

l'apis

D O S S I E R

LE PREVISIONI DEL MIELE



S O M M A R I O

DOSSIER | LE PREVISIONI DEL MIELE

L'impiego delle intelligenze artificiali per un'apicoltura di precisione

di Alessandro Revelli

	Introduzione
6	1. Le intelligenze artificiali
6	1.1 Le varie tipologie
8	2. L'idea: un modello previsionale per i flussi nettariiferi
9	3. Metodologia: come si costruisce un modello previsionale con l'IA
9	3.1 Cos'è l'intelligenza artificiale
9	3.2 Esempio (semplicissimo): della costruzione di un modello previsionale
11	3.3 Cosa serve per migliorare
12	4. Il nostro modello
14	4.1 Performance: test 2022 e commenti
16	5. Progressi 2022-2023
18	6. Come migliorare il modello in chiave futura
18	6.1 Altre variabili
22	7. Conclusioni
	Contributi

*In copertina disegno di Alessia Manzone
Progetto grafico di Graziana Garbeni*

INTRODUZIONE

Può capitare che le api siano pronte, la fioritura sembri bella, i range di temperatura e umidità dell'aria siano accettabili eppure i melari siano vuoti, e tali rimangano. Avessimo scritto questa frase 15 anni fa saremmo stati derisi o additati come apicoltori incapaci ma ora, purtroppo, non più. Conseguire un buon risultato, in questi casi, significa non tanto produrre poco miele quanto non vedere alveari morti di fame o, ancora meglio, constatare che nel nido ci sono scorte sufficienti affinché le colonie possano arrivare alla fioritura successiva senza la necessità di essere abbondantemente nutrite. Negli ultimi anni, purtroppo, la mancanza più o meno grave di nettare è una situazione che gli apicoltori italiani (ma non solo) hanno imparato a conoscere bene, a loro discapito. **Alveari in salute, una bella fioritura e il bel tempo non sono più condizioni sufficienti a produrre miele:** è questa la nuova realtà dei fatti, che il cambiamento climatico ha portato con sé. L'esperienza dell'apicoltore e la sua bravura nell'individuare buone postazioni sembrano, davanti a questo cambiamento, non avere più alcun valore: con la "scomparsa" dell'Anticiclone delle Azzorre le regole del gioco sono cambiate, forse per sempre, e davanti a questa presa di coscienza si rendono necessari strumenti nuovi, capaci di dare un supporto all'apicoltore nella gestione delle proprie api e della stagione produttiva.

Uno di questi strumenti, anche se non nuovo, è senza dubbio la bilancia. Fino a qualche anno fa era utilizzata solo dalle grandi aziende per ottimizzare gli interventi durante e a fine raccolto, mentre negli ultimi anni è diventata uno strumento essenziale per tutti gli apicoltori, soprattutto per salvare le api dalla morte per fame... Monitorare da remoto i propri apiari è ormai un'operazione di estrema importanza per chi fa apicoltura professionale in quanto la "classica" visita a cadenza settimanale non garantisce più la salvaguardia della salute delle api. Se infatti un alveare, a metà maggio, consuma 1 kg di miele al giorno per sopravvivere, come successo in Piemonte nelle stagioni 2019 e 2021, la visita a cadenza settimanale rischia di fare diverse vittime. Per gestire con successo un apiario in quello che possiamo definire "deserto nettario" è indispensabile conoscere le variazioni di peso giornaliero, anche e soprattutto dopo un intervento di nutrizione artificiale. **Dosaggio e tempismo** sono d'obbligo, in quanto nutrendo "a sentimento" e quando si ha tempo si rischia di incorrere in problematiche molto serie. **L'apicoltura di precisione non è dunque un lusso ma l'unica ancora praticabile a livello professionale.**

Se sul valore "aziendale" dei dati raccolti e trasmessi in tempo reale da uno strumento come la bilancia non si discute, il valore "collettivo" degli stessi è ancora per certi versi ampiamente sottovalutato. Non tutti gli apicoltori sono infatti disposti a condividere i propri dati e sono ancora molti quelli che pensano che monitorare l'andamento delle produzioni di miele sull'intero territorio regionale, ad esempio, serva solo a evidenziare le zone migliori, e quelle peggiori, nulla più.

Con questo dossier **vogliamo invece proporre l'estrema importanza dei dati e della loro condivisione**, nell'ottica del loro utilizzo "collettivo" per la creazione e l'implementazione di strumenti utili al singolo apicoltore e all'apicoltura tutta. Sembrerà banale ma una singola bilancia che evidenzia una perdita di peso durante una fioritura può essere indice di diverse cause, molte delle quali ipoteticamente imputabili all'apicoltore, mentre 300 bilance che segnalano perdite di peso durante la fioritura, sull'intero territorio monitorato, indicano una sola causa plausibile: un problema ambientale. Se è il singolo apicoltore a lamentare una crisi produttiva, lo



Figura 1 | L'assenza di nettare genera mostri. Disegno di Alessia Manzone da originale di Francisco Goya

stesso può sentirsi dire “la colpa è tua, non sei capace” mentre se sono 200 gli apicoltori, con in mano dati oggettivi, a lamentare la stessa crisi l’incapacità personale viene automaticamente e inevitabilmente esclusa: **attraverso la forza di un pacchetto di dati concordi la crisi diventa oggettiva e la causa è senza dubbio riconducibile a fattori non controllabili dall’apicoltore.**

È in quest’ottica che è nata **Beerap**, la rete associativa di rilevamento dati di interesse apistico (attraverso l’utilizzo di bilance) messa in campo da Aspromiele sull’intero territorio regionale piemontese. L’obiettivo è quello di raccogliere dati per creare un archivio, utile a produrre strumenti tecnici e politici per denunciare i mancati raccolti, per dialogare con le compagnie assicurative e, ultimo ma non ultimo, per indagare le cause della crisi produttiva al fine di individuare, mettere a punto e indicare soluzioni al problema (per quanto possibili). In altre parole, attraverso la valorizzazione dei dati apistici Aspromiele sta lavorando attivamente con i soci per cercare di rendere più resiliente l’apicoltura regionale.

Uno degli strumenti più promettenti e innovativi a cui Aspromiele sta lavorando, proprio grazie ai dati di Beerap, è senza dubbio il progetto per **un modello previsionale applicato ai flussi nettariiferi.**

Prevedere la presenza, l’intensità e la durata di un flusso nettariifero può essere infatti possibile se si analizzano le variabili giuste. Le si individua, le si monitora e i dati raccolti vengono fatti elaborare da un’intelligenza artificiale (IA) che restituisce una previsione sulla disponibilità della risorsa nettariifera in un luogo preciso, come una postazione.

Fantapicoltura? No, una volta individuate le variabili giuste.

I flussi nettariiferi sono un fenomeno biologico molto complesso, che vede coinvolte centinaia di specie viventi, **a livello aereo** (piante, microrganismi e impollinatori) **e a livello sotterraneo** (piante e microrganismi), tutte soggette ai fattori climatici. Le variabili giuste sono dunque **temperatura e umidità**, che condizionano lo sviluppo e le interazioni dell’intero complesso biologico che origina il nettare.

Sull’influenza di queste due variabili, soprattutto a livello aereo, l’esperienza degli apicoltori ha molto da insegnare a un’IA, tanto che l’algoritmo che descrive l’interazione tra api e fiori, costruito con le informazioni dei soci, ha già dimostrato di funzionare molto bene.

Come si fa, però, a descrivere con un algoritmo l’influenza del clima sulla fonte sotterranea del nettare? Inevitabile, a questo scopo, buttare un occhio anche sotto i piedi dell’apicoltore e riuscire a capire, per insegnare all’IA, in che modo **temperatura e umidità** condizionano l’ambiente in cui vive e opera la biodiversità a livello di sottosuolo.

Mentre **l’interazione tra piante e api** è efficacemente descrivibile, e quindi insegnabile a un’IA, attraverso i dati di Beerap, il monitoraggio dell’**interazione tra piante e microrganismi a livello radicale** è un territorio quasi interamente inesplorato, che ha richiesto l’attivazione di un progetto “parallelo” per verificarne la fattibilità.

La fonte sotterranea del nettare si è dimostrata monitorabile, descrivibile e teoricamente insegnabile a un’IA, a patto di acquisire con largo anticipo dati precisi sulla temperatura dei suoli da cui prenderanno corpo le fioriture. In altre parole servono sensori di **temperatura del suolo** per ogni postazione in cui si vuole una previsione.

Dopo 3 anni di lavoro collettivo prevedere la presenza, l’intensità e la durata di un flusso nettariifero per ogni postazione si sta dimostrando tecnicamente possibile avendo l’Associazione acquisito le conoscenze utili a istruire l’IA sul come stimare l’efficienza dei processi biologici che compiono il ciclo del nettare sopra e sotto il suolo, attraverso l’analisi dei dati raccolti in campo, a livello aereo e sotterraneo.

Manca solo un tassello per rendere operativo e funzionante il modello previsionale: un numero sufficiente di dati. Per raccogliere un numero sufficiente di dati (milioni) è però necessaria **la disponibilità delle associazioni e degli apicoltori italiani** (il Piemonte è troppo piccolo per questo scopo) per creare quella che sarebbe **la prima e la più grande rete al mondo di monitoraggio e di previsione dei flussi nettariiferi.**

1. Le intelligenze artificiali

“Intelligenza artificiale” o “IA” è un termine che fu coniato nel 1956 durante un seminario di informatica tenutosi presso il Dartmouth College di Hanover nel New Hampshire. Quello che inizialmente era il nome di un nuovo progetto di ricerca è oggi entrato prepotentemente nel linguaggio comune. Di intelligenza artificiale se n'è infatti parlato negli ambiti più diversi. Nelle arti, come letteratura e cinema, si è giocato a immaginare gli scenari più disparati, da futuri distopici in cui le macchine domineranno l'umanità ad alternative idilliache in cui uomini e donne non dovranno più lavorare e le macchine svolgeranno tutte le attività per loro.

Seppure l'immaginario che i media ci propongono sia molto suggestivo, bisogna fare attenzione a non associare le intelligenze artificiali solamente a robot umanoidi che lavorano per (o contro) l'umanità. Infatti, aspettandoci di incontrare il robot che ci servirà (o ci ucciderà), rischiamo di non renderci conto che siamo già circondati da oggetti e servizi che sfruttano l'intelligenza artificiale. Le pubblicità che ci vengono mostrate dalla nostra email o da Google sono state selezionate da un'intelligenza artificiale sulla base delle nostre preferenze, così come gli articoli di giornale che ci vengono suggeriti su internet. Molti dei contenuti a cui accediamo dal web sono stati filtrati da algoritmi di intelligenza artificiale che decidono cosa mostrarci e cosa no.

Le ricerche che facciamo, i film che guardiamo, ciò che pubblichiamo sui social, i nostri acquisti, sono tutti dati analizzabili e interpolabili per costruire un profilo dei nostri gusti e delle nostre esigenze. L'intelligenza artificiale non fa che scegliere il contenuto (e il contenitore) più adatto a noi, in base ai gusti e alle necessità che continuamente, e inconsapevolmente, esprimiamo telematicamente.

Le scelte dell'intelligenza artificiale sono fatte al fine di proporre pubblicità più efficaci, mostrandoci prodotti a cui potremmo essere davvero interessati, o al fine di offrire articoli di attualità e informazioni che noi abbiamo già dimostrato in altre occasioni di essere più propensi a leggere. **Alla prova dei fatti, quindi, i nostri acquisti e le nostre opinioni sono già parzialmente influenzate dalle intelligenze artificiali, che continuamente scelgono per noi a quali informazioni indirizzare la nostra attenzione.**

Ci sono anche applicazioni con meno ombre etiche, come i robot aspirapolvere che utilizzano l'intelligenza artificiale per seguire traiettorie che permettono di pulire la casa nella maniera più efficiente possibile. Oppure nella gestione della rete elettrica, così come nella Grande Distribuzione, le intelligenze artificiali aiutano già a ottimizzare la gestione delle risorse per ottenere performance migliori ed evitare sprechi. Un altro ambito molto promettente per le intelligenze artificiali è quello medico in cui il loro impiego permette di diagnosticare alcune patologie con largo anticipo.

Insomma, già al giorno d'oggi se improvvisamente spegnessimo le IA ce ne accorgeremmo tutti immediatamente...

1.1 Le varie tipologie

Le IA si possono suddividere in diverse categorie a seconda che si guardi alla loro funzionalità, all'ambito in cui vengono impiegate o alla tipologia di input con cui lavorano.

Tra le principali categorie troviamo:

Riconoscimento vocale: questa categoria di IA si concentra sulla capacità di riconoscere e interpretare il parlato umano. Viene utilizzata in applicazioni come gli assistenti vocali e la trascrizione automatica di registrazioni audio.

