

CAPITOLO SECONDO

Droni e sensori per gestire l'acqua

Nel 2015 si è tenuta a Milano l'esposizione universale dedicata all'alimentazione. Al centro di *Expo Milano 2015* c'era uno degli Obiettivi di sviluppo del millennio: la *sostenibilità ambientale*, ovvero la capacità di soddisfare i bisogni dell'attuale generazione, senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri. *Expo* inoltre aggiungeva al concetto di sostenibilità la componente sociale ed economica, e poneva grande attenzione alle numerose nazioni dotate di sistemi produttivi molto fragili e in cui ci sono ricorrenti crisi alimentari.

L'obiettivo era favorire l'adozione di pratiche che garantissero produzioni alimentari adeguate ovunque. Non solo per tutelare l'ambiente e le popolazioni umane, ma anche per garantire in quei Paesi un reddito in grado di facilitare l'accesso a cure mediche efficaci e al sistema scolastico.

Siamo ancora ben lontani dal raggiungere questo traguardo, che oggi rientra nell'Obiettivo 2 dell'Agenda 2030, sottoscritta nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU. Tale obiettivo («sconfiggere la fame») vuole favorire produzioni maggiormente sostenibili di quelle attuali, in grado di tutelare la biodiversità terrestre e marina oltre che di conservare, e laddove necessario ripristinare, la qualità del suolo delle aree coltivate.

L'agricoltura ha un grande impatto ambientale, anche se spesso non ce ne rendiamo conto. Prima di raggiungere i nostri piatti il cibo che mangiamo è prodotto, conservato, lavorato, confezionato, trasportato e servito: in ciascuna di queste fasi sono emessi gas serra nell'atmosfera, consumate risorse e prodotti rifiuti. In particolare l'agricoltura (incluso anche la zootecnia) è uno dei settori produttivi che contribuisce maggiormente all'emissione in atmosfera di anidride carbonica, il principale gas a effetto serra. Si calcola che l'impatto dell'agricoltura sui cambiamenti climatici sia paragonabile solo a quello di tutti i trasporti messi insieme. Ben il 21% dell'anidride carbonica emessa in atmosfera nel periodo 2000-2010, circa 44 miliardi di tonnellate, proveniva dalle produzioni alimentari. A questo si aggiungono le emissioni di metano (altro importante gas serra), dovute ai processi digestivi che avvengono negli animali allevati (specialmente bovini), e le emissioni di protossido di azoto, che sono un prodotto indiretto dell'uso di fertilizzanti organici e a base di azoto minerale.

Per valutare l'impatto ambientale in modo completo bisogna anche considerare l'acqua: a livello mondiale l'agricoltura usa circa il 70% di tutti i prelievi idrici. Secondo la FAO entro il 2030 il prelievo di acqua per l'irrigazione potrebbe aumentare del 15%. Visto che i cambiamenti climatici stanno rendendo la sua disponibilità incostante (e talvolta imprevedibile) nel corso dell'anno, è facile capire perché l'Agenda 2030 ponga così tanta attenzione all'agricoltura.

Spesso ho proposto ad amici e studenti un esercizio apparentemente noioso: la stima dell'impatto ambientale di un prodotto alimentare che consumiamo. Per esempio, l'estate scorsa andava di moda l'avocado: l'«avocado toast» è stato virale su molti social media per mesi. Questi frutti sono molto gustosi, ma per produrre un solo chilogrammo di avocado servono circa 2000 litri d'acqua. In alcune nazioni, per esempio in Cile, i coltivatori di avocado sono in competizione con gli altri agricoltori per le scarse risorse idriche. Una volta raccolti, gli avocado iniziano poi un lungo viaggio per mare (oltre 10000 chilometri!) che dura tre settimane. Le navi cargo che li trasportano costeggiano il Perù, l'Ecuador e la Colombia, prima di attraversare il canale di Panama e poi l'Atlantico e arrivare in Europa, nei porti di Algeciras in Spagna o Rotterdam nei Paesi Bassi. Per essere conservati durante il viaggio, gli avocado sono mantenuti a una temperatura di 5 °C in celle frigorifere, mentre per completare la maturazione passano dai quattro ai sette giorni in celle riscaldate. Quando il frutto è

pronto, è trasportato in Italia con autocarri ed è venduto nei supermercati come se fosse stato appena raccolto, anche se ormai è passato un mese da quando è stato staccato dall'albero. Non sempre i compensi che arrivano ai produttori da cui tutto è iniziato sono adeguati, ma la grande richiesta di avocado da parte del mondo (Italia compresa) ha fatto espandere molto le piantagioni a spese degli habitat naturali e delle specie che li abitano.

Questo significa che non dobbiamo mangiare avocado? Non necessariamente. Però ci insegna che ogni prodotto ha un profilo di sostenibilità di cui dovremmo tener conto, più che seguire mode culinarie. Per rendere sostenibili le produzioni alimentari serviranno quindi interventi mirati in molti ambiti. Per esempio, l'idea di ripensare l'agricoltura in termini di ecologia agraria è interessante. Questo approccio prevede lo sviluppo di pratiche agricole sostenibili in un sistema riorganizzato per ottimizzare l'uso dei numerosi *input* (fertilizzanti, insetticidi, erbicidi, acqua) ricorrendo all'agricoltura di precisione. Su questo punto bisogna distinguere tra *ecologia agraria* e *agroecologia*, talvolta usati come sinonimi. La prima studia come l'andamento del clima influenza i cicli vegetativi e le esigenze delle varie piante coltivate, oltre ai rapporti tra le colture e l'ambiente biologico (organismi predatori, parassiti, concorrenti, infestanti ecc.). Lo scopo dell'ecologia agraria è individuare le migliori opportunità di sviluppo delle coltivazioni, con il minimo turbamento dell'equilibrio ecologico generale. L'agroecologia invece non si limita a

definire pratiche agrarie sostenibili per l'ambiente, ma promuove anche la sostenibilità economica, etica e sociale. Cerca così di ottimizzare le interazioni tra piante, animali, esseri umani e ambiente, tenendo conto anche degli aspetti sociali per costruire un sistema alimentare sostenibile ed equo.

Spesso il concetto di sostenibilità è associato alle sole coltivazioni biologiche, ma l'ecologia agraria è una parte rilevante anche dell'agricoltura convenzionale. L'agricoltura biologica è *uno* dei possibili modelli di produzione alimentare sostenibile, tuttavia i diversi fattori che ne limitano le rese sono un chiaro segnale a non abbandonare (ma anzi a potenziare, grazie all'innovazione) l'agricoltura convenzionale.

L'agricoltura di precisione mira appunto a ridurre ulteriormente l'impatto ambientale di queste produzioni ottimizzando l'uso delle risorse e basandosi sul fatto che i campi coltivati non sono aree omogenee. L'uso delle risorse deve essere differenziato e calibrato in base a molte variabili, non solo tra campi diversi, ma anche all'interno del singolo campo coltivato. L'utilizzo dell'acqua dimostra molto bene le potenzialità di questa strategia. I ricorrenti periodi di siccità degli ultimi anni sono una seria minaccia per l'agricoltura, non solo in Africa e America Latina, ma anche in Europa. L'Europa non è un continente arido, ma le fonti di approvvigionamento idrico sono già un fattore di preoccupazione per almeno metà della popolazione dell'Unione Europea. Dal 1980 a oggi in molte nazioni (tra cui anche l'Italia) si sono verificati epi-

sodi di siccità che hanno causato gravi danni all'agricoltura. Da dicembre 2016 ad agosto 2017 abbiamo registrato il 40% in meno di piogge rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente. Decine di comuni italiani hanno dovuto razionare l'acqua e le regioni Lazio e Umbria hanno dichiarato lo stato di emergenza idrica. Nello stesso periodo, il fiume Po aveva perso gran parte dell'usuale portata di acqua. La siccità del 2017 non sarà però un caso isolato, poiché secondo le stime del *Centro europeo per i cambiamenti climatici* (CMCC) nel trentennio 2021-2050 le precipitazioni estive in Italia diminuiranno in media del 22% e quelle primaverili del 13% rispetto al periodo 1981-2010.

Se siete attenti ai consumi di acqua domestici potreste stimare anche la vostra *impronta idrica alimentare*, intesa come l'insieme di tutta l'acqua dolce che serve al ciclo di produzione. Scegliendo la barretta di cioccolato che avete mangiato a colazione avete guardato il suo contenuto in calorie, ma forse non sapete che per produrla sono serviti ben 2700 litri d'acqua. Il caffè invece ha un'impronta idrica di oltre 18000 litri per kilogrammo. A colazione forse sarebbe meglio optare per il tè, che richiede solamente (si fa per dire!) 8000 litri d'acqua per kilogrammo di prodotto. Ogni bustina contiene circa tre grammi di foglioline, quindi per produrre il vostro tè sono stati usati circa 30 litri d'acqua (figura 7).

Il problema della disponibilità di acqua è aggravato dallo spreco, che anche in Europa è rilevante. Perdiamo tra il 20 e il 40% delle risorse idriche di-



Figura 7. Quanta acqua serve per produrre ciò che mangiamo?
Immagine: FAO 2012, elaborazione FAO WATER

sponibili per la cattiva manutenzione delle reti, la mancanza di impianti per il risparmio dell'acqua e il suo accumulo nelle stagioni più piovose, l'irrigazione eccessiva e/o inutile, le perdite dai rubinetti. La situazione italiana non è migliore, come dimostrato dai dati di *Utilitalia*, un'associazione che raggruppa numerose imprese idriche, energetiche e ambientali. Il 60% della rete idrica italiana è stato realizzato oltre trent'anni fa; il 25% di queste opere supera i cinquanta anni di età, con acquedotti che perdono più del 25% dell'acqua nel Nord Italia e quasi il 50% al Centro e al Sud.



Figura 8. Il termine italiano «irrigazione» deriva dal latino *irrigare* inteso come *in + rigare* (far scorrere in canali), ma oggi sono sempre più diffusi sistemi costituiti da irrigatori semoventi, che permettono di ottimizzare l'uso dell'acqua e di automatizzare la fase di irrigazione.

Foto: fagianellaz/Shutterstock

Irrigare senza sprecare una goccia

L'agricoltura di precisione fornisce a ogni coltura l'acqua di cui necessita minimizzando gli sprechi dall'estrazione alla distribuzione (figura 8).

Per esempio utilizzare irrigatori a goccia permette di raggiungere efficienze talvolta superiori al 90%: così quasi tutta l'acqua distribuita è effettivamente usata dalle piante. Se invece irrighiamo distribuendo l'acqua in solchi e fossi, nel migliore dei casi solo il 60% dell'acqua servirà davvero alle piante. Innovare le modalità di distribuzione consente di risparmiare tra il 20 e il 30% dell'acqua.

