loro stesso sviluppo, che agire da esempi applicativi per le scelte politiche da poter adottare in altri territori. Recentemente sono state inclusi nell'Allegato IV del Regolamento 396/2005 alcuni prodotti utilizzabili in agricoltura biologica basati su oli essenziali, tra cui il Trilogy, dei quali si tratterà più approfonditamente nei capitoli successivi.

2.2.4. Impatti ambientali e socio-economici

I moderni sistemi di produzione agrari hanno separato due attività precedentemente interdipendenti: la coltivazione della terra e l'allevamento. Tradizionalmente, infatti, la terra forniva all'allevamento la base di nutrienti per il bestiame, mentre quest'ultimo garantiva la naturale fertilizzazione del suolo. Con l'avvento dei sistemi di allevamento industriale, le deiezioni animali sono usate solo marginalmente come concimi. Questo in primis perché i reflui zootecnici sono ricchi di azoto e la loro dispersione nei corsi d'acqua provoca l'eutrofizzazione dei corpi idrici. In secondo luogo, risultano potenzialmente nocivi per la salute dell'uomo visto sia l'eccessivo utilizzo di antibiotici per garantire la salute del bestiame, che la somministrazione agli animali di ormoni per la crescita. La stessa alimentazione del bestiame è stata negli ultimi anni oggetto di critiche, in quanto normative concedevano l'uso di farine di origine animale, da considerare tra le cause della diffusione del morbo della mucca pazza. Altro elemento critico dell'agricoltura convenzionale è rappresentato dalla sua inefficienza sul piano energetico. L'attività agricola è passata da produttrice netta di energia sotto forma di calorie di origine animale e vegetale, a consumatrice netta di energia di origine fossile utilizzata per produrre concimi chimici, pesticidi e diserbanti e per alimentare le macchine agricole e i mezzi di trasporto che servono alla commercializzazione dei prodotti agricoli. Dal secondo dopoguerra ad oggi i consumi energetici in agricoltura sono aumentati in misura maggiore delle rese agricole. Il settore primario, inoltre, contribuisce al riscaldamento globale. Nell'UE l'agricoltura incide per circa il 9% sulle emissioni di gas serra, la maggior parte delle quali è legata alla produzione e all'utilizzo di input agricoli. I concimi chimici

azotati di sintesi nascono da un processo produttivo che produce anidride carbonica; inoltre, tali concimi somministrati alle colture rilasciano forti quantitativi di ossido di azoto (N₂O), un gas serra quasi trecento volte più impattante dell'anidride carbonica. Nei paesi della riva Sud-orientale del Mediterraneo, tutti i fattori di pressione sull'ambiente precedentemente elencati sono amplificati dalla scarsa dotazione di risorse naturali (terra e acqua) e dalla debolezza dei sistemi produttivi locali. In quest'area, l'estensione delle aree messe a coltura e l'aumento delle rese sono state possibili solo in alcune zone e grazie al varo di grandi progetti idrici che hanno messo al servizio dell'agricoltura la stragrande maggioranza delle risorse idriche disponibili. In molti paesi la quantità di acqua consumata dal settore agricolo supera l'80% della disponibilità idrica totale. Lo sbarramento dei fiumi e la creazione di grandi invasi hanno creato fenomeni di erosione costiera particolarmente evidenti nel delta del Nilo. Lo sfruttamento intensivo delle risorse idriche sotterranee ha determinato un innalzamento del livello della falda e l'intrusione di acqua marina nelle falde acquifere costiere (Territori palestinesi, Israele, Turchia, Cipro). Comune a molti paesi del Mediterraneo è la perdita di terreni agricoli a causa dell'elevata concentrazione di sali nel terreno (Italia, Spagna, Grecia, Turchia, Siria). L'estensione delle aree sottoposte a irrigazione è stata accompagnata dall'impiego di fertilizzanti chimici a causa della progressiva sostituzione di colture miste con monocolture che, nel lungo periodo, riducono la fertilità del suolo. Negli ultimi decenni si è registrato un forte incremento dell'uso di fertilizzanti e di pesticidi in tutti i Paesi partner mediterranei (Ppm), con punte particolarmente elevate in Israele, in Giordania e in Egitto. Nel versante africano ed asiatico del Mediterraneo, la distruzione della copertura vegetale legata

all'incremento delle aree destinate al pascolo e all'intensificazione dell'attività agricola nelle terre più produttive ha ridotto il livello di umidità del terreno e i margini di resilienza di un ecosistema estremamente fragile, accelerando il processo di desertificazione. Il degrado interessa non solo le zone più fertili, dove si concentra l'attività agricola e l'allevamento, ma anche quelle marginali, in quanto i fenomeni migratori interni determinano l'abbandono delle aree rurali, interrompendo la fondamentale funzione di presidio del territorio svolto dall'agricoltura.

La nuova politica delineatasi con la riforma Mac Sharry (1992) e soprattutto con Agenda 2000 (1999) ruota intorno all'idea di un'agricoltura «multifunzionale» che sancisce il tramonto dell'agricoltura basata esclusivamente su principi di efficienza economica e inaugura un processo di valorizzazione dei beni e dei servizi legati alle funzioni secondarie dell'agricoltura. La Riforma Mac Sharry interna alla PAC ha introdotto misure agro-ambientali che, attraverso un regime di aiuti volto a ridurre l'uso di concimi e di fitofarmaci, favoriscono la conversione a sistemi di coltivazione compatibili con le esigenze di tutela ambientale e di conservazione delle risorse naturali, quali l'agricoltura biologica. Con Agenda 2000 la dimensione ambientale è stata rafforzata, in quanto è stato sancito il legame profondo esistente tra politica agricola e interventi a difesa dell'ambiente, subordinando l'ampio sostegno garantito al settore primario alla realizzazione di interventi volti alla tutela e alla valorizzazione del paesaggio agrario, al controllo delle risorse naturali, alla produzione di alimenti di qualità. Un vantaggio si può ottenere della filiera corta e della vendita a chilometro zero promossa dai recenti Farmer Markets ottenuto mediante la riduzione dei costi di trasporto e delle emissioni inquinanti.

Nel quadro della Riforma Fischler del 2003 sono stati fissati gli assi di intervento prioritari (competitività, sostenibilità, diversificazione e approccio Leader), attribuendo a ognuno di essi una dotazione minima di risorse vincolante per ciascuno stato membro. L'interesse per l'ambiente assume rilievo sia all'interno del secondo asse con le misure agro-ambientali che del terzo, in quanto quest'ultimo prevede che la sopravvivenza dell'azienda agricola venga garantita integrando le funzioni produttive con quelle turistiche, culturali e ricreative. In particolare, l'agricoltura multifunzionale include tre funzioni centrali che riguardano le relazioni con lo spazio (ambiente e paesaggio), con la produzione (salubrità, sicurezza e diversificazione degli alimenti) e con i servizi (gestione delle aree rurali, biodiversità, amenità). L'*Health Check* del 2008, con il varo dell'articolo 68 del Reg. Ce 73/2009, ha ampliato la gamma di interventi che possono essere finanziati: ai sensi del Regolamento comunitario è prevista l'erogazione di aiuti specifici per affrontare problemi di carattere ambientale, per migliorare la qualità e la commercializzazione dei prodotti agricoli e per evitare l'abbandono delle colture.

Se in Europa l'agricoltura riveste una funzione di tutela del paesaggio, del territorio e delle risorse naturali oramai ampiamente riconosciuta, nelle zone rurali del versante africano e asiatico del Mediterraneo la tutela dell'ambiente è entrata solo di recente a far parte delle politiche agricole. Tali politiche sono spesso ancorate ad obiettivi di breve periodo miranti ad una crescita della produzione. Il problema centrale è il soddisfacimento del fabbisogno alimentare della popolazione che si collega alla lotta contro la povertà, al raggiungimento della sicurezza alimentare, al contenimento dell'esodo rurale. Solo di recente si va prospettando un nuovo patto sociale tra agricoltori e governi che mira a rendere compatibile la

produzione agricola con il presidio del territorio e la valorizzazione delle aree decentralizzate tramite Piani di Sviluppo Rurali.

Un valido elemento di forza del settore è però rappresentato dal crescente interesse per i temi legati ad un'alimentazione sana e rispettosa dell'ambiente. A tal proposito appaiono interessanti iniziative come la promozione da parte del governo italiano dell'impiego di alimenti biologici nelle mense scolastiche e ospedaliere, la formazione di GAS (Gruppi di Acquisto Sociale) volti alla promozione della filiera corta e al sostegno dei consorzi dei piccoli produttori.

Molti autori ancora dibattono riguardo il possibile trade-off tra sostenibilità ambientale e sostenibilità economica. Secondo alcuni autori, il perseguimento della sostenibilità economica nel biologico rischia di generare ricadute ambientali, soprattutto negli ecosistemi più fragili e nelle aree meno sviluppate del pianeta. Le minori rese, secondo questa visione, costringerebbero a mettere a coltura una quantità più elevata di superfici agricole con il rischio di incrementare la deforestazione. Diversa è, invece, la posizione di quanti sostengono che sia proprio la sostenibilità ambientale a garantire nel lungo periodo la sostenibilità economica, in quanto l'agricoltura intensiva convenzionale genera danni che nel lungo periodo si traducono in minori rese e più elevati costi di produzione.

La ricerca di un'agricoltura compatibile con la tutela dell'ambiente e la salute dei consumatori trova una conferma nell'incremento delle superfici destinate al biologico nel mondo, che sono passate da 11 milioni di ettari nel 1999 a 32,2 milioni di ettari nel 2007. Tra il 2006 ed il 2007 si è registrato un incremento del 4 per cento che ha riguardato soprattutto la conversione al biologico di alcune coltivazioni di prodotti tropicali e subtropicali.

Interessanti considerazioni possono essere fatte riguardo la possibilità di ampliare il mercato del lavoro nel settore agricolo, il quale, attraverso l'aumento di imprenditorialità garantita dagli investimenti nel settore, consente a molti lavoratori di trovare impiego. Altro punto vede la ripercussione sia sulla sicurezza alimentare, traente sicuramente benefici, che sulla valutazione del valore aggiunto che possiede un prodotto derivante da una filiera sostenibile e di quanto questo abbia delle ricadute positive in un dato territorio.

3. OLI ESSENZIALI

3.1. Introduzione

Nelle varie fasi del processo evolutivo le piante hanno modificato le loro caratteristiche nel campo comunicativo, riproduttivo e difensivo. Questo fenomeno risulta particolarmente evidente già dall'avvento delle angiosperme (140 milioni di anni fa) e loro successive differenziazioni (100 milioni di anni fa) in maniera graduale e con tempistiche notevolmente lontane dalla quelle cui la storia dell'uomo ci ha abituato. Durante questo lungo periodo le piante sono sopravvissute grazie a forme di adattamento a delle circostanze così varie da risultare un esempio cui l'umanità da sempre attinge conoscenza ed ispirazione. Il supporto delle piante non si è mai limitato al semplice fine nutrizionale. Gli organismi vegetali hanno ispirato l'umanità nella creazione di idee suggerendo a fini osservatori della natura, vere e proprie strategie di organizzazione: studiosi nel campo della biologia vegetale riconoscono nel modello vegetale una struttura lontana dalla gerarchia, ma piuttosto una forma organizzativa distribuita. Ogni parte della pianta compone l'individuo vegetale; ma la stessa, se isolata e posta nelle giuste condizioni risulta capace di sopravvivere. Questo esempio ricorda molto lo stesso "sistema distribuito" utilizzato nell'ambito informatico dal quale ha preso vita il Web.

Le piante sono arrivate ai nostri giorni difendendosi da micro, meso e macrorganismi con il basilare scopo di sopravvivere, e conseguentemente di mantenere gli equilibri che regolano la Terra. Queste, così facendo, mantengono altruisticamente in vita gli stessi organismi che le minacciano. Le tecniche messe in atto dai vegetali per difendersi dai danni di natura biotica prevedono l'uso di

metaboliti secondari, tra cui gli oli essenziali. Questi sono miscele complesse di composti chimici contenuti in organi posizionati variabilmente a seconda del tipo di pianta. Alcuni sono prodotti da sommità fiorite come nel caso di lavanda, rosmarino e timo; piuttosto che da gemme; rami; frutti; semi; steli; corteccia, tipica del larice o della canfora; oltre che da radici e rizomi, vedi per esempio l'echinacea e lo zenzero. Le coltivazioni cui far capo per ottenere elevate quantità e qualità di oli essenziali sono dette colture aromatiche, o officinali. Vengono associate da secoli a pratiche ed usi relativi alla salute ed al benessere della persona, oltre che nel campo della medicina, della spiritualità e dell'alimentazione.

«L'olio essenziale è il prodotto della distillazione in corrente di vapore o dell'idrodistillazione, o della distillazione secca di una pianta o talune sue parti o, nel caso di prodotti agrumari, mediante opportuni processi meccanici a freddo» (Definizione della Farmacopea Europea 5.8). Gli oli essenziali sono in genere liquidi a temperatura ambiente ed hanno densità quasi sempre inferiore a quella dell'acqua (1g/cm³ circa), fatta eccezione per quelli di aglio, chiodi di garofano o cannella le cui componenti le conferiscono valori più elevati. Spesso alla vista appaiono incolori o di colore giallo pallido o tendente all'arancio e, di rado, se contenenti composti azulenici (come l'o.e. di camomilla), di colore blu o verde-blu. Essi fanno parte del gruppo dei composti solubili in alcool, in etere, nei solventi organici e negli oli fissi; mentre solo in minima percentuale nelle acque usate per la distillazione, che assorbendone gli odori, vengono denominate acque aromatiche, o acque cobate. Molti o.e. presentano anche una significativa attività ottica (ad es. essenza di limone, essenza di arancia) per la presenza di componenti otticamente attivi (limonene), che comportano inoltre un indice di rifrazione elevato. Questi

dati, insieme al potere rotatorio specifico sono riportati nelle monografie delle Farmacopie come indici di identificazione per stabilire qualità ed origine del composto. Analizzando da vicino le miscele troviamo una grande complessità di componenti quali alcoli, aldeidi, chetoni, esteri, fenoli e terpeni volatili (monoterpeni e sesquiterpeni); ognuna delle quali contiene delle serie omologhe di sostanze che possono differire per composizione elementare, strutturale (isomeri) oppure per sola disposizione spaziale (enantiomeri). Risulta però dai terpeni, la cui formula molecolare ha come base multipli dell'isoprene, che attraverso ramificazioni testa-coda ed unioni a frammenti alcolici, fenolici e chetonici, vanno formare i terpenoidi. Solo alcuni derivano da semplice riarrangiamento testa-coda, mentre la maggior parte dei terpenoidi presentano ulteriori modificazioni in seguito a reazioni di ciclizzazione, a cui si aggiungono piccoli frammenti terpenoidici legati a scheletri carboniosi diversi (alcaloidi, fenoli, ecc.). I composti derivati sono chiamati: emiterpeni C₅, monoterpeni C₁₀, sesquiterpeni C₁₅, diterpeni C₂₀, sesterterpeni C₂₅, triterpeni C₃₀ e tetraterpeni C₄₀. Parallelamente altri componenti degli oli essenziali vengono prodotti da un'altra via metabolica secondaria, quella dell'acido shikimico. Da questa derivano alcuni aminoacidi aromatici come la fenilalanina e tirosina. Queste sostanze sono le basi per ottenere derivati dell'acido cinnamico, ovvero i precursori di fenilpropanoidi, composti con proprietà simili ai terpeni. A completamento di questi processi saranno sintetizzati eugenolo, anetolo, estragolo che, a seconda della loro percentuale, caratterizzano varie tipologie di oli essenziali.

3.2. Caratterizzazione chemiotipica

Il chemiotipo rappresenta il biglietto da visita di un dato olio essenziale per procedere nelle fasi di certificazione ed accreditamento oltre che nell'utilizzo ultimo del prodotto. La composizione chimica di un olio essenziale risulta però molto variabile. Questa dipende da numerosi fattori ambientali; tecnici; o che riguardano la pianta dal punto di vista genetico. A ciascuna sottovarietà, cultivar, ibrido o clone specifico, ne corrisponderà una certa complessità di componenti prioritarie. Particolarmente evidente fra le piante spontanee è la difficoltà di generalizzare il risultato di esperienze ed evoluzioni dei singoli individui che si traducono in composti chimici differenti. Inoltre, nello stesso individuo durante le varie fasi vitali, si possono riscontrare oli essenziali ad elevata funzione alcolica nel primo periodo vegetativo; questi saranno poi esterificati nella fase riproduttiva a causa degli acidi liberi prodotti in concomitanza all'infiorescenza. La sequenza procede a ritroso fino la fase della senescenza, nella quale l'invecchiamento della pianta porta ad un nuovo aumento in concentrazione delle componenti alcoliche. A seconda dell'olio essenziale in questione possono, in alcuni casi, verificarsi preponderanze di determinati elementi, mentre in altri si presenta un generale equilibrio dei vari composti. Degli studi dimostrano che anche le tracce di alcune molecole possono influenzare fortemente l'attività biologica dell'olio essenziale stesso ed il contesto cui viene applicato.