Elaborazione del Linguaggio Naturale: si occupa dell'elaborazione e della comprensione del linguaggio umano. Include compiti come la traduzione automatica, la generazione di testo, il riconoscimento e la risposta alle domande.

Sistemi di raccomandazione: questa categoria di IA si concentra sulla creazione di algoritmi che suggeriscono prodotti, servizi o contenuti in base alle preferenze dell'utente. Viene utilizzata in applicazioni come il marketing personalizzato e la gestione delle playlist musicali.

Robotica: questa categoria di IA si concentra sulla progettazione di robot in grado di svolgere compiti complessi in modo autonomo. Viene utilizzata in applicazioni come la produzione industriale, la logistica e l'esplorazione spaziale.

Visione Artificiale: Si concentra sull'elaborazione e l'interpretazione di immagini e video. Include compiti come il riconoscimento facciale, il riconoscimento di oggetti, il tracciamento del movimento e l'analisi delle immagini satellitari o di quelle in ambito medico.

Sistemi di supporto alle decisioni: questa categoria di IA si concentra sulla creazione di algoritmi che aiutano le persone a prendere decisioni in situazioni complesse. Viene utilizzata in svariate applicazioni come la finanza, la salute e la sicurezza.

Queste categorie non sono mutualmente esclusive pertanto possono esserci applicazioni che fanno parte di più categorie. Per esempio, potremmo avere un robot che compie azioni in base a ciò che gli viene ordinato a voce e tale macchina rientrerebbe sia nella categoria di robotica che in quella di riconoscimento vocale.

Nell'ambito dell'apicoltura lo sviluppo di intelligenze artificiali è in ritardo, per ragioni forse più economiche che tecniche. Tuttavia in agricoltura si osserva già una forte presenza di “sistemi di supporto alle decisioni”. Un esempio è la pioniera **Horta**, azienda nata come spin off dell'università Cattolica Sacro Cuore. **Horta** offre un sistema di supporto alle decisioni per la gestione razionale e sostenibile di diverse colture tra cui la vigna. L'applicazione è in grado di fare previsioni, in base ai dati raccolti in campo, su quali malattie si potrebbero presentare e quali invece no. In questo modo il viticoltore potrà evitare trattamenti superflui, risparmiando tempo e denaro nonché preservando l'ambiente. Le previsioni fatte da **Horta** si basano sull'analisi

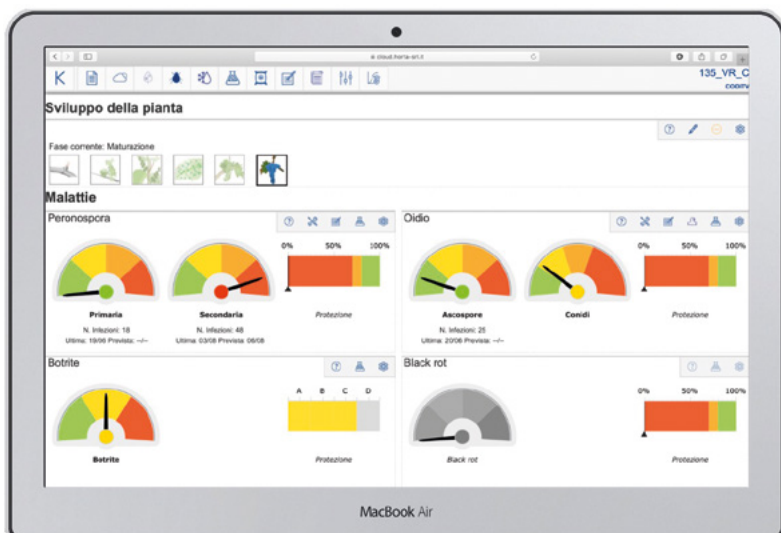


Figura 2 | Interfaccia del servizio previsionale offerto da Horta. Per ogni fase fenologica della vite vengono mostrate le malattie che potrebbero colpire la pianta in quella fase. Per ogni patologia vengono fornite due informazioni: la probabilità della sua comparsa e il grado di protezione che presenta la coltura nei suoi confronti. Tutte queste stime sono ottenute attraverso l'analisi delle variabili ambientali misurate dalle centraline meteo del viticoltore

di temperatura, umidità, bagnatura della foglia e altre variabili misurate direttamente da stazioni meteo installate nella vigna.

Tali diagnosi e previsioni sulla salute di una coltura possono essere fatte sulla base di dati provenienti da diverse fonti. Come detto *Horta* utilizza dati raccolti da centraline meteo, altre aziende come **OneSoil**, invece estraggono informazioni tramite l'analisi di immagini satellitari. *OneSoil* offre un servizio che permette di monitorare a distanza le colture e quindi fornire un supporto decisionale all'agricoltore. Attraverso l'analisi delle fotografie scattate dai satelliti un'IA può capire lo stato del campo centimetro per centimetro, identificando le aree in cui la coltura sta soffrendo, per esempio, per mancanza di acqua o di fertilizzante. Ciò permette all'agricoltore di intervenire tempestivamente ma soprattutto solo là dove ce ne sia la necessità. Questo genere di soluzione sta diventando sempre più importante anche per via dei limiti sulla quantità di fertilizzanti utilizzabile imposti dall'Unione Europea. Nel momento in cui il fertilizzante a disposizione è contingentato emerge la necessità di distribuirlo esclusivamente là dove sia necessario. Nelle aziende più futuriste le foto satellitari analizzate vengono caricate sulla centralina di trattori di ultima generazione che tramite un ugello direzionabile spruzzano fertilizzante o altri prodotti solo sulle piante che lo necessitano. In questo modo si riesce addirittura a diversificare i trattamenti tra una pianta e l'altra all'interno dello stesso campo e in maniera del tutto automatica.

Un'altra categoria di intelligenze artificiali che potrebbe presto diventare rilevante per agricoltura e apicoltura sia produttive che amatoriali è quella che lavora con il linguaggio. Questa categoria ha di recente visto importanti sviluppi con il lancio di **Chat GPT**, un prodotto che rappresenta

un punto di svolta nell'ambito delle intelligenze artificiali conversazionali. Quelli di *Chat GPT* sono algoritmi in grado di sostenere una conversazione estremamente simile a quella che si potrebbe intrattenere fra esseri umani per cui si può dire che allo stato attuale del progresso tecnologico siamo riusciti a insegnare alle macchine a parlare. Il passo successivo è fornire i contenuti, operazione piuttosto semplice se si pensa al mastodontico archivio di "format" che è il web. Molto presto comparirà una moltitudine di servizi di assistenza e supporto, tra cui alcuni rivolti agli agricoltori professionisti e altri rivolti agli amatori i quali, più sicuri del loro pollice verde grazie alla guida intelligente, si avvicineranno con più facilità al giardinaggio, per esempio, o alla coltivazione di un orto urbano. Questi servizi saranno in grado di rispondere ad ogni tipo di domanda dal "quando e come si piantano i pomodori?" al "come posso utilizzare questa nuova tipologia di fertilizzante?". Simili servizi compariranno senza dubbio anche per l'apicoltura.

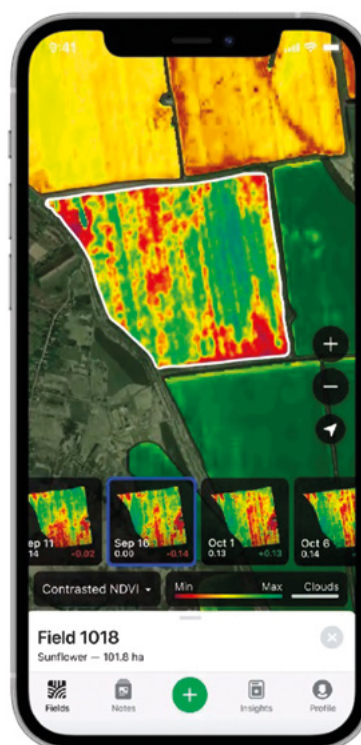


Figura 3 | Interfaccia del servizio offerto da OneSoil. In questa schermata viene mostrato l'indice di vegetazione NDVI, estratto da immagini satellitari, di un campo coltivato. Tale indice è definito sulla base dell'interazione del vegetale con le diverse lunghezze d'onda della luce solare. Questo indice può essere utilizzato per avere informazioni sulla salute della pianta e sullo stress idrico, ma anche per individuare la presenza di altri vegetali indesiderati

2.

L'idea: un modello previsionale per i flussi nettariiferi

Ai produttori apistici servirebbe a poco un'applicazione che insegni loro in modo intelligente a concedere i fogli cerei o a controllare la sciamatura ma se l'IA si può utilizzare per prevedere l'attacco dei patogeni sulle colture o l'impatto della siccità perché non utilizzarla per prevedere le produzioni di miele? Gli apicoltori da sempre cercano di prevedere la bontà dei flussi nettariiferi per poter organizzare al meglio il loro lavoro, le loro spese e, se possibile, massimizzare la produzione di miele. Per farlo osservano attentamente la fioritura delle piante, il meteo e la forza degli alveari cercando di stimare le possibilità di portare a casa il raccolto nelle situazioni e negli ambienti più diversi e disparati. La profonda conoscenza "naturalistica" delle proprie postazioni è da sempre il segreto del buon apicoltore. Tuttavia negli ultimi 10-15 anni è diventato più difficile fare previsioni a causa dei cambiamenti climatici e a causa di quella che a tutti gli effetti si può definire la più severa crisi del regno vegetale nell'area mediterranea, a memoria d'uomo. **Tutto sta cambiando con estrema rapidità: cambiano le piante, le loro fioriture, i cicli idrici, le temperature e le correnti atmosferiche. Sia le interazioni aeree tra api, piante e microrganismi, sia le interazioni sotterranee tra piante e microrganismi del suolo si trovano esposte a condizioni climatiche letteralmente inedite.** Per fare un esempio illuminante il solo impatto dell'aumento delle temperature medie sta cambiando per sempre le caratteristiche e la composizione di uno dei fattori determinanti nel meccanismo che origina i flussi nettariiferi: la biodiversità microbica ambientale, sensibilissima alle variazioni termiche. Se cambiano, come stanno già cambiando, i microbiomi ambientali è impensabile continuare a pensare che i flussi nettariiferi siano gli stessi di un tempo: stanno cambiando anch'essi, in modi al momento completamente imprevedibili. **In questo nuovo scenario climatico e biologico gli apicoltori non possono più fare affidamento solo sulla loro esperienza pregressa in quanto produrre miele oggi non è più lo stesso mestiere di 15 anni fa.**

Per tornare a stimare con efficacia le possibilità concrete di produrre miele, l'apicoltore dovrebbe concentrare in se stesso le competenze di un microbiologo, di un fisiologo vegetale, di un climatologo, di un pedologo e di un fisico. E forse non sarebbe sufficiente per risolvere i problemi più seri e contingenti.

Ciò che non si può pretendere da un apicoltore lo si può però chiedere a un'intelligenza artificiale.

L'idea di provare ad affrontare una crisi allarmante con il frutto del progresso tecnologico recente, ha dato vita al **progetto HonAI, che ambisce a prevedere i flussi nettariiferi con l'utilizzo delle intelligenze artificiali.**

HonAI non consiste solo nella realizzazione di un servizio utile agli apicoltori, ma è un vero e proprio progetto di ricerca interdisciplinare il cui fine è svelare alcuni dei complessi meccanismi che regolano i flussi nettariiferi, per prevederne i cambiamenti ingenerati dal clima.

L'idea non è però di semplice e immediata realizzazione perché mentre nel caso dell'agricoltura la qualità di un raccolto dipende principalmente da un solo fattore, la salute della pianta, nel caso dell'apicoltura il panorama è decisamente più complesso. La quantità di miele che si trova nei melari dipende da più fattori, anche molto diversi tra loro ma tutti correlati: la salute delle piante, la salute e popolarità degli alveari e le condizioni meteo si comportano come un *unicum* durante le fioriture. L'alterazione di uno solo di questi fattori può influire negativamente sulla capacità delle piante di generare nettare o sulla possibilità dell'ape di rintracciarlo e raccogliarlo. **Qualsiasi sia il fattore alterato il risultato è lo stesso: un mancato raccolto.**

Il fatto che questi fattori siano correlati rende lo studio dei flussi nettariiferi esponenzialmente più complesso rispetto al processo di crescita dei frutti. Se un agricoltore non trova più le mele che avevano allegato ad aprile sugli alberi del suo frutteto sa automaticamente che la pianta non è in salute. Se invece l'apicoltore non trova il miele nel melario è tutt'altro che banale individuare con certezza la causa. I fiori potrebbero non aver prodotto nettare, oppure le temperature erano tali per cui le api non sono riuscite a volare, oppure ancora le api non erano in piena salute e per questo non sono riuscite a bottinare efficientemente. Come se non bastasse la motivazione del mancato raccolto potrebbe essere anche la combinazione delle cause appena elencate. Insomma, **una matassa piuttosto difficile da districare, ma non impossibile.**

3. Metodologia: come si costruisce un modello previsionale con l'IA

3.1 Cos'è l'intelligenza artificiale

Abbiamo parlato di quanto sia diffusa e quanto possa essere utile l'intelligenza artificiale anche per comprendere e prevedere fenomeni complessi come i flussi nettariferi; ma in definitiva cos'è un'IA e come le si insegna a prevedere la produzione di miele?

