FONDAZIONE SPEEDHUB
INNOVAZIONE IMPRESA SUPPLY CHAIN

DIH
Digital Innovation Hub

RIAV
Rete Innovativa
Alimentare Veneto

La trasformazione digitale dell'agroalimentare

Stato dell'arte, benefici e sfide lungo tutta la filiera

Indice

03 Introduzione.
04 Contesto: il settore agroalimentare italiano tra primati e trasformazioni
10 Le tecnologie digitali
10 Sensoristica IoT e agricoltura di precisione.
14 Intelligenza Artificiale (IA)
21 Robotica e automazione.
23 Tracciabilità alimentare e innovazione digitale.
26 Droni e telerilevamento satellitare.
27 Tecnologie emergenti nella filiera.
31 Piattaforme digitali e integrazione dei dati
33 Sfide e difficoltà della digitalizzazione del settore.
38 Conclusioni

Questa iniziativa si inserisce nell'ambito del progetto **"SPIDI: SPecializzazioni Innovative e Digitali per un territorio competitivo"** per rafforzare le vocazioni imprenditoriali del territorio attraverso l'innovazione digitale. L'attività è realizzata con il contributo della Camera di Commercio di Verona.

CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO
AGRICOLTURA VERONA

Introduzione

L'innovazione digitale sta rapidamente trasformando l'intera filiera agroalimentare, dal campo fino alla tavola. Tecnologie avanzate come **sensori IoT, droni, intelligenza artificiale, robotica e blockchain** stanno abilitando **nuove modalità di produzione, tracciabilità e gestione dei processi**. Queste soluzioni mirano ad aumentare l'efficienza, la sostenibilità e la resilienza del settore, in risposta a sfide crescenti quali i cambiamenti climatici, la volatilità dei mercati e l'evoluzione delle preferenze dei consumatori. Le istituzioni e gli attori industriali riconoscono l'importanza strategica della trasformazione digitale: la digitalizzazione è ormai considerata un asse portante dello sviluppo del comparto agroalimentare, con significative ricadute su occupazione e investimenti.

In questo report, redatto per la Rete Innovativa Regionale Veneta RIAV da parte di Speedhub, il Digital Innovation Hub di Confindustria Verona, si esamineranno in profondità le principali tecnologie digitali innovative lungo l'intera filiera agroalimentare – dall'agricoltura di precisione alla trasformazione alimentare, fino alla logistica – analizzandone lo stato dell'arte, i benefici e le sfide. Verranno forniti dati aggiornati e casi studio, con un focus particolare sul contesto italiano e veneto.

Contesto

Il settore agroalimentare italiano tra primati e trasformazioni

Il settore agroalimentare riveste un ruolo di primo piano nell'economia italiana. Il fatturato del settore agroalimentare ha raggiunto i **262,7 mld di euro nel 2023**, distribuiti in **186,2 generati dal comparto Food&Beverage** e **76,5 del comparto agricolo**, registrando una crescita complessiva del +38,2% rispetto al 2015. Complessivamente, l'intera filiera (agricoltura, industria alimentare, distribuzione e ristorazione) sviluppa un fatturato stimato di 707,6 mld di euro, di cui 262,7 appunto della filiera agroalimentare e 444,9 delle filiere a supporto.

Considerando invece il Valore Aggiunto, la filiera estesa (dall'agricoltura a monte fino alla trasformazione, distribuzione e ristorazione a valle), il comparto genera **circa 379 miliardi di euro** di Valore Aggiunto, pari a quasi il 20% del PIL nazionale. La filiera agroalimentare genera un VA di 150,8 mld di euro (74 dal settore agroalimentare in senso stretto, 76,8 dalle industrie di intermediazione, distribuzione e Ho.Re.Ca.) e il Valore Aggiunto generato dalle supplementari filiere attivate a monte e a valle è di 228,1.

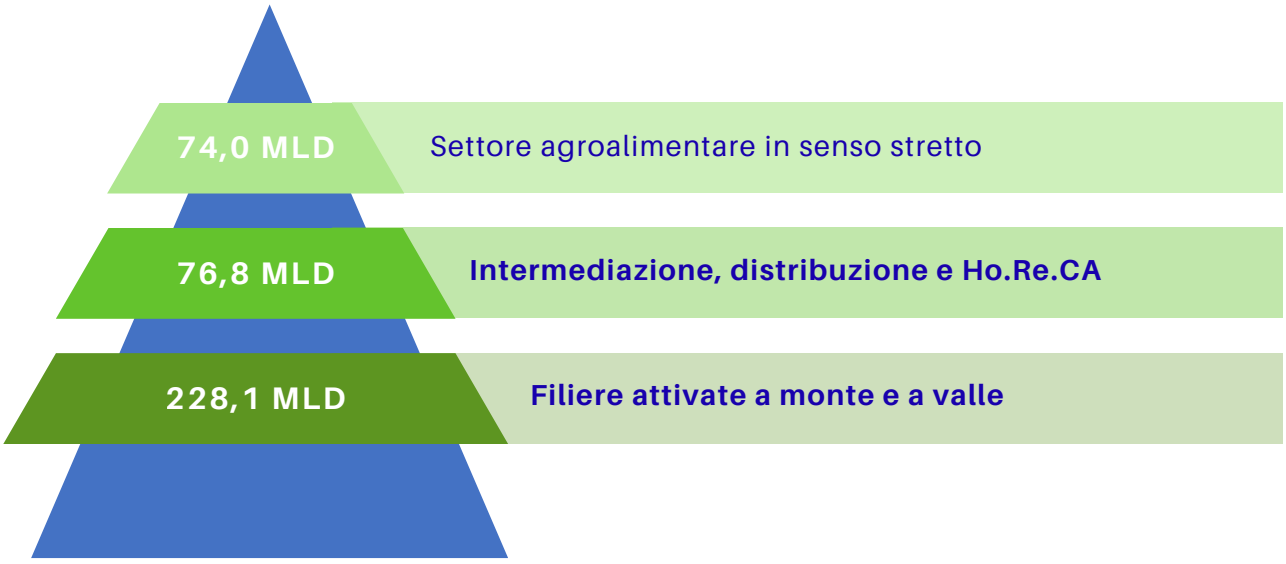


Figura 1: Il Valore Aggiunto generato dalla filiera agroalimentare estesa e dalle filiere a monte e valle in mld di euro, 2024. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Istat 2025

I 74 mld di euro nel 2023 del settore agroalimentare sono suddivisi in 34,2 mld di euro del comparto della trasformazione alimentare e da 39,8 mld di euro

del comparto agricolo[1], e permettono all'agroalimentare di posizionarsi come prima tra le filiere italiane per contributo al PIL, una performance che vale 2,5 volte il fashion Made in Italy e oltre 5 volte l'industria chimica.
Nel 2023, la dinamica positiva **è stata sostenuta dai 3,4 milioni di lavoratori del settore agroalimentare**, di cui 475.000 nel comparto dell'industria alimentare e i restanti 2,9 milioni nel settore primario. L'aumento complessivo degli occupati nel periodo 2015-2023 è stato del +3,8%, sbilanciato verso l'industria (+10,8%). Nel 2023 inoltre risultano essere 1,2 milioni le imprese in totale, di cui 49.429 nel comparto industriale e 1,1 milioni in quello agricolo, con una decrescita del -12,2% rispetto al 2015. Questa notevole diminuzione delle imprese attive, parallela ad un aumento sia in termini di fatturato che Valore Aggiunto complessivo, dimostra ancora una volta il percorso di efficientamento intrapreso dalle imprese coinvolte nel settore.
La proiezione internazionale del settore è in forte crescita e rappresenta il principale fattore trainante, che nel 2024 ha ulteriormente superato il valore record registrato l'anno precedente, raggiungendo i 67,5 mld di euro di export (58,2 mld di euro dall'industria alimentare e 9,3 mld di euro dal comparto agricolo), grazie a una crescita del +83,1% dal 2015.