Alcuni ricercatori si sono posti l'obiettivo di identificare nella stessa specie di *Origanum vulgare* ssp. *hirtium* oltre ottanta componenti associati rispettivamente alle coltivazioni siciliane, in paragone a quelle coltivate in aree della Grecia. Dai risultati si evince che nell'isola italiana i vari componenti fanno coda al timolo;

mentre nella stessa specie coltivata in Grecia predomina il carvacrolo. La variabilità di climi e microclimi, come le tipologie di suolo e contesti ecosistemici in cui una pianta viene coltivata mostrano la differente risposta ambientale cui l'individuo è portato a adattarsi: l'espressione fenotipica quindi, del suo metabolismo ad un eventuale evento stressogeno. L'esigenza di produrre questi metaboliti può essere condizionata da aspetti tecnico-agronomici: sia nella scelta varietale, che nella gestione delle colture, si dovranno infatti considerare gli effetti che ciascuna pratica comporterà allo sviluppo della pianta e delle sue componenti. I punti critici, specialmente nella coltivazione delle piante aromatiche, sono essenzialmente legati alle concimazioni azotate ed all'apporto di radiazioni luminose che contribuiscono linearmente alla resa in olio. Per contro, si evince da diversi studi che nonostante la rusticità di molte officinali, giornate calde e secche ne riducano la produttività. Le fasi più delicate per l'ottenimento di un buon indice qualitativo vanno dalla raccolta in poi. Si fa riferimento al migliore periodo di raccolta, detto tempo balsamico, in relazione alla parte della pianta che fungerà da matrice, per garantire un certo tenore in principi attivi prodotti. Alla raccolta dovrà seguire una efficace conservazione della materia prima fino al momento della trasformazione. Sebbene il processo risulti terminato e la determinazione analitica del chemiotipo sia già stata indicata dal laboratorio, l'olio derivante da questa filiera avrà anch'esso necessità di mantenere quanto più longevamente le proprie caratteristiche; pertanto, saranno necessarie accortezze nella fase di confezionamento e di conservazione volte a limitarne il deterioramento.

3.2.1. Controllo dello stato qualitativo

Si definiscono tre principali requisiti intrinseci nel controllo di qualità di un olio essenziale:

- Identità;
- Innocuità;
- Efficacia.

Con identità di un olio essenziale si intende la conoscenza della materia prima vegetale da cui esso deriva e la definizione del *fingerprint* caratterizzante.

L'uso in sicurezza del prodotto è vagliato dalla considerazione d'innocuità. Le metodiche e tecnologie necessarie per la quantificazione dei componenti che compongono un qualsiasi prodotto fitochimico debbono infatti raggiungere degli standard normati nei confronti dell'uomo e dell'ambiente. Una serie di studi bio guidati andrà invece a definire l'efficacia. Oltre ai componenti biologicamente attivi (anche per le caratteristiche organolettiche) è necessario evidenziare eventuali sinergie o effetti indesiderati di questi con altre molecole d'uso comune. I sistemi di controllo qualità si basano sulle norme ISO ed hanno lo scopo di assicurare l'uniformità dei risultati tra i vari laboratori. Questa omologazione avviene attraverso la gestione di una serie di parametri che vanno dal personale autorizzato all'analisi, a come questi applicano metodiche e sistemi di convalida dei risultati, a quale stima d'incertezza corrispondono i dati ottenuti, fino alle tarature di apparecchiature ed allo stato dei materiali utilizzati; alla referenziazione agli standard ISO delle misure ed all'assicurazione di qualità dei risultati analitici.

Si prevengono così fenomeni di adulterazione: consistono nella modifica (parziale) dell'o.e. originario per migliorare le proprietà chimiche, organolettiche e biologiche

miscelando determinati composti, oppure tramite l'aggiunta di composti diluenti per aumentarne la quantità. Entrambi i casi sfociano in una frode commerciale oltre a creare rischi di tossicità. La sofisticazione invece rappresenta la dichiarazione fraudolenta di altre specie botaniche non presenti nel formulato e talvolta neanche ben conosciute amplificando la possibilità rischi tossicologici (acuti o cronici), ed ambientali. La tossicità intrinseca di un olio non contraffatto si limita a problematiche allergiche in soggetti predisposti la cui reattività alle sostanze è in genere dose-dipendente. Tali reazioni si verificano in presenza di prodotti ossidati particolarmente reattivi che si creano in condizioni di non corretta conservazione. Esposizione a radiazioni luminose o all'aria; uso di oli datati; contenitori trasparenti o in materiale diverso dal vetro che favoriscono inoltre la formazione di nuovi composti.

3.2.2. *Materiali e metodi*

Agli inizi del XV secolo ci troviamo alle soglie del Rinascimento e dell'età moderna, quando dagli *Hortus sanitatis* con l'avvenire di scoperte ed esperienze nel campo tecnologico si riuscirono ad estrarre i primi oli essenziali come li conosciamo oggi. Altri studi etnobotanici ricordano l'"enfleurage" come tecnica molto in voga nella Francia del IXX secolo. Questa consentiva di estrarre una notevole quantità di componenti tramite la solubilizzazione in grassi animali prima, e vegetali poi, alla quale seguiva una solubilizzazione in alcol che evaporando terminava il processo. La pressione a freddo viene al secondo posto tra i metodi più usati per la produzione di oli essenziali essendo particolarmente adatto per il trattamento delle bucce degli agrumi come limone, arancia, pompelmo, bergamotto

e mandarino. Questo olio però pecca in purezza e conservabilità. Col tempo la tecnica si è affinata notevolmente ottenendo rese più elevate con costi di processo ridotti per una efficienza del metodo traducibile in qualità finale: la distillazione è una tecnica di estrazione e purificazione che si basa sulla trasformazione di un liquido in vapore e sua successiva condensazione. I due liquidi prodotti sono separati sfruttandone i differenti punti di ebollizione (acqua e olio essenziale). L'unica sostanza con cui la materia prima entra in contatto è l'acqua pura che non altera, né libera residui nel prodotto finale. La corrente di vapore estrae le sostanze evitando il contatto tra la matrice e l'acqua liquida, che viene invece investita dal suo vapore. Riducendo la pressione d'esercizio si raggiunge una forma di vuoto, utile per la generazione del vapore ad una temperatura inferiore ai 100°C. Con questo metodo si ha la possibilità di lavorare a temperature notevolmente inferiori rispetto a quelle a pressione atmosferica, con notevoli vantaggi sia nella minor degradazione delle essenze termolabili, che nell'estrazione di quelle componenti altobollenti. Una critica che si può rivolgere a questa tecnica consiste nella ricchezza in alcune componenti limitandone altre, generando così una non perfetta coincidenza con ciò che la pianta sintetizza. Quella materia che viene prodotta dai tessuti secretori non equivale esattamente a ciò che viene distillato in corrente di vapore che pregiudica l'estrazione dei bassobollenti con possibile creazione di artefatti non presenti nel metabolismo vegetale. Metodiche alternative alla distillazione in corrente di vapore prevedono l'uso di CO₂ inerte alla pressione di 22 atmosfere: la resa del processo dipende essenzialmente dalla natura della materia prima di partenza; per quanto riguarda invece la presenza in componenti distinti, risulta maggiore la gamma di composti estratti rispetto una distillazione classica. Si

può notare la ricchezza in alcune componenti di questa tipologia di estrazione già dal differente aspetto con cui si presenta la miscela finale, puntualmente confermata dalle analisi in GC-MS. Per contro, questa tecnica può peccare in efficienza poiché prevede tempistiche lunghe e costi d'impianto notevoli.

La composizione dell'olio essenziale viene analizzata attraverso gas cromatografia/spettrometria di massa (*Gas Chromatography/Mass Spectrometry, GC/MS*). Queste due tecniche analitiche strumentali, insieme alle analisi tramite HP-TLC (*High Performance Thin Layer Chromography*) e NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*) sono di supporto all'identificazione dei composti negli oli essenziali, rilevanti per la costituzione di un *fingerprinting* fitochimico e per la verifica della qualità degli oli essenziali oltre ad evidenziare i composti coinvolti nell'attività biologica ed eventuali impurità.

La valutazione della tossicità di alcune molecole nella creazione di formulati attivi nei confronti di agenti biologici viene condotta con tecniche di *RAPD-PCR* e di *microarray*. Attraverso l'applicazione di queste tecnologie di ultima generazione si studiano possibili danni strutturali al DNA ed eventuali mutazioni indotte agli organismi su cui gli oli agiscono. Basandosi sul profilo di espressione genica si riescono infatti a determinare eventuali rischi e benefici derivanti delle componenti fitochimiche.

3.3. Ruolo ecosistemico

Ci si potrebbe chiedere a questo punto, vista l'elevata variabilità dei componenti e la moltitudine di specie vegetali capaci di produrle, se ci siano delle correlazioni tra queste sostanze e quale la necessità delle piante di utilizzare risorse

energetiche per sintetizzare gli oli essenziali. Imputiamo alle componenti volatili degli oli essenziali diverse funzioni che non riguardano esclusivamente l'individuo stesso. Appaiono evidenti, alla luce di numerose ricerche su habitat e relazioni ecosistemiche, cinque macro-gruppi cui poter rivolgere l'attenzione:

1. Difesa nei confronti di vari organismi: animali erbivori; insetti; funghi; microbi
2. Attrazione per impollinatori
3. Effetti allelopatici
4. Attrazione di insetti utili
5. Qualità dell'aria

Visto l'interesse agrotecnico della suddetta tesi, del primo punto se ne argomenterà specificatamente nei capitoli seguenti. L'importanza del secondo punto è particolarmente rilevante in tutti quei contesti che non si limitano alla produzione di miele come può subito essere notato a colpo d'occhio, ma che invece garantiscono la sopravvivenza delle specie vegetali, e di conseguenza di sistemi agricoli e forestali. Gli impollinatori come le api, o i bombi, sono essenziali per la riproduzione delle specie vegetali. Il cibo che ne deriva, rappresentato da frutta, verdura, proteine vegetali sotto forma di legumi, semi oleaginosi e spezie, ha garantito il prosperare della civiltà umana, che altrimenti potrebbe anche non essersi mai evoluta. Studi rivelano che in *Vitis vinifera* le classi dei composti usati a questo scopo sono quelle degli idrocarburi sesquiterpenici con percentuali tra il 55,4% nella cultivar di Montepulciano e 88,1% in quella Colorino, seguiti dai monoterpeni ossigenati che presentano un andamento opposto, dal 6,9% del Colorino al 31,2% del Montepulciano. Altri riferimenti bibliografici vedono il cineolo come sostanza

particolarmente attrattiva per gli impollinatori; pertanto, risulta evidente il coinvolgimento nelle relazioni pianta-insetto degli oli essenziali, non solo come deterrente, ma anche come attrattivo per i cosiddetti pronubi. Le allelopatie sono correlate alle relazioni sociali sia nella specie stessa, che nella competizione con altre specie con le quali dover far i conti nel caso le piante si trovino in zone particolarmente limitate dal punto di vista nutrizionale. Le piante non hanno spade o armi di alcun tipo, né tantomeno protocolli di contenimento delle nascite, bensì, queste liberano sia dalle radici nel terreno, sia dagli organi aerei, dei composti fitotossici tra cui oli essenziali. Ad esempio, nei deserti della California *Salvia leucophylla*, produce canfora e cineolo per limitare la germinabilità di altri individui della stessa, o di altre specie. Questo esempio la rende una specie evolutivamente lungimirante ed efficace nella creazione di una comunità contestualmente limitata alle risorse presenti capaci di garantirle sostentamento. Con le attuali tecniche di biologia molecolare, sono in grado di chiarire i meccanismi implicati nella interazione pianta-parassita attraverso studi di espressione di geni target. Alcuni di questi meccanismi fanno riferimento al sistema messo in pratica dalle piante stesse per effettuare una lotta biologica. L'emissione di alcuni composti volatili sono particolarmente attrattivi per gli insetti predatori di insetti fitofagi. Quest'ultimi, ringrazieranno del banchetto offerto dalla pianta eliminando la causa dell'infestazione e della possibile alterazione fisiologica risultante dall'azione degli insetti dannosi. Il quinto punto considera la produzione di molecole isopreniche (fino al 10% del carbonio fissato fotosinteticamente) come utile alle piante in contesti instabili e precari dal punto di vista climatico, per tutelarsi da stress termici ed idrici. Sono le stesse che, a causa della pronunciata

volatilità e reattività sia con radicali idrossilici che con composti antropogenici, risultano poi coinvolte sia nel ciclo del carbonio come voce nel bilancio totale di carbonio (fissato/emesso), che nella chimica dell'atmosfera: attraverso una serie di reazioni sono capaci di alterare l'ozono della troposfera ed influenzare direttamente la qualità dell'aria negli ambienti.

3.4. Utilizzo

Ricerche etnobotaniche con ritrovamenti datati 7'000 anni hanno portato alla luce un'anfora di vino contenente resine di terebinto, particolarmente ricche in oli essenziali: questa veniva aggiunta, oltre allo scopo di aromatizzare conferendo odori e sapori particolari, per impedire lo sviluppo di batteri che in poco tempo avrebbero trasformato la bevanda in aceto. L'impiego di questi oli in ambito liturgico è da sempre preminente, mentre solo nelle epoche più recenti è avvenuta la riscoperta di questi metaboliti secondari isolati da tessuti vegetali, sfruttati dalle industrie agroalimentari, fitosanitarie e cosmetiche fino ad assistere la medicina nel trattamento di svariati aspetti patologici. L'esigenza del ritorno alle tradizioni ed al naturale rapporto che da sempre lega l'uomo alla natura è particolarmente sentito e viene oggi espresso nella necessità di salvaguardare dell'ambiente, fin troppo soggetto all'uso indiscriminato di formulati di sintesi in agricoltura, come in molti altri settori strettamente connessi all'uomo.

Nell'UE la pericolosità delle sostanze è disciplinata da due regolamenti (REACH e CLP). L'applicazione della normativa agli oli essenziali per i vari utilizzi, li vede inseriti tra le sostanze naturali "*di composizione sconosciuta o*

variabile, di una reazione complessa o materiali biologici (UVCBs)”, vista la complessità ed il numero di costituenti relativamente elevato e variabile.

Nei test in laboratorio, l'attività antimicrobica degli oli essenziali viene influenzata da una serie di fattori, che fanno riferimento a dei protocolli standard. Tra questi ci sono il tipo di inoculo, la qualità del terreno di coltura, la temperatura e quelle che sono le condizioni di crescita rispetto l'ossigenazione della coltura. Inoltre, si considerano l'uso eventuale di sigillanti ed il tipo di solubilizzante (*tween*, DMSO, etanolo, agar). L'aromatogramma è un test di suscettibilità in vitro che trae ispirazione dall'antibiogramma. Viene utilizzato col fine di determinare l'attività inibente che oli essenziali esercitano sulla crescita microbica, selezionati per le attitudini antimicrobiche e secondo specifiche caratteristiche gascromatografiche. Il metodo di diffusione su agar è il metodo qualitativo che veniva maggiormente usato per la realizzazione degli aromatogrammi ma, in alcuni casi, si imputava alle componenti volatili la capacità di aumentare gli aloni di inibizione. La prova risultava quindi falsata visto che ad una evaporazione dell'olio essenziale deposto in piastra, si poteva verificare una nuova deposizione di questo per condensazione. Per la modifica del test classico si è optato per la misurazione dell'attività inibitoria della componente volatile ponendo il disco imbevuto di olio essenziale in adesione al coperchio della Petri così da evitare il contatto diretto con l'agar seminato. Messo in relazione all'alone sviluppato con il test classico di agar diffusione, si è ottenuta una stima semi-quantitativa della reale azione delle componenti volatili di un olio essenziale.

Un altro parametro di valutazione è l'indice aromatico (secondo Belaiche)

che consente all'analista di poter individuare il potere germicida di un olio essenziale nei confronti di un germe, e tanto più l'indice aromatico ha valori prossimi ad 1 quanto più il suo potere battericida sarà elevato e prossimo a quello dell'olio essenziale "ideale". Oggi, il test di diluizione in brodo o microdiluizione in brodo, eseguito secondo linee guida internazionali definite nel dettaglio da *EUCAST (European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing)* e *CLSI (Clinical Laboratory Standards Institute)*, è considerato il test di riferimento per lo studio della sensibilità microbica verso uno specifico agente antimicrobico. Il metodo di diluizione in brodo è un test di suscettibilità in cui una concentrazione standard dell'agente patogeno è messa a contatto, in terreno di coltura liquido, con diluizioni scalari (generalmente a raddoppio) di un agente antimicrobico. Ha elevata riproducibilità ed automatizzazione consentendo anche il congelamento (-80°) delle micropiastre contenenti le essenze in concentrazione scalare fino ad un anno.

I limiti nell'utilizzo degli oli essenziali come derivati naturali, sono riconducibili a diversi aspetti:

- Tecniche estrattive non standardizzate;
- Rapida degradazione che implica una minor efficacia della sostanza attiva;
- Diversi studi approfondiscono l'azione in vitro, mentre si hanno pochi riferimenti in vivo;
- Necessità di implementare sistemi di formulazione ed immettere in commercio formulati conformi;
- Necessità di ulteriori studi su sinergia ed antagonismo con altri prodotti già utilizzati in diversi contesti colturali per valutare la potenziale dannosità.