Cominciamo con il "cos'è": rispondere a questa domanda non è così semplice siccome per l'espressione sono disponibili svariate definizioni, le cui differenze sfociano spesso in questioni filosofiche. Secondo la Treccani *"Si chiama intelligenza artificiale (IA) quel settore dell'informatica che studia la possibilità di costruire computer che siano in grado di riprodurre il funzionamento di alcune capacità della mente umana..."*.

Va da sé che una definizione enciclopedica, per quanto utile, non è sufficiente per avere un'idea precisa, seppur intuitiva, di cosa sia e soprattutto di cosa non sia un'intelligenza artificiale. Per esempio una calcolatrice tradizionale non è un'intelligenza artificiale, eppure sembra rientrare in toto nella definizione della Treccani: *"... computer... in grado di riprodurre il funzionamento di alcune capacità della mente umana..."*. La calcolatrice è assimilabile a un semplicissimo computer in grado di fare calcoli come li farebbe una mente umana, eppure esiste e viene utilizzata da prima che il termine IA fosse coniato.

In definitiva **la calcolatrice non è un'intelligenza artificiale perché non ha la capacità di apprendere, essa esegue solo le operazioni matematiche per le quali è stata programmata e non può modificare il proprio comportamento in base alle esperienze passate o alle nuove informazioni che riceve**. Se una calcolatrice fosse stata programmata in maniera sbagliata per dire che $2+2=5$, questa continuerebbe all'infinito a dare lo stesso risultato sbagliato in quanto non ha strumenti per verificare la bontà del proprio calcolo.

Una calcolatrice basata sull'intelligenza artificiale, invece, funzionerebbe in modo totalmente diverso: inizialmente non sarebbe programmata per alcuna operazione ma avrebbe due tasti suppletivi che servirebbero per comunicarle se i risultati che genera sono giusti o sbagliati. Al primo utilizzo questa calcolatrice sputerebbe numeri casuali, ossia al "quanto fa $2+2$?" potrebbe rispondere 45. Ecco che in questo caso dovremmo farle sapere che sta sbagliando, premendo il tasto che corrisponde a "risposta sbagliata". Affinché la calcolatrice impari e incominci a funzionare correttamente occorre interrogarla ripetutamente, chiedendole di fare calcoli diversi ($2+3$, $5+7$, $4+4$, ecc...), sempre premendo, a ogni tentativo, il corrispettivo tasto per farle sapere se la risposta che ci ha fornito è giusta o è sbagliata. Dopo svariati tentativi vedremo che la calcolatrice ci restituirà il risultato corretto sempre più frequentemente, **in quanto sta imparando il funzionamento della somma grazie all'esperienza fatta**.

Nel caso della calcolatrice, utilizzare l'intelligenza artificiale sarebbe ovviamente sconveniente in quanto è molto più semplice programmare uno strumento tradizionale, capace



Figura 4 | Calcolatrice e intelligenza artificiale. "Dipinto" realizzato da un'intelligenza artificiale sul sito www.crayon.com

di fornirci fin dal primo utilizzo la risposta giusta. Inoltre, non c'è nessun vantaggio nell'istruire una calcolatrice che potrà solo imparare che $2+2$ fa sempre 4. **L'utilizzo delle intelligenze artificiali diventa essenziale laddove sia necessario migliorare continuamente le prestazioni per adattare le risposte ai cambiamenti dell'ambiente in cui si opera.**

Ecco che, per esempio, prevedere un flusso nettarifero in tempo di cambiamento climatico sembra proprio pane per i denti di un'IA.

3.2 Esempio (semplicissimo) della costruzione di un modello previsionale

Per meglio capire come un'intelligenza artificiale apprenda e funzioni in ambito apistico proviamo a creare un modello previsionale molto semplice qui sulla carta: **un'IA in grado di prevedere l'andamento del peso di un alveare sulla sola base dell'andamento della variabile temperatura dell'aria.**

Nel costruire questo modello dobbiamo partire dalla raccolta di esempi che possiamo usare per istruire l'intelligenza artificiale. Per iniziare, partiamo con due semplici esempi raccolti da un ipotetico apicoltore.

Esempio 1: la temperatura è di $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ e il peso dell'alveare aumenta.

Esempio 2: la temperatura è di $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e il peso dell'alveare diminuisce.

A questo punto l'intelligenza artificiale impara creando un albero decisionale basato sugli esempi che gli forniamo (vedi fig. 5). Siccome l'algoritmo sa solo che a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ il peso sale e a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ cala, il limite tra aumento e diminuzione del

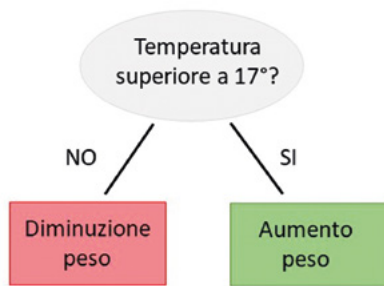
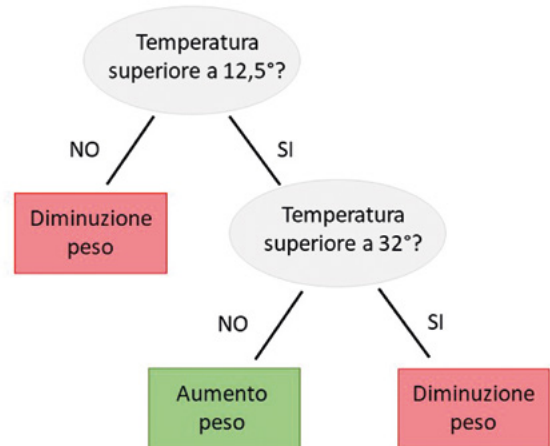


Figura 5 | Albero decisionale che determina l'aumento o la diminuzione del peso dell'alveare sulla sola base della temperatura. Questo albero è estremamente semplice ed è caratterizzato da una temperatura-soglia molto approssimativa, in quanto è stato creato a partire da due soli esempi

Figura 6 | Albero decisionale che determina l'aumento o la diminuzione del peso dell'alveare sulla sola base della temperatura. Questo albero, con due biforcazioni, mostra un livello di complessità più alto del precedente. Inoltre, le soglie tra temperature ottimali e temperature sfavorevoli sono state stimate con più precisione. Questo grazie a un apprendimento basato su molti esempi e quindi più completo



peso viene fissato automaticamente a metà fra i due valori, a 17 °C, come da media aritmetica.

L'albero decisionale qui creato può già essere utilizzato per fornire previsioni, che però non saranno particolarmente accurate. Infatti per ogni temperatura inferiore a 17 °C verrà previsto un abbassamento del peso dell'alveare e viceversa, per ogni temperatura superiore a 17 °C, verrà previsto un innalzamento del peso.

Per ottenere una previsione più precisa urge quindi fornire all'intelligenza artificiale più esempi, in modo che impari meglio. Proviamo a fornirle un migliaio di esempi dello stesso tipo e le cose cominceranno a cambiare:

Esempio 1: la temperatura è di 24 °C e il peso dell'alveare aumenta.

Esempio 2: la temperatura è di 10 °C e il peso dell'alveare diminuisce.

...

Esempio 999: la temperatura è di 22 °C e il peso dell'alveare aumenta.

Esempio 1000: la temperatura è di 11 °C e il peso dell'alveare diminuisce.

Grazie al maggior numero di esempi l'albero decisionale è ora più complesso (vedi fig. 6). Due cose sono cambiate: la soglia che prima era a 17 °C è stata stimata in maniera più precisa a 12,5 °C e poi è stata individuata un'altra soglia a 32 °C oltre la quale il peso torna a scendere.

Per costruire l'albero decisionale l'IA ha analizzato gli esempi e ha individuato che in una maggioranza di casi in cui la temperatura è compresa tra 12,5 °C e 32 °C, il peso dell'alveare aumenta. Al contrario, in una maggioranza di esempi con una temperatura inferiore a 12,5 °C o superiore

a 32 °C, il peso dell'alveare diminuisce.

L'attuale modello, alla luce dell'esperienza fatta con l'analisi dei dati, prevede ora che il peso salirà ogni volta che la temperatura sarà compresa tra 12,5 °C e 32 °C; viceversa, al di fuori di questo intervallo, la previsione è che il peso calerà.

Senza dubbio queste previsioni sono migliori delle precedenti ma possono ancora essere migliorate, e di parecchio. La fonte di errore sta nel fatto che la temperatura è solo uno dei fattori che influenzano la raccolta di miele. Infatti, come detto poco sopra, nell'intervallo di temperatura ideale (tra 12,5 °C e 32 °C) la maggior parte degli esempi mostra un innalzamento del peso, ma non la totalità. Ciò vuol dire che, nonostante la temperatura sia ideale, in alcuni casi il peso cala. Probabilmente questo calo è da attribuire ad altri fattori.

Prima però di procedere aggiungendo altri fattori al modello previsionale vale la pena provare a interpretare i risultati del semplice modello che abbiamo costruito, facendo due riflessioni sull'unico parametro finora utilizzato per istruire l'IA, la temperatura.

Questo parametro è fondamentale per sapere se ci sono le condizioni affinché l'ape possa volare e rintracciare i fiori. Diversi fattori possono bloccare l'ape all'interno dell'arnia o danneggiare le fioriture, come il forte vento o abbondanti precipitazioni ma quello che meglio descrive l'interazione fra api e fiori è la temperatura. Se fa troppo freddo l'insetto non vola e i fiori non riescono a secernere il nettare per cui vengono a mancare due dei tasselli necessari alla produzione di miele. Se fa troppo caldo, al contrario, le api sono impegnate a termoregolare l'alveare e "trascurano" il raccolto mentre la fotosintesi clorofilliana che sintetizza gli zuccheri non può più avvenire, le piante chiudono gli stomi e di conseguenza si interrompe la produzione di nettare.

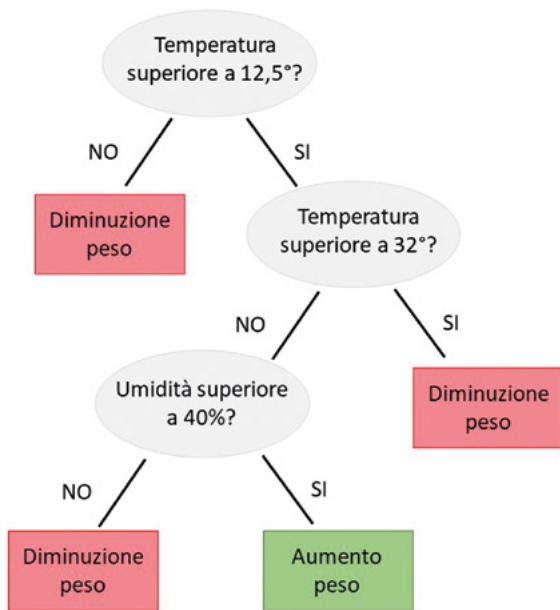


Figura 7 | Albero decisionale che determina l'aumento o la diminuzione del peso dell'alveare sulla base di due variabili: temperatura e umidità. Questo albero si presenta più complesso dei precedenti in quanto deve poter rappresentare tutte le diverse combinazioni di temperatura e umidità che influiscono sulla variazione di peso dell'alveare

In conclusione questo semplicissimo modello previsionale, che basa le proprie scelte solo sulla temperatura dell'aria, riesce a carpire relativamente bene se ci sono le condizioni necessarie affinché l'ape incontri il fiore. In altre parole, **un modello previsionale basato sul solo parametro termico riesce a descrivere, e a prevedere, le concrete possibilità che le interazioni aeree tra piante e api abbiano luogo.**

Se questo modello comprende quando ci sono le condizioni per l'interazione pianta-ape non sa dire nulla però sulla reale presenza e rintracciabilità del nettare nei fiori. **La sola temperatura dell'aria non è sufficiente a descrivere le condizioni affinché un flusso nettario abbia concretamente luogo.** Allo stato attuale, quindi, potremmo utilizzare questo modello solo per sapere se le api potranno volare. Se la previsione è negativa significa che non ci saranno le condizioni quindi sapremo con certezza che non si produrrà miele. Se è positiva, invece, non possiamo essere sicuri che si produrrà miele perché comunque non sappiamo, né noi né l'IA, se ci sarà nettare a disposizione.

