

Le malattie delle piante tra robot, AI e reti neurali

Andrea Luvisi Dipartimento Scienze e Tecnologie Biologiche e Ambientali, Università del Salento, Lecce

Nel futuro, non ci sono patologi vegetali: o meglio, la letteratura e la filmografia *mainstream* che si cimenta ad immaginare una realtà più o meno lontana, rappresenta raramente neanche l'agricoltore, forse impegnato nella gestione computerizzata di immaginifiche serre-laboratorio sepolte nei meandri di città-alveare o in fattorie spaziali che orbitano attorno a pianeti più o meno morenti. Di certo, nessuno usa la zappa, annaffia la terra o controlla se quella necrosi sulla foglia è da imputarsi ad un fastidioso parassita: per quello, anche se lo scrittore o sceneggiatore di turno non lo hanno specificato, ci penserà sicuramente un robot, antropomorfo o meno che sia, guidato da una allenata intelligenza artificiale.

Pertanto, tutto abbastanza semplice da immaginare e, sicuramente, coerente con l'evoluzione attesa per l'umanità, caratterizzata almeno da tre elementi principali: riduzione dell'impegno manuale, interventi da remoto, automazione sempre più spinta dei processi decisionali. Un mondo ben diverso da quello in cui viveva Heinrich Anton De Bary, nato a Francoforte nel 1831 e considerato uno dei padri della patologia vegetale. Personaggio sconosciuto ai più, abitava un mondo ancora pieno di incertezze in cui fattori soprannaturali, teorie sulla generazione spontanea e tesi umoraliste continuavano ad inquinare il dibattito scientifico sul ruolo dei patogeni delle piante, all'epoca circoscritti ai sostanzialmente ai funghi. Il suo sguardo verso il futuro lo porterà

a descrivere definitivamente il ciclo della peronospora della patata, affermando che la muffa è la causa della malattia e non la sua conseguenza. Sembra roba da poco, ma quel terribile patogeno aveva causato, negli anni '40 dell'800, terribili carestie in Europa, con particolari ripercussioni in Irlanda: ancora oggi si ricorda la "Great Famine", causa di almeno un milione di morti sugli otto che popolavano l'isola. Fatti lontani, così lontani e terribili che nel nostro presente sembrano non trovare asilo, quantomeno nelle società così dette avanzate. Di certo eventi come l'epidemia in Europa di *Xylella fastidiosa* hanno richiamato l'attenzione ad un agroecosistema non così imperturbabile come, almeno dal secondo dopoguerra, ci piacerebbe immaginare, ma resta sostanzialmente immutata un'ottimistica visione – almeno di alcuni – verso una agricoltura che sempre più si distacca da quel concetto di fatica a cui è ancestralmente legata.

E qui interviene la macchina a scandire le diverse rivoluzioni industriali che si sono succedute e che, con una certa dilazione temporale, hanno riverberato anche nell'agricoltura, la quale non si sottrae certamente alla fascinazione financo della sua ultima incarnazione, quell'Industria 4.0 fatta di *advanced manufacturing solution*, realtà aumentata, *big data analytics* e quant'altro sta sempre più permeando il nostro vivere. Sui vantaggi, almeno concettuali, c'è poco da aggiungere: riuscire a definire in tempo

reale un ambiente complesso come quello di coltivazione e predire la sua evoluzione, monitorare le condizioni fisiologiche e salutari delle piante in modo automatizzato, effettuare interventi da remoto per la gestione e la protezione delle colture – magari anche minimizzando l'impiego di personale – sono solo alcune ipotesi che accenderebbero l'interesse di qualsiasi imprenditore agricolo. In realtà, l'elemento di interesse è che, in diversi casi, non si tratta solo di ipotesi, ma di realtà.

Facendo specifico riferimento alla gestione delle piante ed alla loro protezione, l'agricoltura di precisione risulta essere l'ambito applicativo attualmente più rilevante: basti pensare alle operazioni di semina o messa a dimora delle piante con seminatrici o trapiantatrici ad elevata automazione, piuttosto che a sistemi per la potatura, la distribuzione dell'acqua, dei fertilizzanti o dei prodotti fitosanitari in grado di differenziare i quantitativi in base alle effettive esigenze. Difatti le macchine agricole connesse e geolocalizzate rappresentano buona parte di ciò che consideriamo agricoltura 4.0 (in Italia rappresentano oltre il 70% del fatturato dell'agritech innovativo), ma dobbiamo anche ricordare che tali soluzioni affondano le loro radici negli anni '90 del secolo scorso e, pur oggetto di una profonda e continua evoluzione, non possono essere ascrivibili a soluzioni robotizzate più avveniristiche e recenti che, diversamente, impattano per circa il 2% della spesa 4.0. Altre soluzioni che trovano significative applicazioni sono quelle riferite all'IT ed all'Internet of Things, seppur con quote nazionali di fatturato pari a circa un quarto rispetto alle macchine agricole. Subito dopo troviamo le soluzioni derivanti dall'impiego di software gestionale, sottolineando alcuni ambiti di applicazione principali come programmi per la razionalizzazione degli input e degli strumenti produttivi (es. monitoraggio macchine, gestione acqua e fertilizzanti), modelli previsionali per le malattie e gestionali aziendali. Tutto questo può essere poi ritrovato, anche in forme tecnologicamente più raffinate e con maggiore precisione di intervento, nell'ambito delle colture protette – le serre – dove l'ambiente confinato consente un capillare impiego di sensoristica funzionale anche ad una gestione *real time* di alcuni importanti parametri di coltivazione come la

temperatura, l'umidità e l'irraggiamento ed una generale maggiore applicazione del concetto di automazione.