Si vuole dunque approfondire alcuni campi d'utilizzo:

3.4.1. Agronomico

La rapida volatilizzazione e la trascurabile residualità nei prodotti finali sono alcuni dei vantaggi che rendono i prodotti fitosanitari a base di oli essenziali buone alternative o possibili integrazioni a basso impatto ambientale, essendo riconducibili alle classi dei *PVOC* (*Plant Volatile Organic Compound*) e dei *GRAS* (*Generally Recognized As Safe*).

Gli oli essenziali limitano gli attacchi fitofagi da parte di erbivori ed insetti, conferendo alle foglie ed alle parti coinvolte odori ed aromi poco appetibili. Nei confronti di microorganismi questi costituiscono una barriera fitotossica capace di prevenire l'adesione di spore fungine ed aumentare la capacità tollerante e difensiva della pianta stessa. Le piante infatti comunicano naturalmente tra loro attraverso miscele terpeniche dette *HIPVs* (*Herbivore-Inducible Plant Volatiles*) liberate nell'aria in situazioni di minaccia: questo allarme viene inoltre recepito dalla vegetazione circostante che risulterà meglio predisposta a difendersi tempestivamente da un eventuale attacco. L'attribuzione di attività antimicrobica di questi oli non è dovuta ad un unico meccanismo, ma a diverse modalità di azione a livello cellulare. Sarà per questo più difficile per i microorganismi sviluppare resistenza verso miscele di oli essenziali, costituite da numerose entità molecolari, rispetto ai singoli antibiotici generalmente costituiti da un singolo principio attivo. Sicuramente poi, l'elevata attività lipofila ed i bassi valori di superficie polare indicano una buona capacità di ripartirsi tra delle membrane fosfolipidiche cellulari e mitocondriali, rendendo sia gli organuli che le strutture cellulari ulteriormente

permeabili. Gli squilibri ionici delle cellule coinvolte portano alla dispersione citoplasmatica ed al blocco della sintesi di nuovi componenti: il tutto si traduce in un processo di inibizione della germinazione di spore fungine, ad esempio, sia nella riproduzione ed in quei meccanismi coinvolti nella respirazione cellulare, limitando notevolmente la capacità patogena e del microorganismo.

Da diversi studi emerge la somiglianza nel modo in cui agiscono su batteri Gram positivi e funghi, i quali risultano più sensibili a queste sostanze rispetto ai Gram negativi, nei quali però, sono capaci di modulare la farmaco resistenza. Gli stessi oli essenziali offrono un'opportunità nella lotta alle batteriosi da quarantena che nel contesto biologico italiano non trovano agrofarmaci registrati capaci di debellare una malattia in atto, se non preventivamente con prodotti rameici. Nel contesto metabolico, queste condizioni di minaccia coinvolgono una serie di meccanismi mediati da diversi fitormoni come l'acido salicilico (SA), acido jasmonico (JA) ed etilene (ET). Il primo si esplica in un accumulo di proteine patogeno-correlate (PR) da cui deriva la cosiddetta resistenza SAR, o resistenza acquisita. Nello specifico di questo meccanismo si osserva un'interazione con il gene NPR1: l'espressione di questo, capacità la pianta di sintetizzare una serie di composti immunizzanti durevoli fino ad un mese ed attivare la trascrizione genetica per cui una serie di reazioni a catena che modificheranno l'assetto fisiologico dell'individuo. Gli altri due ormoni concorrono invece alla ISR, resistenza indotta che corrisponde allo stato di allerta posseduto dalla pianta per risultare particolarmente propensa a rispondere nel caso di un possibile attacco. Questo fenomeno simula il meccanismo di riconoscimento pianta-patogeno mediato da alcuni segnali sotto forma di elicitori o *pathogens microbe-associated molecular*

patterns, che aumentano sia le barriere chimico-fisiche nel sito d'infezione, sia l'attivazione rapida di specifici cammini metabolici. Questi ultimi sono volti alla produzione di una serie di composti fenolici e terpenici mediati da una serie di enzimi adibiti alla genesi di composti ossigenati particolarmente reattivi e nocivi per i patogeni (ROS). A tal proposito, da studi condotti su oli essenziali derivanti da timo, cannella e *Gaultheria procumbens*, si nota il loro coinvolgimento nell'espressione genica della resistenza indotta. Risultano modulati da SA e JA sia singolarmente che in sinergia con altri metaboliti secondari, composti inorganici e molecole segnale, causando effetti diretti traducibili in anomalie nella differenziazione di appressori ed austori fungini, ma anche nell'aumento di proteine patogeno-correlate e conseguente azione di polifenol-ossidasi; fenilalanina ammonio-liasi; chitinasi e β -1,3-glucanasi, perossidasi e lipossigenasi con predisposizione all'attività dei ROS e di fitoalessine. Le piante sottoposte a questi trattamenti nonostante focalizzino le loro riserve energetiche verso questa serie di meccanismi definiti appunto secondari, o meglio, non di primaria necessità, risultano effettivamente migliori anche dal punto di vista della produttività.

L'uso di principi attivi antibiotici è vietato nel contesto agricolo in molti Paesi tra cui l'Italia, vista la loro attitudine nel generare una rapida resistenza nel ceppo batterico con conseguente trasferimento orizzontale ad altri batteri associati o a patogeni pericolosi direttamente verso l'uomo. Per resistenza si intende la capacità evolutivistica con la quale un qualsiasi organismo, fungo, batterio o pianta che sia, riesce a modificare il proprio corredo genetico in risposta ad un ambiente particolarmente inospitale che genera pressioni verso la specie in questione. Esistono essenzialmente due tipologie di resistenza: è detta verticale

quella corrispondente alla specificità verso un particolare patogeno o principio attivo ed è sotto controllo di uno o pochi geni (per questo viene anche detta monogenica o oligogenica). Questa tipologia è particolarmente utile considerarla quando c'è la necessità di evitare l'instaurarsi di un patogeno in campo limitandone l'inoculo iniziale e bloccando a monte un'eventuale forma epidemica. La tipologia di patogeno, o principio attivo in questione, rende molto semplice attraverso mutazioni geniche l'adattamento alla nuova condizione. Differente invece è la capacità di altri organismi di tollerare una serie di possibili minacce, detta in questo caso resistenza orizzontale. Ha come caratteristica principale la corrispondenza a più geni che, combinati tra loro, traducono segmenti di DNA in una più vasta gamma di proteine, quindi, espressioni variegata di resistenza (poligenica). Quest'ultima, nelle coltivazioni, rende possibile il rallentamento della diffusione di un eventuale evento epidemico dovuto a uno o più patogeni, non garantendone però la completa estinzione. Proprio perché saranno necessarie una serie di cicli evolutivi che coinvolgono più geni, occorrerà più tempo per far sì che gli eventi succedano e la malattia progredisca. Che i soggetti in questione siano piante soggette ad attacchi, piuttosto che funghi resistenti ad anticrittogamici, è attraverso lo studio dei meccanismi di resistenza genetica che siamo in grado di ottimizzare gli effetti delle pratiche attualmente in uso e prevedere possibili conseguenze di attività sconosciute attraverso *feedback* e modificazioni degli schemi attualmente in uso.

Le soluzioni che si basano sui meccanismi di resistenza sono diverse in base ad esigenze e contesti. Già dalla metà degli anni 90, i ricercatori nel campo dell'ingegneria genetica hanno ampliato notevolmente la visione di nuove strategie di difesa applicate alle piante. Ci si riferisce alla prima individuazione ed

isolamento di geni di resistenza (R) per una data malattia ed il conseguente approccio nel loro trasferimento, attraverso operazioni di breeding varietale, da quelle resistenti ad altre suscettibili coltivate invece per particolari attitudini produttive. Questo meccanismo promuove così l'implementazione della tolleranza delle piante sensibili verso alcuni fitopatogeni con conseguenti risultati nelle rese produttive. Questi geni possono essere introdotti nelle piante anche attraverso meccanismi di natura fisica, come l'esposizione a radiazioni UV-C, piuttosto che trattamenti con calore, o con l'uso di ambienti modificati ricchi di ozono, iper o ipobarici, che inducono nella pianta una risposta biologica di ipersensibilità verso specifici o aspecifici eventi che potrebbero coinvolgerla, rendendola dunque meglio predisposta a difendersi. Sono interessanti da questo punto di vista, quegli studi nei quali si valutata la capacità di composti chimici di natura biologica, tra cui gli oli essenziali, di implementare ulteriormente le risposte nei confronti del fenomeno di resistenza.

Recentemente sono stati inclusi fitofarmaci di questo genere anche per l'agricoltura biologica. Tra questi, il precedentemente citato Trilogy è un antibotritico la cui combinazione di tre principi attivi naturali Eugenolo, Geraniolo e Timolo, basa la propria efficacia sulla prevenzione di fenomeni di resistenza nel patogeno. Si ha poi un'esaltazione ulteriore grazie alla modalità cui si presenta: le capsule che contengono la miscela terpenica sono microsfele di origine naturale caratterizzate da una parete a frazione proteica, lipidica e polisaccaridica. La frazione proteica costituisce la struttura porosa della microcapsula. In fase di formulazione, la frazione lipidica della parete consente di caricare i 3 terpeni liberi (lipofili) nelle capsule, che raddoppiano il loro volume. Poi, una volta distribuite in

campo, in presenza di umidità (fattore scatenante della malattia), la frazione polisaccaridica garantisce il rilascio modulato e graduale dei tre terpeni attraverso le microporosità della superficie esterna. In assenza di umidità e bagnature, il rilascio dei terpeni è interrotto dalla frazione polisaccaridica che causa una sorta di solidificazione della parete. Gli ulteriori cicli di reidratazione causati da umidità o pioggia riattivano quindi il processo di rilascio dei terpeni da parte delle capsule, così da riattivare il meccanismo di controllo.

3.4.1.1 Casi studio

Nel caso specifico di *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* (*Psa*), agente patogeno del cancro dell'actinidia che ha contribuito alla perdita di oltre il 70% della produzione globale di kiwi, mediante l'uso di oli essenziali, in particolar modo utilizzando l'estratto dalla pianta *Monarda fistulosa*, ne è stato reso possibile il contenimento. *Artemisia arborescens* L. è una specie endemica del bacino del Mediterraneo. Questa pianta secondo diversi studi pare avere un'interessante insieme di attività biocide verso numerosi insetti, tra cui *Aonidiella aurantii*, la cocciniglia degli agrumi; erbe infestanti, batteri e funghi. Particolarmente utile in contesto agrario, coi suoi oli essenziali esercita una rilevante attività di controllo su *Phytophthora citrophthora*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea* e *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*.

La lotta alle malattie causate da batteri fitopatogeni è particolarmente complicata dalla capacità di queste di diffondersi tramite porzioni vegetali infette o semi contaminati; fenomeno questo, amplificato dalle rigorose seppur stringenti norme europee nell'uso di composti rameici da cui derivano fonti di tossicità ed un

elevato impatto ambientale. Nei confronti di questi patogeni è significativa l'attività degli oli essenziali di coriandolo, cumino, carvi e finocchio selvatico utilizzabili in combinazione con emulsioni a base di eugenolo (1-8 mg/mL). Si reputano efficaci nell'azione disinfettante su semi di fagiolo contaminati da *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* var. *fuscans* (*Xcpf*), l'agente della maculatura comune del fagiolo. Gli studi al riguardo hanno evidenziato una perdita di germinazione con dosaggi rispettivamente di 2, 4 e 8 mg/mL dopo 72 h di incubazione del 3%, 7% e 16%. Mentre nessun effetto sulla germinazione è stato osservato con eugenolo 1 mg/mL pur rimanendo efficace nel trattamento del patogeno. Un'altra applicazione battericida vede *Cedrelopsis grevei* H. Baillon, più comunemente chiamato Katrafay, e le componenti del suo olio essenziale rappresentati da ishwarane, β -elemene, α -copaene, calamenene, β -selinene, γ -muurolene, α -muurolene e β -pinene. La corteccia da cui derivano queste molecole apre opportunità incoraggianti verso trattamenti in ambito biologico rivolti ai patogeni *Agrobacterium tumefaciens*, *Agrobacterium vitis*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* e *Pseudomonas syringae* pv *syringae*.

Sono numerose le applicazioni sia in campo che in vitro di miscele e di singoli oli essenziali nel trattamento di specie crittogame. Eugenolo e cinnamaldeide proteggono le piante riducendo i sintomi dovuti a *Botrytis cinerea* fino all'80%, oltre a ridurre drasticamente il potenziale inoculo e senza mostrare effetti fitotossici sulla vite. Effetti simili sono stati ottenuti con le specie *Thymus zygis*, *Cinnamomum zeylanicum*, *Cymbopogon martini* ed *Eugenia caryophyllata*. Le principali molecole responsabili dell'azione antifungina sono D-limonene; cineolo; β -mircene; α -pirene; β -pirene e canfora.

Si noti come alcuni autori imputino alla fase volatile degli oli essenziali la quasi totalità degli effetti limitanti la proliferazione fungina, rispetto all'azione dovuta al contatto diretto con la sostanza. Per confermare questa attività sono stati considerati una serie di oli essenziali estratti dalle porzioni aromatiche di alcune specie tra cui rosmarino (*Rosmarinus officinalis L.*), origano (*Origanum syriacum var. bevanii*), lavanda (*Lavandula stoechas subsp. stoechas*), finocchio (*Foeniculum vulgare*) ed alloro (*Laurus nobilis*) ed applicati a *Phytophthora infestans*. Successivamente ad una scansione con microscopio elettronico, le ife fungine mostravano considerevoli modificazioni morfologiche, alterazioni nella coagulazione citoplasmatica ed una perdita protoplasmatica notevole, debilitanti l'organismo patogeno in questione.

L'oidio è un fungo parassita di molte colture agricole sia orticole che arboree. In alcune sperimentazioni, sono state messi a confronto diversi programmi di difesa condotti in serra, con la possibilità di gestione di temperatura e luce. La coltivazione dello zucchini è trattata con tea tree oil (*Melaleuca alternifolia*), rosmarino, chiodi di garofano (*Syzygium aromaticum L.*), origano ed il quinoxifen, un principio attivo particolarmente usato nei formulati commerciali anticrittogamici. I trattamenti sono stati fatti alla comparsa dei sintomi e nelle seguenti cinque settimane ogni sette giorni; l'efficacia valutata secondo le linee guida EPPO (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*), mostrano la capacità dei PVOC quando somministrati alternativamente al principio attivo, di essere efficaci ed integrabili nelle strategie della lotta alle malattie delle piante.

Recenti studi entomologici hanno mostrato come i recettori odorosi

neuronalmente interni alle antenne degli insetti siano sensibilmente attivi nei confronti del linalolo. In generale l'attività di repellente contro alcuni insetti viene amplificata combinando diverse miscele di oli essenziali appartenenti a più famiglie di piante. Questo effetto sinergico comprovato da studi internazionali, indica quanto la variabilità compositiva di ciascun olio e, a maggior ragione, un blend di questi, possa esprimersi in risultati applicabili nella salvaguardia delle colture. Queste sostanze sono anche in grado di agire nei confronti dei ditteri *Aedes aegypti*, *Anopheles stephensi* e *Culex quinquefasciatus*. In questa sperimentazione si confrontano tredici oli essenziali (limone, cedro, franchincenso, mirto, aneto, ginepro, canfora, verbena, elicriso, sandalo e timo) a concentrazioni crescenti di 1, 10, 50, 100 e 500ppm valutando quanto questi inducano una completa mortalità entro le 24 ore dall'esposizione ai tre stadi larvali. Alcune famiglie di formiche invece, con la stessa esperienza, reagiscono modificando il loro comportamento allontanandosi dalla zona da cui proviene l'essenza per un intervallo di tempo medio di quattro giorni, un fenomeno questo, particolarmente esaltato dal tea tree oil.

Nell'ambito della lotta ai nematodi, organismi a sezione cilindrica simili a vermi che vivono sia in autonomia, che come saprofiti su sostanze organiche in decomposizione, si trovano esempi in bibliografia inerenti ai danni cui i nematodi agricoli possono causare e come gli o.e. possono favorire la situazione. Proprio le varietà della specie *Eucalyptus*, *Citriodora* e *Globulosus*, se distribuiti in acqua alle concentrazioni di 50, 100 e 200 mL/kg di terreno quattro settimane prima del trapianto di pomodoro hanno la capacità di indurre un'attività nematocida promettente, oltre a favorire un esteso sviluppo radicale della cultivar. Mettendo a

confronto testimoni chimici applicati a terreni infestati da nematodi, anche con l'olio essenziale di *Cinnamomum camphora* si ottengono risultati paragonabili ai principi attivi d'uso comune, stimolando così l'interesse di studiosi ed investitori del settore a promuovere nuove strategie di lotta nematocida sostenibile.

3.4.2. Alimentare

L'uso di composti terpenici quali oli essenziali sono stati introdotti nell'industria alimentare come alternative ad additivi che normalmente persistono negli alimenti. Vista l'elevata biodegradabilità ed efficacia nei confronti di alcuni patogeni attivi nel post-raccolta, questi sono capaci di aumentare in maniera considerevole *shelf-life* dei prodotti. L'adozione nell'uso di queste sostanze può essere messa in discussione a seguito di alcune prove sperimentali che fanno riferimento alla modificazione delle caratteristiche organolettiche del prodotto finale che risulta però, apprezzabile dal punto di vista nutrizionale. Per ridurre il sentore sugli alimenti di consumo, innalzando i benefici di conservabilità e riducendo gli impatti, si è trovato interessante combinare il trattamento di oli essenziali con chitosano.