Bisogna quindi aggiungere qualche parametro che meglio descriva la disponibilità di nettare. Primo tra i candidati troviamo **l'umidità relativa** dell'aria, che ha un ruolo importante sia nella "conservazione" nel tempo del nettare secreto dal nettario sia per l'operatività dei microrganismi presenti sui fiori, che con la loro attività metabolica originano quei "profumi" senza i quali le api non rintraccerebbero il fiore stesso. Mentre l'ape potrebbe volare con qualsiasi condizione di umidità (si pensi a un saccheggio settembrino), il microcosmo florale è molto sensibile agli abbassamenti igrometrici. In altre parole se l'umidità è troppo bassa la disponibilità e/o la rintracciabilità del nettare vengono a mancare. In un clima troppo asciutto, infatti, il nettare perde parte del suo contenuto di acqua e diventa vischioso (o secco) e privo di attività microbica (inibita dalla pressione osmotica), rendendosi di fatto inaccessibile alle api bottinatrici.

L'umidità relativa è quindi un parametro essenziale, come la temperatura dell'aria, per descrivere la produzione di miele. Procediamo quindi ad aggiungere questa variabile al nostro modello previsionale. Per far ciò dobbiamo riformulare i nostri esempi fornendo anche informazioni sull'umidità ed essi diventeranno quindi di questo tipo:

Esempio 1: la temperatura è di 24 °C, l'umidità è 65% e il peso dell'alveare aumenta.

Esempio 2: la temperatura è di 10 °C, l'umidità è 80% e il peso dell'alveare diminuisce.

.....

Esempio 999: la temperatura è di 22 °C, l'umidità è 90% e il peso dell'alveare aumenta.

Esempio 1000: la temperatura è di 11 °C, l'umidità è 20% e il peso dell'alveare diminuisce.

Con i nuovi esempi otteniamo un albero decisionale più complesso in cui appare anche il parametro dell'umidità (vedi fig. 7). In questo caso la previsione prevede l'aumento del peso solo se la temperatura è compresa tra 12,5 °C e 32 °C e l'umidità relativa è superiore a 40%.

Ora è possibile avere delle **previsioni più accurate, che tengono conto anche della fruibilità del nettare e non solo della possibilità di incontro tra api e fiori.**

A questo punto abbiamo un modello in grado di prevedere accuratamente la reale possibilità dell'interazione "feconda" fra piante e api. L'intelligenza artificiale sa ora dirci se le api possono volare e se possono rintracciare e raccogliere agevolmente il nettare dei fiori.

Non sa ancora dirci, però, se gli alveari hanno la forza di raccogliere il nettare in abbondanza e se le piante sono in condizioni di originare un flusso nettario. Va quindi ulteriormente migliorato.

3.3 Cosa serve per migliorare

Il metodo più ovvio per ottenere un miglioramento nella precisione del modello è quello di aggiungere altre variabili come per esempio le precipitazioni, l'irraggiamento solare, ecc... per descrivere non solo l'interazione tra api e piante, ma per portare nell'albero decisionale tutti i fattori ambientali che hanno un ruolo nella produzione di nettare. Se riuscissimo ipoteticamente a inserire nell'albero

decisionale la rappresentazione per variabili dell'ambiente intero otterremmo un modello previsionale precisissimo.

Attenzione però che **aumentando la quantità di variabili, il numero di esempi necessari per istruire l'IA aumenta esponenzialmente. Se con due variabili (temperatura e umidità) mille esempi sono sufficienti, con dieci variabili ci vogliono molti più esempi, oltre centomila.** Se non vengono forniti sufficienti esempi le previsioni rischiano di essere completamente sbagliate. Infatti bisogna tenere conto che il modello qui mostrato nelle figure è una semplificazione estrema, volta a mostrare in maniera intuitiva come funzionano queste tipologie di intelligenze artificiali. I modelli impiegati per fenomeni complessi possono basare le loro scelte su combinazioni di più alberi decisionali e inoltre ogni albero può presentare centinaia di livelli invece che i due o tre del nostro esempio.

Aspetti tecnici a parte, il modello finora ottenuto ci dice qualcosa solo su due dei fattori necessari per produrre miele. Uno dei tasselli mancanti è **la forza degli alveari.** Questo fattore dipende da variabili ambientali (si pensi a un avvelenamento prima o durante il raccolto) e da come l'apicoltore gestisce le proprie api. Seppure anche la temperatura e l'umidità relativa possano in parte influenzare la salute delle api, sarebbe folle pensare di poter stimare la forza di un alveare sulla sola base di queste variabili. **In altre parole senza aprire gli alveari è impossibile fare una stima diretta sulle capacità delle colonie di raccogliere nettare.**

Tuttavia, lo studio della variazione di peso giornaliera in combinazione con le variabili ambientali *temperatura e umidità relativa* **ci fornisce un'informazione indiretta sulla quantità di bottinatrici presenti nell'alveare.** E questa è una variabile utile a prevedere la capacità di raccolta.

4. Il nostro modello

Il progetto **HonAI** è nato nel 2021 dall'incontro tra un team di "data scientist" (coloro che lavorano con le intelligenze artificiali) e Aspromiele. L'associazione apistica piemontese ha messo a disposizione i dati raccolti dalla sua rete di bilance e i data scientist hanno portato con sé le competenze necessarie per creare un'intelligenza artificiale. In questa fase iniziale, lo studio è stato per forza di cose limitato a livello territoriale in quanto tutti i dati a disposizione sono stati raccolti in Piemonte.

Per istruire l'intelligenza artificiale sono stati utilizzati i dati raccolti dalle bilance della rete Beerap: temperatura, umidità relativa, peso dell'alveare e giorno dell'anno. Queste variabili sono molto importanti per diverse ragioni. La variazione di peso dell'alveare ci dice se le api stanno producendo miele o al contrario stanno consumando le scorte. La temperatura e l'umidità relativa dell'aria influenzano la produzione e la disponibilità del nettare e determinano se l'ape è in grado di volare e bottinare. Il giorno dell'anno, invece, indica quali fioriture sono presenti in quel momento per capire se la variazione di peso osservata fa riferimento all'importazione di nettare di acacia piuttosto che di castagno, ad esempio.

Facciamo un esempio per spiegare come si possa estrarre questa informazione: supponiamo che nei due giorni appena trascorsi la temperatura e l'umidità siano state perfette per la produzione di miele. Se il peso è salito di molto siamo sicuramente di fronte a una famiglia in salute e numerosa. Se il peso è aumentato di poco la famiglia potrebbe essere piccola o ritrovarsi comunque con poche bottinatrici. Se invece il peso è calato probabilmente siamo di fronte a una famiglia con dei problemi o molto debole.

Attraverso una misurazione indiretta della forza dell'alveare (di quello posizionato sulla bilancia, ovviamente) **ecco che anche questo tassello rientra nel modello previsionale.** Se poi l'alveare posizionato sulla bilancia è rappresentativo per l'apiario che lo ospita, l'intelligenza artificiale riuscirà a essere più precisa nelle sue previsioni per la postazione, semplicemente inserendo nell'albero decisionale un terzo livello di valutazione.

A questo punto per "completare" il quadro delle principali variabili che incidono sui flussi nettariferi **manca soltanto un parametro in grado di descrivere la qualità delle interazioni tra le radici delle piante e i microrganismi del sottosuolo,** ovvero in grado di dire all'IA se le piante sono in grado o meno di produrre nettare.

Come abbiamo già accennato nell'introduzione la comprensione dei processi biologici che avvengono nel sottosuolo ha richiesto l'attivazione di un progetto "parallelo", mirato a rintracciare una variabile che più di altre potesse descrivere l'origine dei flussi nettariferi.

Riprenderemo il discorso più avanti, quando parleremo degli sviluppi futuri del modello previsionale.

Il processo di apprendimento avviene come spiegato nel capitolo 3. Vengono forniti svariati esempi in cui si indica quanto è stato raccolto (variazione di peso) e quali condizioni ambientali erano presenti al momento della raccolta (temperatura, umidità, ecc...). Grazie a queste informazioni la macchina individua le correlazioni tra produzione di miele e condizioni ambientali. Impara per esempio che a temperature o umidità troppo basse il peso cala mentre con 23 °C e umidità relativa al 60% il peso sale praticamente sempre (se ci sono fiori).

Terminata questa fase di "allenamento" dell'IA è sufficiente fornire le condizioni ambientali che si verificheranno nel periodo di fioritura ed ecco che l'intelligenza artificiale produrrà una previsione sulla variazione di peso attesa. **In altre parole, utilizzando le previsioni meteo di domani, possiamo fornire all'intelligenza artificiale i valori di temperatura e di umidità che si verificheranno e in risposta essa ci dirà come varierà il peso dell'alveare domani.**

Tutto così semplice e immediato? Sono stati sufficienti i dati di Beerap per far funzionare le previsioni?

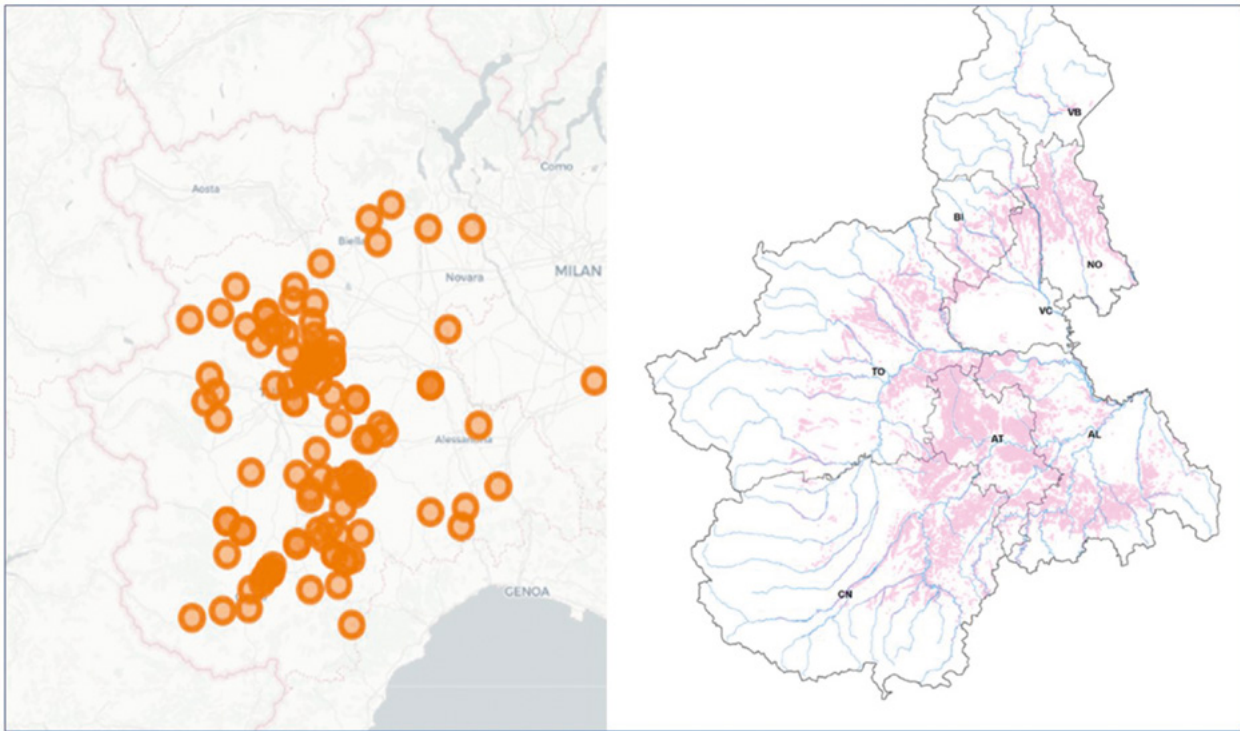


Figura 8 | Sinistra: postazioni in cui sono presenti le bilance della rete Beerap nel mese di maggio. Destra: distribuzione dei boschi di acacia in Piemonte, fonte: Regione Piemonte. La distribuzione delle bilance rispecchia la copertura dei boschi di acacia presenti sul territorio, risorsa strategica per la produzione di miele in Piemonte

Non proprio. Da questo punto di vista il nomadismo è una bella complicazione. Siccome infatti le bilance degli apicoltori vengono spostate frequentemente, i dati di temperatura e umidità a disposizione nell'archivio di Beerap sono raccolti in zone diverse nell'arco dello stesso anno. Questo significa che nel preparare gli esempi con cui istruire la macchina disponiamo solo di temperatura e umidità che si sono verificate in concomitanza alla misura del peso. Consideriamo per esempio la variazione di peso verificatasi il 15 aprile 2023 tra le 12:00 e le 13:00: la bilancia, nello stesso momento, ha misurato anche i valori esatti di temperatura e umidità relativa. Eccellenti dati per fare previsioni sulla produzione di tarassaco nelle zone tardive del territorio piemontese. Se però volessimo sapere che temperature c'erano ad agosto, nello stesso luogo, per stimare l'impatto della temperatura su una precisa fase fenologica di una pianta di interesse apistico abbiamo le mani legate in quanto ad agosto quella bilancia si trovava in altri luoghi, magari su altre fioriture.