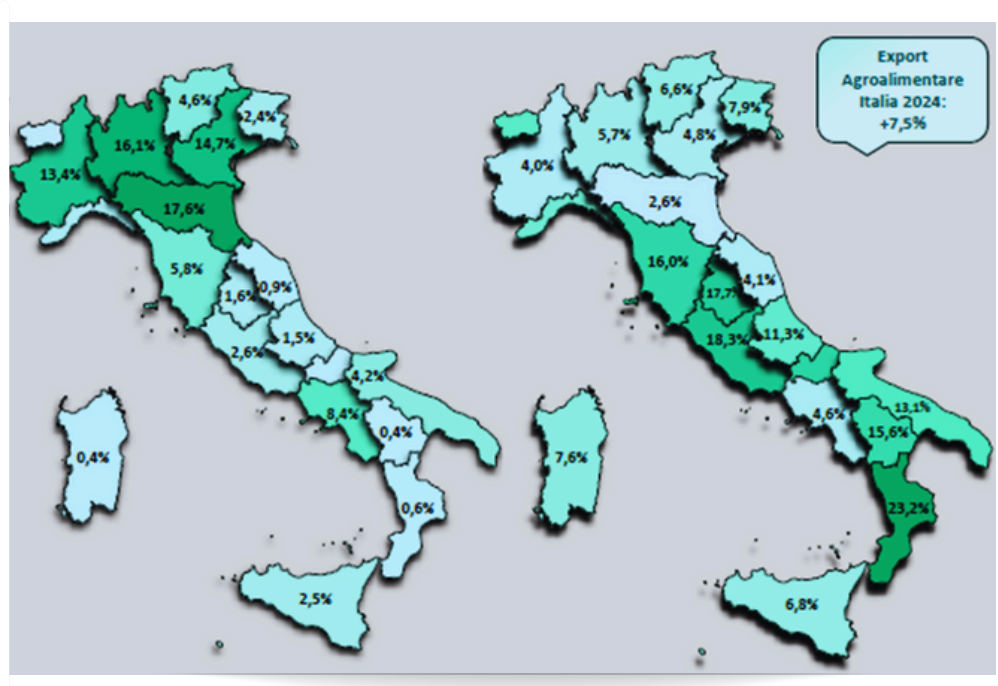


Figura 2: Export agroalimentare (primario più industria alimentare). Da una parte export delle regioni su % nazionale, dall'altra variazione % tra 2024 e 2023[1]

[1] La Roadmap del futuro per il Food&Beverage: quali evoluzioni e quali sfide per i prossimi anni - Rapporto 2025 - TEHA Club

Infine, gli investimenti del settore sono pari a 17 mld di euro, con un trend di crescita che continua in positivo (+64,9% nel periodo 2015-2023).

L'Italia vanta inoltre primati distintivi: **è leader in Europa per numero di prodotti DOP/IGP** (891 denominazioni) **e primeggia a livello mondiale in comparti come pasta** (48% degli scambi globali) **e derivati del pomodoro**, a testimonianza di una ricca tradizione di qualità, branding ed export agroalimentare. TEHA nel suo rapporto evidenzia che l'Italia è tra i Paesi con la rete di sbocco più ampia, con una media di 101,7 Paesi partner per ogni euro di export, **4° posto al mondo per diversificazione geografica**. L'Italia rappresenta inoltre la prima destinazione enogastronomica al mondo: 29,3% dei turisti stranieri definisce le produzioni agroalimentari e la tradizione culinaria un motivo di attrattività del Paese.
Tali performance positive sono accompagnate, però, da **sfide strutturali di lungo periodo.** La struttura produttiva appare polarizzata e frammentata: coesistono alcune aziende di grandi dimensioni altamente produttive e un tessuto ampio di PMI agricole con produttività più bassa. Confrontando la quota di aziende agricole per regione con la quota di valore aggiunto agricolo prodotto, emergono differenze marcate. Ad esempio, la Lombardia conta circa il 6% delle imprese agricole italiane ma produce il 12% del VA agricolo nazionale, segno di una maggiore produttività; viceversa, la Puglia ospita l'11% delle aziende ma genera solo il 7% del VA nazionale.

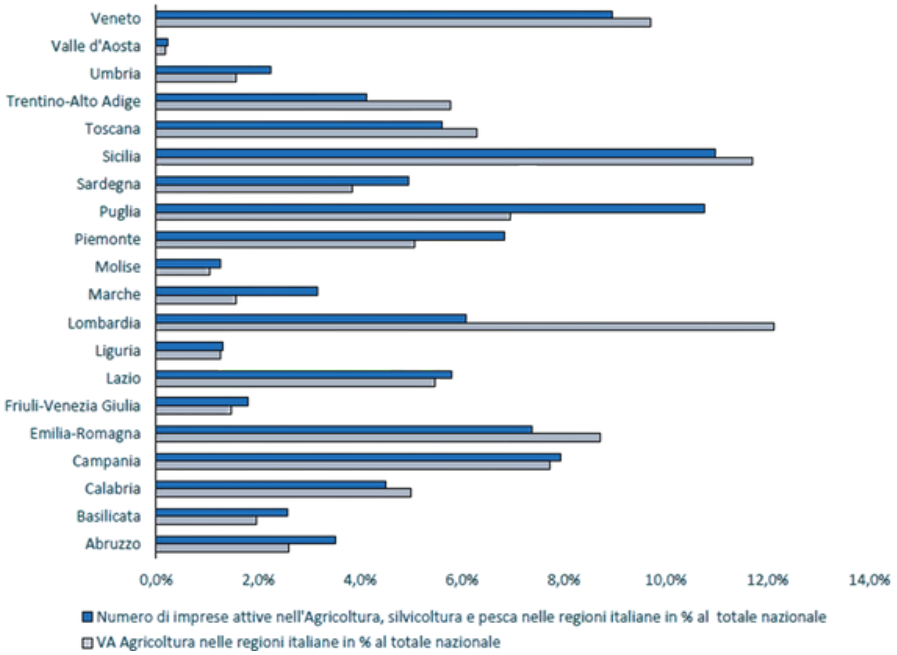


Figura 3: Regioni Italiane, confronto tra Valore aggiunto agricolo regionale nel 2023 in % al nazionale e n° di imprese attive in agricoltura % al totale nazionale

Ragioni di tale divario includono: **basso utilizzo di superficie disponibile in alcune regioni**; **carenza di sistemi di irrigazione moderni o estrema frammentazione fondiaria in altre**; **scarsa diversificazione colturale e bassi investimenti innovativi in altre ancora**.

Le regioni del Nord presentano in generale indici di produttività superiori alla media: Lombardia, Veneto, Toscana ed Emilia-Romagna figurano ai primi posti in quasi tutti gli indicatori strutturali (valore aggiunto per azienda, dimensione media, utilizzo di tecnologie, ecc.). In particolare, oltre il 30% del valore aggiunto agricolo italiano nel 2023 è stato generato da sole tre regioni: **Sicilia, Lombardia e Veneto**.
Ciò evidenzia il peso rilevante del **Veneto,** regione che – insieme alla Lombardia – **mostra un rapporto imprese/produzione molto favorevole** (produttività elevata). Il Veneto vanta del resto filiere di eccellenza (si pensi al vitivinicolo, con il Prosecco e i vini delle colline veronesi e trevigiane) che contribuiscono in modo significativo all'export agroalimentare nazionale.
La specializzazione veneta in produzioni di qualità e orientate ai mercati esteri ha favorito performance economiche solide, ma pone anche esigenze stringenti di innovazione per mantenere competitività e sostenibilità.