L'irrigazione a goccia permette anche di dosare con precisione i volumi di acqua da usare, e di fa-

vorire la raccolta graduale di acqua nell'intero volume di terreno. Si evita così di inzuppare il suolo, compromettendo l'arieggiamento. Oltre a risparmiare acqua, in questo modo si hanno produzioni più elevate rispetto a quelle ottenibili con altri metodi irrigui: si produce di più e meglio, consumando meno risorse.

Per colture a bassa lavorazione, dove sono previste poche rotazioni (cioè variazioni della specie coltivata nello stesso appezzamento per mantenere la fertilità), si può impiegare la *subirrigazione*. È un sistema di distribuzione dell'acqua basato su tubi interrati, che permette all'acqua di raggiungere immediatamente l'apparato radicale, senza evaporazioni e dispersioni. La subirrigazione è attualmente il sistema che permette il più elevato sfruttamento delle risorse irrigue, con un'efficienza attorno al 95%.

Per gestire al meglio le riserve di acqua si possono pianificare gli interventi irrigui con applicazioni per smartphone o servizi via web. Questi strumenti informatici incrociano le necessità idriche di ciascuna coltura con le previsioni meteorologiche e la disponibilità di acqua nelle falde. Possiamo così calcolare l'esatto volume di acqua necessario per mantenere un livello di umidità del suolo idoneo alla crescita delle piante, tenendo conto anche dello stadio del ciclo biologico in cui la pianta si trova, dell'estensione stimata del suo apparato radicale e dell'eventuale stress idrico delle colture. In alternativa, in caso di lunga siccità, è possibile gestire le piante in modo che il loro deficit idrico sia controllato.

Un esempio italiano è *Irriframe*¹, una piattaforma informatica gratuita che fornisce in tempo reale ai coltivatori tutte le informazioni per un uso efficiente dell'acqua. La facilità di uso di questo strumento (fruibile anche da desktop) e la possibilità di configurarlo in base alle necessità di ogni agricoltore hanno permesso negli ultimi due anni risparmi tra il 25 e il 30% nell'acqua usata per coltivare colture molto esigenti: kiwi, mele, patate e pomodori. Collegandosi a *Irriframe*, gli agricoltori possono descrivere il loro campo nei dettagli, indicando per esempio la qualità e il tempo della semina, il tipo di portainnesto della pianta, le aspettative di guadagno. In base ai dati meteorologici, al calcolo del bilancio idrico suolo/pianta/atmosfera e alla convenienza economica dell'intervento irriguo, *Irriframe* invierà un avviso sul cellulare indicando quali colture irrigare, quando farlo e quanta acqua prevedere. L'agricoltore deve poi confermare le avvenute irrigazioni per permettere al sistema di contabilizzare l'apporto idrico al momento in cui questo è effettivamente avvenuto. I dati di utilizzo dell'acqua possono poi essere condivisi a livello di consorzi, che a loro volta possono conoscere le necessità irrigue presenti nelle varie aziende, così da indirizzare le scarse disponibilità di acqua verso le aree in cui c'è la maggiore necessità.

Oggi quasi la metà delle superfici irrigabili gestite dai Consorzi di bonifica in Italia è servita da

¹ Il sito Internet del progetto *Irriframe*: www.irriframe.it/Irriframe.

Irriframe, con una superficie totale pari a quasi due milioni di ettari. Le aziende agricole che usano questo sistema sono quasi 20000, presenti in molte regioni. Tra queste ci sono Lombardia, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna, Toscana, Umbria, Lazio Abruzzo, Puglia, Basilicata e Calabria.

Sensori, droni e supporto decisionale

I sistemi di gestione dell'acqua come *Irriframe* possono gestire dati da fonti diverse (tra cui piovosità, tipo di coltura, disponibilità in falda), oltre che informazioni sullo stress idrico delle piante. Lo *stress idrico* è la condizione in cui la pianta perde più acqua attraverso la traspirazione delle foglie di quanto riesca ad assorbirne dalle radici. Nel caso di *Irriframe* lo stato di stress idrico è misurato in modo indiretto con modelli che sono stati calibrati in campo per le diverse colture. Ma è anche possibile valutare direttamente lo stress idrico grazie al telerilevamento via satellite o drone, o anche con misure dirette.

Tra gli esempi di telerilevamento di maggiore successo c'è la fotografia a infrarossi. Questo strumento ci permette di calcolare alcuni indici, tra cui l'*indice vegetazionale* o indice NDVI (dall'espressione inglese *Normalized Difference Vegetation Index*), che valutano l'attività fotosintetica nella pianta. Funziona così: il Sole emette radiazioni con differenti lunghezze d'onda e frequenze. La vegetazio-

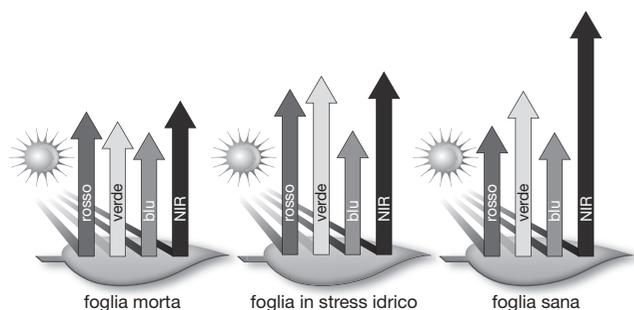


Figura 9. Gli indici di vegetazione sono una combinazione della percentuale di radiazione riflessa in diverse bande specifiche e permettono di distinguere foglie morte, vive e stressate.

ne assorbe la radiazione solare in diversi intervalli di frequenza e lunghezze d'onda e ne riemette una percentuale differente. La percentuale di radiazione riemessa nel vicino infrarosso (NIR, *Near-Infra-Red*) e nel rosso (RED) varia in base allo stato di salute della pianta e allo stress idrico. L'indice vegetazionale mette in relazione lo spettro del rosso, in cui c'è assorbimento da parte della clorofilla (e quindi attività fotosintetica), e quello del vicino infrarosso, in cui le foglie riflettono la luce per evitare il surriscaldamento. Si possono così identificare le piante più bisognose di acqua, irrigandole per prime o con quantità maggiori (figura 9).

L'indice NDVI è stato utilizzato a partire dagli anni Settanta del secolo scorso per monitorare la vegetazione delle grandi pianure americane. Nell'ultimo decennio, l'analisi degli indici vegetazionali da satellite è diventata indispensabile nello studio dei cambiamenti climatici e dell'uso del suolo, sia a livello nazionale sia globale. In Europa, il suo utilizzo

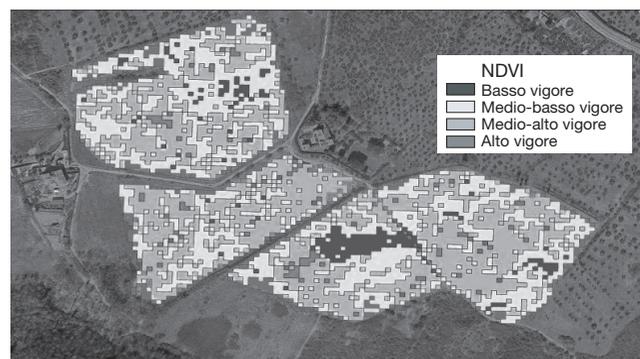


Figura 10. L'agricoltura di precisione permette di gestire le coltivazioni in modo ottimale studiando la variabilità spaziale nelle coltivazioni. Nello stesso campo, o in campi vicini, le piante di una data coltura possono essere in condizioni di stress idrico diverse, in funzione di diversi parametri, tra cui le proprietà chimico-fisiche del suolo. Analizzando gli indici NDVI è possibile identificare e localizzare le zone in cui le piante sono maggiormente stressate rispetto a quelle con crescita ottimale. Immagine: adattata da Dronebee

in agricoltura è legato alla recente diffusione di droni e satelliti, grazie a cui avviene la raccolta di dati.

Sia i droni sia i satelliti possono infatti essere dotati di fotocamere in grado di «scansionare» le coltivazioni usando le opportune lunghezze d'onda. I dati raccolti sono tradotti prima in indici e poi in mappe che consentono di localizzare le aree in cui sono più abbondanti le piante in stress idrico (figura 10).

Ogni campo può essere visto come un reticolo di celle, che corrispondono a una piccola porzione di terreno di 5x5 metri, in cui si può differenziare la quantità di acqua da erogare. Combinando droni (o satelliti) e indici, si ottiene una mappa in cui a ciascun colore corrisponde lo stato di crescita o di

stress idrico delle piante, così da capire quali piante stanno crescendo meglio e quali, invece, richiedono interventi.

Potendo contare su sistemi di irrigazione a rateo variabile, cioè in grado di rilasciare quantità di acqua diverse nel corso del tempo e dello spazio, questi dati sono usati per calibrare la quantità di acqua da fornire. Si tiene conto così non solo dello stato di stress delle piante e della disponibilità di acqua, ma anche delle proprietà chimico-fisico-organiche del suolo in ciascuna cella (la granulometria, la composizione mineralogica, il contenuto in materia organica ecc.).

La disomogeneità delle singole aree coltivate è stata sinora quasi ignorata, ma è una variabile importante. Il progetto *Origin* di Kellogg's (coordinato dall'Ente Nazionale Risi) ha dimostrato che aree adiacenti possono avere livelli di crescita diversi sia per le qualità del suolo che per la disomogeneità dei trattamenti. Nel caso di *Origin*, diventavano evidenti le «scie» delle macchine spandiconcime, che indicavano un'azione non omogenea: piante più vigorose nelle vicinanze delle linee di passaggio della macchina e crescite molto ridotte man mano che ci si allontanava dal punto di passaggio.

Gestire un campo considerandolo omogeneo per proprietà chimico-fisico-organiche significa irrigarlo con una stessa quantità di acqua per ogni cella, con la conseguenza che l'acqua usata può essere troppo poca in alcune aree ed eccessivamente abbondante in altre. In questo secondo caso, oltre allo spreco di una preziosa risorsa, si può anche

avere il dilavamento dell'azoto nitrico presente nel suolo, con il suo conseguente impoverimento e la riduzione della resa.