La mancanza dello storico di temperatura e umidità non è un problema laddove vogliamo prevedere se l'ape sarà in grado di volare e raggiungere i fiori il giorno dopo o nell'arco della settimana successiva. Infatti, in questo caso, l'unica cosa che conta conoscere è il profilo meteorologico della postazione in tempo reale. Se due mesi prima è piovuto o ha tirato vento non è rilevante ai fini della previsione.

Per quanto concerne la disponibilità del nettare il discorso è diverso, e più complesso. Le condizioni nell'immediato sono certamente importanti; come detto in precedenza, se le temperature sono troppo alte la pianta blocca la produzione di nettare. Allo stesso modo, se l'umidità si abbassa eccessivamente le api non riescono a raccogliere il nettare in quanto diventa troppo vischioso.

Tuttavia, ai fini della disponibilità del nettare, ci sono condizioni che devono verificarsi (o non verificarsi) nei periodi precedenti la fioritura e antecedenti alla presenza delle api (e della bilancia) in quella postazione. Immaginiamo per esempio il caso in cui ci si sia stata una gelata nel periodo più delicato, quello che va dall'apertura delle gemme alla comparsa dei fiori. Un simile fenomeno può danneggiare la pianta in maniera molto seria, al punto da inibire o annullare la sua capacità di produrre nettare durante la fioritura (ammesso che essa si verifichi).

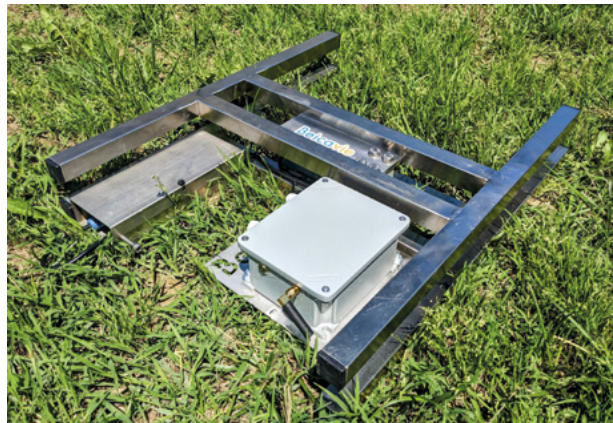
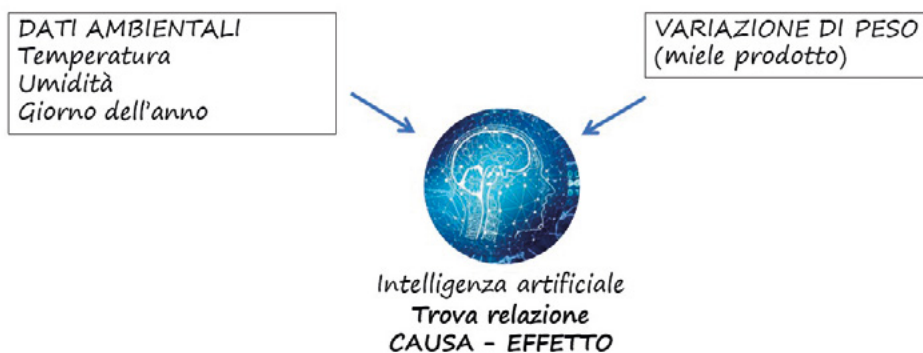


Figura 9 | Bilancia Beicavie utilizzata per raccogliere i dati. Questa bilancia è stata sviluppata per essere uno strumento di lavoro ma anche per raccogliere dati ad alta precisione, che possano essere utilizzati a fini di ricerca

1 – Processo di apprendimento



2 – Previsioni

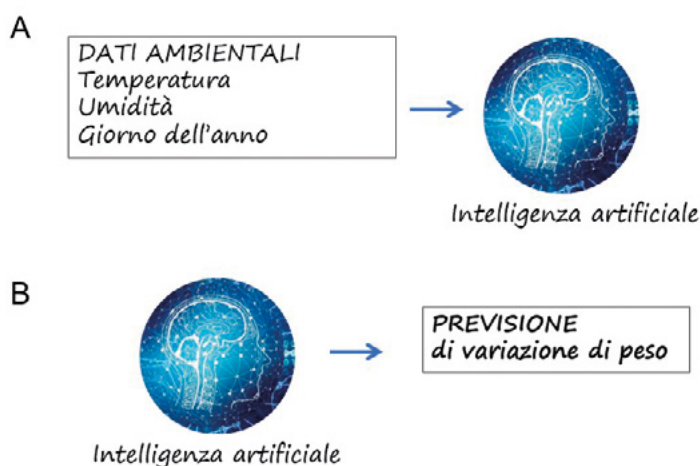


Figura 10 | Fasi della creazione, sviluppo e utilizzo di un'intelligenza artificiale. 1 - Nella prima fase, quella dell'apprendimento, vengono proposti degli esempi. Per ogni variazione di peso registrata vengono indicati i dati ambientali che sono stati rilevati in quel momento quali: temperatura e umidità, oltre che il giorno dell'anno in cui ci si trova. Sulla base di queste informazioni l'IA trova le relazioni causa-effetto tra i dati ambientali e le corrispettive variazioni di peso. 2 - Una volta che le relazioni causa-effetto (o correlazioni) sono state individuate, è possibile procedere e generare le previsioni. Innanzitutto, si forniscono i dati ambientali relativi al luogo e al giorno di cui si vogliono avere le previsioni (A). Dopodiché, sfruttando le correlazioni individuate nella fase dell'apprendimento, l'IA è in grado di produrre la previsione di variazione di peso (B). L'intero processo si reitera ripetutamente utilizzando i nuovi esempi che costantemente vengono generati. Questo permette all'intelligenza artificiale di migliorare la qualità delle previsioni costantemente

Se guardiamo all'acacia, un periodo molto importante è l'estate. In questa stagione la pianta produce zuccheri tramite la fotosintesi, zuccheri che vengono accumulati nelle radici sotto forma di amidi. Una volta attraversato l'inverno, l'acacia deve fare affidamento su queste provviste per riattivarsi, fiorire e produrre nettare. **La quantità di nettare prodotto in primavera dipende quindi anche da quanti zuccheri è riuscita ad accumulare nell'estate precedente e non solo dalla sua capacità di produrre amilasi radicali a fine aprile.** Un'estate caratterizzata da molti giorni con temperature troppo alte impedisce alla pianta di svolgere la fotosintesi clorofilliana e quindi di accumulare zuccheri. Di conseguenza la primavera successiva saranno disponibili poche provviste e in carenza di energia la produzione di nettare è la prima a essere ridimensionata, in quanto non essenziale per la sopravvivenza della singola pianta.

Al netto di quanto detto, la mancanza di storico è un problema che si può risolvere cercando altre fonti di dati. Allo stato attuale dei lavori, anche grazie ai dati ambientali acquisiti fuori dall'ambito apistico, abbiamo comunque un

modello in grado di carpire bene la relazione pianta-ape e in parte anche di comprendere i meccanismi che regolano la disponibilità del nettare (se presente).

4.1 Performance: test 2022 e commenti

Il primo prototipo di HonAI è stato istruito su dati raccolti dalle bilance negli anni 2020 e 2021 per poi essere testato nel 2022, da alcuni tecnici apistici. Ogni giorno veniva prevista la variazione di peso dei successivi sette giorni. Per poter valutare la bontà delle previsioni è stato sufficiente confrontare i valori delle previsioni con l'effettiva variazione di peso registrata successivamente dalle bilance. **Il risultato è stato estremamente positivo, soprattutto considerando che siamo di fronte al primo servizio al mondo a fare previsioni di questo genere.** Inoltre, si sta parlando di un progetto allo stato embrionale e costruito su pochi dati.

Il test ha mostrato che la tendenza della previsione era sempre esatta fatta eccezione per pochi casi isolati. Quando la previsione indicava un incremento di peso quest'ultimo



Figura 11 | Previsioni di variazioni di peso stagione 2022, riguardanti a un apiario piemontese durante la fioritura del castagno. L'immagine mostra l'interfaccia delle bilance Beicavie. Sulla sinistra si vede il grafico che mostra l'andamento del peso dell'alveare. Il peso inizia ad aumentare a inizio giugno in corrispondenza della prima fioritura del castagno, che nei due anni precedenti è avvenuta a metà mese, quasi due settimane più in ritardo. Sulla destra si trova la previsione della variazione di peso, in chilogrammi, prevista nell'arco dei successivi 7 giorni (dall'8 al 15 giugno). Tale previsione, nello specifico, ha sottostimato l'effettivo aumento di peso che si è poi verificato: 10 kg invece dei 3,65 kg previsti. Questa applicazione era visibile solo ai tecnici che l'hanno testata, non a tutti i possessori di bilance Beicavie

poi effettivamente saliva; allo stesso modo, quando era prevista una diminuzione di peso questa si verificava.

Se andiamo invece ad analizzare l'attendibilità del numero esatto di kg da produrre fornito dalla previsione, questo era spesso diverso dalla realtà. La situazione peggiore si è osservata durante i raccolti di acacia e castagno 2022 in cui, in certi casi, le previsioni sottostimavano fino a tre o quattro volte l'effettivo aumento di peso.

In generale per poter migliorare le previsioni è utile cercare di capire il perché una previsione sbaglia. Questa operazione però è tutt'altro che immediata, in quanto il processo decisionale che porta alla previsione è troppo complesso per essere compreso. Insomma, si ha a che fare con una scatola nera: si conoscono i dati di ingresso (temperatura, umidità...) e si conoscono i dati in uscita (previsioni di variazione di peso), ma ciò che succede nel mezzo rimane ignoto, in capo solo all'IA.

Nel nostro caso possiamo comunque ipotizzare le cause delle errate previsioni, sulla base di ciò che sappiamo. La fonte dell'errore sull'acacia è facile da individuare: gli esempi usati per istruire la macchina facevano riferimento ad anni in cui l'acacia in Piemonte è andata male. Nel 2020 il raccolto è stato molto scarso, nel 2021 addirittura nullo. L'intelligenza artificiale pertanto non aveva mai visto un incremento giornaliero di 4 kg, come invece si è verificato in alcuni luoghi nel 2022. **Va da sé che non avendo mai fatto**

esperienza di tali incrementi di peso, non poteva prevederli.

Il caso del castagno presenta una situazione leggermente diversa. Sebbene i raccolti del 2020 e del 2021 siano stati discreti, **nel 2022 la fioritura si è manifestata con 10 giorni di anticipo rispetto ai due anni precedenti. Anche in questo caso, quindi, la macchina non poteva sapere che si potesse produrre così tanto in quel periodo**, in quanto nello stesso periodo i due anni precedenti erano presenti solo fioriture di mantenimento.

Ciò che è meno facile da capire è la ragione per cui in alcuni casi isolati è stato previsto un innalzamento del peso che non è poi avvenuto. Questi episodi si sono verificati nel periodo estivo sul raccolto del millefiori. L'apicoltore stesso non è riuscito a dare una spiegazione ai melari vuoti, ritenendo le condizioni ambientali ottime.

La probabile causa potrebbe essere la siccità che ha colpito il Piemonte per tutto il 2022.

È ragionevole pensare che abbia bloccato completamente il flusso nettario delle fioriture. **Se la causa del mancato raccolto è effettivamente la siccità non c'è da stupirsi che l'intelligenza artificiale abbia sbagliato, in quanto basando le previsioni esclusivamente su temperatura e umidità, non può sapere se ci sono state precipitazioni o meno e non può stimare se le interazioni biologiche sotterranee si verificano o no.**

5. Progressi 2022-2023

I test del 2022 hanno permesso di quantificare sul campo la precisione del modello previsionale allo stato attuale dei lavori. Ciò ha consentito di capire in quali situazioni può già essere impiegato dagli apicoltori e in quali invece necessita di ulteriori migliorie. Il verdetto è che le previsioni sono utilizzabili per individuare con anticipo l'aumento o la diminuzione di peso. D'altro canto non sono ancora abbastanza accurate per poter quantificare la variazione di peso.