Dal punto di vista congiunturale, dopo le difficoltà recenti (pandemia, crisi dei costi energetici e materie prime, eventi climatici estremi), il 2024 ha mostrato segnali di ripresa per il settore agroalimentare italiano.

Anche l'industria alimentare ha registrato un rimbalzo (+3,5% VA nel 2024 vs 2023, con un VA raggiunto di 37 mld) grazie soprattutto alla spinta della domanda estera, **posizionandosi in terza posizione a livello UE in termini di valore aggiunto,** preceduta da Germania e Francia (rispettivamente €49 nel 2022 e €52 miliardi nel 2023).

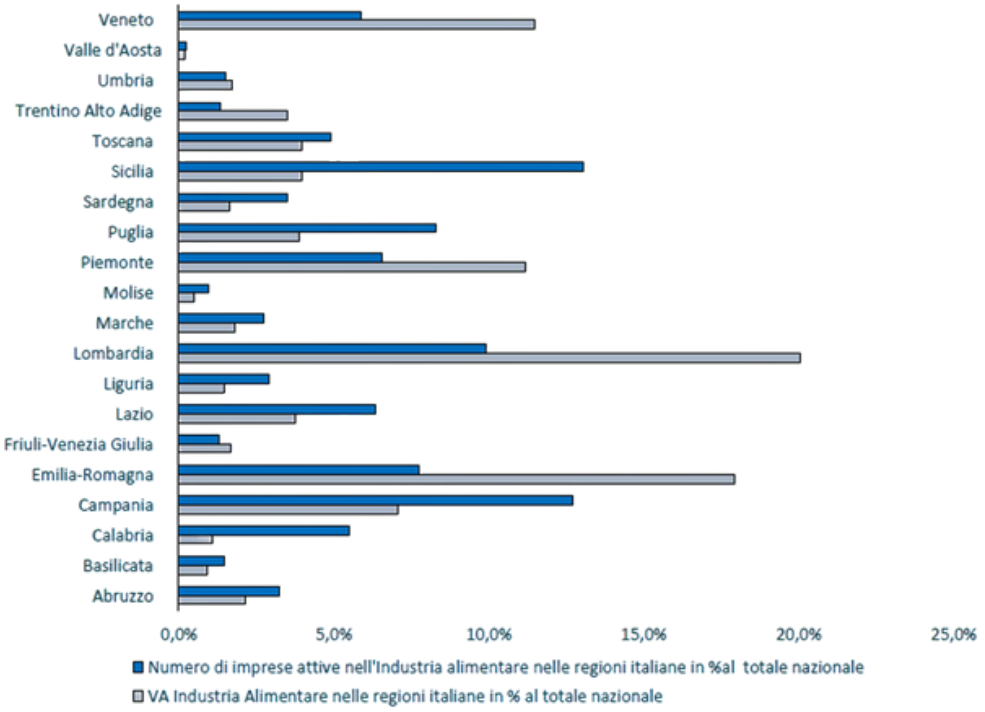


Figura 4: Regioni Italiane, confronto tra Valore aggiunto Industria alimentare nel 2022 in % al nazionale e n° di imprese attive nell'industria alimentare in % al totale nazionale

La sostenibilità ambientale e climatica è un tema cruciale: eventi estremi (siccità, alluvioni) e vincoli ambientali impongono adattamenti sia in campo sia nella trasformazione. In parallelo, la transizione digitale appare non più rinviabile per colmare gap di efficienza e competitività: le filiere agroalimentari italiane sono chiamate a un salto tecnologico per gestire con successo transizioni multiple – energetica, climatica, digitale e demografica. In sintesi, il contesto attuale vede il settore agroalimentare italiano in posizione di forza ma di fronte a un bivio: **innovare processi e modelli di business, anche grazie alle nuove tecnologie, è fondamentale per affrontare le sfide e mantenere i primati raggiunti.**

Le tecnologie digitali emergono come leva chiave per abilitare questa evoluzione. Concentrandosi sul primario, secondo studi recenti, gli investimenti in agricoltura 4.0 (agricoltura digitale) in Italia hanno raggiunto livelli significativi (oltre 2,3 miliardi € nel 2024) e il 41% delle aziende agricole utilizza almeno una soluzione digitale 4.0 (il 29% ne adotta due o più)[2].

[2] Agricoltura 4.0: il mercato e il livello di adozione in Italia nel 2024 – Osservatorio Smart Agrifood

Sebbene il mercato AgriTech italiano abbia registrato nel 2024 una battuta d'arresto (-8% rispetto al 2023) per fattori congiunturali, come il calo delle rese agricole causato da eventi climatici estremi, la volatilità dei prezzi e l'instabilità geopolitica, che hanno ridotto i redditi del settore e frenato gli investimenti, e la diminuzione degli incentivi pubblici, la diffusione di tali tecnologie continua ad ampliarsi e ad intensificarsi tra le imprese già digitalizzate.

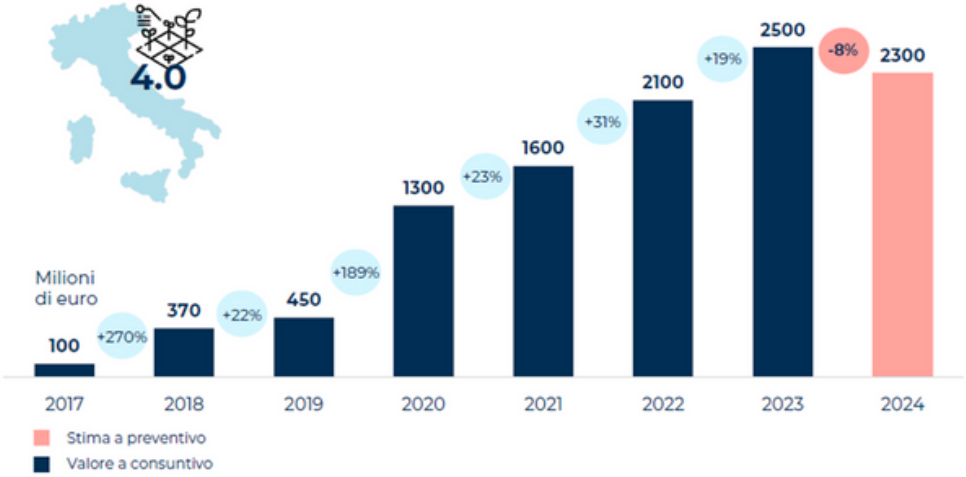


Figura 5: L'evoluzione del valore del mercato italiano di Agricoltura 4.0 (Osservatorio Smart Agrifood)

In particolare, si osserva che l'adozione si concentra più facilmente nelle aziende medio-grandi e strutturate, mentre le piccole faticano ancora a vedere un ritorno dell'investimento innovativo. **Persistono inoltre ostacoli come la scarsa interoperabilità tra sistemi diversi, la carenza di competenze digitali e una certa resistenza al cambiamento manageriale**. Ciononostante, la direzione è tracciata: la digitalizzazione è ritenuta strategica per accrescere la sostenibilità, la produttività e la resilienza dell'agroalimentare.

Nelle sezioni seguenti analizzeremo le principali tecnologie digitali applicate lungo la filiera, evidenziando come ciascuna possa contribuire a innovare l'agricoltura, l'industria di trasformazione e la logistica agroalimentare.

Le tecnologie digitali

Sensoristica IoT e agricoltura di precisione

L'**Internet of Things (IoT)** – ovvero la rete di sensori e dispositivi connessi che raccolgono dati in tempo reale – è il cuore dell'agricoltura di precisione e della smart agriculture, occupando il **terzo posto tra le tecnologie abilitanti** secondo l'ultimo report dell'Osservatorio Smart Agrifood del Politecnico di Milano.