Fin qui le soluzioni più comuni che, come possiamo intuire, lambiscono soltanto la gestione delle malattie delle piante e rendono il robot-patologo qualcosa di ancora forse lontano. Eppure, la letteratura scientifica degli ultimi anni, non è certo risultata priva di numerose evidenze sperimentali sul tema. Molto è stato – ed è – sperimentato per l'implementazione di sistemi automatizzati di diagnosi sintomatologica, ovvero di metodi in grado di leggere e interpretare le immagini raccolte sia manualmente che da apparecchiature più avanzate (es. droni, mezzi semoventi, robot) su piante mostranti un quadro sintomatologico alterato. Si tratta, evidentemente, della chiave di volta per una patologia vegetale futuribile: inquadrare con una fotocamera o strumento analogo una pianta ed avere immediatamente il responso sull'identità del responsabile del danno. Facile da immaginare, un po' meno da realizzare. Come detto, la letteratura è sempre più ampia e mostra l'avvalersi di strumenti e soluzioni d'avanguardia e diversificate: per l'acquisizione dei dati si va dalle più semplici immagini RGB a quelle multispettrali od iperspettrali, mentre per l'interpretazione delle stesse si sperimentano sistemi di machine learning e deep learning. Eppure si tratta di soluzioni che raramente hanno avuto una effettiva applicazione pratica, ovvero sono limitatissimi i trovati con un risvolto commerciale e che, pertanto, risultano effettivamente utilizzati dagli agricoltori in modo ordinario. Una delle motivazioni è riferibile all'attendibilità dei risultati nelle applicazioni reali, ovvero al di fuori del contesto sperimentale. In particolare, l'elemento di criticità è, molto spesso, il raggiungimento di una elevata specificità analitica, soprattutto durante le prime fasi di sviluppo della malattia ed in contesti complessi dove i fattori di stress (biotici ed abiotici) sono più d'uno. In altri termini, tali soluzioni possono risultare poco efficienti nel distinguere malattie differenti, confondendo patogeni tra loro o scambiando stress biotici con fattori ambientali. In verità il riscontrarsi di tale problematica è del tutto logica e, in un certo senso, attesa, in quanto limitati sono i casi in cui, in natura, i patogeni determinano sintomi a carattere patognomoni-

co, ovvero così caratteristici da portare ad una diagnosi certa. Sicuramente più comune è il caso di una più o meno accentuata convergenza sintomatologica, dove fattori causali differenti determinano quadri per certi versi simili. E ciò è ancor più spiccato proprio nelle prime fasi di sviluppo di una malattia, quando i sintomi risultano ancora limitati e deboli. Non desta pertanto meraviglia il fatto che, ormai da diversi decenni, il patologo vegetale non sia più soltanto un osservatore di sintomi ma un analista che deve ricorrere ad accurate analisi diagnostiche laboratoriali per scoprire il colpevole: in definitiva, né più né meno di quanto accade dopo una prima visita ambulatoriale dal proprio medico di base e la successiva necessità di effettuare delle analisi del sangue. L'occhio e l'esperienza, pur rimanendo elementi fondamentali per guidare il processo diagnostico, non sono più sufficienti per soddisfare la richiesta di accuratezza che una agricoltura moderna necessita.

La consapevolezza di questi limiti fa sì che la patologia vegetale 4.0 non si limiti ad esplorare nuove soluzioni per la diagnosi sintomatologica, ma cerchi di sviluppare sistemi avanzati anche di diagnosi biologica finalizzati, ad esempio, ad accelerare e semplificare la determinazione degli agenti causali: si pensi a soluzioni *lab-on-chip*, ovvero sistemi miniaturizzati in grado di riprodurre analisi convenzionali (es. analisi del DNA, piuttosto che di tipo immunoenzimatico) in piccoli e maneggevoli apparecchi che possono essere utilizzati direttamente in loco ed in grado di fornire dei risultati analitici nel giro di pochi minuti, piuttosto che strumenti in grado di valutare i diversi profili di composti volatili emessi da una pianta ed associabili a processi alterativi ben definiti. In questi casi, trattandosi di diagnosi biologiche, le problematiche connesse al raggiungimento di soddisfacenti livelli di sensibilità e specificità, sono perlopiù vincolate a fattori di costo, di miniaturizzazione o semplicità d'uso. Indipendentemente dal sistema diagnostico prescelto, resta poi la questione dell'automazione del monitoraggio dello stato sanitario delle piante, ovvero lo sviluppo di piattaforme hardware mobili – terrestri od aeree – in grado di interagire con la pianta, ovvero di riconoscerla, attuare il protocollo diagnostico, manipolarla od effettuare financo l'intervento fitoiatrico. Qui, naturalmen-