L'agricoltura di precisione permette quindi di costruire mappe di prescrizione del fabbisogno irriguo e di garantire condizioni favorevoli in termini di disponibilità idrica del terreno in funzione delle proprietà del suolo e della tipologia di coltivazione, differenziando gli interventi in modo che ogni posizione dell'appezzamento irrigato riceva un adeguato quantitativo di acqua senza che sia mai superata la capacità massima di ritenzione idrica del suolo.

Combinando sistemi che utilizzano sempre meglio l'acqua con i droni (tecnicamente APR, aeromobili a pilotaggio remoto), otteniamo un'ottimizzazione delle risorse altrimenti impossibile. Il drone è un punto di osservazione privilegiato per raccogliere dati e informazioni su una singola pianta e monitorarne lo stato fisiologico, mentre il sistema informatizzato di irrigazione mette in atto l'irrigazione di precisione (figura 11 alla pagina seguente).

Il Paese che si è accorto per primo che droni e agricoltura sono un binomio vincente è stato il Giappone: 2000 robot agricoli sono impiegati sia per il monitoraggio sia per eseguire interventi di spruzzatura di fitofarmaci nelle risaie, su una superficie che supera il milione di ettari di aree coltivate. In Francia, il drone Airinov² è utilizzato dal

² Sito web dedicato al drone: www.parrot.com/it/airinov.



Figura 11. I droni del progetto *Eye Scab* utilizzano riprese aeree, in combinazione con algoritmi e modelli matematici avanzati, per monitorare lo stato di crescita e salute di meleti. Foto: Metacortex

2013 e oggi se ne servono più di 1000 agricoltori su una superficie di circa 10 000 ettari. Sembra un giocattolo, perché si lancia a mano e atterra da solo dopo aver completato il suo giro di perlustrazione, ma permette di ottenere una mappa precisa sullo stato di crescita e stress idrico delle colture. Con i droni si può arrivare a risparmi d'acqua del 25% senza ridurre i livelli produttivi.

Con l'agricoltura di precisione si può anche gestire l'acqua in base al clima specifico di ciascuna area. In climi temperati, come quello presente nel Nord Italia, permetterà di ottimizzarne l'uso per assicurare una produzione elevata anche in presenza di periodi di siccità. Nelle aree mediterranee più aride, come quelle nel Sud Italia, gli stessi strumenti saranno utili per operare in regimi ricorrenti di limitata disponibilità idrica: in questo caso potremo

ottenere uno stress idrico controllato delle piante, massimizzando l'efficienza delle singole irrigazioni.

Un rapporto di *PricewaterhouseCoopers*, un network internazionale che analizza l'andamento dei mercati, stima in oltre 30 miliardi di dollari il mercato annuale su scala mondiale dei droni per l'agricoltura. E secondo le analisi di *Bank of America Merrill Lynch* si prevede che in futuro l'agricoltura assorbirà circa l'80% del mercato commerciale di droni. Nonostante gli investimenti a livello internazionale abbiano superato i 500 milioni di euro negli ultimi tre anni, l'impiego dei droni in agricoltura nel nostro Paese è ancora in fase di stallo. Le aziende italiane che offrono servizi basati su droni legati all'ambito agrario non sono più di un centinaio.

L'utilizzo dei droni spesso è associato alle aree agricole americane, caratterizzate da estese monoculture. In realtà il loro utilizzo per il telerilevamento può essere molto utile anche in Italia, dove le aziende hanno appezzamenti di terreno sparsi sul territorio e fare una ricognizione unica con mezzi tradizionali risulta difficile. Con i droni collegati in tempo reale non si devono mandare consulenti e agronomi per ogni terreno (riducendo anche i costi): agricoltore e agronomo possono ricevere simultaneamente i dati seduti alla scrivania di fronte al proprio computer per decidere quali interventi pianificare e realizzare. Con le tecnologie attuali, in meno di quindici minuti un drone può esaminare un campo di quasi 70 ettari: è evidente che l'agricoltura di precisione permetterà agli agricoltori di agire in modo sempre più mirato e tempestivo.

Non è nemmeno necessario che ogni azienda acquisti un proprio drone, perché il telerilevamento potrà essere fatto come servizio fornito da aziende specializzate, i cui dipendenti saranno stati opportunamente formati e autorizzati all'utilizzo di droni in campo aperto. All'agricoltore non sarà quindi chiesto di diventare anche esperto di droni e informatica, perché ci sono già tante piattaforme pensate per aiutarlo a raccogliere e usare i dati. Per esempio la start up *Agricolus*³ ha creato una piattaforma *Cloud*, composta di diverse applicazioni, che opera attraverso tre funzionalità fondamentali: ottimizzazione del sistema di archiviazione e analisi delle informazioni, supporto decisionale sui trattamenti specifici da effettuare sulle colture e attivazione di sistemi di allerta nei confronti di fitopatologie o altre avversità che potrebbero colpire le coltivazioni.

I droni con sensori a infrarossi possono quindi essere usati in ambiti molto differenti. Si va dal verificare i tassi di crescita del mais, all'analisi dello stato di salute dei vigneti. Ma possiamo pensare di utilizzarli anche per combattere parassiti come il punteruolo rosso (che in Italia ha fatto strage di palme) o, più di recente, il batterio *Xylella fastidiosa*. I droni, infatti, distinguono piante che a occhio nudo sembrano identiche, ma che sono diverse per stato di salute, permettendo di intervenire in modo mirato. I vantaggi non finiscono qui. In alcune na-

³ Sito web della start up: www.agricolus.com.

zioni i droni sono anche equipaggiati di spruzzatori per effettuare i trattamenti, ma questo comporta un aumento significativo del costo del drone, che deve essere in grado di portare in volo un peso maggiore. Ma per ogni problema complesso può esserci una soluzione semplice e, al contrario di ciò che diceva George Bernard Shaw, non necessariamente sbagliata.

Un esempio è il progetto *Flourish*⁴, che combina droni per il rilevamento aereo e veicoli terrestri a guida autonoma in grado di svolgere le operazioni in campo, come semina, diserbo e realizzazione di trattamenti. Abbiamo quindi un drone che analizza lo stato di salute di una superficie coltivata e un robot agricolo (*agribot*) che interviene in modo diretto e autonomo sul terreno in base alle indicazioni trasmesse dal drone. In modo analogo, la mappa dei fabbisogni idrici può essere inviata a irrigatori semoventi dotati di GPS, che vanno a irrigare le singole celle secondo quanto indicato dagli indici vegetativi.

L'uso combinato di questi strumenti, come vedremo anche nel prossimo capitolo, permette di automatizzare la raccolta di informazioni dal campo, di attuare interventi mirati e di fornire supporto decisionale al coltivatore. Non vanno a sostituire l'agricoltore, ma a facilitarne il lavoro.

Se vi capitasse di vedere piccoli droni che sorvolano campi di grano, risaie e vigneti, a guidarlo

⁴ Progetto *Flourish*: flourish-project.eu.

forse non sarà un fotografo o un *videomaker* alle prese con documentari bucolici, ma un contadino *smart* che sta lavorando per migliorare la resa e la qualità dei propri raccolti, risparmiando acqua, insetticidi e diserbanti.

E non finisce qui. L'agricoltura 4.0 può dare un contributo allo sviluppo di nuovi sensori per fare misure direttamente in campo o sulla pianta. Sono sempre più diffusi (e il loro costo è sempre più ridotto) i sensori che misurano il contenuto idrico del suolo attraverso la *conducibilità elettrica apparente*, ovvero la capacità del suolo di condurre corrente. Il contenuto idrico del suolo è tra i fattori principali che influenzano la conducibilità, per cui questi sensori geoelettrici possono essere di aiuto per valutare questo parametro.

Inoltre, questi strumenti possono lavorare in continuo, misurare altri parametri e inviare i dati raccolti direttamente allo smartphone dell'agricoltore tramite rete wireless (figura 12). Per esempio, il sistema *Smart Agrowetlands*⁵, messo a punto da ricercatori dell'Università di Bologna, utilizza una rete di sensori wireless capace di rilevare parametri meteorologici, umidità e salinità del terreno, oltre che profondità, temperatura e salinità delle acque, sia di superficie sia di falda, inviando le informazioni a un sistema di supporto alle decisioni. In questo modo è possibile aiutare gli agricoltori in merito a come, quando e quanto irrigare i campi.

⁵ Descrizione di *Smart Agrowetlands*: www.lifeagrowetlands2.eu.

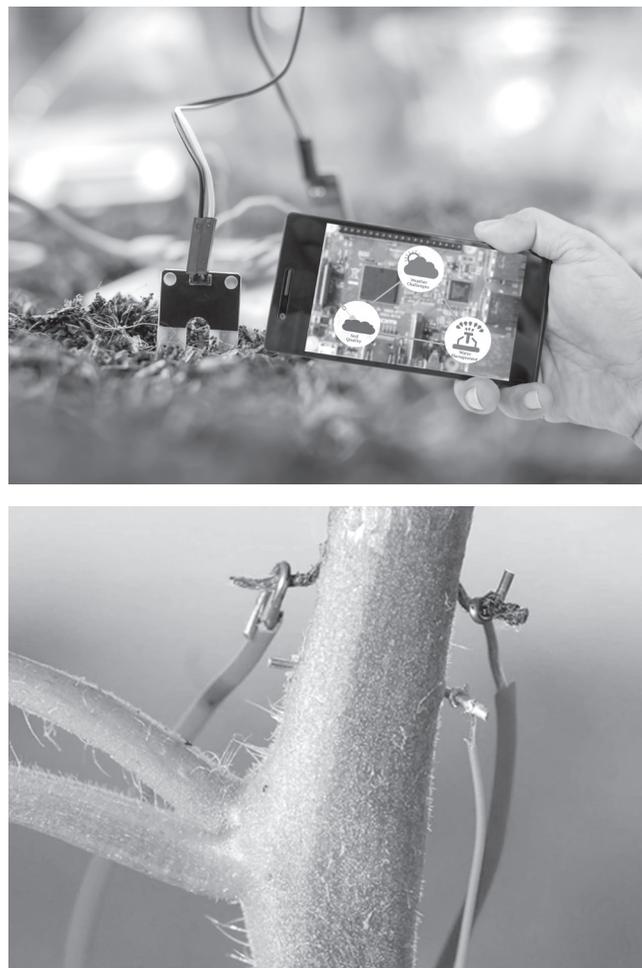


Figura 12. Sono oggi in diverse fasi di sperimentazione sia sensori che misurano direttamente l'umidità nel suolo (con dati inviati via wireless allo smartphone dell'agricoltore) (sopra) sia sensori biocompatibili impiantabili direttamente nella pianta (sotto).
Foto: Montri Nipitvittaya/Shutterstock; Zappettini *et al.*, *Scientific Reports* (2017)

Smart Agrowetlands è un ottimo esempio di *Decision Support System* (DSS), cioè di sistema di raccolta e analisi dati in tempo reale in grado di supportare decisioni. Un DSS ha solitamente cinque componenti fondamentali. In primo luogo, è costituito da una rete di sensori per l'acquisizione e l'integrazione dei dati relativi all'ambiente colturale. I dati raccolti sono inseriti nella seconda componente dei DSS: i database. I dati devono essere raccolti, organizzati e conservati così che possano essere verificati prima di essere utilizzati da sofisticati algoritmi di analisi (la terza componente del DSS) che permettono il passaggio dal dato grezzo a quello elaborato. I dati elaborati sono poi acquisiti da moduli dedicati alla loro interpretazione ed elaborazione, così che sia fornito un «consiglio agronomico». Il quinto e ultimo componente è un'interfaccia grafica che consenta all'utente di accedere all'analisi e prendere le opportune decisioni.