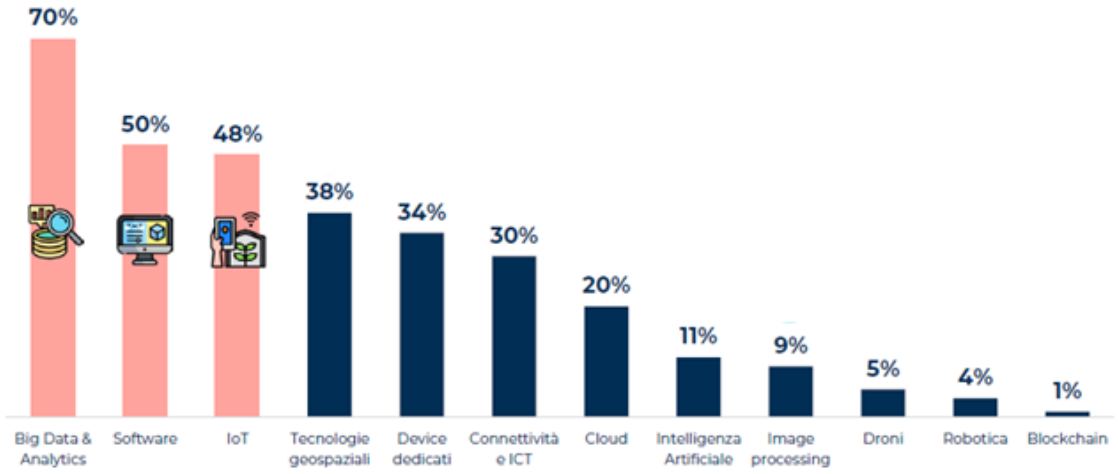


Figura 5: L'evoluzione del valore del mercato italiano di Agricoltura 4.0 (Osservatorio Smart Agrifood)

L'integrazione di tecnologie IoT in campo permette infatti un monitoraggio puntuale delle coltivazioni e dell'ambiente, ottimizzando l'uso di risorse e fornendo informazioni agronomiche fondamentali. Sensori ambientali e del suolo rilevano continuamente parametri come umidità del terreno, temperatura, radiazione solare, stato nutrizionale delle piante, presenza di parassiti, ecc.
I dati raccolti vengono trasmessi in rete e analizzati, consentendo di adattare con precisione le pratiche agronomiche: ad esempio regolare l'irrigazione solo dove e quando serve (risparmiando acqua), distribuire i fertilizzanti a dose

variabile in base alle effettive necessità delle diverse zone del campo, o pianificare trattamenti mirati riducendo l'uso di agrofarmaci. Si passa così da un'agricoltura uniforme "media" a interventi site-specific guidati dai dati, con benefici in termini di efficienza e sostenibilità.

Grazie alla sensoristica IoT, l'agricoltore può "dialogare" con il campo in tempo reale: **ricevere su smartphone allarmi** (es. rischio stress idrico o gelate imminenti) e **indicazioni operative,** o al contrario **inviare comandi a impianti automatizzati** (es. avviare l'irrigazione o attivare ventilatori antigelo in base ai dati meteo). Molte aziende adottano stazioni meteo IoT o reti di sensori agro-meteorologici geolocalizzati, spesso integrandoli con modelli previsionali per supportare le decisioni (DSS). Ad esempio, combinando i dati di bagnatura fogliare, pioggia e temperatura con modelli fitopatologici, è possibile prevedere lo sviluppo di malattie fungine e stabilire se/quando intervenire con trattamenti. Questa agricoltura dei dati consente di prevenire problemi e ottimizzare le rese, riducendo sprechi e impatti ambientali.

Dal punto di vista economico, l'IoT applicato al settore primario sta conoscendo una diffusione significativa. Il mercato italiano dell'"**agricoltura 4.0**" (che comprende sensoristica, macchine e servizi digitali per l'agricoltura), come anticipato, è valutato in circa 2,3 mld di euro nel 2024. Secondo lo studio dell'**Osservatorio Smart Agrifood,** le soluzioni IoT rappresentano una parte rilevante di questo mercato.

Sul fronte dell'adozione, indagini recenti evidenziano che le soluzioni IoT più diffuse nelle aziende agricole italiane sono proprio i sistemi di monitoraggio ambientale (implementati dal 64% delle aziende digitalizzate) e i macchinari connessi (62%). Seguono le soluzioni di mappatura di terreni/colture (49%) e le piattaforme di telemetria e controllo mezzi (45%) – tutte componenti tipiche dell'agricoltura di precisione basata su IoT.

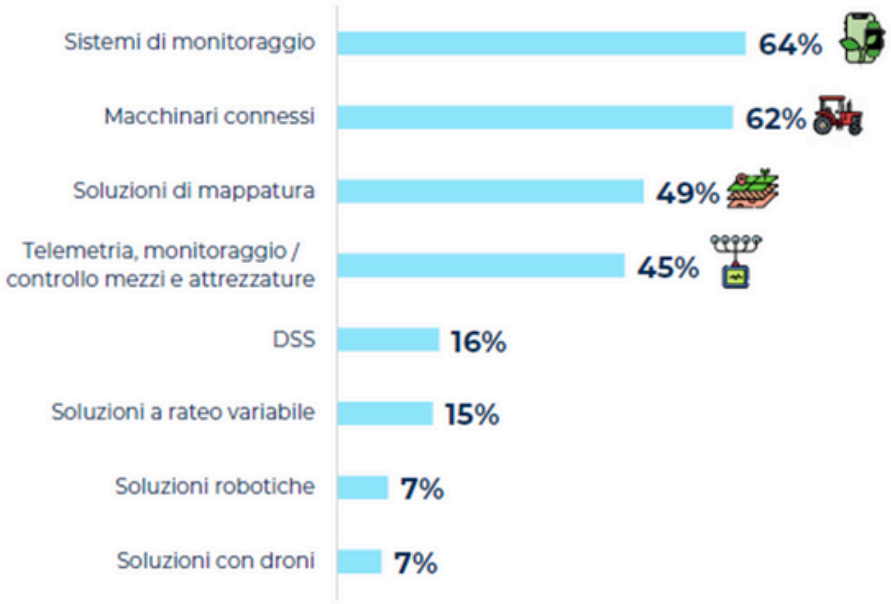


Figura 7: Le soluzioni di Agricoltura 4.0 maggiormente utilizzate dalle aziende agricole italiane nel 2024 (Osservatorio Smart Agrifood)

I **benefici** apportati dall'IoT agricolo sono tangibili: si documentano **incrementi di produttività** e **riduzione dei costi** grazie a un uso ottimizzato degli input (acqua, fertilizzanti, carburante) e a un miglior controllo delle avversità.
Ad esempio, un caso di studio condotto dall'Università di Parma ha mostrato come l'installazione di sensori IoT per il monitoraggio dell'umidità del suolo in colture di pomodoro da industria abbia permesso di affinare i turni irrigui, riducendo il consumo idrico e aumentando la resa qualitativa.
Un altro esempio riguarda la viticoltura di precisione: sensori multi-spettrali "vedono" lo stato di vigore delle viti filare per filare, aiutando a modulare la vendemmia e le potature in modo mirato; sensori a infrarossi possono stimare il grado zuccherino dell'uva direttamente in campo per decidere il momento ottimale di raccolta. In sostanza, la sensoristica IoT fornisce occhi e orecchie digitali all'agricoltore, rendendo possibili decisioni basate su dati oggettivi anziché su sole osservazioni empiriche. Ciò pone le basi per un'agricoltura più scientifica, sostenibile e resiliente.
L'IoT trova ampia applicazione anche nell'industria alimentare, permettendo di **collegare macchine, utilities e ambienti di lavorazione** (linee, celle frigo, impianti HVAC, packaging,...) per monitorare parametri critici in tempo reale, orchestrare gli allarmi e alimentare MES/SCADA e analytics. Gli impatti tipici sono su sicurezza/qualità, efficienza energetica, manutenzione, OEE, cold chain e servizio al consumatore.