Le prove sperimentali sui generi alimentari vegetali si svolgono in genere testando l'inibizione del patogeno su frutti che vengono immersi o irrorati con gli oli essenziali, oppure esposti ai loro vapori. Diversi sono gli studi ed i settori che fanno riferimento ad efficacia e biodegradabilità degli oli essenziali consentendo il paragone con le sostanze attualmente in uso nell'agroindustria: l'applicazione questi negli interventi in post-raccolta sono sempre più frequenti dato l'ampio spettro d'azione nei confronti sia di marciumi che di insetti: si riconducono notevoli

azioni insetticide all'olio essenziale di *Lippia sidoides* che ha un'attività insetticida contro *Tenebrio molitor*, insetto potenzialmente dannoso per le derrate alimentari a base di cereali di cui si nutre. Si verifica studiando diverse combinazioni di principi attivi e misture che il monoterpene timolo enfatizza particolarmente la tossicità sinergica del carvacrolo e di 1,8-cineolo rispetto all'uso dei singoli composti.

Le fitopatie principali del vegetale che esce dal campo sono i marciumi.

Questa categoria di malattie deriva dallo stile di vita saprofitario e parassitario tipico di alcuni funghi, come *Botrytis cinerea*, il cui ciclo di vita inizia in campo interessando, a seconda della specie colpita e delle condizioni climatiche, tutti gli organi aerei della pianta. Questa specie in particolare è annoverata tra i patogeni economicamente più dannosi. Infatti, a seguito della sporulazione di conidi la contaminazione di altri frutti è pressoché immediata ed agevolata sia dalla vicinanza che dall'umidità che può venirsi a creare nelle ceste di raccolta: il tutto causa il conseguente scarto dell'intero carico alimentare. Il contenimento di marciumi avviene per quasi tutte le colture con l'uso di anticrittogamici durante la coltivazione delle stesse, la cui permanenza sul prodotto è però limitata dalle stringenti normative di residui sui cibi che garantiscono una certa salubrità al consumatore. Pertanto, se non per alcuni prodotti frutticoli aventi lunga conservazione, non sono possibili interventi con prodotti fitosanitari una volta effettuata la raccolta. In questo senso, l'Italia è tra i paesi con più elevato interesse in questo settore, arrivando ad autorizzare l'olio essenziale di garofano per l'uso in post-raccolta su pomacee e quello di menta per limitare la germinabilità dei tuberi.

Una proposta dal settore dell'uva da tavola riguarda il trattamento con oli

essenziali di rosmarino e timo aventi risultati che sembrano validare la differente efficacia dei principi attivi al variare della temperatura. L'azione del rosmarino viene enfatizzata a temperatura ambiente, mentre quello di timo è stato il migliore nel controllo dei marciumi post-raccolta su uva frigo conservata. Altro esempio di applicazione nel settore alimentare vede l'essenza estratta da *Zataria multiflora* in combinazione con il luppolo. Questa combinazione può avere interessanti ripercussioni nella conservabilità di alcuni cibi. Nei derivati freschi a base di suino. *Lysteria monocytogenes* adatta piuttosto bene il proprio sviluppo su carni suine sulle quali si sono condotte le prove sperimentali. I risultati ottenuti mostrano quanto efficace sia il potenziamento dell'attività antimicrobica dei due prodotti testati senza riportare modificazioni sensibili nella preferenza del consumatore finale. In questo settore si tende a far privilegiare quei trattamenti che combinano una serie di tecniche e dinamiche a basso impatto, dette anche *multiple-hurdles*, che una volta attuati generano riscontri positivi sia nell'ambiente che nel consumatore finale. Mostrano particolari effetti benefici nel settore delle carni refrigerate, le specie di lavanda e lavandino che garantiscono efficacia nel contenimento di alterazioni alimentari anche a basse concentrazioni. Specificamente sull'attitudine proliferativa di Salmonella, uno dei principali agenti di tossinfezione, si è studiato l'effetto di oli essenziali di origano, cannella (*Cinnamomum zeylanicum*) e chiodi di garofano (*Caryophyllus aromaticus*). Dai dati sperimentali, l'olio di chiodi di garofano è risultato il più efficace nei confronti di *S. Derby* esaminato, inibendone la crescita anche a concentrazioni estremamente ridotte (*Minimum Inhibiting Concentration* pari a 0,031%).

Non solo a scopo di tutela del prodotto alimentare, questi oli ricorrono

frequentemente come esaltatori di sapore. Vedono il genere Citrus da protagonista che, avente frutti generalmente contenenti elevato tenore in oli essenziali, vitamine e flavonoidi, conferiscono inoltre un maggior valore nutrizionale e nutraceutico di una serie di prodotti alimentari come carni, formaggi, gelati, bevande e svariati altri alimenti. Per questa attività ci si riferisce ai regolamenti europei n. 872 del 2012 e n. 1334 del 2008 inerenti ai limiti di tossicità.

3.4.3. Medico

Sicuramente questo è il settore più ampio sul quale si sviluppano importanti ricerche ed è allo stesso tempo quello con più marcate capacità di investimento nel privato, conferendo il primato mondiale nell'interesse per lo sviluppo gli Stati Uniti seguiti dalla Germania. L'uso di oli essenziali come fonte di benessere è noto dalle forme di civilizzazione più antiche, le cui pratiche d'uso avevano effetti plurimi sullo stato psicofisico delle persone. L'uomo primitivo associava inizialmente i cattivi odori all'ostilità da parte degli dèi, poi osservando alcuni erbivori cibarsi di particolari erbe ne venne dedotta la capacità rigenerante e guaritrice. Sperimentando su di sé l'uso delle piante, col tempo iniziò un'accumulazione di saperi ed intuizioni che diedero vita alle prime forme erboristiche. Oggi l'aromaterapia, ad esempio, viene considerata un'alternativa valida alle forme classiche di medicazione per una serie di affezioni che vanno dal generico dolore fisico, a problemi cardiovascolari, gastro-intestinali, respiratori, dermatologici e psicologici. Ricerche dimostrano infatti che un sollievo generale dell'organismo si deve all'inalazione di queste miscele oppure alternativamente applicandole attraverso tecniche di massaggio. Di queste terapie, definite non invasive e non

dannose, si approfondiscono le caratteristiche antibatteriche, antiossidanti e neuromodulatrici ed alle modalità con cui esplicano il loro potenziale. Queste molecole nell'uomo vanno ad interagire con i recettori del bulbo olfattivo apportando una stimolazione dell'area del cervello emozionale, detto sistema limbico. L'azione sul sistema nervoso centrale permette il rilascio di neurotrasmettitori come serotonina, adrenalina, encefaline ed endorfine, modulando effetti stimolanti su umore, apprendimento, memoria e attenzione. Specie botaniche del genere *Lavandula officinalis*, *Citrus aurantium var. amari* fiori (neroli) e *Melaleuca alternifolia* (*Tea Tree Oil*, *TTO*) sono note per l'ottenimento di oli essenziali le cui proprietà antispasmodiche, carminative, sedative, antidepressive e antinfiammatorie sono in stretta dipendenza alla percentuale di linalil acetato, linalolo, eucaliptolo e betacariofillene ed altri in dosi minori. Oltre agli aspetti neuromodulanti, gli oli essenziali sono ampiamente usati nel settore della cosmesi e nutraceutica risultando particolarmente attivi su diverse vie del metabolismo umano. Il miglioramento del profilo lipidico e della composizione ossea si osservano in seguito all'utilizzo di oli essenziali derivanti dal *Carthamus tinctorius L.*; oltre ad un'enfatizzazione in vivo ed in vitro su potenza, fecondità e fertilità di quelli estratti da *Satureja khuzestanica*, una pianta nativa dell'Iran. Come nelle piante, questi intervengono nelle curve di crescita di alcuni ceppi batterici; nello specifico *Streptococcus pyogenes* e *Mycobacterium tuberculosis*, agente eziologico della tubercolosi. Dalle prove si sono rivelati promettenti le componenti intrinseche di *Mirtus communis*, oltre a carvacrolo e timolo ai quali difficilmente si afferiscono fenomeni di farmaco-resistenza tipici delle terapie attualmente in uso.

4. DERIVATI NATURALI

Ippocrate: *“E' la Natura che guarisce la malattia; la medicina è l'arte di imitare i procedimenti curativi della Natura”*. Molti principi attivi che si trovano normalmente in natura hanno potenzialità paragonabili agli insetticidi presenti in commercio. Gran parte di questi derivano da organismi viventi, come nel caso di alcune alghe blu-verdi, dei funghi o in diverse piante angiosperme. I composti sono vari a seconda delle piante da cui sono stati isolati, tanto quanto la gamma di effetti cui possono dar luogo: ad esempio alcuni principi attivi possono risultare repellenti, deterrenti per fitofagi e ovopositori, o come fonte di alimentazione fino a generare tossicità acute ed interferenze con la crescita e lo sviluppo dell'organismo target. Volendo analizzare alcune sostanze naturali, appare evidente il possibile rischio per l'operatore che ne fa uso, poiché anch'esso risulta far parte di questo ecosistema.

Le Piretrine sono tra i composti contenuti negli estratti di piretro, considerato questo l'insetticida naturale archetipico. Le dosi di letalità nei mammiferi risultano piuttosto basse, ma non abbastanza per causare una tossicità acuta al momento dell'ingestione accidentale o da contatto per soggetti sensibili all'estratto. La fauna marina sembrerebbe essere l'unica sfera a subire effetti tossici anche a basse concentrazioni.

I Rotenoni sono invece derivati da almeno sette generi di leguminose e vengono usualmente applicati nella gestione di parchi e giardini. La dose letale su mammiferi va dai 2'500 ai 3'000 mg / kg complicando sia il metabolismo ossido-riduttivo che le funzionalità respiratorie risultanti piuttosto aspecifici verso molti insetti.

Altro composto assai noto per le proprietà cancerogene, e tossiche, la Nicotina è un potente insetticida estratto dalle foglie di Tabacco, *Nicotiana tabacum* (*Solanaceae*) e da almeno cinque altre famiglie di piante produttrici. I valori di LD₅₀ riportati per tossicità acuta per via orale variano da 3 a 188 mg / kg per varie specie di mammiferi testate. L'esposizione cronica condiziona gli aspetti neuronali, respiratori, riproduttivi e cardiaci. Gli alcaloidi estratti dalle stesse solanacee come pomodori, melanzane e patate, possono risultare tossici per la maggior parte degli insetti con meccanismi embriotossici e teratogeni nei vertebrati agendo come inibitori della colinesterasi e bloccando i recettori dell'acetilcolina. Alcuni dei più noti alcaloidi sono le chaconine, solanine, tomatine, atropine e scopolamine.

Alle Avermectine appartengono diversi insetticidi, acaricidi e antielmintici prodotti dal processo fermentativo di alcuni actinomiceti, tra cui *Streptomyces avermitilis*. Vengono usati come antiparassitari in veterinaria e umana la medicina nonostante la dose media per sintomi neurotossici o mortalità acuta nei mammiferi e negli uccelli è nell'intervallo 1-30 mg / kg oltre alle complicazioni al sistema nervoso generate da esposizioni croniche giornaliere. Questi derivati agiscono sulla attività metabolica GABA, responsabile dei processi neuromuscolari degli insetti, così come nel sistema nervoso centrale. Alcuni studi ambientali hanno però dimostrato che le avermectine sono molto degradabili e non rientrano tra i composti accumulati nelle catene alimentari.

Tra i prodotti di natura microbica, appare il *Bacillus thuringiensis*, le cui endotossine sono efficaci sulle membrane, soprattutto nell'intestino midollare e sul trasporto ionico interno a vari insetti. Questi insetticidi biologici raggiungono un eccellente livello di sicurezza e presentano rischi o residui ambientali minimi.

Tuttavia, in esperimenti di somministrazione, queste tossine proteiche possono esprimere effetti deleteri nei topi o nelle quaglie testati; oltre al fatto che alcuni dei suoi ceppi producono esotossine, molto meno selettive e rischiose rispetto alle endotossine.

Gli steli e le radici di una pianta sudamericana, *Ryania speciosa* (*Flacourtiaceae*), producono un alcaloide (ryania) molto più stabile di rotenone e nicotina ma non altrettanto potente come insetticida. Nella pianta sono undici iranoidi identificati con diversa attività insetticida i cui meccanismi d'azione si evidenziano principalmente nel canale di rilascio di Ca^{++} nei muscoli. Tra i vari, sabadilla, stricnina e atropina, mostrano livelli di tossicità utili nella protezione delle piante dagli erbivori, vertebrati ed insetti.

Comunemente usati in passato dall'uomo nei trattamenti igienizzanti ed antiparassitari contro i pidocchi e le loro uova, i derivati di noce moscata, pepe nero ed anice stellato contengono safrolo. Studi indicano questo principio attivo come cancerogeno nelle cavie da laboratorio e pertanto rischioso se introdotto nell'alimentazione in dosi elevate. Proprio nel *Piper nigrum* (*Piperaceae*) sono contenute anche numerose ammidi lipofile, studiate da tempo come potenziali agenti di controllo degli insetti. Questi agiscono come neurotossici negli insetti in piccole dosi, con effetti simili a dosi dipendenti nell'uomo.

La famiglia delle crucifere a cui appartengono cavoli, broccoli e cavoletti di Bruxelles, nonché ravanelli, senape e rape, producono delle molecole chiamate glucosinolati. Questo gruppo di composti è caratterizzato da una molecola di glucosio legata ad un alcool bioattivo, isotiocianato o nitrile, che oltre ad essere repellenti e tossici contro numerose specie di insetti, risultano tossici anche per

molti mammiferi ed uccelli; ad esempio, nel bestiame si sono osservati affaticamento di fegato, reni, delle ghiandole surrenali e della tiroide. Anche se alcuni dei glucosinolati generano prodotti ad elevato rischio cancerogeno o danni cromosomici nelle cavie, gli stessi alimenti stimolano anche la sintesi di molecole anticancerogene.

L'acido cianidrico è stato usato per molti anni come fumigante per gli insetti ed è naturalmente presente in numerosi prodotti vegetali, come in semi di pomacee e drupacee. Risulta estremamente tossico anche per i mammiferi agendo come inibitore dei meccanismi respirativi compromettendo il citocromo a3 nel sistema di trasporto degli elettroni.

Anche alcuni minerali estratti dalla terra stessa possono essere considerati pesticidi naturali, ad esempio arseniti, arsenati o composti contenenti selenio, mercurio, piombo, rame e stagno possono essere considerati inquinanti poiché, se utilizzati incorrettamente, possono persistere per decenni o secoli nel suolo.

Questa lista potrebbe menzionare una moltitudine di sostanze che includono il veleno di scorpioni, ragni, millepiedi e serpenti capaci di causare paralisi e morte negli insetti.

Col termine “Corroborante” (dal latino *vis, roboris* = forza), in agricoltura vengono indicati quei prodotti di origine naturale, non ascrivibili alla categoria dei fertilizzanti, ma che migliorano invece la resistenza delle piante nei confronti degli organismi nocivi. Attraverso il D.M. n.18354 del 27 novembre 2009 nell'articolo 3, comma 5 si dichiaravano “*Disposizioni per particolari prodotti utilizzabili in agricoltura biologica, biodinamica e convenzionale – art. 16 del Reg. (CE) n. 834/07*”. Si stabiliva la possibilità di utilizzare una serie di prodotti (specificati

nell'allegato 1 dello stesso documento), agenti come corroboranti, biostimolanti o potenziatori della resistenza delle piante purché non venduti con nomi di fantasia. Il più recente Decreto del Presidente della Repubblica n.55 del 28 febbraio 2012 ne ha successivamente definito e regolamentato l'uso. In particolare, viene confermato che questi prodotti, sempre non venduti con nomi di fantasia o in miscela tra essi, non sono soggetti ad autorizzazione per l'immissione al commercio, ma possono essere immessi sul mercato a condizione che il loro uso non provochi effetti nocivi sulla salute umana e animale, né sull'ambiente; siano iscritti in una lista di corroboranti redatta e aggiornata periodicamente dal MiPAAF (Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali). Devono essere riportate in etichetta indicazioni sulla composizione quali-quantitativa, le modalità e le precauzioni d'uso, la facile identificazione del responsabile legale dell'immissione in commercio, lo stabilimento di produzione e confezionamento e la destinazione d'uso, che non deve comunque essere riconducibile in alcun caso alla definizione di prodotto fitosanitario. Tra questi sono attualmente riconosciuti per l'uso nelle varie tipologie di agricoltura i seguenti dieci:

- *Propolis*. È il prodotto costituito dalla raccolta, elaborazione e modificazione, da parte delle api di sostanze prodotte dalle piante. Si prevede l'estrazione in soluzione acquosa od idroalcolica od oleosa, in tal caso emulsionata esclusivamente con prodotti presenti nello stesso allegato. L'etichetta deve indicare il contenuto in flavonoidi, espressi in galangine, al momento del confezionamento.