I DSS si configurano come veri e propri ecosistemi di dati. Ogni informazione rilevata dal sistema si relaziona con le altre disponibili, entrando a far parte di un complesso ed eterogeneo insieme che va a comporre il suggerimento finale per l'agricoltore. In questo modo l'agricoltore riesce a conoscere non solo lo stato di salute della pianta, ma dell'intero sistema in cui sta crescendo, dalle condizioni del meteo a quelle del suolo, e a correggere le proprie azioni di conseguenza. Questa possibilità è oggi più che mai un vantaggio. Gli andamenti climatici anomali, sempre più ricorrenti negli ultimi anni, rendono sempre più complessa la

gestione delle aree coltivate e quasi inutilizzabili le serie storiche precedenti. In altre parole, i DSS possono rendere gli agricoltori non solo più *smart*, ma anche più resilienti e tempestivi nell'intervenire.

Anche la ricerca scientifica si muove in quest'ambito. Sono in fase di sviluppo sensori da applicare alle piante per misurare *in vivo* e in tempo reale il loro livello di stress idrico, così da decidere quando e quanto irrigare. I sensori e gli indici illustrati in precedenza, sebbene molto utili, forniscono infatti un dato indiretto sullo stato di salute delle piante e possono avere alcuni problemi di utilizzo e di sensibilità. Sarebbe possibile chiedere direttamente a una pianta di pomodoro se e quanto è stressata?

La risposta è sì, e si stanno studiando sensori innovativi basati su filamenti biocompatibili che possono essere inseriti nel fusto delle piante e assorbire i fluidi dai tessuti vegetali (la linfa) misurandone alcuni parametri. La quantità e la qualità della linfa trasportata nei vasi delle piante sono infatti altamente variabili a seconda delle necessità e delle condizioni in cui la pianta si trova. I sensori lavorano *in vivo* (in quanto sono inseriti direttamente nella pianta), *in loco* (perché interrogano le singole piante là dove sono) e in tempo reale, poiché possono fornire dati in diretta.

Tra le soluzioni proposte, uno dei progetti più interessanti è il sensore *bioristor*, sviluppato dal gruppo di ricerca del professor Andrea Zappettini del CNR. È costituito da uno speciale filamento di cotone rivestito da un polimero conduttivo, ed è in grado di misurare i flussi ionici e le loro variazioni

nella linfa della pianta fornendo i dati in modo continuo all'operatore. L'inserimento del sensore non altera lo stato di salute della pianta, che ripara velocemente la ferita aperta per inserirlo. Questo significa che *bioristor* può permanere per molto tempo (anche mesi) nella pianta monitorandone direttamente lo stato di salute e di attività, tanto che il sensore distingue chiaramente le differenze legate al ciclo giorno/notte e ai ritmi circadiani. Di basso costo e facile utilizzo, il sensore si può applicare a qualche pianta per ettaro per monitorarne lo stato vegetativo, lo stress idrico e le carenze nutritive.

Questi sensori possono inoltre essere resi selettivi per specifici ioni o molecole: in futuro potrebbero essere usati per regolare e ottimizzare la distribuzione di concimi e fitofarmaci, controllandola in base al reale fabbisogno delle colture.

Ottimizzare non basta

Gli strumenti illustrati in questo capitolo ci permettono di risparmiare acqua e di far fronte alle precipitazioni ridotte che stanno caratterizzando gli ultimi anni. Ma i risultati potrebbero non essere sufficienti.

Nel 2030 metà della popolazione mondiale (principalmente in Africa) potrebbe non avere un adeguato accesso all'acqua. Se i trend dello sviluppo demografico ed economico dovessero essere confermati, e se non adotteremo nuovi sistemi per evitare gli sprechi e ridurre i consumi, le carenze di

acqua andranno a condizionare gravemente l'economia globale e gli equilibri geopolitici.

Secondo alcune previsioni pubblicate dal *Barilla Center for Food and Nutrition*⁶ il laboratorio multidisciplinare promosso dal gruppo Barilla, un aumento consistente del tasso di prelievo delle risorse idriche disponibili si verificherà entro il 2025 sia negli Stati Uniti sia nell'Europa continentale, oltre che nel Sud dell'Asia, mentre le carenze idriche già presenti in ampie aree dell'Africa e della penisola indiana diventeranno ancora più gravi.

A causa della crescita demografica si stima che entro il 2025 i prelievi di acqua necessari a soddisfare i nostri bisogni aumenteranno del 50% nei Paesi in via di sviluppo e del 18% in quelli sviluppati. Non solo avremo meno acqua a causa dei cambiamenti climatici, ma le risorse idriche dovranno essere divise tra una popolazione umana in crescita e le diverse attività produttive (tra cui l'agricoltura).

Serve fare un ulteriore passo in avanti per ridisegnare, laddove possibile, i processi produttivi affinché usino meno acqua. Un esempio viene dall'Emilia Romagna, uno dei poli più grandi in Europa per la coltivazione di frutta e verdura: il consumo di acqua è stato ridotto riciclando parte di quella usata negli impianti produttivi. In provincia di Ferrara, nel più grande stabilimento europeo per

⁶ Qui uno dei rapporti più completi e recenti: www.barillacfn.com/it/pubblicazioni/fixing-food-2018.

la lavorazione di frutta e ortaggi, Conserve Italia è riuscito a prelevare meno del 10% dell'acqua di cui ha bisogno: il rimanente 90% rimane all'interno di un sistema di riciclo.

Occorre anche sviluppare una rinnovata e ampliata rete di bacini di piccole e medie dimensioni, in grado di garantire un'adeguata riserva di acqua da utilizzare per l'irrigazione dei campi in caso di grave e prolungata siccità. Questo deve avvenire in particolare in regioni a forte rischio di desertificazione nel prossimo futuro, tra cui la Sardegna e diverse regioni del Sud. Allo stesso modo serve ottenere un miglioramento dell'efficienza delle reti di distribuzione.

Secondo molti esperti sarà anche necessario introdurre nuove varietà ottenute grazie al miglioramento genetico, oppure valutare la possibilità di cambiare le piante coltivate in date regioni.

Per mantenere elevata la produzione di mais negli Stati Uniti potrebbe essere necessario coltivarlo sempre più a Nord. La stima è che entro la fine del secolo il mais sarà coltivato in Canada, mentre in Iowa o Nebraska si potranno coltivare soia e cotone. In California, la maggiore produttrice di mandorle al mondo, i frutteti rischiano di scomparire. Nel Sud Italia il ripetersi di lunghi periodi siccitosi potrebbe rendere difficile mantenere le attuali colture estensive di frumento duro, così come la Pianura Padana potrebbe non essere più adatta per il mais. Non va meglio al Nord, dove già oggi i produttori trentini o della Franciacorta faticano a preservare l'acidità delle uve, che risentono di esta-

ti troppo calde. Per questo in Trentino i vigneti si stanno spostando sempre più in quota.

Dobbiamo pensare che molte regioni dovranno cambiare le proprie produzioni perché molte colture sono destinate a traslocare altrove? Non necessariamente. Chi vorrà continuare a utilizzare le varietà oggi sul mercato dovrà valutare seriamente di cambiare il luogo in cui produce, ma come vedremo le moderne tecnologie di miglioramento genetico metteranno a disposizione degli agricoltori nuove varietà, che si adatteranno meglio alle nuove condizioni climatiche.

Per questa ragione gli investimenti in ricerca dovrebbero essere sostenuti, così come è necessario rivedere il quadro normativo che oggi vieta il ricorso agli organismi geneticamente modificati in Italia e più in generale in Europa.

Un'ottima dimostrazione delle potenzialità del miglioramento genetico contro la siccità è il caso dell'Argentina. Nel 2018 il Paese ha avuto la peggiore crisi di siccità degli ultimi cinquant'anni, che ha causato una perdita fino al 40% del raccolto. In seguito sono stati introdotti nuovi semi di frumento che contengono un gene isolato dal girasole, in modo da conferire alle piante la capacità di tollerare la scarsità di pioggia. Più che avere piante assetate, dovremmo piuttosto essere noi assetati di nuove idee e aperti a sfruttare il meglio che la ricerca può mettere in campo.

Per esempio, esistono varietà di riso che possono essere coltivate con poca acqua: perché non creare nuove varietà come queste, invece che lavo-

rare solamente per portare acqua alle coltivazioni? In tutto il mondo, scienziati e ricercatori cercano di convertire una potenziale crisi idrica planetaria in un'occasione per un'agricoltura più efficiente, efficace e sostenibile. Perché se cambia il clima... devono cambiare anche le colture.

Cominciamo quindi a sfatare l'idea, molto comune, secondo cui il contadino indossa sempre gli stivali e gira con una vanga in mano. Come emerge dal rapporto *GreenItaly* 2018 di Fondazione Symbola e Unioncamere, il nuovo agricoltore è giovane, viaggiatore, connesso e attento ai temi della sostenibilità, dell'innovazione e della diversificazione.

Anche se in Europa gli agricoltori con meno di trentacinque anni sono appena il 6% degli addetti, mentre quasi il 60% ha oltre 55 anni, i giovani agricoltori aumentano di anno in anno.

Con oltre 50 000 imprese agricole italiane condotte da under 35, l'Italia è al vertice nell'Unione Europea per aziende condotte da giovani. Quello del «contadino» è infatti un mestiere riscoperto dai ragazzi e dalle ragazze soprattutto nell'ultimo periodo. È un dato coerente con la «corsa alla terra» in atto tra le nuove generazioni per il crescente interesse dei giovani per il lavoro in campagna.