Sulla base di questi risultati, per il 2023 è stata creata un'app che mostra semplicemente se il peso salirà o scenderà. Quest'app è attualmente utilizzata e testata da 7 apicoltori su 20 apiari con l'obiettivo di capire se lo strumento può

davvero aiutare l'apicoltore nello svolgimento del suo lavoro.

La previsione sull'andamento del peso viene visualizzata tramite icone di barattolini di miele. Tre barattoli verdi significa che il peso salirà, un barattolo rosso significa che il peso calerà, due barattoli arancioni significa che non è chiaro se il peso salirà o scenderà ma in linea di massima ci si aspetta una variazione bassa, in positivo o negativo. Per maggior completezza vengono mostrate due previsioni, una sui successivi 3 giorni e una sui successivi 6 giorni.

Per poter permettere all'apicoltore di valutare la bontà delle previsioni, queste vengono salvate su un grafico in

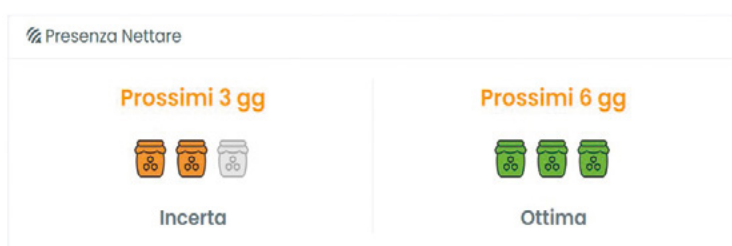


Figura 12 | Previsioni di presenza di nettare per i successivi 3 e 6 giorni. In questo caso specifico la previsione suggerisce che il peso nei successivi 3 giorni rimarrà pressoché stabile (sinistra), invece nei successivi 6 giorni aumenterà (destra)

Figura 13 | Sopra: Storico delle previsioni a 3 giorni. Sull'asse verticale è mostrato il giorno in cui è stata generata la previsione mentre l'asse orizzontale indica i giorni a cui fa riferimento la previsione. Per esempio il 26 aprile la previsione è arancione per i successivi tre giorni (dal 27 al 29 aprile).

Sotto: Il grafico mostra l'andamento del peso dell'alveare a cui fanno riferimento le previsioni. Si nota un'inversione di tendenza del peso che attorno al 27 e 28 aprile smette di scendere ed inizia a salire, esattamente come previsto nel passaggio dal rosso al verde negli stessi giorni

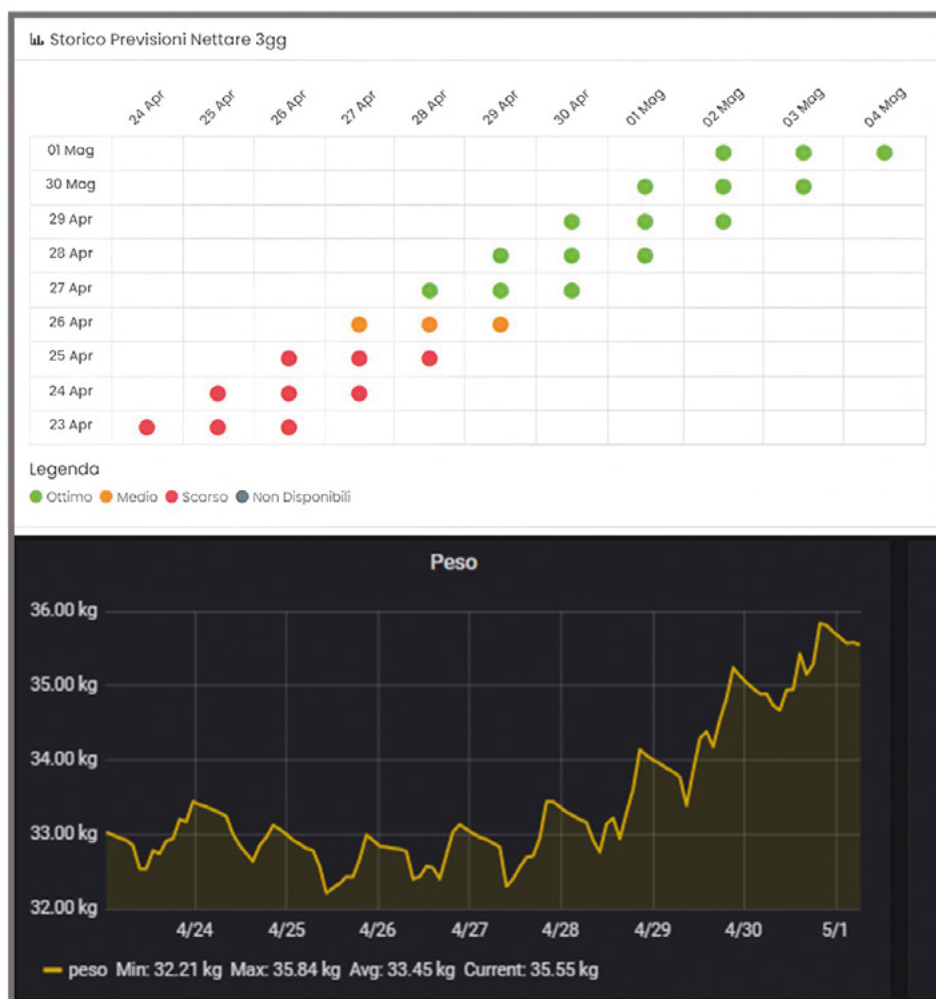


Figura 14 | Previsioni meteo dei successivi 7 giorni, generate esplicitamente per le coordinate dell'apiario. In questa visione d'insieme, per motivi di spazio, vengono mostrati solo alcuni valori quali: massime e minime di temperatura, umidità e precipitazioni

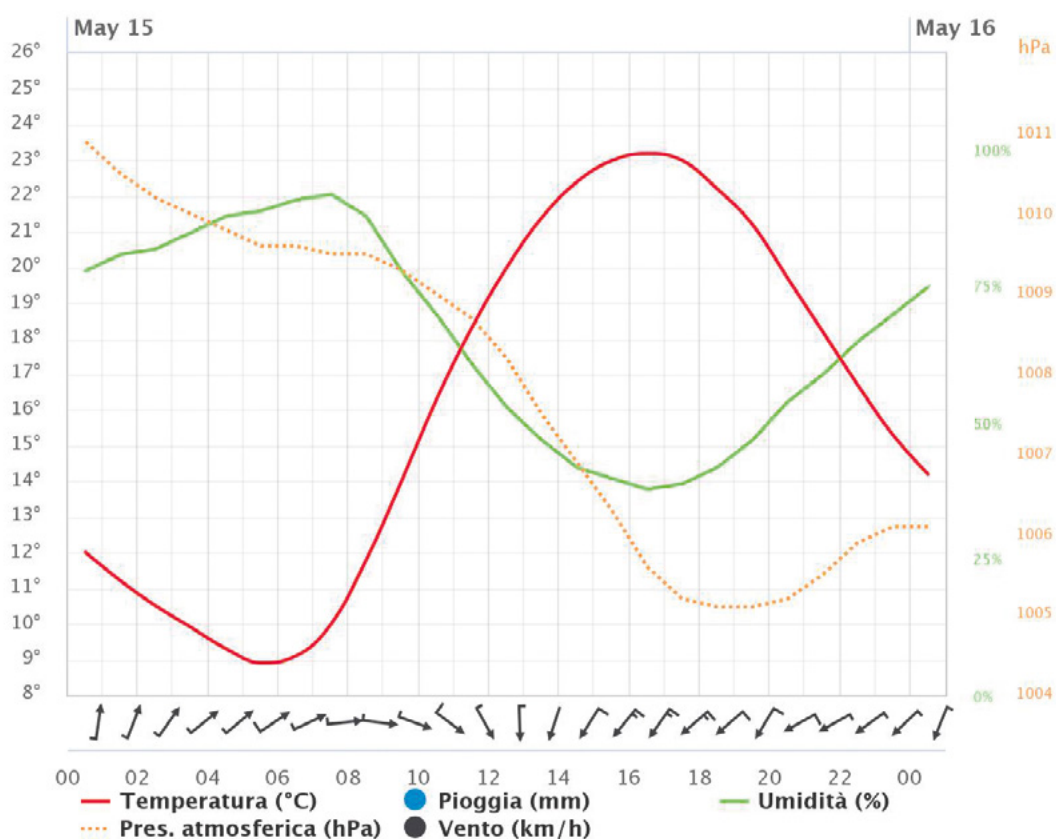


Figura 15 | Previsioni meteo dettagliata con valori orari. Per ognuno dei successivi 7 giorni è possibile visionare la previsione meteo dettagliata con granularità oraria. Qui sono mostrati tutti i valori di: temperatura, umidità, pioggia, vento (direzione e intensità) e pressione atmosferica.

maniera che siano visibili anche i giorni successivi. Sull'asse verticale è mostrato il giorno in cui la previsione è stata prodotta e sull'asse orizzontale sono mostrati i giorni a cui fa riferimento.

Nella figura 13 viene mostrato lo storico di previsioni fatte su un apiario in Piemonte. La progressiva variazione dal rosso al verde mostra il passaggio da mancanza di nettare a comparsa del nettare. In questo caso specifico le previsioni sono state molto accurate, in quanto la bilancia dell'apicoltore ha registrato tra il 27 e il 28 aprile l'inizio dell'importazione di nettare di acacia.

Per finire, l'app mostra anche le previsioni meteo dei successivi 7 giorni. Queste previsioni sono le più precise sul mercato: previsioni fatte ad hoc per le coordinate geografiche in cui si trova l'apiario. Tali previsioni costano un po', a differenza di quelle consultabili gratuitamente su internet. Tuttavia questa spesa è necessaria perché, come spiegato in precedenza, l'intelligenza artificiale basa le sue stime anche sulle previsioni delle condizioni meteorologiche. **Ovviamente se le previsioni meteo sono poco precise, anche le previsioni sulla variazione di peso ne risentiranno.**

6. Come migliorare il modello in chiave futura

Per migliorare le previsioni bisogna agire su due fronti: aumentare i dati con cui istruire l'intelligenza artificiale (fornendo esempi, come illustrato nel capitolo 3) e includere altre variabili a fianco di temperatura e umidità. Quando si parla di estendere la raccolta dati si intende sia dal punto di vista temporale che geografico. Nel caso del Piemonte l'incremento temporale avverrà automaticamente con la rete di bilance, che anno dopo anno continua a incrementare le sue dimensioni e a raccogliere dati. Si assisterà quindi nel prossimo futuro a un continuo miglioramento delle previsioni fatte per il territorio regionale.

Questo approccio, però, non è sufficiente siccome un modello previsionale istruito solo sui dati del Piemonte non può essere utilizzato al Sud, ad esempio, in quanto l'IA non ha esperienza con la fioritura degli agrumi e delle altre specie mellifere non presenti in Piemonte. Nel caso di altre regioni del Nord l'intelligenza artificiale potrebbe dare buone previsioni, anche se non si potrà pretendere ad esempio di prevedere le mancate produzioni causate dalla Bora sulla base della sola esperienza piemontese. **Per farla breve, bisognerebbe utilizzare dati dell'intera Penisola per avere previsioni molto precise. Meglio ancora sarebbe estendere l'indagine oltre i confini nazionali.**

Fortunatamente ci si sta già muovendo in questa direzione. Attualmente, si è già intavolato un confronto con l'Osservatorio Nazionale del Miele e con le associazioni apistiche di Liguria, Lombardia, Veneto e Toscana aderenti a Unaapi. Il fine è quello di valutare come inserire nel progetto i dati da loro raccolti.

Inoltre un'associazione tedesca, affascinata dal progetto, ha messo a disposizione i propri dati relativi alla Renania settentrionale-Vestfalia.

6.1 Altre variabili

Una volta che si abbiano a disposizione sufficienti dati sarebbe utile considerare anche altre variabili oltre a quelle già menzionate fin qui. Ad esempio, potrebbe essere inclusa nel modello **un'informazione che indichi in maniera precisa quali piante di interesse mellifero sono in fiore nel momento in cui si produce una previsione.** Per far ciò si potrebbero ad esempio utilizzare le immagini satellitari fornite dall'agenzia spaziale europea (ESA). Attraverso l'analisi di tali immagini è possibile infatti controllare periodicamente la comparsa delle fioriture. Tuttavia questa operazione è tutt'altro che immediata e necessita di molto lavoro.