- Polvere di Pietra o di Roccia. Prodotto ottenuto tal quale dalla macinazione meccanica di vari tipi di rocce, la cui composizione originaria deve essere specificata. Espressamente priva di elementi inquinanti.
- Bicarbonato di Sodio. Il prodotto deve presentare un titolo minimo del 99,5% di principio attivo.
- Gel di Silice. Prodotto ottenuto dal trattamento di silicati amorfi, sabbia di quarzo, terre diatomacee e similari.
- Preparati Biodinamici. Preparazioni previste dal regolamento CE 834/07 art.12 lettera c. L'articolo è quello sulle Norme di Produzione Vegetale e recita testualmente alla lettera c del comma 1: “*è consentito l'uso di preparati biodinamici*”.
- Oli Vegetali Alimentari. Prodotti derivanti da estrazione meccanica e trattati esclusivamente con procedimenti fisici: arachide, cartamo, cotone, girasole, lino, mais, olivo, palma di cocco, senape, sesamo, soia, vinacciolo.
- Lecitina. Il prodotto commerciale per uso agricolo deve presentare un contenuto in fosfolipidi totali non inferiori al 95% ed in fosfatidilcolina non inferiore al 15%.
- Aceto. Di vino e frutta. A questo proposito è stato testato in Toscana un erbicida naturale a base di aceto. Il prodotto ha mostrato una piena efficacia per tutte le specie. Tuttavia, l'azione di contatto ha consentito una resilienza pressoché in tutte le infestanti a ciclo biologico perenne. Nonostante questa criticità, questo erbicida naturale si è dimostrato utile come integrazione nella gestione meccanica delle malerbe e/o per essere eventualmente alternato con erbicidi convenzionali.

- Sapone Molle e/o di Marsiglia. Utilizzabile unicamente tal quale.
- Calce Viva. Utilizzabile unicamente tal quale.

Oltre all'azione insetticida e corroborante, alcuni microorganismi sono la base strategica per il controllo biologico di una serie di malattie. Alcuni batteri, ad esempio, producono molti composti attivi contro altri batteri: queste sostanze possono essere sfruttate nell'inibizione della crescita di potenziali microrganismi patogeni o alterativi. Tra questi possiamo considerare validi i sopraccitati acidi organici; oppure il perossido di idrogeno e diacetile; le batteriocine e altri composti antagonisti come la reuterina. Le batteriocine sono composti antibatterici proteici lipofili, costituenti un sottogruppo eterologo di peptidi cationici ad attitudine antimicrobica che vengono sintetizzati nei ribosomi di batteri sia Gram-negativi che Gram-positivi. A causa del loro effetto antagonistico su importanti agenti patogeni è di particolare interesse l'applicazione di queste come conservanti negli alimenti amplificando ulteriormente la barriera biocida per quei patogeni che alterano i prodotti alimentari. Nelle cinque classi cui si suddividono le batteriocine, troviamo nel secondo gruppo la nisina: è prodotta dalla fermentazione di un mezzo di latte sul quale agiscono vari ceppi di *Lactococcus lactis*. Questa è la batteriocina più studiata fino ad oggi ed è già in uso come antimicrobico naturale negli alimenti di tutto il mondo approvato dalla FDA. Questo peptide però sembra avere uno spettro di attività che consente la crescita di funghi e batteri Gram-negativi oltre ad essere efficace solo a pH relativamente acidi. È però utilizzato nell'industria alimentare per la propria azione contro molti dei batteri Gram-positivi e specificamente per controllare la crescita di *Clostridium* spp, nella carne bovina, suina e nel pollame con riferimento alla riduzione dei livelli di crescita iniziale e propagazione di

Listeria monocytogenes. Il suo meccanismo d'azione si basa sull'interazione con i fosfolipidi contenuti nella membrana citoplasmatica dei microorganismi prevenendo l'espansione delle spore inibendone il processo di germinazione.

Nel considerare i diversi settori applicativi di queste sostanze in agricoltura, l'attività diserbante sulle specie della flora spontanea risulta sempre meno praticata. Si osservano spesso agricoltori lungimiranti che, specie nelle tipologie di colture valorizzanti la biodiversità e l'ottimizzazione della fertilità dei suoli, preferiscono lasciare zone di inerbimento negli interfilari, piuttosto che nelle zone marginali dei campi. Le cosiddette “malerbe” sono infatti organismi di tutela da una varietà di fenomeni fisici come l'erosione superficiale ed i compattamenti dovuti al passaggio di macchine agricole, che compromettono inevitabilmente la fertilità dei terreni.

Gli erbicidi vengono classificati in base alla loro azione che può essere di contatto, sistemica e residuale e/o anti-germinello. L'acido pelargonico rientra nella prima categoria e da esso si può ottenere una gestione innovativa delle piante infestanti che, seppur avendo loro pregi, in agricoltura, tendono a competere per gli spazi e per i nutrienti con la coltura principale, mentre nell'ambito extra agricolo hanno ripercussioni principalmente di tipo estetico decorativo. Questo prodotto di origine naturale, il cui principio attivo è un acido grasso saturo con catena alifatica a nove atomi di carbonio, è una sostanza estratta attraverso metodi fisici dai semi di brassicacee, girasole e dai cardi, oltre a poterlo ritrovare anche in diversi grassi di origine animale. Il suo funzionamento basato sul contatto agisce degradando la parte cerosa delle piante e delle membrane cellulari con una successiva e completa disidratazione dei tessuti vegetali. Questa molecola agisce ad ampio spettro solamente nel post-emergenza, quando la pianta infestante risulta già parzialmente

sviluppata che appassisce nel giro di poche ore, e dissecca nell'arco di alcuni giorni. Un vantaggio di questo rispetto molti diserbanti presenti in commercio è l'effetto limitato alla parte aerea mentre gli apparati radicali manterranno la propria vitalità determinando una certa stabilità e vitalità dei suoli. Esso permette di effettuare trattamenti mirati in vari stadi del ciclo colturale, così da prevenire eventuali traslocazioni nella pianta che potrebbero influire su alcune funzionalità fisiologiche arrecando dei danni alla coltura, oltre ai limitati residui riscontrabili nei terreni a seguito dei trattamenti. Il suo profilo eco tossicologico non pone problemi, non esplica effetti residuali e il DT50 è di due giorni; unica attenzione richiesta è quella di "manipolare con cautela" perché ha pur sempre un pH acido.

Le proteine della caseina e del siero di latte che si dimostrano avere proprietà multifunzionali tra cui proprietà antimicrobiche contro un'ampia gamma di microrganismi patogeni come *E. coli*, *Helicobacter*, *Listeria*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, lieviti e funghi filamentosi. Nel latte circa l'80% delle proteine totali è rappresentato dalla caseina, dalla quale, a seguito di reazioni di idrolisi derivano peptidi antibatterici. Ad esempio, la casocidina è un composto rilasciato dall'idrolisi della caseina aS2 dalla chimosina che mostra possedere proprietà antibatteriche contro *Staphylococcus* spp., *Sarcina* spp., *B. subtilis*, *Diplococcus pneumoniae* e *Streptococcus pyogenes*; oppure Isracidin che mostra effetti di biocontrollo su *S. aureus*, *L. monocytogenes* ed *E. coli*. Altrettanto efficace è la frazione proteica del siero del latte bovino, costituita principalmente da β -lattoglobulina (β -LG) e α -lattalbumina (α -LA), la cui digestione rilascia tripsina antibatterica. Questo sottoprodotto metabolico si rivela utile strumento contro

alcuni agenti patogeni di origine alimentare come *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp. ed *E. coli*.

4.1. Estratti vegetali

Spesso viene fatto riferimento agli estratti vegetali con lo status di integratore alimentare per il consumo umano o come arricchimento in prodotti finalizzati alla cosmesi. Altre volte però, alcuni dei prodotti derivati dalle piante rappresentano un rimedio ecologico, sostenibile, e facilmente integrabile in programmi di protezione delle colture. Vista la loro biodegradabilità si inseriscono facilmente tra i mezzi di difesa per ridurre le incidenze delle malattie sui raccolti senza lasciare residui persistenti sui prodotti finali. Le piante sintetizzano in base alla loro natura dei metaboliti secondari aromatici sotto forma di fenoli, o loro derivati sostituiti con ossigeno, formando diverse sottoclassi di composti attivi dal punto di vista dell'effetto antimicrobico. Come visto nello scorso capitolo, queste attivano o simulano una serie di meccanismi di difesa delle piante contro i microrganismi patogeni. Tra questi si annoverano fenoli semplici o gli acidi fenolici che sono sostanze fitochimiche bioattive costituite da un singolo anello fenolico sostituito la cui tossicità per i microrganismi è dovuta ai siti di legame e al numero di gruppi idrossilici presenti nel composto fenolico che vanno ad intaccare le membrane del patogeno, privandolo inoltre del substrato nutritivo. Si evincono gli stessi effetti approfondendo i meccanismi che possono essere messi in atto dai terpenoidi contenuti negli oli essenziali. I chinoni fanno parte di composti anch'essi altamente reattivi, colorati e con due sostituzioni di chetoni nell'anello aromatico. Flavoni, flavonoidi e flavonoli sono chimicamente rappresentati da una

struttura fenolica annessa ad un gruppo carbonilico e prodotti in risposta all'infezione microbica risultando attivi nei confronti di molte specie e tipologie di microorganismi. A seguire, i tannini sono polimeri fenolici solubili in acqua, alcool e acetone ai quali si attribuiscono proprietà astringenti ed antimicrobiche dovute in particolar modo alla loro capacità di legarsi con proteine inibendo l'attività di diversi enzimi. Le cumarine sono anch'esse sostanze fenoliche costituite da benzene fuso e anelli α -pirone che danno luogo ad interazioni con il DNA di parecchi eucarioti.

L'estrazione implica una separazione dei principi attivi dalla matrice vegetale che li ha prodotti. Questo processo si fonda sulla capacità di alcuni solventi di solvatare molecole di simile polarità una volta che vi entra in contatto. La qualità del prodotto finale dipende essenzialmente da tre variabili rappresentate dalla materia prima, dalla scelta del solvente e dalla tecnica che si intende applicare. La metodica varia in tempistiche a seconda delle condizioni operative di temperatura e nella scelta del rapporto solvente/peso secco (DER), che studi indicano il 10:1 come formula ideale. La qualità di un estratto di erbe è strettamente connessa al tipo di pianta, definita dal nome botanico secondo il sistema binomiale (genere, specie, varietà e autore) ed alla parte utilizzata che dovrà essere stata ben conservata ed arrivare al momento dell'estrazione in tempi quanto più brevi dal momento della raccolta. La preparazione della matrice avviene attraverso la macinazione della porzione vegetale secca o fresca che ne consente una più ampia superficie di contatto e la conseguente velocizzazione ed efficacia del processo. Spesso a seguito della macinazione o triturazione, questa matrice è messa in contatto col solvente e agitata vigorosamente per 5-10 minuti o lasciata per 24 ore. La miscela viene filtrata

e lasciata essiccare a bassa pressione per poi subire una nuova solvatazione che ne determinerà la concentrazione finale. A questo punto si può provvedere ad una centrifugazione (circa $20.000 \times g$, per 30 minuti) e filtraggio per chiarire l'estratto. Altre metodiche prevedono un'estrazione in serie con solventi a polarità crescente partendo ad esempio dall'esano per completare il processo con metanolo, così da ampliare il range di composti estratti. In altri contesti quando sorge l'esigenza di estrarre esclusivamente le componenti termoresistenti, viene usato il metodo Soxhlet che prevede il riscaldamento della matrice attraverso una corrente di vapore. Oltre la polarità del solvente può interessare considerare diversi parametri come il pH, la volatilizzazione a diverse temperature, la rapidità con cui può essere assorbito da un organismo, senza togliere spazio ad attente considerazioni sulla tossicità. Spesso la degradabilità dell'estratto è influenzata dalla conservabilità del solvente che può generare dei complessi o dissociazioni nell'estratto finale. Infine, nella valutazione dell'attività biologica dell'estratto, il fattore di tossicità del solvente dovrebbe risultare pressoché nullo per non generare dati falsati rispetto il singolo principio attivo in esame. L'acqua è uno dei solventi da sempre utilizzati, che però prescinde l'estrazione di una gamma di sostanze particolarmente affini alle caratteristiche dei solventi organici, nei quali esplicano particolarmente bene la propria attività antimicrobica. Per questo in Italia nel saggiare le attitudini inibitorie della crescita microbica i solventi più comunemente usati sono metanolo, etanolo e acqua.

Le limitazioni che si verificano nell'adozione di queste molecole ed estratti tra le procedure di difesa fitosanitaria sono riconducibili ad una metodologia estrattiva ed applicativa non ancora standardizzata caratterizzata da test spesso

limitati all'ambiente in vitro, alla quale consegue una difficoltà nella creazione di formulati commerciali. Il rapido degrado di queste sostanze rientra sia tra i punti forti che tra le debolezze, alle quali si aggiungono un'efficacia ancora poco definita in ambienti aperti e la non totale conoscenza degli effetti sugli operatori e su organismi non target. Per la riproduzione e validazione degli effetti su organismi in vivo si dovrebbe ricorrere a procedure standard che vanno dalla coltivazione delle piante, per le quali si uniformeranno protocolli di lavorazione e successivamente di saggio su organismi. I metodi utilizzati nella standardizzazione del materiale vegetale di partenza e dei suoi preparati devono essere validati considerando i seguenti parametri:

- Specificità / selettività;
- Linearità;
- Intervallo;
- Precisione;
- Limite di detenzione;
- Limite di quantificazione;
- Accuratezza e robustezza.

Tuttavia, alcuni componenti minori o imprevisti non possono essere rilevati con strumenti analitici convenzionali, anche se contribuiscono agli effetti farmacodinamici portando ad effetti additivi, sinergici, antagonistici o alterando il profilo farmacocinetico dell'estratto (assorbimento, distribuzione, metabolismo ed escrezione) con conseguente modifica della biodisponibilità dei componenti attivi. A seconda delle circostanze d'uso quindi, si potrebbero ipotizzare profili di

sicurezza diversi da un tipo di estratto ad un altro pur sempre derivanti dalla stessa materia prima.

Nelle applicazioni di questi composti in agricoltura appare prevalente l'azione nematocida di una serie di estratti. Secondo quanto riportato in letteratura, la glucorafasatina è il principale glucosinolato presente nelle parti aeree del *Raphanus* insieme alla glucoerucina. Studiando l'azione nematocida dei diversi glucosinolati nei confronti del nematode *M. incognita* si sono ottenuti risultati che dimostrano che l'uso di biomassa residuale applicata come ammendante nel terreno ha determinato infatti una riduzione del 64.5 % della formazione di galle ed una diminuzione del 41 % della densità di popolazione del nematode. Questo risultato è consistente con l'alta bioattività del 4-metilsulfanil-3-butenil-ITC derivato dall'idrolisi enzimatica in vivo della glucorafasatina, abbondante nella biomassa delle cultivar testate. Sullo stesso *Meloidogyne incognita* ed altri nematodi, sono stati condotti dei test in vitro che hanno visto applicare un estratto di *Artemisia annua* mostrando un effetto biocida elevato sia sulle uova che sulle larve ma solo con tempi di esposizione prolungati. Lo stesso derivato vegetale mostra una elevata tossicità nei confronti delle larve di *G. rostochiensis* ed uno scarso effetto sulla schiusura delle uova della stessa specie. La minore suscettibilità all'estratto è stata mostrata da *Xiphinema index*, visto che tassi di mortalità elevati sono stati osservati solo dopo i tempi più lunghi di esposizione alle concentrazioni più elevate dell'estratto. Risultati questi, che se validati mediante test in campo possono creare ottimi presupposti per l'introduzione di nuovi formulati ad attività nematocida.

Nei confronti dei virus si è visto che da alcuni estratti derivati, ad esempio

dalle piante *Bougainvillea spectabilis* e *Prosopis chilinesis*, è stato possibile ottenere proteine antivirali (AVP). Queste sostanze hanno infatti dato risultati efficaci nel ridurre l'infezione da virus della necrosi del girasole (SFNV) nelle medesime piante.

Delle esperienze di lotta al batterio *Verticillium dahliae* condotte sia in campo che in laboratorio hanno messo a confronto cinque isolati batterici e quattro estratti di piante (colza, colza, alghe e *Astragalus canadensis*), durante due stagioni di crescita in due diverse località. Il test è stato effettuato su due cultivar di patata a diversa attitudine (Russet Burbank, moderatamente sensibile e Kennebec, altamente suscettibile). Tra gli estratti vegetali testati, l'estratto di *Astragalus* è stato il più efficace nel ridurre i sintomi (riduzione del 55–84% rispetto al controllo) indipendentemente dal metodo di applicazione effettuato sia tramite incorporazione nel terreno che attraverso il rivestimento del seme. Si nota nei risultati una certa sinergia dell'applicazione di ceppi batterici in concomitanza agli estratti naturali in entrambe le cultivar, portando in alcuni casi ad aumenti di rese fino al 18% sulla cultivar Kennebec.