Come sarà quindi il contadino del nuovo millennio? Molto diverso dall'immaginario: i giovani agricoltori utilizzano il web e la tecnologia, uno su quattro è laureato e conosce una o più lingue straniere (almeno a livello scolastico), mentre otto su dieci sono abituati a viaggiare e andare all'estero.

I numeri del rapporto *GreenItaly* possono quindi far ben sperare, perché i giovani agricoltori mostrano una forte propensione all'utilizzo dei numerosi strumenti tecnologici necessari per fare agricoltura di precisione e di non essere spaventati dal ricorso a droni, sensori, mappe e *big data* per monitorare e realizzare operazioni nelle proprie aziende.

CAPITOLO TERZO

Le soluzioni *smart* contro infestanti e parassiti

«L'apocalisse degli insetti è arrivata». Si apriva così un articolo pubblicato a novembre 2018 sulla rivista *The New York Times Magazine*. Parlava di un preoccupante declino nella biodiversità degli insetti. Che cosa? Ma a correre il rischio di estinguersi non erano panda e rinoceronti? Come siamo passati agli insetti?

Se siete sorpresi da questi dati, non preoccupatevi perché non siete i soli. Dopo decenni passati a discutere di come conservare animali carismatici come tigri, lupi e orsi, scopriamo che nemmeno gli «invincibili» insetti se la passano bene.

Il risveglio (almeno mediatico) su questo tema è merito di un articolo scientifico pubblicato alla fine del 2017 dalla rivista scientifica *Plos One*. Erano i risultati di un monitoraggio della biodiversità in 63 aree protette tedesche. Secondo i ricercatori dell'Università Radboud e della Società Entomo-

logica di Krefeld, la biomassa degli insetti volanti è crollata del 76% in appena 28 anni, raggiungendo picchi superiori all'80% nei campionamenti estivi. Il declino è stato pari a una perdita media annuale di quasi il 3% della biomassa totale e non ha risparmiato nessuno degli habitat considerati: paludi, aree periurbane, dune di sabbia e terreni arbustivi. Chi è allergico alle punture di zanzare potrebbe festeggiare, ma il fenomeno è molto preoccupante. Gli insetti costituiscono circa due terzi della biodiversità terrestre, ma soprattutto fanno parte di molte catene trofiche.

Mentre il clamore per questo studio non era ancora scemato, nel 2018 è stato pubblicato un articolo analogo. Questa volta però i dati arrivavano dall'altra parte del mondo (Porto Rico) e confermavano il trend evidenziato dai ricercatori tedeschi: stiamo velocemente perdendo insetti in tutti gli ambienti. Ma queste ricerche per gli scienziati non sono proprio una novità. Un'analisi del 2019 pubblicata su *Biological Conservation* ha trovato oltre 70 studi scientifici che indicano un declino preoccupante degli insetti negli ultimi quarant'anni.

Proseguendo con questo trend, nei prossimi tre decenni potremmo perdere sino al 40% delle specie di insetti con un tasso di estinzione stimato doppio rispetto a quello dei vertebrati (figura 13). A passarsela particolarmente male sono lepidotteri (come farfalle e falene), imenotteri (api, formiche e vespe) e coleotteri (scarabei e simili). La perdita di biodiversità riguarda soprattutto gli insetti spe-

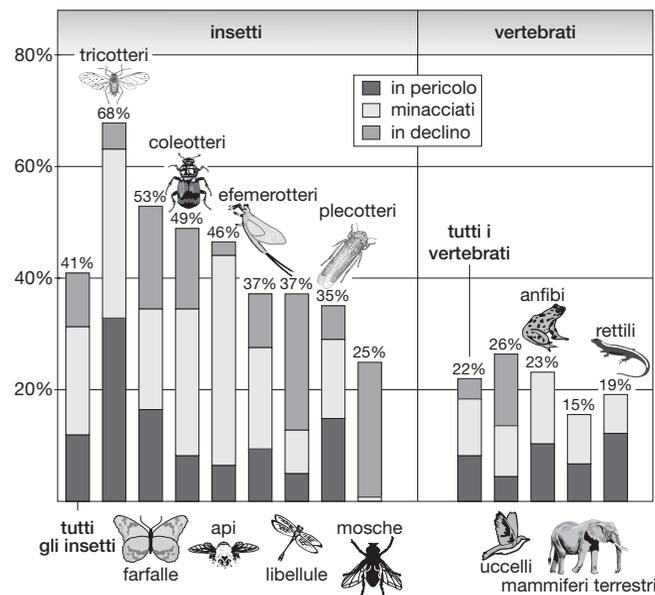


Figura 13. I dati disponibili indicano che gli insetti sono a maggior rischio di estinzione rispetto ai vertebrati. Sembra inoltre che la biodiversità delle piante si stia riducendo addirittura più velocemente di quella degli insetti. Fonte dei dati: Francisco Sánchez-Bayo *et al.*, *Biological Conservation*, 2019

cialisti, dipendenti da specifici ambienti e habitat, ma il calo non risparmia le specie generaliste. Non sono quindi solamente specifici gruppi di insetti a essere in difficoltà, ma abbiamo un problema diffuso in molto ambienti diversi.

«Non vorrete dirmi che perdere un po' di insetti è la fine del mondo!» staranno pensando alcuni di voi. Ma in un certo senso è così. Stiamo vivendo un cambiamento di enorme portata, che avrà ricadute su numerosi ecosistemi. Il biologo americano

Edward O. Wilson ha scritto in un saggio del 1987 che gli insetti sono quelle piccole cose che fanno funzionare il mondo, per cui se perdiamo loro... Se diminuiscono gli insetti questo si ripercuote su tutti gli organismi che dipendono da loro nelle reti trofiche, come uccelli, rettili e anfibi. Numerosi servizi ecosistemici, come l'impollinazione e la degradazione dei materiali, saranno meno efficienti. Anche se è discutibile esprimere il valore della biodiversità in termini economici, secondo alcune stime la perdita dei soli insetti impollinatori causerebbe nel mondo un danno annuale di 150 miliardi di euro in mancata produzione alimentare.

Questi dati servono a capire i danni che abbiamo causato ai viventi con cui condividiamo il pianeta, ma anche a comprendere come migliorare. Per esempio, l'analisi del 2019 suggerisce che l'agricoltura intensiva sia il principale responsabile del declino degli insetti. Le estese monocolture, la meccanizzazione, gli insetticidi e i fertilizzanti rendono decisamente più complessa la sopravvivenza degli insetti nelle aree coltivate. Solo nel 5% dei casi il riscaldamento globale sarebbe la principale causa di estinzione degli insetti.

Insetticidi e biodiversità: alla ricerca di un compromesso

L'agricoltura è quell'insieme di pratiche che ha cambiato in modo spettacolare la storia dell'umanità, ma è anche il più grande e irreversibile danno

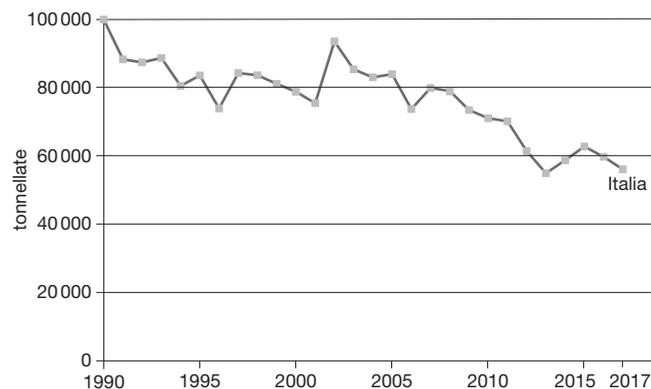


Figura 14. Consumo di agrofarmaci (tonnellate) per anno in Italia nel periodo 1990-2014. Fonte dei dati: FAO via OurWorldInData.org/fertilizer-and-pesticides/ • CC BY

ambientale che l'essere umano abbia prodotto sinora. Questa è la definizione usata dal giornalista e storico dell'agricoltura Antonio Saltini nel suo *Storia delle scienze agrarie*, un'opera in più volumi composta tra il 1979 e il 1989.

Dal 1990 in poi si registra però un dato molto interessante: in Italia c'è stato un calo del 40% nella quantità di agrofarmaci usati in agricoltura (figura 14) e c'è un andamento simile in altre nazioni europee.

Il sistema europeo di autorizzazione e controllo degli agrofarmaci è diventato sempre più stringente, sia per quanto riguarda le sostanze autorizzate sia il quantitativo di impiego ammesso. In Europa sono sempre meno le nuove molecole autorizzate, nel tentativo di limitare al minimo l'impatto ambientale dell'agricoltura. Oggi poi il profilo tossicologico della quasi totalità delle molecole è molto

basso, di gran lunga inferiore rispetto agli insetticidi usati negli anni Ottanta del secolo scorso, ma anche a confronto di alcuni composti autorizzati in agricoltura biologica. Tra questi il rame, che può causare danni alla microfauna se usato in modo ricorrente.

Sarebbe bello (anche per gli agricoltori) poter evitare l'uso di insetticidi e altri agrofarmaci, ma senza di loro non avremmo la certezza delle rese e la diffusione degli insetti parassiti sarebbe inarrestabile. Secondo la FAO, senza interventi di difesa la produzione agricola mondiale calerebbe del 30%.

Anche il riscaldamento globale può influenzare la biologia degli insetti parassiti, favorendone sia la diffusione sia la riproduzione. Un gruppo di ricercatori dell'Università di Washington ha stimato che le perdite globali di raccolto dovute agli insetti aumenteranno dal 10 al 25% per ogni grado di riscaldamento globale della superficie terrestre. Questo vale per le coltivazioni di mais, grano e riso, con un calo più marcato nelle aree agricole più produttive del pianeta, come Stati Uniti, Francia e Cina. Le variazioni climatiche permetteranno a molti insetti dannosi di riprodursi più velocemente, e servirà valutare come controllarli in campo senza causare ulteriori danni agli insetti utili come gli impollinatori, già in grande difficoltà.

Dobbiamo anche pensare che il mercato globale sta modificando il modo in cui i prodotti alimentari sono distribuiti nel mondo. La crescita del mercato internazionale ha visto in parallelo un aumento delle specie invasive arrivate in Europa e Stati

Uniti assieme alle merci. Tra queste l'acaro *Varroa destructor* e la cimice cinese *Halyomorpha halys*, entrambi di origine asiatica, sono tra i casi più celebri e recenti.