Eccone alcune delle applicazioni più diffuse nel settore:

›Food safety & HACCP digitale

Reti di sensori (temperatura, umidità, pH, pressione, CO_2, microclima camere bianche) consentono monitoraggi continui, con registri automatici e allarmi proattivi che riducono non conformità e tempi d'intervento. La letteratura recente evidenzia proprio l'abilitazione del FSMS (Food Safety Management System, sistema di gestione della sicurezza alimentare) tramite digitalizzazione/IoT su CCP (Critical Control Point), catena del freddo e parametri ambientali, pur segnalando la necessità di piattaforme usabili e affidabili.

›Efficienza energetica di linea e di sito

Sensori IoT su utilities e macchine (misure puntuali di kWh, vapore, aria compressa, acqua) abilitano bilanci energetici per linea/prodotto e interventi data-driven (set-point dinamici, spegnimenti automatici). In un case study reale di un'azienda beverage, l'introduzione di sensing IoT basato su "Embodied Product Energy" ha portato a risparmi di ~163.000 kWh/anno, grazie a visibilità in tempo reale e decisioni operative informate[3]. A livello più ampio, i siti "Lighthouse" del WEF (che includono plant F&B) riportano in media un calo del 22% dei consumi energetici, insieme a tagli di scarti e inventari grazie a IoT/analytics scalati sulla fabbrica.

›Manutenzione predittiva e OEE

Vibrazioni, temperatura cuscinetti, correnti motori e cicli di carico sono raccolti da sensori edge per stimare RUL (Remaining Useful Life), prevenire fermi non pianificati e migliorare l'OEE.

›Cold chain & qualità dei deperibili

Dalla sala di lavorazione ai magazzini, fino al trasporto, reti IoT tracciano temperatura/umidità per ridurre sprechi e garantire la shelf-life, con alert automatici e report di conformità. Studi recenti propongono architetture low-cost e scalabili per la tracciabilità termo-igrometrica end-to-end della filiera agroalimentare.

In sintesi, nell'industria F&B l'IoT significa passare da controlli campionari e retrospettivi a sorveglianza continua e decisioni in tempo reale: HACCP digitalizzato, energia e acqua sotto controllo, predictive maintenance per fermate quasi-zero, cold chain dimostrabile e integrazione processi su un unico cruscotto.

[3] Real-time data collection to improve energy efficiency a case study of food manufacturer – Jagtap Sandeep, Rahimifard Shahin, Duong Linh N.K.

Intelligenza Artificiale (IA)

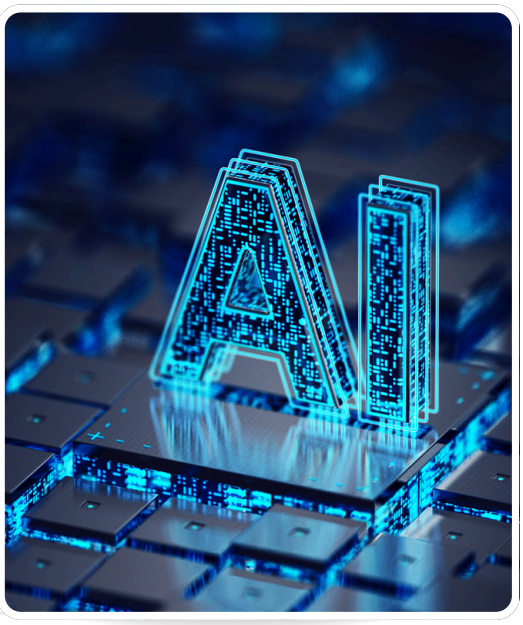
Tra le tecnologie digitali, l'Intelligenza Artificiale sta assumendo un ruolo di assoluto rilievo nel rinnovamento dell'agroalimentare. Già oggi **l'IA viene applicata in molteplici ambiti**: **dall'agricoltura di campo, con modelli predittivi e automazione, fino ai processi industriali di trasformazione e alla distribuzione.**

Secondo i dati dell'Osservatorio Smart AgriFood, nel 2024 le soluzioni che implementano l'IA in agricoltura sono cresciute del 33% (in percentuale di adozione rispetto all'anno precedente), un balzo significativo che indica la rapida diffusione di questi strumenti.

Ma in quali modi concreti l'IA sta contribuendo lungo la filiera?

Possiamo distinguere almeno tre macroaree: **machine learning per l'analisi predittiva, automazione intelligente e computer vision.**

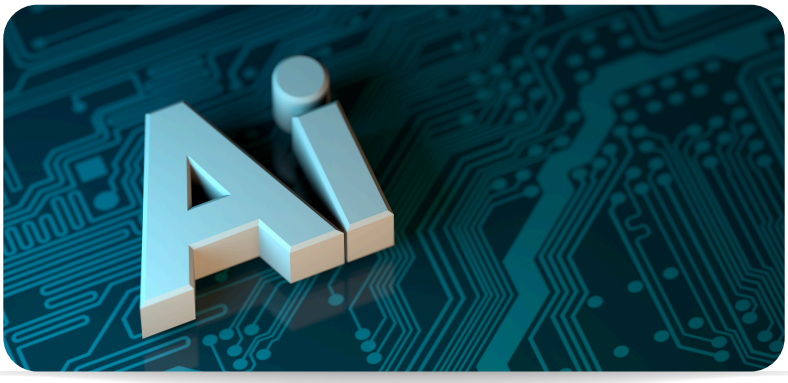
In agricoltura primaria, l'IA viene utilizzata per prevedere rese e malattie delle colture attraverso modelli matematici addestrati su dati storici, meteorologici e da sensori. Ad esempio, algoritmi di machine learning possono incrociare serie di dati di resa degli anni passati con dati climatici attuali per stimare con buona precisione la produzione attesa di una certa coltura in quella stagione Similmente, modelli predittivi possono valutare il rischio di insorgenza di patologie (per es. la peronospora nella vite) combinando pioggia, umidità e temperature in un dato intervallo temporale.



Un esempio particolarmente rilevante dell'applicazione dell'Intelligenza Artificiale in viticoltura riguarda la previsione del rischio di insorgenza della peronospora della vite[5]. Lo studio utilizza algoritmi di machine learning per prevedere, già a inizio stagione, il rischio di attacchi gravi di peronospora della vite nei vigneti della regione di Bordeaux. Gli autori hanno analizzato 9 anni di dati raccolti in 153 vigneti, confrontando diversi approcci: i modelli statistici tradizionali (GLM), la regressione LASSO e due algoritmi di apprendimento automatico, Random Forest e Gradient Boosting.

[5] Forecasting severe grape downy mildew attacks using machine learning - Mathilde Chen, Francois Brun, Marc Raynal, David Makowski

I modelli usano come variabili di input la data di comparsa iniziale della malattia e semplici indicatori climatici, come piogge e temperature medie mensili da marzo a giugno. La bontà delle previsioni è stata valutata con una validazione "year-by-year", cioè escludendo un anno alla volta e verificando la capacità del modello di prevedere correttamente i dati di quell'anno. La misura di accuratezza utilizzata è l'AUC, un indice che quantifica quanto bene il modello distingue tra vigneti a basso e ad alto rischio.