te, robotica e sensoristica la fanno da padrona, con soluzioni già oggi particolarmente sofisticate ed efficienti, ma anche in questo caso, con alcuni limiti quando si guarda all'applicazione in ambito agricolo: il campo, ed in minor misura la serra, risulta essere un ambiente particolarmente stressante per la componentistica *high-tech* (es. terra, polveri, umidità, acqua, fango), oltre ad essere soggetto ad un'alta variabilità e mutevolezza di condizioni (si pensi all'illuminazione, alla forma e dimensione delle piante, alla comparsa di flora spontanea) che possono complicare la definizione di elementi stabili utili a semplificare la mobilità e l'interazione delle macchine.

Se questi sono alcuni sguardi sulla gestione delle malattie delle piante nell'ambito dell'agricoltura 4.0, il risvolto pratico e concreto lo possiamo forse meglio riassumere prendendo in considerazione la superficie agricola che si stima sia effettivamente coltivata con strumenti 4.0: superficie che, a livello nazionale, si aggira attorno al 4%. Una stima che non deve di certo allarmare né far immaginare ad una sorta di falsa partenza: è chiaro come si sia solo nelle prime fasi di una potenziale rivoluzione, e che questa abbia bisogno di tempo, oltre che di una evoluzione tecnologica in grado di permeare il settore. Perché, oltre ad alcuni limiti tecnologici di cui si è accennato, non dobbiamo dimenticare altri due fattori che, in qualche modo, possono rappresentare una forma di rallentamento all'adozione di queste soluzioni: la mentalità dell'agricoltore ed i costi. L'agricoltura è una attività antropica che, generalmente, trova forza e conforto nella tradizione e sull'esperienza dell'agricoltore stesso e della comunità in cui opera: elementi che, fra l'altro, sono comunemente trasferiti anche sul carattere identitario del prodotto. È pertanto comune ritrovare, se non una diffidenza, quantomeno uno slancio più cauto verso cambiamenti sostanziali, soprattutto quando si parla di gestione delle piante. L'agricoltura non è fatta di salti nel vuoto, ma di scelte ponderate, di tempi lenti, di dialogo con l'ambiente, oltre che di cura ed amore verso la terra, le piante e quel territorio che si va a plasmare. Di certo, il ricambio generazionale in atto – sempre più aziende vedono ai vertici giovani agricoltori – non potrà che agevolare l'adozione di soluzioni oggettivamente distanti da quelle utilizzate ordinariamente oggi. Infine, co-

me accennato, c'è l'aspetto economico, ovvero che tali soluzioni possono rappresentare dei costi talvolta significativi e, anche quanto mirano a generare risparmi d'esercizio, possono necessitare di investimenti iniziali cospicui. Il discorso si fa evidentemente complesso e lontano dal recinto di discussione prefissato, ma appare evidente come lo spazio di manovra per investimenti eccedenti a quelli funzionali per la consueta pratica agricola risultano, molto frequentemente, di difficile attuazione, restando confinati a grandi realtà aziendali od operanti in ambiti ad alto valore aggiunto. Il quadro economico, che risulta anche periodicamente stressato da fattori esterni, non rende pertanto il comparto agricolo il migliore dei contesti dove osservare la ricaduta di trovati 4.0, ma non dobbiamo per questo scoraggiarci ed abbandonare ogni fantasticazione sulle futuribili fattorie orbitanti con cui abbiamo introdotto il tema. L'ondata di cambiamento tecnico-scientifico a cui stiamo assistendo negli ultimi decenni è così impetuosa da risultare inevitabile anche dove sembra ci siano oggi argini insuperabili. Quindi, se nel frattempo vi capiterà di vedere un patologo intento a camminare tra filari di vite, soffermandosi ad osservare i margini di una foglia ed inarcare un sopracciglio, riflettendo sul quesito che la pianta gli pone, non allarmatevi: va tutto bene, siamo solo ancora nel presente



Andrea Luvisi: è professore di I fascia in Patologia Vegetale presso l'Università del Salento. È Presidente del Consiglio Didattico del Corso di Laurea in Viticoltura ed Enologia dell'Università del Salento (2020-2024), membro della Giunta del Coordinamento Universitario Nazionale dei Corsi di Laurea in Viticoltura ed Enologia (CU-VE) (2022-2023), Accademico aggregato dell'Accademia dei Georgofili, Accademico corrispondente dell'Accademia Italiana della Vite e del Vino, Membro del Comitato Tecnico-Scientifico per il contenimento di *Xylella fastidiosa* della Regione Puglia, Membro del Collegio di Dottorato in Scienze e Tecnologie Biologiche e Ambientali dell'Università del Salento, Responsabile del Laboratorio di Patologia Vegetale dell'Università del Salento.