La cimice cinese è forse uno degli esempi migliori per illustrare il difficile rapporto tra sostenibilità delle produzioni alimentari e controllo di insetti infestanti. Questo insetto è resistente a molti insetticidi e può essere controllato solo con trattamenti ricorrenti e dannosi per l'entomofauna (tanto che la Comunità Europea li ha vietati). Oggi però è impensabile eliminare del tutto l'utilizzo di agrofarmaci contro l'insetto: nel Nord Italia abbiamo avuto perdite superiori all'80% del raccolto, con un danno stimato attorno agli 800 milioni di euro per produzione persa.

La conservazione dell'entomofauna è fondamentale, ma questo obiettivo deve essere integrato in un quadro più ampio di innovazione in agricoltura. C'è bisogno di regolamentazioni chiare, oltre che di sostegno economico e di investimenti in ricerca che mettano la sostenibilità ambientale tra gli obiettivi di assoluta priorità.

Penso si possa fare una valutazione separata per gli impollinatori, perché molto spesso si indicano gli insetticidi come *unica causa* del loro declino. A questo proposito scommetto che molti di voi avranno sentito l'affermazione erroneamente attribuita ad Albert Einstein «se le api scomparissero dalla Terra, per l'uomo non resterebbero che quattro anni di vita». Questa falsa citazione ci permette però di mettere un po' di ordine: Einstein non si è mai in-

teressato alle api, le api sono impollinatori, gli impollinatori sono importanti, ma non tutti gli impollinatori sono api... e non sono necessariamente api domestiche!

Nel suo libro *Le piante sono brutte bestie* (Codice, 2017) il botanico Renato Bruni ha scritto che alle api domestiche

[...] andrebbero aggiunte tra cento e duecentomila diverse specie animali in grado di agire da impollinatori e solo il quindici per cento dei vegetali si appoggia alle api domestiche e per giunta non in forma esclusiva: molte piante infatti risolvono il problema affidandosi contemporaneamente a più servizi di trasporto.

Fare questa distinzione è utile perché la situazione di api domestiche e impollinatori è molto diversa. La letteratura scientifica indica che gli impollinatori sono in forte declino. Negli ultimi vent'anni le popolazioni nordafricane di bombi sono diminuite dell'80%, mentre le api selvatiche in Gran Bretagna e in Olanda sono calate del 60%. Secondo la FAO il declino di bombi e api selvatiche è globale, e in circa un terzo dei casi è colpa dell'agricoltura e in particolare degli insetticidi. Api selvatiche e bombi sono particolarmente sensibili a quelli appartenenti alla famiglia dei *neonicotinoidi*, ma sembrano sensibili anche all'effetto sinergico con altri agrofarmaci. Un recente lavoro condotto dal gruppo di ricerca di Fabio Sgolastra (Università di Bologna) ha mostrato che tracce di neonicotinoidi o di fungicidi non sono pericolose per le api, ma che le due sostanze somministrate assieme causano

ritardi di maturazione sessuale e portano a una ridotta longevità nelle api solitarie del genere *Osmia*.

Gli insetticidi, però, sono solo una parte del problema. Per esempio, moltissimi impollinatori non amano le monoculture, perché non garantiscono un supporto alimentare adeguato nel corso dell'anno. Per esempio: ho allevato api domestiche in un'azienda agricola che coltivava erba medica. Subito dopo lo sfalcio, la disponibilità di piante su cui cibarsi calava drasticamente, sia per le mie api sia per gli altri impollinatori. E un altro grande problema per gli impollinatori sono... le api domestiche stesse. Sì, avete letto bene.

Le api domestiche sono bottinatrici estremamente efficienti, in grado di percorrere in volo senza problemi dieci chilometri al giorno e raccogliere polline e nettare da una ampia varietà di piante. Hanno, inoltre, un riparo garantito dall'apicoltore, che si prende cura di loro ed esegue trattamenti per limitare i danni arrecati da patogeni e parassiti.

Anche gli altri impollinatori devono affrontare patogeni e parassiti, ma nessuno li cura e devono faticare per trovare un posto dove nidificare. L'impresa è ostacolata dalla frammentazione degli habitat, che isola le popolazioni di impollinatori le une dalle altre.

Alcuni ricercatori spagnoli si sono chiesti quanto fosse rilevante la competizione tra api domestiche e il resto degli impollinatori. Hanno studiato la comunità degli impollinatori selvatici in un'area protetta sulle Isole Canarie prima dell'introduzione di api domestiche e nei due anni successivi. Già

nel primo anno di introduzione le api hanno causato una redistribuzione degli impollinatori selvatici, con una loro riduzione nelle aree più vicine agli apiari. Sommando le osservazioni dei due anni, l'introduzione delle api domestiche ha ridotto sia il numero di esemplari sia di specie di impollinatori selvatici nelle aree più usate dalle api domestiche per bottinare, nonché la riduzione delle specie vegetali visitate dagli altri impollinatori.

I ricercatori spagnoli hanno anche osservato che l'impollinazione delle api domestiche non compensa completamente quella persa dagli impollinatori selvatici. Le piante visitate in modo pressoché esclusivo dalle api hanno prodotto un numero più ridotto di semi o frutti, oltre che semi più leggeri, rispetto a quanto fatto dalle stesse specie in aree lontane dagli apiari.

Questo non significa che le api domestiche non debbano essere tutelate, ma che non devono essere il modello su cui noi basiamo le strategie di conservazione. Il nostro obiettivo deve essere soprattutto tutelare gli impollinatori nel loro complesso, perché i servizi ecosistemici legati all'impollinazione funzionano bene quando è presente in campo una grande biodiversità di impollinatori. Una singola specie non può compensare la perdita delle altre. L'operazione è tutt'altro che semplice, perché gli impollinatori, e i bombi in particolare, sono particolarmente sensibili anche ai cambiamenti climatici. Una recente pubblicazione, coordinata da Jeremy Kerr dell'Università di Ottawa e pubblicata a inizio del 2020 dalla rivista *Science*, ha mostrato

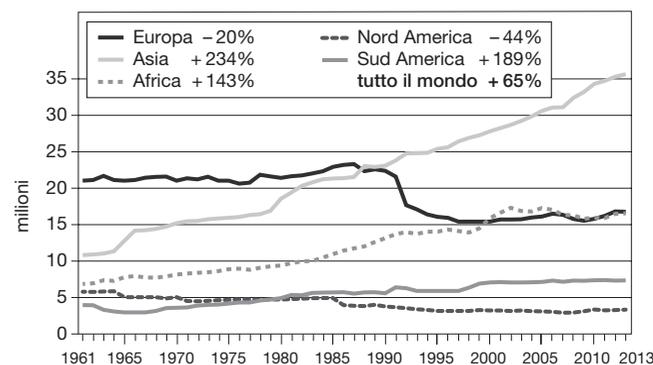


Figura 15. L'andamento del numero degli apiari nei diversi continenti dal 1961 a oggi. Fonte dei dati: FAO

come i bombi (che non amano particolarmente i climi molto caldi) non riescano a migrare verso aree più fresche o ad adattarsi velocemente tanto quanto stanno procedendo i cambiamenti climatici.

Se cerchiamo un simbolo degli impollinatori a rischio, i bombi sarebbero una scelta migliore delle api domestiche. Secondo la FAO (figura 15) dal 1961 a oggi le api domestiche non solo non sono diminuite, sono addirittura aumentate del 65% a livello globale. C'è stato però un declino in Europa a metà degli anni Novanta, così come sono diminuite le api domestiche negli USA rispetto alla loro abbondanza negli anni Quaranta del secolo scorso.

Concludendo: dobbiamo di certo evitare l'uso di insetticidi durante la fioritura (lo facciamo già in Italia, a differenza degli USA), ma la mortalità delle api domestiche dipende da molte cause. Dai fattori ambientali (come un ambiente povero di risorse alimentari) alle estese monocolture, dal

riscaldamento globale a cause più specifiche come patogeni e parassiti sempre più ricorrenti e diffusi. Ridurre la presenza in campo degli insetticidi avrà un effetto positivo, ma questo servirà solamente a ridurre la pressione che le attività agricole arrecano alle popolazioni di api e di insetti in generale, non certo a garantirne la presenza nel prossimo futuro.

L'agricoltura biologica è la soluzione a tutti i problemi della biodiversità?

In molte occasioni mi è stato chiesto perché io continui a parlare di effetti degli insetticidi. La soluzione sarebbe semplice: «No ai pesticidi. Sì al biologico».

Tanto per cambiare, la soluzione è tutt'altro che semplice. In primo luogo anche l'agricoltura biologica fa uso di insetticidi, quindi non è una produzione a «pesticidi zero», come sostengono alcuni. A differenza dell'agricoltura convenzionale, quella biologica non impiega sostanze derivate da sintesi chimica, ma ne usa altre.

La contrapposizione tra agrofarmaci di sintesi e non di sintesi sembra vincente in termini di marketing, ma non vale se parliamo di sostenibilità o di rischi per la biodiversità. Per esempio il rame, uno dei più antichi, utilizzati e «naturali» pesticidi biologici della storia, è un metallo pesante molto inquinante. Può essere dannoso per gli animali e per i batteri del suolo, tanto che la Comunità Europea ne ha recentemente ridotto la quantità uti-

lizzabile, per contenerne la tossicità e la persistenza nel suolo. Alcuni prodotti autorizzati in agricoltura biologica hanno profili di tossicità ben peggiori degli equivalenti di sintesi, e alcuni sono pericolosi proprio per le api e per gli impollinatori, oltre che per gli organismi acquatici.

Uno studio condotto da Timothy D. Searchinger dell'Università di Princeton, pubblicato sulla rivista *Nature*, ha indicato che anche i cibi biologici hanno un impatto climatico e quindi sulla sostenibilità. Potrà sembrare un controsenso, ma a causa delle rese più ridotte di molte coltivazioni bio, per produrre la stessa quantità di cibo biologico servono aree coltivabili più grandi. Come abbiamo visto, l'agricoltura sostituisce alla biodiversità naturale una monocoltura, quindi è tanto più sostenibile quanto più è efficiente e produttiva. Ricordiamoci che in alcune regioni del nostro pianeta (da cui derivano alcuni alimenti che importiamo) quando serve più terra la si ottiene ricorrendo alla deforestazione.

Questa analisi è basata sul calcolo di complessi parametri che valutano quello che gli autori chiamano *costo di opportunità del carbonio* (COC). È un indice utile per valutare l'impatto sul clima delle produzioni alimentari, ma non solo. Per esempio questo studio ha evidenziato ancora una volta che la produzione di biocarburanti da piante coltivate non è sostenibile, perché richiede grandi aree di terreno a fronte di quello che producono. I biocarburanti tradizionali (etanolo da grano, canna da zucchero e mais, biodiesel da olio di palma, colza

e soia) hanno cioè un costo di opportunità del carbonio maggiore rispetto alle emissioni da combustibili fossili e diesel. Invece i biocarburanti provenienti dall'incenerimento dei rifiuti hanno un COC basso, per cui sono poco impattanti sul clima.