I risultati mostrano chiaramente che i metodi di machine learning, in particolare Gradient Boosting, offrono le migliori prestazioni, arrivando a un'AUC di circa 0,86 per la previsione dell'incidenza sulla foglia.
Fra tutte le informazioni usate dai modelli (pioggia, temperatura, ecc.), quella che più di tutte aiuta a capire se ci sarà un attacco grave è quando la malattia compare per la prima volta nella stagione. Se la peronospora compare presto (ad esempio a fine maggio), c'è più tempo per il fungo di moltiplicarsi e fare più cicli di infezione, quindi il rischio di danni gravi è alto. Se invece compare più tardi (dopo metà giugno), il rischio cala sensibilmente.
Le variabili climatiche contano, ma in misura minore: tra queste, le piogge primaverili sono quelle più importanti perché l'acqua è essenziale per la germinazione delle spore e per la loro diffusione. Le temperature influenzano sì lo sviluppo della malattia, ma hanno un effetto meno forte rispetto alla pioggia. Gli autori hanno anche svolto una simulazione di scenari climatici: hanno mostrato che una primavera più secca e leggermente più calda tende a ridurre il rischio di infezioni gravi, mentre un aumento delle piogge lo fa crescere. **Tradotto in applicazioni pratiche, il modello può essere usato per far scattare il primo trattamento solo quando il rischio previsto supera una certa soglia, evitando interventi inutili.**

[6] www.orchard.ai

Secondo le simulazioni, questo approccio permetterebbe di ridurre del 50% o più il numero di trattamenti rispetto alle pratiche attuali, mantenendo comunque un buon controllo della malattia. In sintesi, **l'IA** non sostituisce l'esperto agronomo ma diventa uno strumento di supporto decisionale: **aiuta a prioritizzare gli interventi, combinando pochi indicatori chiave** (comparsa della malattia e pioggia) **in un sistema validato su dati reali e aggiornabile con nuove osservazioni.**

Un altro campo è l'automazione di operazioni agricole: **grazie all'IA si stanno sviluppando macchine in grado di eseguire in autonomia compiti come l'irrigazione di precisione, la semina a dose ottimizzata e perfino la raccolta selettiva.** Ad esempio, sistemi robotici di irrigazione dotati di IA regolano portata e tempistiche in base ai dati in tempo reale sulle esigenze idriche delle piante, evitando sia stress da sete che sprechi d'acqua. In Giappone e USA sono già stati sperimentati robot raccoglitori di frutta muniti di telecamere e algoritmi di deep learning per riconoscere frutti maturi: questi robot decidono quali frutti staccare e come farlo senza danneggiare la pianta, emulando (ancora lentamente) il lavoro umano.

L'**IA è protagonista anche nel monitoraggio intelligente** tramite computer vision: telecamere e sensori ottici, integrati su trattori, droni o installati nei campi, raccolgono immagini che algoritmi di visione artificiale analizzano per rilevare anomalie nelle colture. Ad esempio, una telecamera che percorre i filari di pomodoro può, grazie a reti neurali convoluzionali (CNN, un tipo di rete neurale profonda utilizzata principalmente per elaborare dati visivi, come immagini e video, ispirate al funzionamento della corteccia visiva umana), identificare piante colpite da parassiti notando variazioni cromatiche o di forma nelle foglie rispetto al "normale". Ciò permette interventi mirati solo dove serve, ottimizzando l'uso di fitofarmaci e riducendo l'impatto ambientale.
Un caso concreto è quello di Orchard Robotics[7], startup che ha sviluppato un sistema di visione basato su AI per il monitoraggio dei frutti sugli alberi: questo strumento aiuta a gestire il carico di raccolta e prevedere con anticipo la resa, scansionando automaticamente il frutteto e contando/inquadrando i frutti presenti. Simili applicazioni velocizzano operazioni che manualmente richiederebbero molto tempo (come il conteggio dei frutti) e migliorano la precisione delle stime produttive.

[7] Orchard Robotics, founded by a Thiel fellow Cornell dropout, raises $22M for farm vision AI | TechCrunch – www.techcrunch.com/2025/09/03/orchard-robotics-founded-by-a-thiel-fellow-cornell-dropout-raises-22m-for-farm-vision-ai

Figura 8: Il sistema FruitScope di Orchard Robotics

I benefici tangibili dell'adozione dell'Intelligenza Artificiale in agricoltura includono decisioni agronomiche più precise, riduzione degli sprechi e dei costi operativi e miglioramento della sostenibilità ambientale. L'IA agisce come un "moltiplicatore" delle capacità umane: setaccia enormi quantità di dati per estrarne conoscenza utile, e reagisce in modo adattivo a situazioni complesse, aiutando l'operatore umano a prendere decisioni informate e a controllare sistemi automatici.

Oltre all'agricoltura e alla trasformazione primaria, **l'IA sta avendo impatti rilevanti anche nell'industria alimentare, nella logistica, nella distribuzione, nel retail e nella gestione a monte** (imballaggi, servizi). Ecco alcune delle principali applicazioni:

›Controllo qualità tramite computer vision e ispezione automatica

Sistemi che usano visione artificiale e algoritmi di deep learning per rilevare difetti visivi nei prodotti (es. frutta, carne, prodotti confezionati) in tempo reale, riducendo scarti e richiami. Un esempio recente a riguardo è lo studio su Hyperspectral Imaging (una tecnologia che combina l'imaging convenzionale con la spettroscopia per acquisire dati dettagliati su come la luce interagisce con gli oggetti a diverse lunghezze d'onda) per rilevare contaminanti e oggetti estranei sulla pancetta di maiale durante il processo industriale di lavorazione della carne, combinando immagini spettrali e modelli basati su vision transformer, con alta accuratezza anche in ambienti industriali sfidanti. Il sistema è progettato per essere implementato in tempo reale nelle linee di produzione della carne, offrendo un'alternativa più efficace e consistente all'ispezione manuale per garantire la sicurezza alimentare[8].

›Manutenzione predittiva e riduzione dei fermi macchine

[8] Hyperspectral Imaging for Identifying Foreign Objects on Pork Belly - Gabriela Ghimpeteanu, Hayat Rajani, Josep Quintana, Rafael Garcia

Come anticipato nel paragrafo relativo all'IoT, l'IA è usata per prevedere guasti agli impianti (motori, pompe, nastri) analizzando dati operativi, vibrazioni, consumi, temperature. Questo permette di pianificare interventi prima che si verifichino rotture costose. Questi sistemi sono particolarmente utili negli stabilimenti F&B dove un fermo non pianificato può causare sprechi alimentari o perdita di qualità.

›Ottimizzazione della pianificazione di produzione e previsione della domanda

Grazie al machine learning è possibile analizzare dati storici di vendita, fattori stagionali, condizioni di approvvigionamento per prevedere la domanda con maggiore accuratezza, così da evitare sovrapproduzione, stock-out o sprechi. Rappresenta inoltre un aiuto nelle decisioni su mix di prodotto, tempi di produzione e gestione dei lotti.

›Ottimizzazione della logistica e supply chain

L'IA rappresenta una rivoluzione per il routing e i trasporti, suggerendo percorsi ottimali tenendo conto di traffico, condizioni climatiche, stato dei veicoli. Riduce tempi, costi del trasporto e impatti ambientali. Anche a livello di magazzino non mancano le applicazioni, come nella gestione delle scorte automatizzata, con algoritmi che monitorano il magazzino in tempo reale (scadenze, giacenze, domanda prevista) per ridurre sprechi e ottimizzare spazi.

›Shelf-life prediction, tracciabilità e sicurezza alimentare

IL'IA applicata a dati provenienti da sensori (temperatura, umidità, attività microbica) permette di stimare quanto durerà un prodotto in conservazione ("shelf life") e dare alert su condizioni critiche. Inoltre, abilità la tracciabilità digitale: permette l'analisi dei dati provenienti da sensori, RFID e sensoristica ambientale, per garantire audit, autenticità, sicurezza del prodotto lungo filiera fino al consumatore.