Altre variabili importanti sono quelle che possono influenzare in modo significativo la produzione e la messa a disposizione del nettare da parte delle piante come la velocità del vento, la quantità di precipitazioni, l'evapotraspirazione e l'intensità delle radiazioni solari.

Il nodo della questione rimane capire, per istruire l'IA, se

i rubinetti del nettare sono aperti o chiusi, alla sorgente: variabili come il vento, la pioggia, l'irradiazione solare e l'evapotraspirazione possono essere molto utili per stimare le condizioni ambientali e fisiologiche in cui le piante vanno in fioritura ma la loro relazione reciproca e la loro interazione con il nettare non è di facile valutazione. Serve una variabile che in qualche modo "restituisca" gli effetti di tutti questi fattori sulla sorgente del nettare, in modo indiretto ma significativo.

Questa variabile l'abbiamo individuata nell'andamento della temperatura del suolo a 20 cm di profondità.

Ma facciamo un passo indietro, perché questa variabile e perché questa profondità? Nei primi 20 cm di suolo, alla base delle piante, si concentra la biodiversità che contribuisce in modo determinante alla produzione del nettare. **La sorgente dei flussi nettariiferi sta proprio lì. Da questa porzione di suolo, denominata rizosfera superficiale, derivano, tra le altre cose, l'acqua e gli zuccheri che, sotto forma di "linfa arricchita", giungono al fiore. Solo se la "linfa arricchita" è presente, il fiore, attraverso il nettario, può secernere il nettare. In caso contrario il fiore, da solo, non può offrire nulla alle api: dove prenderebbe infatti l'acqua e da dove ricaverebbe gli zuccheri?** Per piante come il ciliegio o l'acacia ad esempio, le riserve di amido radicale, opportunamente scisse da processi enzimatici, sono la fonte primaria del nettare dal momento che la fioritura di queste essenze avviene prima della fogliazione, e quindi prima dell'avvio della fotosintesi. Per queste piante **ciò che avviene nel sottosuolo prima e durante la fioritura è fondamentale per riuscire a produrre nettare.**

In altre parole se la rizosfera superficiale non funziona correttamente la produzione del nettare può risultare inibita o addirittura azzerata, anche se le condizioni atmosferiche sono favorevoli all'interazione tra piante e api. Se la sorgente si "secca" il flusso nettariifero non può originarsi, per mancanza di acqua, per mancanza di amidi, o per mancanza di attività biologica nel sottosuolo, che poi è quella che produce e "pompa" la linfa arricchita verso i fiori.

Indipendentemente dalla conformazione pedologica del suolo che ospita le piante, le interazioni tra le radici e i microrganismi devono essere efficienti affinché il nettare sia presente nei fiori. È la *conditio sine qua non*.

Nel progetto preliminare di monitoraggio dei flussi nettariiferi, messo in campo da Aspromiele per capire se è possibile monitorare la rizosfera superficiale, l'attenzione si è quindi focalizzata sull'individuazione delle variabili da cui dipende l'efficienza delle interazioni sotterranee e nessuno si è stupito quando è risultato che temperatura e umidità sono le principali protagoniste. Ogni processo biologico sul pianeta Terra è condizionato da queste due variabili e l'interazione tra radici e microrganismi non fa eccezione: **presenza di acqua e condizioni termiche stabili nei primi 20**

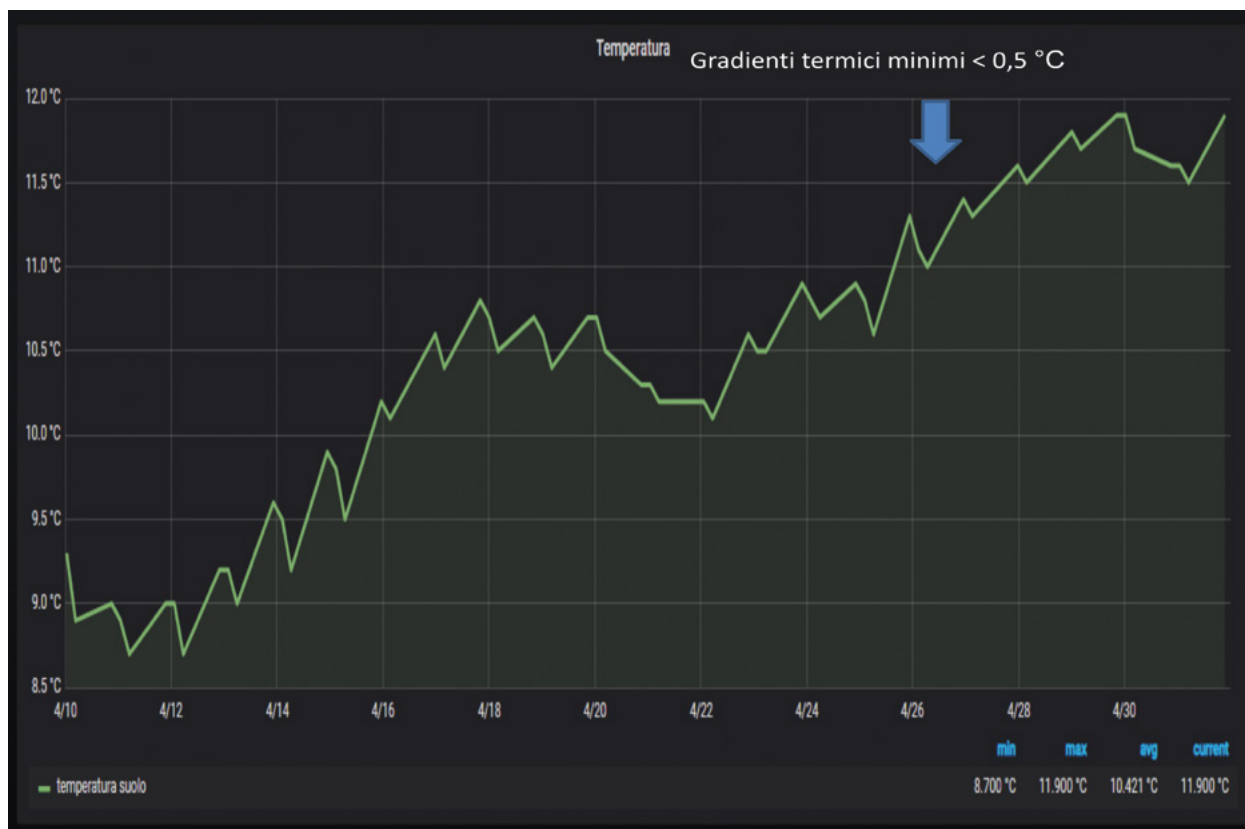


Figura 16 | Aprile 2022, rizosfera superficiale di un bosco di acacie. Non pioveva da dicembre ma il suolo era ancora dotato di una buona resilienza termica. Ottima produzione di miele conseguita a maggio

cm di rizosfera sono dunque i fattori imprescindibili affinché il nettare si origini.

Temperatura e umidità a 20 cm di profondità sono quindi le variabili giuste ma sono misurabili? È sufficiente sistemare dei sensori fra le radici delle piante di interesse mellifero e il gioco è fatto? Non è così semplice. Le prove di campo hanno infatti mostrato, ad esempio, come avere dati utili sulla presenza di acqua a terra non sia un'operazione così immediata. L'acqua presente a livello di rizosfera superficiale è in gran parte trattenuta come riserva dai microrganismi (soprattutto dai funghi), dalle radici delle piante e dalla sostanza organica per cui difficilmente rimane "libera" nel terreno, a disposizione del sensore, soprattutto in stagioni siccitose come le ultime tre. Ci è quindi capitato di osservare il verificarsi di abbondanti flussi nettariferi anche quando i sensori misuravano la completa assenza di acqua.

Se la presenza di acqua, così importante per la produzione di nettare (e di miele) non è misurabile in modo semplice e diretto, è però misurabile in modo indiretto tenuto conto del fatto che **la risorsa idrica è il principale agente termoregolatore della rizosfera. È proprio l'acqua, infatti, a immagazzinare e/o a dissipare calore nel terreno ed è da essa che dipendono le condizioni termiche che regolano le interazioni tra radici e microrganismi.** Misurare l'andamento della temperatura della rizosfera superficiale è quindi un'operazione in grado di fornire un'informazione indiretta, ma precisa, sulla disponibilità idrica e sull'efficienza delle interazioni biologiche che da essa dipendono.

Facciamo un esempio: immaginiamo un suolo molto secco, in cui le interazioni biologiche siano inibite dalla mancanza di acqua. Di giorno il calore del sole scalda la terra, la temperatura sale, l'evapotraspirazione non può avvenire e le radici delle piante e i microrganismi vengono esposti a un surriscaldamento critico. Di notte, invece, la parte minerale del terreno dissipa velocemente il calore accumulato durante il giorno e la terra si raffredda velocemente, esponendo radici e microrganismi a un vero e proprio shock termico. **Impossibile aspettarsi un flusso nettarifero dalle piante che abitano questo suolo.**

Se immaginiamo invece lo stesso suolo ma umido le cose cambiano radicalmente. Di giorno l'evapotraspirazione è il sistema ideale per evitare il surriscaldamento della componente biologica e di notte l'acqua si raffredda più lentamente rispetto alla componente minerale, trattenendo il calore accumulato durante il giorno e impedendo in questo modo che si verifichi uno shock termico. In altre parole **la presenza di acqua garantisce la stabilità termica della rizosfera, e di riflesso, favorisce le interazioni biologiche essenziali per la produzione di nettare.**

Ecco che dunque il rilevamento dell'andamento della temperatura della rizosfera superficiale, e in particolar modo dell'ampiezza delle escursioni termiche fra giorno e notte, diventa la fonte di informazioni che ci serve per migliorare il modello previsionale. **Le escursioni termiche della rizosfera superficiale sono infatti un indicatore ottimale per misurare la presenza di acqua, di attività biologica nel suolo e quindi della possibilità che si generi un flusso nettarifero.**

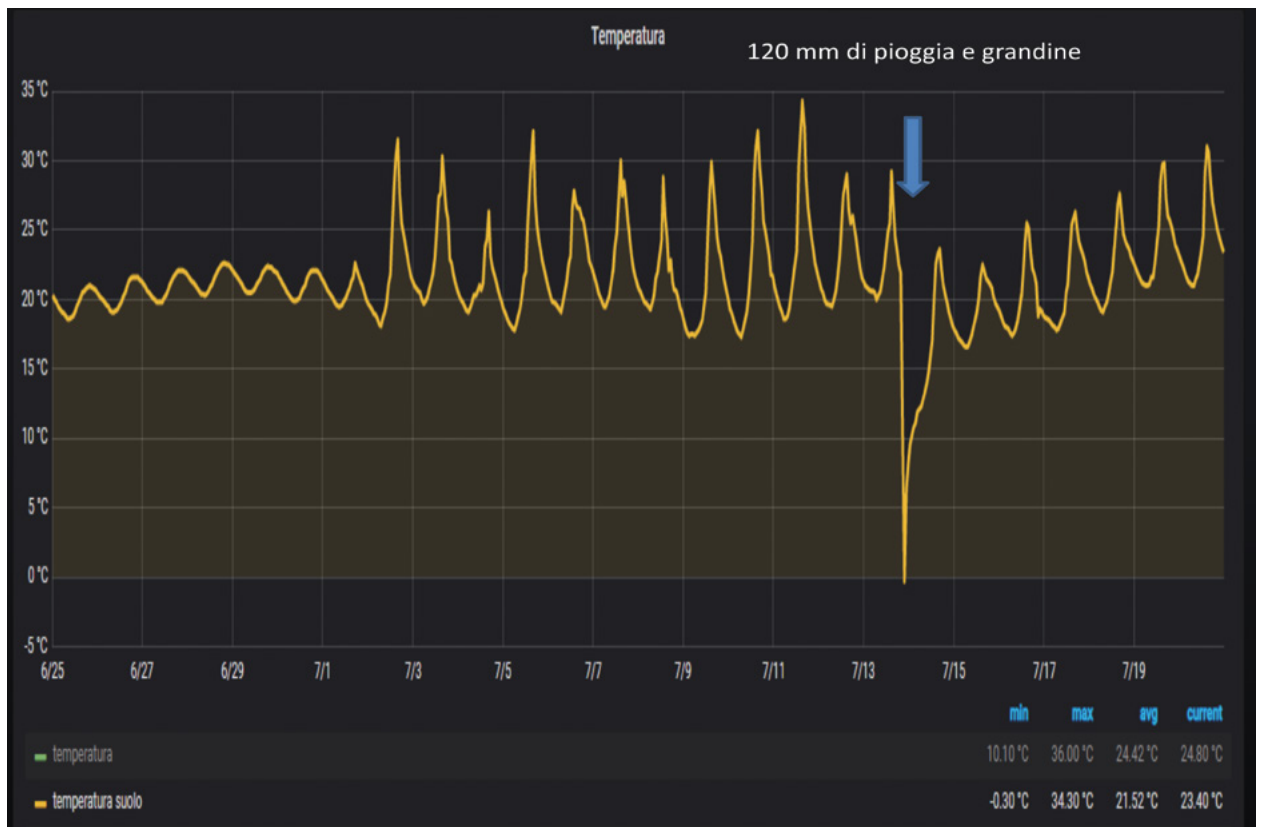


Figura 17 | Fine giugno, luglio 2021. La pioggia non è bastata a ripristinare la resilienza termica in un suolo povero di biodiversità e sostanza organica. Api alla fame (grave) per tutto il mese di luglio

Un trittico di esempi illustrati può chiarire il concetto.