Alcuni possono agire efficacemente anche nei confronti di insetti dannosi. L'inibizione dell'evoluzione stadiale da larva a adulto in alcune specie tra cui *Culex quinquefasciatus* (zanzara comune), *Anopheles stephensi* (vettore della malaria) e *Aedes aegypti* (vettore della febbre gialla) è stata mostrata nel 50% dei casi degli individui testati con delle frazioni in acetato di etile di semi e foglie di *Calophyllum inophyllum* e *Samadera* con una EC50, ovvero con una concentrazione tale da produrre metà dell'effetto massimale. Parallelamente a questi effetti, si osserva una riduzione della fecondità e la schiusa delle uova è invece evidente con la frazione

in etere di petrolio dell'estratto di foglie di *Rhinocanthus nasutus* con percentuali di variabilità rispetto al controllo tra il 62,4 e l'87,4%. Anche in ambito forestale è stato visto che alcuni estratti derivanti dalle piante potrebbero essere utili in alternativa agli insetticidi sintetici per la gestione delle popolazioni. Viene proposto l'estratto di un lavoro a proposito di tale tesi: qui sono estratte in metanolo 77 specie di piante medicinali orientali appartenenti a 42 famiglie differenti e testate per le loro attività larvicide contro *Lymantria dispar* L., *Acantholyda posticalis* M., *Hyphantria cunea* D. e *Dendrolimus spectabilis*. Attività insetticide variavano sia con le piante che con le specie di insetti. Gli estratti di foglie di *Leonurus sibiricus*, le radici di *Cynanchum wilfordii* e le radici di *Astragalus membranaceus* hanno rivelato potenti attività larvicide contro *L. dispar*; ed in particolar modo, l'estratto di *A. membranaceus* è risultato tossico per le larve di *A. posticalis*. Testando la capacità di privare il substrato nutritivo, attraverso l'estratto di radici di *Jeffersonia dubia* è stata ottenuta una forte attività anti-alimentazione contro *L. dispar* e *H. cunea*.

4.1.1. Estratti di aglio

Allium sativum L., aglio, appartiene alla famiglia delle Amaryllidaceae e viene da millenni considerato in moltissime culture del mondo per le sue proprietà medicinali, nonostante solo di recente si è approfondito il meccanismo alla base del suo potenziale in diversi settori. Questa pianta risulta attiva in una vasta gamma di processi che non si esplicano solamente nella sua attività antibatterica; i suoi principi attivi lo rendono un ottimo antivirale, antimicotico ed antiprotozoico, con implicazioni benefiche sul sistema cardiovascolare ed immunitario sugli organismi

animali. I suoi usi spaziano dalla medicina alla cucina, fino a coprire ruoli nelle industrie agroalimentari, ad esempio, nell'efficacia di abbattere la carica patogena di *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes* negli alimenti.

La sostanza volatile antimicrobica allicina (diallyl tio solfinato) viene sintetizzata nell'aglio quando i tessuti sono danneggiati e il substrato alliin (S-allil-L-cisteina solfossido) si mescola con l'enzima alliin-liasi. Questo principio attivo è facilmente permeabile alla membrana microbica all'interno della quale avvia reazioni di scambio tiolo-disolfuro con gruppi tiolo non legati nelle proteine. L'allicina e molti altri composti contenenti zolfo negli estratti di aglio sono prodotti dall'alliina mediante la cooperazione di alliin-liasi. Molti di essi, come gli alchilsolfuri nell'olio di aglio, l'allicina e l'ajoene sono capaci di inibire la crescita di molti agenti patogeni inattivando gli enzimi contenenti zolfo o influenzando il metabolismo dei lipidi. In numerosi studi nel settore agricolo effettuati sul principio attivo allicina, viene mostrato quanto questo abbia controllato efficacemente *Alternaria* spp. nella carota, *Phytophthora* sia nel pomodoro che nelle patate; il *Magnaporthe* sul riso e la peronospora in *Arabidopsis thaliana*.

Altre sperimentazioni valutano invece le capacità antifungine in vitro ed in vivo dell'estratto di zimmu (Ibrido interspecifico tra *Allium cepa* L. × *Allium sativum* L.) contro *Aspergillus flavus* L., *Fusarium moniliforme* Sheld, *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn e *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler e verso i funghi associati alla muffa del grano e del sorgo. Il concentrato emulsionabile (EC) ha mostrato una forte attività antifungina contro *A. flavus*, *F. moniliforme*, *C. lunata* e *A. alternata* ed ha causato l'inibizione della crescita dei funghi in vitro del 73,3%,

71,1%, 70,0% e 74,4%, rispettivamente. L'applicazione fogliare della formulazione di zimmu 50 CE a una concentrazione di 3 mL – 1 (v / v) 60, 75 e 90 giorni dopo la semina ha ridotto significativamente l'incidenza di attività fungine aumentando il peso e la durezza del grano. Una significativa riduzione del contenuto di aflatoossina B1 nei chicchi di sorgo è stata osservata quando le piante di sorgo sono state trattate attraverso la stessa formulazione alla concentrazione dello 0,3%. Attraverso un'analisi mediante gascromatografia-spettrometria di massa (GC-MS) delle bande lipidiche si è rivelata la presenza di sei diversi composti lipidici, che possono essere responsabili dell'inibizione della crescita del fungo patogeno *Mycosphaerella eumusae*, agente causale di malattie fogliari su banano. Poiché l'applicazione dell'estratto d'acqua di Zimmu è risultata non solo efficace nel controllo della gravità negli apparati fogliari, ma ha anche favorevole per il numero di foglie verdi e la resa dei frutti di banana, questo può essere utilizzato efficacemente nella gestione integrata delle malattie e nel miglioramento delle prestazioni colturali in modo ecologicamente sostenibile anche in applicazioni in pieno campo.

I patogeni batterici sono un grave problema per molte specie vegetali coltivate. Tra questi, *Pseudomonas syringae* pv. (*Pst*), *Xanthomonas vesicatoria* (*Xv*) e *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (*Cmm*), sono agenti causali di pericolose malattie vegetali che danneggiano la produzione di una serie di colture, tra cui il pomodoro. Nei test in vitro con ceppi batterici a una densità di popolazione di 10⁶ e 10⁸ cfu ml – 1, l'estratto vegetale di *A. sativum* a concentrazioni dell'1 e del 30%, rispettivamente, hanno mostrato i migliori effetti a 10⁶ cfu ml – 1 di concentrazione batterica. Nei test in vivo condotti in serra, i ceppi

batterici sono stati testati a 105 ufc ml⁻¹; si notano una riduzione dell'incidenza della malattia del 58% e la gravità della malattia del 68% con un complessivo controllo della malattia fino al 65% rispetto al trattamento standard con rame.

Questa pianta dai mille usi fornisce col suo estratto una vasta serie di possibilità applicative, tra cui l'attività repellente e fumigante contro le larve e gli adulti dello scarabeo della farina rossa, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Col., *Tenebrionidae*). Gli esperimenti sono stati condotti a 27 ± 1 ° C e $60 \pm 5\%$ RH al buio con risultati che indicano quanto la letalità sia in lineare dipendenza con concentrazione dell'estratto e del tempo di permanenza negli ambienti degli insetti.

In commercio sono già presenti una serie di insetticidi a base di estratti d'aglio utilizzabili anche in agricoltura biologica la cui formulazione prevede un 15% di sostanze inerti di supporto all'adesione fogliare del prodotto.

4.1.2. Neem

Le metodologie di sfruttamento della pianta del neem, *Azadirachta indica* A. Juss (*Meliaceae*) sono proprietà intellettuale della cultura ayurvedica indiana e, già nel VI a.C., in un antico trattato Sanscrito, il “*Upavanavinod*”, vengono descritte alcune metodologie di riutilizzo del neem cake per la fertilizzazione di terreni agricoli e per la difesa e la cura di piante e animali debilitati. Le piante rappresentano una fonte di primaria importanza di sostanze biologicamente attive ad elevata attività antimicrobica. Inoltre, l'utilizzo di sempre più raffinate tecnologie ha permesso di minimizzare gli sprechi, fino a favorire il riciclaggio dei sottoprodotti e i rifiuti della lavorazione agroindustriale che, non trovando alcuna collocazione sul mercato, rientrano spesso tra i sottoprodotti smaltiti e/o trattati

come materie esauste. Nelle sue diverse forme applicative si osserva una tecnologia innovativa che conferisce al packaging un potere antimicrobico: con l'uso di un film "attivato" vengono limitate le attività quei microrganismi patogeni e alterativi frequentemente responsabili di problematiche, ad esempio, nei sistemi di confezionamento delle carni fresche. La vita commerciale della carne è strettamente dipendente dal numero e dal tipo di con cui essa entra in contatto. Col tempo si sono andate ad affermare una serie di metodi e tecnologie (refrigerazione, atmosfere modificate) attraverso le quali è ottenibile il mantenimento nel tempo dei livelli iniziali di qualità igienica e sensoriale durante l'intera conservazione, dalla macellazione al banco di vendita. Generalmente nell'attivazione di questi film sono attualmente usati gli oli essenziali, le batteriocine, e gli acidi grassi. Tuttavia, in quest'ottica, presso il CRA PCM (Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali) è stata fatta la selezione e valutazione di rimedi vegetali ad attività antimicrobica per il loro potenziale impiego nella conservazione delle carcasse, il mantenimento della qualità della carne fresca confezionata e il prolungamento della vita commerciale. La ricerca si è incentrata sullo sviluppo di un prodotto di derivazione naturale vegetale con caratteristiche intrinseche di efficienza e sostenibilità, aventi cioè basso costo, rinnovabilità, garante di un approccio eco-friendly, bassa tossicità, facile impiego, e infine alta reperibilità. Poiché è nota l'attività antimicrobica di *Azadiracta indica*, si è approfondito sull'azione antibatterica dell'estratto derivante dal pannello esausto (neem cake) della spremitura a freddo dei semi (NCE = estratto in acetato di etile del neem cake) nei confronti di popolazioni batteriche che alterano la qualità della carne (*Brochothrix thermosphacta*, *Carnobacterium* sp., *Lactobacillus curvatus*, *Lact. sakei* e

Leuconostoc sp.). L'attività antibatterica è stata determinata in laboratorio su appropriati terreni solidi e liquidi, come pure inoculando sperimentalmente carne macinata confezionata sottovuoto e mantenuta a 10°C, per simulare una refrigerazione non adeguata. La crescita di tutti i batteri considerati su appropriati terreni agarizzati è inibita in presenza di NCE (100 µg) in differente misura (range della zona di inibizione 21,31-36,41 mm). Si è rilevata, durante le esperienze condotte, una riduzione generale della crescita di tutti i batteri considerati nella prova; nella quale, l'inibizione più evidente è stata rilevata ad una concentrazione di 10 µg.

Dalle analisi sensoriali sugli alimenti, si nota che alle concentrazioni impiegate non viene riscontrato l'odore caratteristico del neem che, sebbene innocuo, potrebbe destare perplessità nei confronti della modificazione delle caratteristiche organolettiche per il consumatore. I suddetti studi trovano finalità nella partnership del progetto "Neemagrimed" con la quale i promotori tentano di divulgare la validazione effettuata del neem cake, scarto del processo estrattivo dei semi di neem, come prodotto dalle straordinarie potenzialità di riuso. Prendendo anche spunto da quanto deriva dalla tradizione ayurvedica, è stata organizzata una collaborazione tra società di importazione, rivenditori di prodotti per l'agricoltura biologica e istituti di ricerca, al fine di validare le modalità e le tempistiche di applicazione di questo prezioso "scarto", finora ancora sottovalutato. A tale scopo è stato avviato un complesso programma di ricerca verificando la composizione chimica e la variabilità di composizione. Il confronto dei dati ottenuti mediante le tecniche analitiche impiegate (*HPTLC*, spettroscopi *NMR*) ed i test di efficacia in vitro hanno permesso di confermare e comprendere in maniera più approfondita

l'efficacia insetticida e l'azione biostimolante sul sistema suolo-pianta. L'acquisizione di queste conoscenze scientifiche di base ha quindi permesso la messa a punto di metodologie per l'utilizzo in campo, in specifici settori produttivi, promuovendo scelte alternative all'impiego di input chimici nella gestione di colture agrarie e negli allevamenti zootecnici. A valorizzare ulteriormente la diffusione del neem cake come "organic manure", numerosi studi a livello internazionale sono in progress con lo scopo di confermare risultati preliminari che indicano come l'utilizzo di questo by-product abbia un effetto benefico sulla qualità nutrizionale e funzionale nei prodotti ortofrutticoli. In particolare, attraverso successivi studi, dovranno essere confermati gli effetti del neem cake sull'attività antiossidante e sull'aumento della concentrazione di vitamine e polifenoli, così come sulla riduzione dei nitrati negli ortaggi a foglia. A supporto della sostenibilità ambientale i risultati di "Neemagrimed" dimostrano che il cake è una efficace alternativa sia al Bromuro di metile, un fumigante utilizzato come nematocida il cui uso è stato revocato in quanto contribuisce alla riduzione dello strato di ozono dell'atmosfera, che al 1,3-Dicloropropene, un fumigante nematocida che ha sostituito il bromuro di metile soggetto però a restrizioni di uso dal 2007 (Decisione CE, 2007; 2010), essendo considerato pericoloso per la salute umana, oltre che per gli animali e l'ecosistema. A questo riferimento il Servizio Fitosanitario Nazionale (Ministero della Salute, 2018) ha accolto le richieste delle imprese agricole per l'autorizzazione in deroga all'uso dell'1,3-Dicloropropene per l'emergenza nematodi su carota in pieno campo, pomodoro in serra, melanzana in serra, peperone in serra, zucchini in serra e in pieno campo, fragola in serra e in pieno

campo e anguria in pieno campo. Il problema dell'assenza di nematocidi alternativi ai prodotti sotto revoca della CE è molto sentito dagli agricoltori.

Le Azadiractine estratte dai semi dell'albero di neem insieme a serie di triterpeni limonoidi strettamente correlati, provocano numerosi effetti che includono repellenza, deterrenza alimentare, deterrenza per ovoposizione, interferenza con la crescita e sviluppo e riproduzione che agiscono ad ampio spettro verso molti insetti. Sono stati notati effetti sui mammiferi, ma che rappresentano forme quanto più terapeutiche piuttosto che conseguenze tossiche: in diverse situazioni emergono importanti proprietà antiinfiammatorie e antiulcera. Dosi orali di 2000 mg/kg non hanno avuto effetti sui ratti, così come le applicazioni cutanee di 600 mg/kg al giorno per tre settimane o iniezioni intraperitoneali di 1000 mg/kg. L'olio di Neem ha numerosi usi medicinali nell'Asia meridionale ed effetti deleteri si verificano solo a dosi estremamente elevate. Test su artropodi, pesci e bestiame non bersaglio hanno indicato un'eccellente selettività, mentre i residui nell'ambiente hanno breve durata, ulteriormente ridotta in presenza di luce ed aria.

Lo spiccato sviluppo vegetativo e l'assorbimento di nutrienti di piante orticole ed arboree da frutto, allevate in ambiente controllato e in campo è da attribuirsi a variazioni della comunità microbica nella rizosfera con conseguente variazioni degli scambi gassosi del terreno (CO_2 , N_2O). Si verifica di conseguenza un aumento della disponibilità di ferro per l'assorbimento da parte delle piante.

4.2. Induttori di resistenza

L'induzione di resistenza è un trattamento in grado di generare una risposta

fisiologica nella pianta, che la rende più resistente a successivi stress di natura biotica o abiotica. Questi sono noti in letteratura anche col nome di elicitori, biostimolanti, primer o promotori delle difese della pianta. A partire dal 1° gennaio 2014 attraverso la Direttiva sull'uso sostenibile dei pesticidi n. 128/2009, gli induttori di resistenza possono essere dei buoni candidati per implementare l'uso di altri mezzi di lotta nella protezione delle piante.

Derivati etanolici di *Reynoutria sachalinensis* (Milsana®) protegge varie piante (cetriolo, frumento, rosa) da oidi. Queste dimostrano avere sia un effetto diretto antimicrobico (anomalie nella differenziazione di appressori e austori) che nel provvedere ad un aumento delle attività metaboliche inerenti alle perossidasi, β -1,3-glucanasi, accumulo di polifenoli, fitoalessine, ROS e lipossigenasi. In altri studi su estratti acquosi di *Azadirachta* la giudicano altrettanto efficace contro batteri e funghi e nell'induzione dei suddetti meccanismi di difesa nelle piante similmente a quanto si nota con estratti di *Hedera helix*, impiegati per la protezione del melo da *Erwinia amylovora*, che incrementano l'attività di perossidasi e chitinasi. Altri ricercatori prendono come riferimento i residui di barbabietola da zucchero, i cui estratti applicati in colture di patata, sembrano contribuire all'aumento delle proteine PR negli individui che entrano a contatto col patogeno *Phytophthora infestans*, tipico della coltura.