Non necessariamente questi indici sono pienamente attendibili, e non tengono conto di tutte le dimensioni della sostenibilità, però ci offrono un grande insegnamento: tutti i modelli produttivi agricoli hanno un impatto ambientale che deve essere valutato, agricoltura biologica compresa.

Dobbiamo evitare di credere a soluzioni facili a problemi complessi. La senatrice Elena Cattaneo ha affermato:

[...] è stata promossa l'illusione che il bio fosse l'unico metodo in grado di salvare il mondo e farci vivere meglio e di più. Ma non esistono prove scientifiche a confermarlo, anzi le analisi dicono che i prodotti biologici non sono qualitativamente migliori e che il bio su larga scala è insostenibile in quanto per le principali colture produce fino al 50% in meno, richiedendo il doppio della terra. Per convertire il mondo a biologico quindi dovremmo rendere coltivabili altre centinaia di milioni di ettari sottraendoli a foreste e praterie.

A differenza di quanto afferma la senatrice, in alcuni contesti e per alcune colture senza dubbio l'agricoltura biologica è una soluzione utile ed è la migliore opzione perseguibile; in altri casi però non è così.

Serve anche ricordare che da tempo in agricoltura convenzionale si usano tanti strumenti che non sono di tipo chimico. Mi riferisco, per esem-

pio, all'*agricoltura integrata*, che combina tutti gli strumenti di protezione delle colture (agronomici, fisici, biologici e chimici) secondo uno schema razionale per produrre quanto più possibile con le risorse disponibili, usandole nel modo più efficiente possibile. Un esempio è la lotta biologica con gli insetti parassitoidi, che depongono le uova all'interno del corpo di insetti infestanti, oppure con insetti predatori (come le coccinelle) che si cibano di specie infestanti (come gli afidi).

Si aggiunge ora la possibilità di un uso ancora più attento e mirato degli insetticidi grazie all'agricoltura di precisione. Forse alla fine ci convinceremo del fatto che mangiamo molto meglio dei nostri nonni (anche in termini di sicurezza degli alimenti), ma non vogliamo crederci.

Ridurre, automatizzare e ottimizzare: dall'agricoltura di precisione agli agribot

La distribuzione dei prodotti fitosanitari (sia insetticidi sia erbicidi) è una delle operazioni agricole che rischia maggiormente di creare inquinamento ambientale. I dati ci dicono che con le tecniche più comuni di distribuzione (basate sull'irrorazione) oltre il 70% del prodotto chimico può non raggiungere il bersaglio. Il danno è sia ambientale sia economico, dato che i prodotti fitosanitari sono i più costosi usati in agricoltura. Gli insetticidi utilizzati oggi sono decisamente più sicuri rispetto a quelli usati negli anni Ottanta del secolo scor-

so, ma l'obiettivo che l'agricoltura di precisione si deve porre è di ottimizzarne l'uso: serve fare la cosa giusta, nel posto giusto, nel momento giusto e nel modo giusto.

Tradizionalmente si considera il campo coltivato come un'unità omogenea, dove le pratiche agricole sono uniformemente gestite, ma in realtà la presenza di insetti infestanti potrebbe essere limitata a una parte del campo, per cui trattare l'intera area coltivata potrebbe non essere necessario.

Per differenziare i trattamenti servono dati. Occorre monitorare gli insetti, cioè conoscerne la distribuzione e l'abbondanza. Per molto tempo (ed è ancora così in Italia, nella maggior parte delle aziende agricole) il monitoraggio degli insetti infestanti è stato fatto manualmente, con trappole di varia natura. A me è capitato più volte di usare *trappole cromotropiche*, costituite da un foglio colorato (nel mio caso di colore giallo) da cui gli insetti sono attratti e su cui, purtroppo per loro, rimangono incollati, dato che è rivestito di colla. Le trappole vanno controllate settimanalmente e bisogna valutare non solo quali insetti sono stati catturati, ma quanti sono delle specie di interesse. Per esempio, all'interno di frutteti capita sempre di intrappolare anche insetti non dannosi, tra cui molte farfalle: anche loro sono attirati dalla trappola o semplicemente sono arrivati a urtarla. Più specifiche sono le trappole che utilizzano *feromoni sessuali*, cioè sostanze utili come richiamo sessuale. Ma anche in questo caso l'ispezione è manuale e richiede molto tempo: quando si rileva la presenza

di insetti in un'area, tutto il campo è trattato con l'insetticida.

Negli ultimi anni sono invece sempre più diffusi i sistemi di monitoraggio *smart*. Alle trappole sono abbinati sensori e/o telecamere che segnalano a distanza (tramite wireless) la presenza di insetti infestanti e la loro abbondanza. Il sistema, in modo autonomo, fotografa e analizza la quantità di insetti catturati nelle trappole così da evitarne l'ispezione manuale. Il tutto può essere ulteriormente automatizzato in modo che all'agricoltore non arrivino solo le singole fotografie da analizzare, ma una loro elaborazione. Presa in considerazione la presenza e l'abbondanza degli insetti infestanti, si genera un segnale di «allarme infestazione» che indica le aree in cui ciò sta avvenendo. Un ottimo esempio è la *Smart Trap*⁷, prodotta da DTV negli Stati Uniti (figura 16 alla pagina seguente). È una trappola che usa feromoni per attrarre gli insetti, che sono contati automaticamente. L'uso di feromoni rende la trappola specifica per alcuni insetti infestanti; i sensori elettronici poi ne valutano la numerosità. In questo modo si sa anche quali aree sono coinvolte nell'infestazione, e si può agire in modo mirato con una potenziale riduzione dell'inquinamento dell'agroecosistema.

⁷ Descrizione di *Smart Trap* sul sito del produttore: www.dtn.com/agriculture/producer/dtn-smart-trap/.

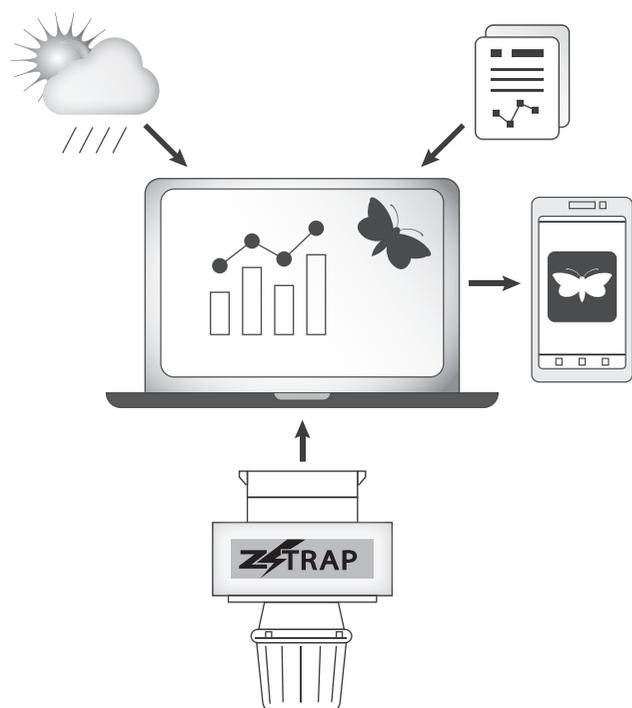


Figura 16. Le nuove trappole *smart* integrano i dati sull'abbondanza degli insetti infestanti con quelli meteorologici, così da consigliare all'agricoltore quale intervento realizzare e quando, tenendo anche conto dei precedenti trattamenti.

Anche i diserbanti possono essere smart

Gli insetticidi non sono però l'unico *input* che può essere ottimizzato in base ai dati forniti da un sensore: anche il diserbo può essere gestito in questo modo. Per esempio, si usano dispositivi ottici avanzati per rilevare le erbe infestanti, assieme a ugelli innovativi che applicano i prodotti chimici diretta-

mente sopra di loro. *WeedSeeker*⁸ è un sistema che funziona proprio così e che utilizza telecamere montate su una barra per il diserbo, con cui individua le infestanti sul suolo. L'ugello si attiva solo in corrispondenza delle malerbe, senza rilasciare diserbanti sul terreno nudo. Anche in questo caso possiamo operare in modo ottimale e irrorare meno erbicida, con vantaggi sia per l'ambiente sia per l'agricoltore.

I nuovi dispositivi *smart* possono essere installati sulle macchine agricole già presenti nelle aziende, oppure ci si può avvalere di specifici agribot che lavorino in modo autonomo, sotto la guida di sensori e GPS. Combinando diversi sensori che realizzano misure termiche, ottiche, meccaniche e chimiche, si può anche fare in modo che ogni applicazione sia calibrata a seconda della variazione delle proprietà del suolo e della coltura. Questo permette di agire sul campo in modo sempre più mirato e sostenibile.

Ricorrendo agli agribot l'agricoltore non deve entrare in campo per ogni lavorazione. Questa soluzione si applica bene al settore vitivinicolo e frutticolo, dove ci sono filari tra i quali la macchina può muoversi facilmente. Tra i miei preferiti c'è *See&Spray*, prodotto dalla start up californiana *Blue River Technology*. Si tratta di macchina autonoma per il diserbo di precisione che usa telecamere, algoritmi di riconoscimento delle immagini, e

⁸ La pagina dedicata al sistema *Weedseeker*: <https://agriculture.trimble.com/precision-ag/products/weedseeker/>.

un sistema di erogazione regolabile per trattare con il diserbante solo le malerbe, risparmiando il resto della coltura. Questo si traduce in una drastica diminuzione di prodotto utilizzato e in un aumento della sostenibilità ambientale.

Le attività che possono essere svolte autonomamente da un agribot sono ormai numerose. Abbiamo parlato della gestione di insetti ed erbacce, ma gli agribot possono anche andare alla ricerca di malattie come funghi e muffe. Ci sono poi agribot per seminare, raccogliere frutta e potare. Esistono già in commercio robot in grado di raccogliere mele, peperoni, fragole e pomodori, o che sanno fare trattamenti ai vigneti. Una volta, quando si parlava di agribot, tutti pensavano a droni che volavano su frutteti e campi coltivati. Oggi invece i droni sono molto utilizzati per la rilevazione dei dati, ma a svolgere le operazioni in campo sono robot, guidati da GPS e sensori, che si muovono nei campi su cingoli o ruote.