Immaginiamo che non piova da mesi ma che il suolo che ospita le piante di acacia sia molto ricco in biodiversità e sostanza organica: tutta l'acqua disponibile è immagazzinata a livello superficiale, nei tessuti dei microrganismi, nelle radici e nell'humus, il che garantisce una "copertura" alla rizosfera contro fenomeni di surriscaldamento e shock termici, anche se la risorsa idrica non si rinnova. Le interazioni biologiche possono avvenire e il flusso nettario può generarsi, anche se magari in forma ridotta, "fino a esaurimento scorte". In questo caso un sensore di temperatura sistemato a 20 cm di profondità misurerà ridotti gradienti termici fra giorno e notte e un ridotto innalzamento delle temperature anche nelle ore più calde della giornata, pur in assenza di precipitazioni. **Il rapporto tra le condizioni termiche aeree e quelle sotterranee è "filtrato" dalla presenza di biodiversità attiva e di acqua immagazzinata, che sono a questo punto interpretabili attraverso i dati sulla temperatura a 20 cm di profondità.**

Immaginiamo invece che piova in modo abbondante ma su un suolo povero di biodiversità microbica e di sostanza organica. L'acqua non ha agenti che la trattengano a terra e di conseguenza il nostro suolo sarà soggetto a forte evapotraspirazione diurna dovuta all'irraggiamento solare e sarà sensibile alla ventilazione, e in generale ai bassi regimi di umidità atmosferica. In poco tempo (pochissimi giorni) questo suolo sarà soggetto a surriscaldamento e a shock termici. **Il rapporto tra le condizioni termiche aeree e quelle sotterranee non è in questo caso filtrato dalla presenza**

di biodiversità e di sostanza organica e la loro assenza è rilevabile attraverso i dati sulla temperatura a 20 cm di profondità.

Immaginiamo ora un suolo sano ma in forte stress idrico, soggetto a significativi gradienti termici. L'arrivo della pioggia può cambiare tutto nel giro di pochissimo tempo: con l'acqua il suolo acquista stabilità termica, che favorisce la rapida proliferazione dei microrganismi e la ripresa delle interazioni biologiche. A sua volta la componente viva e attiva del suolo "sequestra" l'acqua favorendo la ritenzione idrica e, di riflesso, la termoregolazione del sottosuolo. In questo caso, grazie all'innescio di un circolo virtuoso, la rizosfera diventa rapidamente uno "scudo" contro l'evaporazione eccessiva, il surriscaldamento e gli shock termici, o, in altri termini, torna a vivere. **Il rapporto tra le condizioni termiche aeree e quelle sotterranee viene stabilizzato dalla pioggia, la cui azione rivitalizzante è misurabile attraverso i dati sulla temperatura a 20 cm di profondità.**

A questo punto appare chiaro che l'andamento della temperatura della rizosfera superficiale può essere un ottimo parametro per descrivere e quindi per prevedere la presenza di nettare al momento della fioritura soprattutto perché è in grado di "restituire" indirettamente gli effetti di tutte le variabili atmosferiche e pedologiche che possono influire sulla produzione di nettare. Infatti **qualsiasi alterazione avvenga a livello rizosferico, ingenerata da qualsiasi fattore, influisce per prima cosa sulla componente biologica alterando la capacità di piante e microrganismi di ritenere e ottimizzare la risorsa idrica. Il risultato è**

una maggiore evaporazione o una più veloce infiltrazione in profondità dell'acqua. Come conseguenza alla "fuga" dell'acqua si registra un immediato indebolimento della capacità di termoregolazione della rizosfera superficiale.

Misurando dunque l'andamento termico dei primi 20 cm di suolo alle radici delle piante possiamo ricavare un dato significativo sull'efficienza delle interazioni biologiche che originano il nettare. Di conseguenza l'andamento nel tempo dei gradienti termici di un suolo è esattamente la variabile che può dire al modello previsionale se la fioritura che si genera in un preciso ambiente sarà nettarifera o meno.

Con l'individuazione di questo fattore il cerchio si chiude: l'IA ha gli elementi per valutare tutti i fattori che concorrono a vario titolo nella produzione di miele.

Il problema, molto serio, è che (quasi) nessuno misura la temperatura del suolo per cui i dati che servirebbero per completare il modello previsionale non sono disponibili se non per piccole aree, quelle monitorate direttamente da Aspromiele. Nulla impedisce però che gli apicoltori diventino i primi a misurare la temperatura dei suoli in modo sistematico, creando una rete per monitorare i flussi nettarifera.

E la cosa avrebbe senso visto che sono proprio gli apicoltori ad aver sperimentato per primi l'impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse naturali e visto che la loro risorsa aziendale è legata in modo indissolubile alla salute dei suoli.



Figura 18 | Fine aprile-inizio maggio 2022 in un bosco di acacie. L'arrivo della pioggia ha riattivato il volano termico e le piante sono riuscite a originare un discreto flusso nettarifera, in una zona in cui prima della pioggia le bilance erano costantemente in negativo, nonostante la fioritura già attiva

7. Conclusioni

Il progetto descritto in questo dossier non è altro che un primo passo verso una rivoluzione che volenti o nolenti avrà luogo, pertanto la questione non è “se” ma “quando” e “come” avverrà. La storia ci insegna che chi prima arriva meglio alloggia, se ci si ferma ad aspettare che il progresso lo facciano gli altri si rischia sempre di pagare un caro prezzo per mettersi al passo con le evoluzioni. Nel prossimo futuro la Cina svilupperà sicuramente tecnologie assimilabili a quelle qui descritte, in campo agricolo così come in campo apistico. Questo significa che gli apicoltori cinesi potrebbero riuscire a produrre miele a prezzi ancora più concorrenziali, ergo il prezzo del miele, a livello globale, potrebbe abbassarsi ulteriormente. Di certo, nel giro di qualche anno questi prodotti tecnologici approderebbero anche nella nostra Penisola ma a questo punto l'apicoltore italiano, che si sarà nel frattempo impoverito, dovrebbe fare uno sforzo enorme per poter accedere ai nuovi strumenti. Se al contrario il progresso viene guidato e portato avanti nel nostro Paese, la musica cambia.

Pertanto è necessaria un'azione corale, volta a incanalare e ad allineare tutte le risorse presenti sul territorio nazionale in modo da velocizzare l'intera attività di ricerca e sviluppo. Se è vero che Aspromiele ha dato l'impulso iniziale a un modello previsionale per l'apicoltura è anche vero che una singola associazione apistica non può da sola pensare di raggiungere l'ambizioso obiettivo di vederlo funzionare in modo soddisfacente (se non, con tempi più lunghi, sul proprio territorio).

Al contrario la rete di associazioni, di apicoltori e di tecnici che lavorano attivamente e costantemente per il progresso dell'apicoltura italiana, avrebbe la forza e le risorse per portare al successo questo progetto.

Certo si parla di “mappare” in modo preciso, attraverso una sostanziosa serie di dati, tutte le aree e tutte le fioriture di interesse apistico in Italia, per anni. Si tratterebbe inoltre di fare ricerca sui e con i dati, di raccogliere informazioni e produrre conoscenza sul complesso fenomeno che è la produzione di miele in un clima e in un territorio che cambiano. Si tratta insomma di lavorare tutti insieme con un unico obiettivo per diverse stagioni ma il risultato potrebbe davvero essere un valido strumento per rendere più resiliente l'apicoltura italiana.

Per quanto riguarda le aziende apistiche il loro vantaggio da questo progetto sarebbe nella possibilità di conoscere e prevedere le potenzialità nettariifere delle proprie postazioni. E non è poco.

Certo, qualcosa da cambiare ci sarebbe. Il modello previsionale ha per esempio gradualmente rivoluzionato, almeno per chi ci ha lavorato attivamente, il concetto di allestimento e concezione logistica di una postazione produttiva. Quella che si potrebbe immaginare come la postazione del futuro prevede infatti le seguenti operazioni, esposte in ordine cronologico:

1. nottetempo, sistemazione di almeno 2 sensori di temperatura, che rilevano e trasmettono i dati ogni ora, 365 giorni l'anno dal momento dell'installazione in poi, interrati a 20 cm di profondità (non 18 e nemmeno 22: devono essere 20) fra le radici di gruppi di piante che in qualche modo rappresentino dei punti di riferimento “storici” per l'apicoltore (il primo e l'ultimo che fioriscono per esempio, o quello sul versante a Sud e quello sul versante a Nord; quello in punta alla collina e quello al fondo del vallone, ecc...).
2. Analisi dei dati provenienti dai sensori per almeno 20 giorni prima della fioritura, al fine di valutare le probabilità che le piante producano nettare in quella postazione.
3. Se le previsioni sono buone si procede allo spostamento dell'apiario verso la postazione al momento più opportuno, coadiuvati, nella scelta del momento più opportuno, dalle **previsioni dell'IA**.
4. L'impiego di una particolare cura nel posizionamento della bilancia: deve funzionare e deve avere campo per trasmettere i dati.
5. L'impiego di una particolare cura nella sistemazione dell'alveare posato sulla bilancia (possibilmente sempre lo stesso per l'intera stagione) per evitare derive e mantenere così la rappresentatività della colonia per quanto riguarda la sua capacità di raccogliere, al fine di mantenere la sua funzione di “metro” all'interno dell'apiario.
6. A fine fioritura spostamento verso un'altra postazione già monitorata attraverso i sensori, di cui si è già valutata la potenziale bontà sotto il profilo produttivo, escludendo le postazioni da cui provengono i dati e le previsioni peggiori.

Nella postazione del futuro la cura e l'attenzione nel predisporre gli strumenti e gli alveari in modo da raccogliere dati più precisi possibile acquistano un valore pari alla cura e all'attenzione necessarie per preparare gli alveari al raccolto. Se si vuole un reale e concreto supporto alle decisioni i dati forniti all'IA devono essere perfetti.

Se le cose si fanno bene in campo, l'apicoltore del futuro non avrà più brutte sorprese (o quasi, gli avvelenamenti e le patologie continueranno a essere imprevedibili), saprà in anticipo dove portare le api e una volta partita la fioritura saprà con certezza se caricare il furgone con i melari vuoti, con il candito o con lo sciroppo quando parte per visitare gli apiari. Qualcuno direbbe che così organizzata l'apicoltura del futuro perderà il suo fascino e la sua poesia, togliendo all'apicoltore l'emozione di aprire il coprifavo e scoprire solo in quel momento se il melario è pieno o vuoto. Più

che emozione però, negli ultimi anni andare in apiario senza informazioni preliminari assomiglia di più al paradosso di Schrödinger: dal momento in cui si accende l'affumicatore l'alveare è allo stesso tempo vivo e morto, finché non si apre il coprifavo.

L'apicoltura del futuro, almeno così come l'abbiamo immaginata in Aspromiele in questi anni, non risparmia però soltanto le (brutte) sorprese ma è in grado di fornire all'apicoltore qualcosa di inedito ed estremamente prezioso in tempo di cambiamento climatico: un pacchetto enorme di dati ambientali precisi su suolo, piante e api, cioè sul complesso biologico che fornisce non solo di che vivere alle aziende apistiche ma anche il cibo per tutti quanti.

Chissà mai che la società civile del futuro saprà come usare questi dati a vantaggio di tutti.

Contributi

Il lavoro qui descritto è stato finanziato in parte da Aspromiele e in parte da Frale Analitica, start up di intelligenze artificiali che ha svolto lo studio. Le bilance utilizzate per raccogliere i dati sono state prodotte dall'Officina delle Soluzioni.

Cogliamo l'occasione per ringraziare gli apicoltori che stanno testando l'app e che hanno contribuito a spese loro a coprire i costi delle previsioni meteo, in ordine alfabetico: Alessio N., Amedeo G., Claudio C., Luca A., Luca B., Luca R., Maurizio G.

Maggiori info sul progetto HonAI possono essere trovate al seguente link: www.honai.it