Tra i numerosi derivati vegetali, l'acido esanoico è un composto naturale prodotto dalla fragola (*Fragaria vesca* L.) e dall'arbutus (*Arbutus unedo* L.). Questo acido monocarbossilico naturale a catena corta è in grado di indurre risposte di difesa delle piante se usato come agente di *priming*. Quando applicato alla coltura, questo appare essere assorbito unicamente dall'apparato radicale senza essere

traslocato nell'intero individuo nonostante provochi cambiamenti funzionali sia alla pianta che al patogeno. A dimostrazione di questo, studi del 2014 in applicazioni su pomodoro (*Solanum lycopersicum* L.), mostrano l'induzione di cambiamenti nella pianta oltre ad alterare l'espressione della virulenza nei geni di *Pseudomonas syringae*. Questo stesso acido è in grado di ridurre l'incidenza di *Alternaria alternata* del 50% nel mandarino "Fortune" (*Citrus clementina* Tanaka × *Citrus reticulata* "Dancy" Blanco), coltura che mostra un elevato livello di deposizione di callosio ed una incidenza della via metabolica dell'acido jasmonico nella quale appaiono maggiormente espressi i geni PGIP (trascrivono per le proteine che inibiscono le poligalatturonasi). Inoltre, se applicato su piante di arance dolci (*Citrus sinensis* Osbeck) riduce sensibilmente l'incidenza di *Xanthomonas citri* subsp. *citri* del 50% attivando poi l'espressione del gene PR-2.

Alcune valutazioni di effetti deleteri o benefici derivanti dall'uso di induttori di resistenza mostrano che se questi sono applicati con dosi o frequenze troppo elevate per la coltura in questione, tendono ad essere considerati da questa come costi metabolici a volte inutili e dispendiosi. A favore della teoria, diverse prove sperimentali con dosaggi eccessivi mostrano effetti variabili a seconda del prodotto e della pianta, ad esempio si sono viste riduzioni nella crescita e della lunghezza dei germogli, leggere clorosi e riduzioni del peso fresco, traducibili in perdite nelle rese produttive. A seconda della gravità cui si prospetta la malattia, non si innalzerà dunque la soglia del dosaggio né la frequenza, ma sarà opportuno invece cercare una possibile implementazione delle misure cautelative integrandole in una unica strategia difensiva. Solitamente per soglie medio basse d'intervento, gli induttori appaiono generalmente efficaci. Quando però, in determinate condizioni, l'allarme

alla malattia appare più grave, una combinazione tra questi rimedi assieme ai trattamenti classici e nelle forme di agricoltura che lo consentono, possono generare una protezione ancora più completa. Esperimenti su vitigni hanno mostrato che il BABA, un attivatore sintetico, può migliorare l'attività del fosetil-Al contro la *Plasmopara viticola* (Reuveni et al., 2001). Anche le combinazioni di BABA con Mancozeb, un fungicida di contatto, hanno dimostrato un effetto sinergico contro *Phytophthora infestans* (de Bary) e *Pseudoperonospora cubensis* (Berkeley et Curtis) in diverse colture. L'applicazione dell'ASM (acibenzolar-S-methyl) che agisce nei confronti della risposta metabolica SAR, ha ridotto l'impatto di *Erwinia amylovora* nell'infezione della mela, ma essenzialmente meno efficace dei trattamenti classici con streptomicina. Tuttavia, la combinazione dei due ha mostrato una protezione migliore rispetto a entrambi i trattamenti singoli. Vanno inoltre considerati i numerosi studi sulla quantità di possibili combinazioni per istituire dei protocolli di difesa validi anche in relazione alla possibilità di riduzione della frequenza dei normali trattamenti con sostanze particolarmente nocive. Un ulteriore caso studio interessante è rivolto a *Hyalesthes obsoletus* Signoret (*Hemiptera Cixiidae*), ovvero il principale vettore di "*Candidatus Phytoplasma solani*", agente causale del Legno nero vite. L'insetto vettore mostra subire una modificazione comportamentale in base alle sostanze volatili emesse dai germogli di vite trattati con tre elicitatori chimici in commercio (benzotiadiazolo, e due formulazioni a base di oligosaccaridi e glutatione). Ogni composto applicato con tempistiche variabili da 0, 2 a 7 giorni prima dei saggi biologici dimostra una stretta correlazione alle differenti risposte del vettore. In particolare, il trattamento con benzotiadiazolo a sette giorni dal test risultava provvedere ad un'emissione di

sostanze particolarmente repellenti, che nel primo giorno risultavano invece attraenti per lo stesso; a differenza degli altri composti che danno risultati contrastanti. Ad avere effetti simili, anche una serie di sottoprodotti dell'industria agricola come compost e biochar, secondo alcuni studi si rivelano interessanti promotori di resistenza. Il compost risulta biologicamente attivo tramite la quantità e la varietà genetica dei microorganismi contenuti in esso. Questi organismi saprofiti, infatti, hanno un'azione soppressiva verso alcuni patogeni del suolo oltre ad azioni di resistenza indotta il cui meccanismo, non ancora ben chiaro, sembra combinarsi all'aumento della potenzialità radicale dovuta alla colonizzazione della rizosfera. Dalle esperienze d'uso di compost, con eventuali addizioni di microorganismi specifici, si mostrano efficaci in cetriolo affetto da *Pythium* spp. e antracnosi; in melone verso *F. oxysporum* f.sp. *melonis* e *B. cinerea*. Nel secondo caso, si parla di biochar inteso come derivato dalla pirolisi dei residui delle biomasse di vario genere, utilizzato similmente al compost, come ammendante nei suoli. Le sperimentazioni condotte su questo, lo vedono indurre resistenza in alcune solanacee affette da *B. cinerea* e *Leveillula taurica*, in asparago verso *Fusarium oxysporum* f.sp. *asparagi* e *F. proliferatum*; su fragola verso *B. cinerea*, *Colletotrichum acutatum* e *Podosphaera aphanis* ed in giovani piante arboree verso *Phytophthora* spp., dimostrandosi variabilmente efficace. In questa ottica, il miglioramento della resistenza nelle piante non è limitato al suolo o alle applicazioni fogliari degli induttori. La Micorriza Arbuscolare (AM), come spiegato in precedenza, ha di solito un ruolo chiave nel conferire una migliore crescita delle piante, un maggiore assorbimento dei nutrienti, una maggiore tolleranza agli stress abiotici e biotici nella pianta ospite e migliorare la struttura

del suolo. Diversi studi hanno dimostrato che le piante di limone grezzo inoculato con AM (*Citrus jambhiri Lush*) hanno mostrato una maggiore tolleranza allo stress da siccità o ai suoli colpiti dal sale (Wu et al., 2013). Lo stress abiotico ha fortemente limitato lo sviluppo di agrumi non AM e lo sviluppo micorrizico di agrumi AM, ma la colonizzazione AM ha prodotto un effetto positivo sulla crescita delle piante e sulla fotosintesi, anche in condizioni di siccità o salinità. È stato inoltre appurato che la colonizzazione con AM induce risposte di difesa più forti e più veloci nella pianta ospite contro la radice e spara agenti patogeni. Le piante di pomodoro colonizzate con AM hanno mostrato una resistenza sistemica indotta, contro il *Alternaria alternata*, riducendo il numero di lesioni per foglia. Questa evidenza era correlata ad un aumento dei livelli di metil jasmonate (MeJA) nelle foglie e dei geni LOX e OPR3 (12-oxophytodienoate reductase 3) coinvolti nella biosintesi JA (Nair et al., 2015). Nel fagiolo (*Phaseolus vulgaris L.*), la colonizzazione AM ha portato a un aumento significativo del contenuto fenolico e delle attività di PAL e PPO (Al-Askar e Rashad, 2010). Studi condotti da Watanarojanaporn et al. (2011) hanno dimostrato che l'uso di alcune AM migliora sia la crescita degli agrumi sia la tolleranza alla malattia da marciume radicale causata da *Phytophthora* spp. In diverse cultivar C-35 Citrange (*C. sinensis* × *P. trifoliata*), Shogun (*Citrus reticulata* Blanco cv. Shogun) e Tangerine (*C. reticulata*).

Qualche studio sulla nutrizione degli agrumi hanno dimostrato che la fertilizzazione a base di ammonio potrebbe anche indurre resistenza negli alberi. Fernández-Crespo et al. (2012) hanno osservato che i trattamenti NH₄⁺ hanno indotto una lieve condizione di stress che innescano la risposta alla difesa della

specie di *citrus Carrizo* (*C. sinensis* × *Poncirus trifoliata*) mediante *imprinting* allo stress e conferisce protezione contro il successivo stress salino. Inoltre, le stesse piante hanno mostrato livelli più bassi di H₂O₂ prodotta se esposte alla stessa condizione di salinità, rispetto il test non condizionato. Allo stesso modo è stata osservata l'attivazione del meccanismo promotore di una risposta immunologica ed antiossidante delle piante attraverso un aumento delle attività di CAT, SOD e glutatione reduttasi (GR) rispetto agli impianti di controllo (Fernández-Crespo et al., 2014).

4.2.1. Vitamine

Le vitamine sono componenti essenziali della fisiologia vegetale che possono prendere parte a diversi processi come la fotosintesi, la generazione di energia e il metabolismo redox (Sandoval et al., 2008) o agire come cofattori enzimatici nelle vie metaboliche universali come la glicolisi o il ciclo di Krebs (Goyer, 2010). Tuttavia, negli ultimi anni è stato anche dimostrato che l'applicazione di determinate vitamine come la tiamina (vitamina B1), la riboflavina (vita-min B2) o il bisolfito di menadione (MSB o provitamina K) sono in grado di indurre resistenza in una vasta gamma di piante. MSB è un composto additivo solubile in acqua di vitamina K3 descritto in letteratura anche come un regolatore di crescita delle piante con forti proprietà redox. L'applicazione di questa vitamina ha dimostrato efficacia come induttore di resistenza nelle piante di banane (*Musa acuminata*) contro la malattia di Panama della banana causata da *Fusarium oxysporum* correlata a un aumento delle fitoalessine (Borges et al., 2003a). Nella colza (*Brassica napus*) MSB è in grado di indurre un potenziamento dell'APX ma

non è stato osservato alcun effetto sull'espressione di PR-1, suggerendo che la resistenza mediata da MSB nella colza comporta una maggiore produzione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) ma è indipendente di accumulo PR-1 (Borges et al., 2003b). Inoltre, è stato suggerito che l'applicazione di MSB è in grado di indurre una riduzione del tasso di crescita degli insetti che potrebbe essere utilizzato per controllare *Trioza erytrae* e *Diaphorina citri*, i vettori psyllidi di HLB (Borges et al., 2014). Il primo rapporto della tiamina (B1), integrata come induttore di difese nelle piante risale al 1985 quando Asselin et al. osservato che le applicazioni esogene erano in grado di indurre l'accumulo di proteine PR. Alcuni anni dopo, Malamy et al. (1996) hanno dimostrato che l'applicazione della tiamina induce l'espressione del gene PR-1 con conseguente aumento della resistenza contro il virus del mosaico del tabacco. Tuttavia, questo effetto non è stato osservato negli individui che codificano il salicilato idrossilasi (detti NahG), che non sono in grado di accumulare acido salicilico, suggerendo che la tiamina è in grado di indurre risposte in modo SA-dipendente. Indagini successive hanno dimostrato che l'applicazione della tiamina è in grado di indurre diverse risposte difensive come PAL, deposizione di callosio e suggerisce che il perossido di idrogeno può svolgere un ruolo importante nella resistenza indotta dalla tiamina (Ahn et al., 2007). Nella vite, la tiamina è in grado di indurre resistenza contro la *Plasmopara viticola* inducendo la generazione di perossido di idrogeno, il miglioramento della deposizione di callosio nelle cellule degli stomi e l'accumulo di composti fenolici (Boubakri et al., 2013a). Nella pera asiatica (*Pyrus bretschneideri* Rehd. Cv. Zaosu) la tiamina è in grado di indurre resistenza contro la putrefazione causata da *Alternaria alternata* dall'aumento di espressione delle vie metaboliche PAL, PPO

e POX, oltre ad aumentare il contenuto di flavonoidi e composti fenolici (Yin et al., 2012).

La riboflavina (B2) è una vitamina contenuta in alcuni prodotti dell'industria lattiero-casearia ed è presente nelle foglie di piante verdi, nelle quali agisce da coenzima in molti processi fisiologici che possono influenzare la produzione di intermedi reattivi dell'ossigeno e lo scoppio ossidativo. Le applicazioni esogene della riboflavina aumentano la resistenza di *Arabidopsis thaliana* contro *Peronospora parasitica* e *Pseudomonas syringae*, tabacco contro il virus del mosaico del tabacco e *Alternaria alternata*. differenza della tiamina, la riboflavina è in grado di indurre resistenza ed espressività del gene PR nelle piante NahG, il che indica che il suo effetto protettivo è indipendente da SA. D'altra parte, è stato osservato che l'applicazione della riboflavina è anche correlata all'attivazione della via JA attraverso il potenziamento del gene LOX e l'up-regolazione del PAL (Aranega-Bou et al., 2014). Nella vite contro *P. viticola*, le applicazioni della riboflavina hanno indotto risposte di difesa tra cui la generazione di H₂O₂, l'espressione potenziata di diversi geni PR, la deposizione di callosio e il potenziamento dell'espressione LOX che indica un coinvolgimento dell'acido jasmonico (Boubakri et al., 2013b).

4.2.1. Estratti di Alghe

Recentemente, è stato dimostrato che i polisaccaridi, principalmente ulivi, laminarin e carragenani, delle alghe verdi, marroni e rosse possono innescare risposte di difesa nelle piante migliorando la protezione contro i patogeni. Il laminamin è un glucano lineare β -1,3 estratto dall'alga marrone *Laminaria digitata*

Lamouroux. Test in vitro hanno dimostrato che il trattamento con laminarina ha indotto un aumento delle trascrizioni di fenilalanina ammonia-liasi (PAL) e LOX nelle cellule della vite e un aumento prolungato di glucanasi e chitinasi (Aziz et al., 2003). Le applicazioni di laminarina alle piante di vite hanno ridotto l'infezione di *B. cinerea* e *P. viticola* nelle foglie di circa il 70% dei soggetti testati. Qui, l'applicazione di inibitori del gene LOX e della sintesi del callosio ha ridotto l'efficacia della laminarina fino all'80%, suggerendo che il suo effetto si basa principalmente sulla via JA (Trouvelot et al., 2008).

Ulvan è un polisaccaride solfato solubile in acqua estratto da diverse alghe verdi, che rappresentano dall'8 al 29% del peso secco delle alghe. Studi recenti hanno dimostrato che ulvan potrebbe indurre resistenza in diverse piante come la mela contro le muffe blu e grigia, rispettivamente di *Penicillium expansum* Link e *B. cinerea*, inducendo l'attivazione di CAT e SOD, PAL, POX e polifenolossidasi (PPO), nonché un innalzamento dei livelli di lignina e dei composti fenolici (Abouraïcha et al., 2015). Questi studi e altri con solfatazione chimica della laminarina hanno suggerito che il potenziamento delle risposte di difesa degli estratti di alghe può essere correlato al suo residuo di solfato (El Modafar et al., 2012; Gauthier et al., 2014).

4.2.3. Chitosano

Il chitosano (poli-b- (1,4) -N-acetil-D-glucosamina) è un biopolimero policationico non tossico e biodegradabile derivante dalla deacetilazione della chitina presente negli esoscheletri di crostacei e insetti, nonché in alcune pareti cellulari fungine. Esso è di notevole interesse per applicazioni alimentari

commerciali poiché riscontra ampie proprietà antimicrobiche, sebbene il suo effetto protettivo derivi principalmente dalla stimolazione delle difese naturali delle piante.

Nel suo uso sia in campo, sia nel post raccolta, si presenta generalmente coi suoi derivati oligochitosano e glicole chitosano in soluzione, come polveri o come rivestimenti commestibili commercializzato da solo o in combinazione con altri composti che consentono di sopprimere patogeni attivi nella fase di stoccaggio in molte materie prime, ad esempio in fragola, giuggiola, ciliegie, agrumi, mele, banana, uva da tavola e pomodori ed altre. Quando su queste specie viene applicato il prodotto, esse mostrano aumenti significativi nelle proprie attività metaboliche che coinvolgono le vie di CHT, GLU, PPO, POD e PAL oltre a migliorare il contenuto in fenoli, flavonoidi e ROS accumulato attraverso la regolazione dell'attività degli enzimi metabolici, come SOD, CAT e APX. Trova applicazione come elicitore esogeno con meccanismi d'azione variabili a seconda della specie vegetale, dimostrando in alcuni studi notevole efficacia contro la peronospora nelle viti, ma anche contro attacchi a specie conifere come nel caso del cancro causato dal *Fusarium circinatum* Nirenberg et O'Donnell in *Pinus radiata* D. Don. Altri studi in vitro consentono di osservare una regolazione della fenilalanina ammonia liaasi (PAL), delle calcine sintasi e una maggiore espressione di undici proteine della famiglia proteica correlata alla patogenesi. Allo stesso modo, su pesca, agisce sul contenuto sia di enzimi difensivi come antiossidanti come CAT, POX, β -1,3-glucanasi (GLU) e chitinasi (CHI), ma anche in quelli rivolti al potenziale antiossidativo del frutto.