›Ottimizzazione ingredienti / ricette / formulazione

L'IA aiuta a trovare formulazioni ottimali che rispettino gusto, costo, salute/nutrizione e sostenibilità (es. minor uso di grassi, sale, o riduzione del food loss). Algoritmi di ottimizzazione/ricerca esplorativa vengono usati per sperimentare combinazioni in modo efficiente.

Si tratta di soluzioni che permettono di ridurre in maniera significativa gli sprechi (scarti di linea, deterioramento durante il trasporto, disallineamento produzione-domanda), di migliorare la qualità del prodotto finale, di efficientare le operations grazie a minori fermi macchina, a un migliore uso della capacità e a un consumo energetico ridotto, di raggiungere nuovi livelli di trasparenza e compliance in ambito sicurezza alimentare, regolamentazioni, standard qualitativi e di avere maggiore agilità nelle risposte di mercato grazie a lanci rapidi, adattamenti nei mix prodotti, personalizzazione, e approvvigionamenti migliorati.

Un esempio di applicazione concreta e interessante dell'IA al mondo del food & beverage, nello specifico nella filiera vitivinicola, arriva dall'Australia, dove un gruppo di ricercatori dell'Università di Tasmania e del Tasmania Institute of Agriculture ha sviluppato un sistema che combina spettroscopia UV-Vis e algoritmi di machine learning per migliorare il controllo di qualità del vino[9]. Lo studio ha affrontato due compiti distinti ma complementari:

- **Prevedere le caratteristiche sensoriali del mosto d'uva** – come astringenza, amarezza ed erbaceo – a partire dai dati di assorbanza raccolti con spettrofotometro UV-Vis. I panel sensoriali umani sono stati usati per etichettare i campioni, ma la predizione automatica con ML ha permesso di ridurre il tempo e il costo delle analisi tradizionali. L'etichettatura manuale serve solo nella fase di creazione del dataset. Una volta addestrato, il modello permette di sostituire o ridurre le sedute di degustazione umana, ottenendo previsioni rapide, replicabili e a basso costo.
- **Classificare l'origine geografica del mosto** (regione e vigneto) utilizzando sia i dati spettrali sia parametri di base (pH, acidità totale, solidi solubili). Le letture UV-Vis catturano una "firma fenolica" e di altri composti (antociani, flavonoli, ecc.) che variano con suolo, microclima, gestione del vigneto e tecnologia di pressatura.

I ricercatori hanno testato vari algoritmi, tra cui Random Forest, reti neurali profonde e modelli sequenziali (LSTM), ma il Support Vector Machine (SVM), un algoritmo di machine learning supervisionato usato sia per classificazione che per regressione, ha dimostrato le performance migliori.
Questo approccio ha il potenziale di automatizzare la raccolta dei dati sensoriali e di supportare la tracciabilità e la certificazione di origine in

[9] Wine Characterisation with Spectral Information and Predictive Artificial Intelligence - Jianping Yao, Son N. Tran, Hieu Nguyen, Samantha Sawyer, and Rocco Longo

maniera rapida, economica e ripetibile. Inoltre, il modello ha individuato le lunghezze d'onda più informative (250–420 nm), informazione preziosa per progettare sensori più efficienti e mirati per l'uso industriale.
Lo studio conclude che la combinazione di spettroscopia, big data e IA rappresenta un passo importante verso le "smart wineries": cantine digitalizzate in grado di monitorare e ottimizzare il processo di vinificazione in tempo reale, migliorando qualità, coerenza del prodotto e riducendo tempi e costi di analisi.

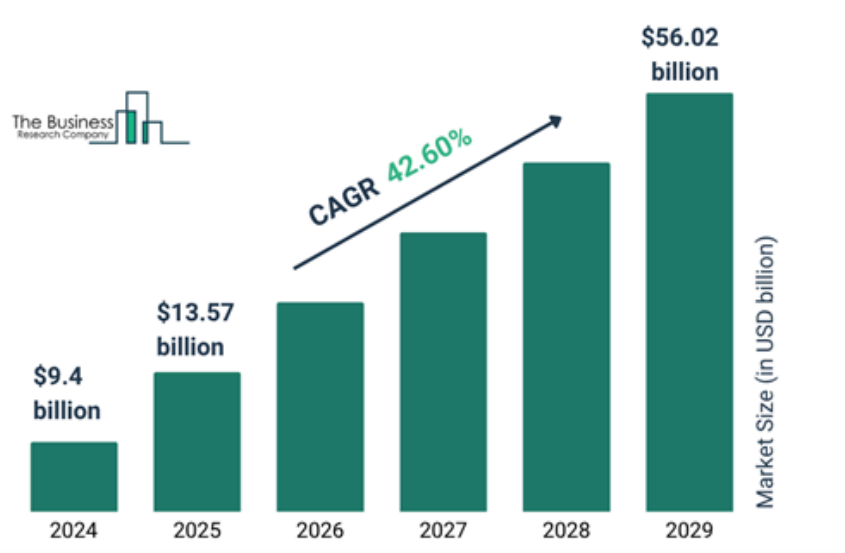


Figura 9: Crescita prevista del mercato globale dell'Intelligenza Artificiale nel settore Food & Beverage (2024–2029)

In conclusione, rispetto alla crescita di investimenti, secondo lo studio "AI in Food and Beverages Global Market Report 2025"[10] di The Business Research Company, il mercato dell'IA applicata al food & beverage passerà da 9,4 mld USD nel 2024 a 56,02 mld USD nel 2029, con un tasso annuo di crescita composto (CAGR) stimato del 42,6%.

[10] AI In Food And Beverages Global Market Report 2025 | The Business Research Company

Robotica e automazione

Nel contesto dell'agricoltura 4.0, la robotica rappresenta il passo successivo: tradurre le decisioni digitali in azioni fisiche automatizzate. Se l'IA è il cervello, **i robot agricoli sono le "braccia e gambe"** che eseguono operazioni sul campo o in stabilimento in modo autonomo. Attualmente, la robotica in agricoltura copre vari ambiti: **robot da campo per semina, trapianto, diserbo o raccolta; rover mobili per monitoraggio e ispezione; droni autonomi; e sistemi robotici fissi per allevamenti** (ad es. robot mungitori) **o per lavorazioni post-raccolta. L'adozione di robot in agricoltura è ancora limitata** (secondo l'ultimo studio dell'Osservatorio Smart Agrifood, solo il 7% delle aziende digitali dichiara di utilizzare "soluzioni robotiche"), ma l'interesse è crescente soprattutto per fronteggiare la carenza di manodopera specializzata e ridurre i lavori più faticosi o ripetitivi.

Alcuni esempi concreti di robot agricoli attuali: robot diserbo come FarmDroid[11] utilizzano visione artificiale per distinguere le erbacce dalle colture e le eliminano meccanicamente o con micro-dosi di erbicida, sgravando l'agricoltore dal diserbo manuale e riducendo l'uso di chimica. In viticoltura, rover a guida autonoma come VineScout[12] sviluppato dall'Università Politecnica di Valencia, pattugliano i filari rilevando parametri (vigore, stress idrico) con sensori multi-spettrali, fungendo da sentinelle instancabili tra le vigne. I ricercatori sottolineano come VineScout non sostituisca il viticoltore, ma arricchisca la sua conoscenza ed esperienza con informazioni più accurate e veloci.

Un altro campo dove la robotica è già affermata è quello della zootecnia da latte: migliaia di stalle nel mondo (in Italia soprattutto al Nord) utilizzano robot di mungitura automatici, che riconoscono la singola vacca, ne monitorano la salute durante la mungitura (tramite sensori nel latte) e riducono drasticamente il lavoro manuale dell'allevatore. Tali robot hanno aumentato produttività e benessere animale, mungendo più volte al giorno e raccogliendo dati su produzione e qualità latte in tempo reale.