Un'idea interessante è stata sviluppata dai tecnici di *Ecorobotix*, che hanno costruito un robot alimentato a pannelli solari che si muove in campo con l'aiuto di una telecamera, del GPS e di sensori. Con questo sistema di visione trova le erbe infestanti all'interno e tra le file, poi le elimina con le «braccia» di cui è dotato. I pannelli solari rendono il robot completamente autonomo in termini di energia, anche quando il tempo è coperto (grazie a una batteria).

Un altro agribot è *Sweeper*, che esamina i peperoni e li raccoglie usando un braccio robotizzato.

Questo robot è progettato per lavorare su singoli filari, con frutti non a grappolo e con poche foglie a ostruire la visuale, ma è capace di capire quale frutto è maturo e raccoglierlo in soli venti secondi senza danneggiarlo, con un taglio preciso a livello del picciolo.

Rimanendo nel campo della robotica applicata alla raccolta, *Energid* ha realizzato un apparecchio che può essere montato su un mezzo di lavoro come un trattore o un furgone. Individua arance e limoni e stacca i frutti dall'albero con bracci azionati ad aria compressa.

Vision Robotics invece ha messo a punto una macchina per la potatura autonoma delle viti. Potrà sembrare banale, ma la potatura manuale richiede molto tempo ed è faticosa. Il robot individua i tralci da recidere e completa l'operazione con grande precisione. Utilizza una telecamera per creare un modello 3D della pianta da potare, identificando con precisione i rami che devono essere recisi senza danneggiare la pianta. Le prove in campo ci dicono che il lavoro di questo robot è del tutto simile a quello fatto a mano dagli agricoltori.

Nei vigneti però la soluzione più impressionante è *VineRobot*, un agribot che permette di ottenere una grande quantità di informazioni: misura il contenuto in antociani delle uve (e quindi la loro maturazione), valuta lo stress idrico e stima il contenuto in azoto delle foglie. L'obiettivo è fornire all'agricoltore e all'agronomo tutte le informazioni necessarie per decidere quando vendemmiare, o monitorare lo stato di salute del vigneto.

Oltre a queste macchine molto specializzate, ne esistono altre più duttili. *Wall-Ye* è capace sia di potare sia di monitorare lo stato di salute della pianta, cambiando semplicemente sensori e attrezzi. L'azienda polacca *Agrirobo* ha invece prodotto un agribot che effettua sia lo sfalcio dell'erba sia la distribuzione di antiparassitari e fertilizzanti, il tutto lavorando senza sosta, giorno e notte.

Se poi volete una squadra di lavoro... ci sono *Dick, Tom e Harry*, prodotti dall'azienda americana *Small Robot Company*. *Dick* elimina le malerbe folgorandole: le ruote del robot funzionano infatti come un elettrodo a contatto con il terreno, mentre un altro elettrodo si sposta e tocca le erbacce. Questo crea un circuito di calore che danneggia le cellule delle infestanti, uccidendole dallo stelo alla radice. Il procedimento può richiedere diverse migliaia di volt, ma dipende dal tipo di erbacce che deve colpire. I resti della pianta poi si decompongono naturalmente nel terreno. Intanto *Tom* scansiona regolarmente i campi con le fotocamere e i sensori di cui è dotato, coprendo circa 20 ettari al giorno. Il suo compito è mappare lo stato di salute di ogni pianta e le condizioni del suolo. Ad *Harry*, il terzo agribot, sono invece affidati sia la semina sia il microdosaggio di fertilizzanti per le piante: la giusta quantità di fertilizzante può essere stabilita in base alle condizioni di ogni singola pianta.

Se la vostra infanzia è stata (come nel mio caso) popolata da robot che difendevano la Terra da invasioni aliene, oggi un esercito di agribot difende i nostri campi da infestanti e malerbe. Nel farlo,

proteggono anche l'ambiente: con l'irrorazione di precisione si possono ridurre fino all'80% i fitofarmaci senza perdere in resa.

Sebbene non ancora molto diffusi in Italia, secondo la Federazione Internazionale di Robotica sono stati venduti nel mondo circa venticinquemila robot agricoli fino a oggi, corrispondenti al numero utilizzato a scopi militari.

Quando i robot sostituiranno i contadini... o no?

In un interessante articolo del 18 aprile 2019 pubblicato su *Il Manifesto*⁹, il giornalista Rinaldo Rava si poneva una domanda interessante: che cosa accadrà al lavoro dell'agricoltore con l'introduzione degli agribot? Il giornalista scriveva:

Quella che si sta aprendo, o si aprirà in un futuro molto prossimo (per il momento si è arrivati ai prototipi), è dunque una nuova frontiera della meccanizzazione in agricoltura che, dopo la Rivoluzione verde degli anni Sessanta (in cui trattori, pesticidi e fertilizzanti cambiarono il modo di produrre cibo), sembra andare incontro a una nuova era in cui l'essere umano viene espulso dalla campagna. Nella sostanza, l'agricoltore di domani sarà una sorta di addetto alla sicurezza che, in una stanza piena di monitor, controllerà l'attività all'interno dei suoi campi riprogrammando software e monitorando parametri raccolti dai macchinari che in autonomia si aggireranno tra i filari. Niente più lavori faticosi, niente più schiene piegate.

⁹ Il testo dell'articolo citato: <https://ilmanifesto.it/quando-i-robot-sostituiranno-i-contadini/>.

Premesso che già questo sarebbe un risultato, la possibilità di utilizzare robot in agricoltura non si limita all'alleggerire i lavori pesanti: ha numerosi altri vantaggi. Abbiamo visto che i loro sensori raccolgono dati utili su numerose variabili del campo, dalla qualità del suolo, allo stato di salute e crescita della pianta, fino alle condizioni meteorologiche. Queste tecnologie permettono anche di analizzare e combinare tra di loro questi dati, che possono migliorare l'efficienza, la sostenibilità e la produttività dei sistemi agricoli su scala aziendale. In altre parole, rendono semplice utilizzare dati che, per la natura dinamica di queste variabili, sarebbero fuori dalla portata del singolo agricoltore.

È giusto prendere in considerazione la disoccupazione che potrebbe derivare dall'automazione, ma senza dimenticare che sarà sempre e solo l'agricoltore che definirà le decisioni da applicare per ottimizzare la gestione dei propri campi. Inoltre, la recente epidemia di Covid-19 ha messo in evidenza la fragilità della filiera sul fronte dell'occupazione. A causa della pandemia, sono infatti venuti a mancare gli addetti alla raccolta della frutta, causando ampie perdite che si sarebbero evitate se i sistemi automatici fossero stati più diffusi.

Grazie agli agribot l'agricoltore non avrà solo ettari di colture ma anche enormi quantità di dati, e potrà decidere in modo più accurato e senza dover faticare in campo. Questo viene visto come un allontanamento delle persone dai terreni, ma in realtà è una vera e propria immersione in essi e nei *big data* che generano. Come abbiamo visto,

l'agricoltore potrà affrontare in modo efficace tanti possibili aspetti disponendo di dati raccolti in tempo reale: dalla crescita della coltura alla stima delle rese produttive, dalla diffusione di insetticidi al rischio di attacco di insetti e malattie, dalla stima dei fabbisogni alle modalità di distribuzione dei vari *input* di produzione come acqua, fertilizzanti ed erbicidi.

Oggi, almeno in teoria, la decisione se irrorare un agrofarmaco oppure no si basa su una soglia di convenienza economica che si calcola considerando vari parametri. Tra questi ci sono il tipo di infestante presente e la sua abbondanza, la tipologia di danno arrecato, la velocità di crescita dell'infestazione, lo stadio di crescita delle piante e i livelli di resistenze naturali delle piante a quello specifico infestante. Possedere tutti questi dati non è facile e analizzarli ancora meno. Per questo, spesso le rese non sono ottimali perché il trattamento è stato eseguito tardivamente, oppure i guadagni sono troppo ridotti perché sono stati fatti troppi trattamenti. Ricorrendo a sensori e agribot tutte queste fasi possono essere gestite con applicazioni utilizzabili sul proprio cellulare.

Serve però tenere conto che gli agribot hanno limiti di utilizzo. Molti dei sistemi robotizzati in commercio richiedono ambienti di lavoro strutturati seguendo specifiche necessità, tanto che molti sono pensati più per serre che per campi aperti. Altri richiedono che i frutteti siano gestiti in modo che le piante abbiano altezze e distanze ben precise, per cui (in particolare nelle zone di montagna)

continueremo senza dubbio ad avere tanti agricoltori nei campi.

Infine è importante valutare gli aspetti economici, perché molti agribot oggi disponibili sono costosi. Saranno adottati solo in filiere redditizie, in cui l'investimento potrà essere bilanciato dal ritorno legato alla loro efficienza. Su questo fronte però, anche a traino di altre industrie, i prezzi della componentistica necessaria per gli agribot stanno calando, e in futuro il costo potrebbe essere meno limitante di quando non accada ora. Inoltre molti dei moderni agribot sono di dimensioni ridotte (grossomodo come un uomo): questo li rende applicabili in molti più contesti, oltre che più vicini alle necessità che può avere una azienda agricola italiana rispetto a una americana.

A partire dagli anni Venti del secolo scorso la meccanizzazione ha permesso di rivoluzionare l'agricoltura dando un contributo importante a quella Rivoluzione verde di cui noi tutti ancora oggi traiamo i vantaggi. A distanza di un secolo, una nuova Rivoluzione verde è pronta a partire, ma al posto di motori, pulegge e bielle troviamo *chip*, sensori e algoritmi. La funzione resta invece la stessa: produrre di più e meglio.

CAPITOLO QUARTO

Geni e genomi per pensare le piante del futuro

Prevedere il futuro è tra le abilità che più mi piacerebbe avere, e sono certo che sia così anche per molti di voi. Ovviamente non è possibile e possiamo fare solo alcune stime, però anche questo può essere di aiuto. Per esempio, sono quasi certo che oggi vi siate alzati da un letto con lenzuola di cotone, avete fatto una rapida doccia (o quantomeno vi siete lavati il viso con una saponetta), per poi andare in cucina (oppure al bar) a bere una bevanda a base di tè o caffè o forse una tazza di latte, a cui avete aggiunto cereali (quasi sicuramente zuccherati). Alcuni di voi avranno consumato un pasto a base di carne, oppure un sandwich con formaggio prima di andare al lavoro.

Il cotone proveniva quasi certamente da una piantagione cinese, l'olio di palma nella vostra saponetta dalla Malesia. Ci sono alte probabilità che il caffè sia stato coltivato in Kenya, il tè in India e