Attraverso tecnologie come il Sequenziamento di nuova generazione, si è

valutato che la pianta trattata con chitosano mostra più geni sovraespressi rispetto ad un silenziamento di questi nelle risposte di difesa strutturale. Ad esempio, si riscontrano effetti nei siti di legame della pectina oltre ad una maggior intensità dei percorsi che comportano la distribuzione di strati di cellulosa sulle pareti delle cellule vegetali nelle cellule di peperoni trattati con chitosano. Nella sua efficacia si riscontrano oltre alla variabilità di specificità d'azione nella specie target e nella forma di stress cui l'organismo è sottoposto, anche dei limiti imposti dalla solubilità del chitosano a livelli di pH inferiori alla neutralità. La sua applicazione nell'industria agroalimentare sotto forma di conservante negli alimenti potrebbe subire migliorie con una diversa formulazione del principio attivo e dei suoi derivati come capaci, a seguito della reazione di Millard, di solubilizzare in acqua. A tal proposito, si evince che i derivati del chitosano disaccaridico N-alchilato, risultano attivi contro *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *E. coli*, *Shigella dysenteriae* e *S. Typhimurium* apparendo promettenti integrazioni alle strategie che vedono attivo il chitosano acido-solubile.

Questo composto non presenta tossicità né verso l'uomo né verso le specie vegetali ed attualmente è il candidato principale alla sostituzione dei prodotti cuprici rameici in agricoltura biologica e non. Pertanto, assumono grande importanza le sperimentazioni e le ricerche volte ad approfondire le conoscenze riguardanti questa molecola e il suo possibile utilizzo su ampia scala; sia singolarmente che in sinergia con altri composti naturali coi quali potersi combinare nelle strategie di difesa delle piante.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Solamente attraverso scelte consapevoli ed interessi che non prescindono la tutela del pianeta in cui viviamo potremo ottenere risultati concreti nelle aziende agricole e nei settori ad esse affiliati. Le figure interne a questa sfera di sussistenza vedono agronomi, agricoltori, operatori e imprenditori agricoli a dover calibrare adeguatamente ogni mossa che ne garantisca però, un reddito adeguato. Si vuole considerare il vegetale con il rispetto che si deve a chi ci ha fornito e fornisce tutt'ora tutti quei mezzi di sussistenza utili per alcuni nel mantenimento di un adeguato livello di benessere, mentre per altri è la risorsa essenziale di una precaria sopravvivenza.

Emerge quindi la necessità di una stabile comunicazione e coordinazione tra i settori della ricerca, le istituzioni, cittadinanza ed aziende che troppo spesso devono confrontarsi con tempi e modalità derivanti dei sistemi burocratici che spesso rallentano l'applicazione di nuove soluzioni compatibili con un clima in rapida evoluzione e con ecosistemi resi sempre meno stabili.

Considerando quanto la tutela della cultura e delle tradizioni vadano di pari passo all'innovazione tecnologica in un dualismo sinergico se applicato al mondo dell'agroindustria, si ricerca un equilibrio tra la giusta domanda e l'offerta delle stesse risorse naturali cui attingiamo per sopravvivere. Gli episodi storici forniscono lezioni imprescindibili che suggeriscono criticità e nuove modalità nell'attuazione di manovre sostenibili nella difesa delle coltivazioni. La direzione prevista dalle politiche in tema di normative tende a valorizzare e sostenere proprio

quei comportamenti e quelle scelte fatte secondo criteri di lungimiranza, visibili in particolar modo quando applicati in sistemi di produzione multifunzionali e virtuosi.

Lo studio e l'applicazione di nuove tecniche e sostanze in agricoltura possono generare un grande passo avanti, che però ha durata breve, se privo di sostegno e supporto della una comunità, prima di tutto integra ed informata. Si ritiene importante anche la messa a punto di metodologie che valutino effetti cumulativi e sinergici sulla salute umana riscontrabili a seguito di un'esposizione a queste sostanze, la cui definizione "naturali", indica ben poco sul grado tossicità di queste, legata essenzialmente alla quantità di sostanza assunta ed al tipo di organismo cui si fa riferimento. Sorge inoltre, la necessità di creare formulati conformi alle normative che quando troppo stringenti, rischiano di compromettere e rallentare un iter che ha come obiettivo ultimo la salvaguardia delle colture. Oggi le metodiche standard attraverso le quali si ottengono validi prodotti fitosanitari risultano appesantire la validazione di principi attivi derivanti da materie prime vegetali, poiché troppo complesse e di identità variabile. Si sottolinea che queste sostanze non pretendono l'efficacia di un prodotto fitosanitario di sintesi che agisce generalmente sui sintomi e valorizza unicamente la quantità di un prodotto. Valorizzano invece, l'identità e la forza di un'intera filiera basata su collaborazioni e dialogo che vanno a tradursi in esperienza qualitativa che riguarda tanto il prodotto, quanto la moltitudine di servizi offerti che potrebbero essere definiti come prima vera fonte di remunerazione quantificabile libera e per tutti.

BIBLIOGRAFIA

- A.K. Uppal, A. El Hadrami, L.R. Adam, M. Tenuta, F. Daayf, 2008. *Biological control of potato Verticillium wilt under controlled and field conditions using selected bacterial antagonists and plant extracts, Biological Control, Volume 44, Issue 1,*
- Agrios G.N. 1936. *Plant pathology, Elsevier Academic Press/ George Agrios. 5th ed.*
- Banik S., Jambhulkar P. P. *Biological Control of Diseases in Field Crops: Status and Concerns. Cap. 29.*
- Batish D.R, Setia N., Singh H.P., Kohli R.K. 2004. *Phytotoxicity of lemon-scented eucalypt oil and its potential use as a bioherbicide. Crop Protection, 23, 1209-1214.*
- Belli G. U. 2015. “Come le malattie delle piante hanno inciso su vita e storia dell’uomo”. Edizioni L’Informatore Agrario,
- Benvenuti A., Taraborrelli L. 2018. “Acido Acetico Come Erbicida Naturale: Alcune Esperienze Effettuate in Vigneti di Agroecosistemi della Toscana.”. Capitolo “Difesa dalle piante infestanti”. Vol. 1. pagine 509-513.
- Benvenuti S., Marmugi M., Miele S. 2006. *First results of floristic evaluation inspired to optimize weed control in vineyard with eco-compatible strategies. Atti Giornate Fitopatologiche, 2, 433-442.*
- Benvenuti S., Stohrer M., Pardossi A., Marzioletti P. 2012. Efficacia erbicida di un prodotto a base di aceto in vivaio. L’Informatore Agrario, 26, 68-72.

Bock, C.H., Barbedo, J.G.A., Del Ponte, E.M. et al. 2020. *From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: status and challenges for improving accuracy. Phytopathol Res* 2, 9.

Braack L., Gouveia De Almeida A. P., Cornel A. J., Swanepoel R., and De Jager C. 2018. "Mosquito-borne arboviruses of African origin: Review of key viruses and vectors," *Parasites & Vectors*, vol. 11, no. 1.

Brunelli A., Di Marco S., Satanassi L. 1990. Attività in vitro e in serra di sostanze naturali contro patogeni fungini. *ATTI Giornate Fitopatologiche* 2, 325-334.

Buteler M., Alma A.M., Herrera M.L., Gorosito N.B., Fernández P.C. 2019. *Novel organic repellent for leaf-cutting ants: tea tree oil and its potential use as a management tool.*

Faretra F., De Miccolis Angelini R.M., Pollastro S., Romanazzi G., Pertot I. 2015. Attualità e prospettive degli induttori di resistenza nella protezione sostenibile delle colture. *Atti Accademia dei Georgofili, Firenze*, 63-74.

Fiza Nazir, Rehana Salim, Nargis Yousf, Mohsin Bashir, HR Naik and Syed Zameer Hussain. 2017. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 6(6): 2078-2082.

Fortuna L. 2020. *Chimica, biochimica e metachimica degli oli essenziali.* Enea Edizioni.

Franco, Carlos & Vazquez, Beatriz. 2020. *Natural Compounds as Antimicrobial Agents. Antibiotics.* 9. 217. 10.3390/antibiotics9050217.

GHINI, Raquel; HAMADA, Emília; BETTIOL, Wagner. 2008. *Climate change and plant diseases. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 65, n. spe, p. 98-107.*

Greff B., Lakatos E., Szigeti J. & Varga L. 2020. *Co-composting with herbal wastes: Potential effects of essential oil residues on microbial pathogens during composting.*

Guario A., 2012. Osservatorio Fitosanitario Regionale. *Prodotti Fitosanitari e Strategie Fitosanitarie Sostenibili.*

Gurjar, M., Ali, S., Akhtar, M. and Singh, K. 2012. *Efficacy of plant extracts in plant disease management. Agricultural Sciences, 3, 425-433.*

Jing Wang, Huanhuan Dong, Hongmei Zhang, Songlin Dai, Jianxin Jiang, Zhendong Zhao, 2015. *Isopropyl Cresols: Synthesis and Herbicidal Activity, ChemistrySelect, 10.1002/slct.201903550, 5, 4, (1294-1299), 2020.*

Lacomme C. *Plant Pathology. Techniques and Protocols. 2005. Second Edition Series Editor.*

LLORENS, Eugenio; GARCIA-AGUSTIN, Pilar; LAPENA, Leonor. 2017. *Advances in induced resistance by natural compounds: towards new options for woody crop protection. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 74, n. 1, p. 90-100.*

Lusby P. E., Coombes A. L., Wilkinson J.M. 2019. *Bactericidal Activity of Different Honeys against Pathogenic Bacteria, Archives of Medical Research, Volume 36, Issue 5, 2005.*

Mancuso S. *La Nazione delle Piante. Laterza Editori.*

Mancuso S., Viola A. 2013. Verde Brillante. Sensibilità e intelligenza del mondo vegetale. Orizzonti. Giunti Editore S.p.A.

Melegari M. 2014. L'Olio Essenziale. Composizione, variabilità, proprietà, utilizzi. Corso REGNO VEGETALE E RISORSE SALUTISTICHE - IV Lezione.

Mi Young Lee, 2018. "Essential Oils as Repellents against Arthropods", *BioMed Research International*, vol.2018, Article ID 6860271, 9 pages.

Miller L., Miller B. Il punto d'incontro. Ayurveda e Aromaterapia. I Segreti degli Oli Essenziali e i Moderni Metodi di Guarigione.

Parry E.J. B. Sc. London, F.I.C., F.C.S. 1929. *The Chemistry of Essential Oils and Artificial Perfumes. Fourth edition. Vol 1.*

Minuz, Roxana & Mancini, Valeria & Ruschioni, Sara & Mozzon, Massimo & Foligni, Roberta & Isidoro, Nunzio & Romanazzi, Gianfranco & Riolo, Paola. 2020. *Volatiles emitted by resistance inducer-treated grapevines affect *Hyalesthes obsoletus* behavioural responses. Bulletin of Insectology. 73. 117-123.*

Mondello F., Marella A.M., Di Vito M.

-2014. II Congresso nazionale per la ricerca sugli oli essenziali. ISTISANCongressi 14/C8.

-2015. Oli essenziali per la salute dell'uomo e la salvaguardia dell'ambiente. Rapporti ISTISAN 15/6.

Muhammed Akif Açıkgöz. 2020. *Determination of essential oil compositions and antimicrobial activity of *Achillea gypsicola* Hub. -Mor. at different plant parts and phenological stages.*

O'Brien, Philip. 2017. *Biological control of plant diseases. Australasian Plant Pathology*. 46. [10.1007/s13313-017-0481-4](https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4).

Pedretti, M., *Chimica e farmacologia delle piante medicinali*, Studio edizioni, 2003, pp 62-64, 66-70.

Pertot I., Fondazione E. Mach Yigal Elad, The Volcani Center. 2012. *L'Impatto del Cambiamento Climatico sulle Malattie delle Piante*. Envirochange. Fondazione Edmund Mach Editore.

Pirajno G., Salamone A., Scarito G., Somma V. 2002. Effetto inibente di alcuni oli essenziali sull'accrescimento in vitro di funghi fitopatogeni. Capitolo "Funghi, batteri, virus" - volume secondo - pag. 529-532. Giornate Fitopatologiche.

Roggio T., Scano E.A. Progetto pilota "Erbe Officinali". Impiego di tecniche di estrazione convenzionali e innovative per la valorizzazione di specie vegetali presenti in Sardegna.

Romanazzi G. & Riolo P. & Duca D. & Orsini R. & Monaci E. & Murolo S. & Minuz R. & Mengarelli C. & Perugini M. & Verdolini E. & Ilari A. & Mancini V. & Feliziani E. & Landi L. & Pedretti E. & Santilocchi R. & Vischetti C. & Isidoro N. 2020. *Innovation in Sustainable Management of Plant Diseases and Pests, and Effects on the Environment*. [10.1007/978-3-030-33832-9_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33832-9_38).

Romanazzi G. Uso del chitosano nella difesa antiperonosporica della vite e per il controllo dei marciumi di ortofrutticoli in pre e postraccolta.

Soumya S.L. and Bindu R. Nair. 2012. *Antifungal efficacy of Capsicum frutescens L. extracts against some prevalent fungal strains associated with groundnut storage*. *Journal of Agricultural Technology* 8(2): 739-750.

Anandakumar Selvaraj, Kalaiselvi Thangavel, 2020. *Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Potential Plant Protective Agent Against Herbivorous Insect and Its Importance in Sustainable Agriculture, Symbiotic Soil Microorganisms*, 10.1007/978-3-030-51916-2_19, (319-337).

Valantin-Morrison, Muriel & Lasserre-Joulin, Françoise & Martinet, Vincent & Meiss, Helmut & Messean, Antoine & Jean-Marc, Meynard & Pashalidou, Foteini & PERRIN, Benjamin & Rouabah, Abdelhak. 2020. *Concevoir des systèmes de culture mobilisant des solutions de biocontrôle*.

Wilson, C. L., Solar, J. M., El Ghaouth, A., and Wisniewski, M. E. 1997. *Rapid evaluation of plant extracts and essential oils for antifungal activity against Botrytis cinerea*. *Plant Dis.* 81:204-210.

SITOGRAFIA

https://www.youtube.com/watch?v=l_uhYcqkKgI&ab_channel=AIPPAssociazioneItalianaProtezionePiante

https://www.youtube.com/watch?v=-j8CnObeE3c&ab_channel=AIPPAssociazioneItalianaProtezionePiante

<https://fosan.org/>

<https://www.ccpb.it/legislazione/>

<https://www.natural1.it/fitoterapia>

<https://www.natural1.it/fitoterapia>

https://www.ippc.int/static/media/files/publication/en/2016/01/ISPM_07_2011

[_En_2015-12-22_PostCPM10_InkAmReformatted.pdf](https://www.ippc.int/static/media/files/publication/en/2016/01/ISPM_07_2011_En_2015-12-22_PostCPM10_InkAmReformatted.pdf)

<http://robmorton.20m.com/landshare/food.html>

<https://stories.undp.org/on-earth-day-harnessing-the-power-of-nature-to-heal-herself>

www.acidopelargonico.it

<https://www.ortodacoltivare.it/insetticidi/olio-arancio-dolce.html>

<http://www.biodistrettovallecamonica.it/aiab-associazione-italiana-agricoltura-biologica/>

<https://biodistretto.net/progetti/>

<https://www.ippc.int/en/news/phytosanitary-treatment-options-for-plant-health-the-ippc-technical-panel-on-phytosanitary-treatments-meeting/>

<https://www.ippc.int/en/core-activities/standards-setting/ispms/>

<https://www.environment.gov.au/protection/ozone/montreal-protocol#:~:text=The%20Montreal%20Protocol%20on%20Substances,protect%20the%20earth's%20ozone%20layer.>

<https://www.iss.it/>

<https://www.iss.it/documents/20126/0/20-16+web+%281%29.pdf/bcaea7f0-ddd0-6e1e-69bf-0907ca9c77c4?t=1600857427515>

<https://www.envirochange.cc/#works>

<https://www.ortodacoltivare.it/professione-agricoltura/avviare-azienda-certificata.html>

<https://www.ortodacoltivare.it/professione-agricoltura/bio-normativa.html>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32008R0889>

<https://www.ortodacoltivare.it/insetticidi/olio-arancio-dolce.html>

<https://wesr.unep.org>

<https://www.cbd.int/article/biodiversityforfood-2>

<https://www.cbd.int/idb/image/2016/promotional-material/idb-2016-press-brief-agro.pdf>

<https://www.cbd.int/doc/articles/2019/article-2019-12-10-agriculture-en.pdf>

<https://www.iltascabile.com/scienze/malattie-piante-storia/>

http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=1109&area=fitosanitari&menu=autorizzazioni

http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=3289&area=fitosanitari&menu=vuoto

<http://www.fao.org/home/en/>

http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pagineAree_3289_listaFile_itemName_5_file.pdf

https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/normativa/direttivaCE_2009_128.pdf

<https://www.israel21c.org/the-top-12-ways-israel-feeds-the-world/>

<https://biodistretto.net/progetti/>

https://biodistretto.net/wp-content/uploads/2016/11/Bio_in_cifre_2015.pdf

<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/what-are-biopesticides>

<https://onlinelibrary.wiley.com/toc/14390434/2020/168/11-12>

<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/13653180>

http://www.agro-semplice.it/filemanager/userfiles/note/LEGGE_N_4_03_02_2011.pdf

<https://www.firab.it/territoribio-agroecologia-principi-e-opzioni-a-vantaggio-dellagricoltura-biologica/>

<http://www.citrech.it/citrus-products.html>

<https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/aromatherapy-market>

https://www.scirp.org/html/14-3000192_19046.htm