[11] www.farmdroid.com
[12] VineScout: an autonomous vineyard observation robot developed by the Polytechnic University of Valencia - www.actuia.com/en/news/vinescout-an-autonomous-vineyard-observation-robot-developed-by-the-polytechnic-university-of-valencia/

La **robotica collaborativa** (cobot) sta prendendo sempre più spazio nelle aziende di trasformazione alimentare: bracci robotici "collaborativi" che lavorano fianco a fianco con gli operatori umani nei **reparti di confezionamento o in magazzino**, ad esempio per pallettizzare casse di prodotto finito, oppure per eseguire tagli e porzionature in salumifici e caseifici con precisione costante. In diversi stabilimenti lattiero-caseari sono stati introdotti cobot per movimentare le forme di formaggio durante la stagionatura (operazione ripetitiva e fisicamente gravosa), riducendo infortuni e migliorando l'efficienza.

Dal punto di vista economico, i costi dei robot agricoli sono ancora elevati, ma si prevede una loro diminuzione man mano che la tecnologia matura e la domanda cresce. L'analisi costi-benefici per l'azienda agricola dipende dalla scala. La sfida principale resta l'affidabilità in ambienti agricoli complessi: i robot devono sapersi muovere su terreni sconnessi, sotto intemperie, evitando ostacoli imprevisti (animali, persone, detriti) – situazioni ben più difficili di un prevedibile stabilimento industriale. Nonostante ciò, i progressi in sensoristica e AI stanno rapidamente migliorando le capacità di percezione e decisionali dei robot, rendendoli sempre più robusti per il campo aperto.

Possiamo aspettarci nei prossimi anni una crescita della robotica agricola soprattutto in alcuni segmenti: **l'orticoltura specializzata** (dove l'elevato valore delle colture giustifica investimenti in automazione), **la frutticoltura/viticoltura** (robot per potatura e raccolta selettiva, date anche le difficoltà a reperire manodopera stagionale) **e la zootecnia** (robot alimentatori e pulitori nelle stalle, oltre ai mungitori). La robotica contribuirà anche a rendere **l'agricoltura più precisa e sostenibile**, ad esempio attraverso micro-spraying robotizzato che riduce i trattamenti, o la semina robotica a rateo variabile che minimizza lo spreco di sementi. In parallelo, nell'industria alimentare la fabbrica automatizzata vedrà sempre più robot nelle linee produttive e nei magazzini (veicoli a guida automatica, AGV, per movimentare materie prime e prodotti finiti). In sintesi, dopo aver deciso meglio grazie ai dati, ora è possibile anche agire meglio grazie alle macchine.

Tracciabilità alimentare e innovazione digitale

La tracciabilità di filiera è ormai uno strumento strategico per garantire trasparenza, qualità e sostenibilità, ben oltre il mero rispetto delle normative. L'Osservatorio Smart AgriFood evidenzia come il digitale supporti l'intero processo di tracciabilità a 360°: dall'identificazione univoca dei lotti, alla raccolta automatizzata dei dati in real time tramite IoT, fino alla registrazione, gestione ed elaborazione per fornire una visibilità end-to-end della supply chain[13].

Le principali spinte alla digitalizzazione sono legate a:

- **Garantire origine, qualità, metodi produttivi;**
- **Misurare e migliorare la sostenibilità;**
- **Avere più visibilità sulla supply chain;**
- **Rendere più efficienti i processi di certificazione;**
- **Garantire la food safety.**

Dallo studio si evidenzia come i benefici più rilevanti emersi riguardano la costruzione di un rapporto più trasparente e diretto con il consumatore, con incremento della fiducia e della disponibilità a pagare, ma anche il miglioramento delle performance ambientali e sociali e una maggiore efficienza nella gestione dei dati e dei processi.

Il mercato italiano è particolarmente attivo: nel 2023 sono state censite 225 soluzioni (+22% rispetto al 2022), di cui il 72% software (verticali, gestionali integrati, piattaforme).

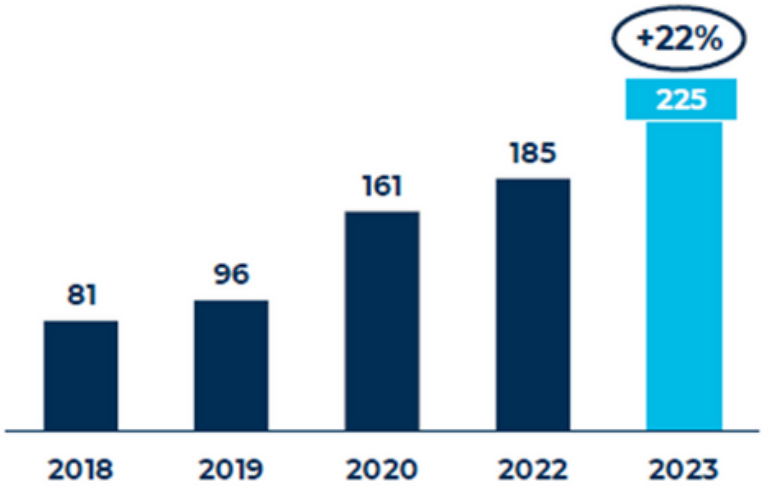


Figura 10: Numero di soluzioni sul mercato italiano che abilitano la tracciabilità digitale specifiche per il settore agroalimentare

[13] Tracciabilità alimentare e innovazione digitale: soluzioni e applicazione – Giugno 2024 – Osservatorio Smart Agrifood

Interessante anche il trend delle soluzioni "a supporto" – per logistica, qualità e storytelling – che arricchiscono la carta d'identità del prodotto e permettono di comunicare in modo più efficace la filiera al consumatore finale.

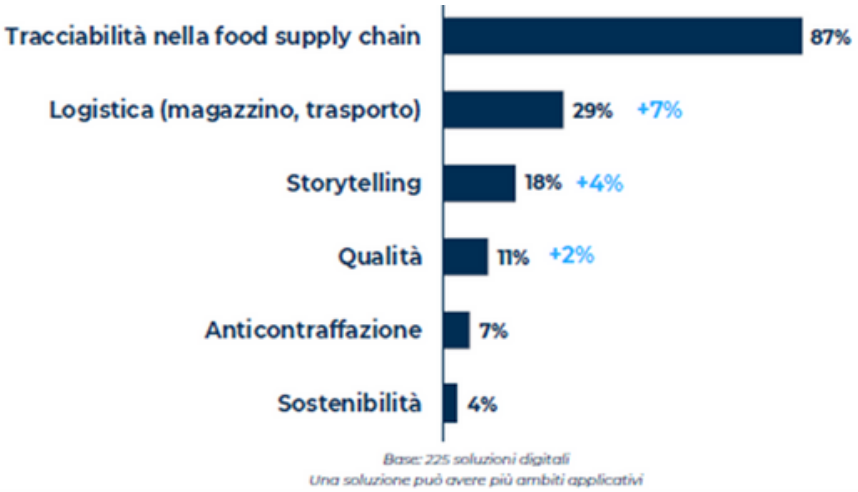


Figura 11: I principali ambiti applicativi delle soluzioni digitali per la tracciabilità

Un esempio virtuoso è il progetto di Verstegen Spices & Sauces, che ha digitalizzato la filiera della noce moscata: ogni piccolo produttore indonesiano utilizza smart card NFC per registrare le vendite, i dati vengono scritti su blockchain e il consumatore può scansionare un QR code per conoscere l'origine del prodotto e la remunerazione del produttore. Altri progetti si concentrano sulla sostenibilità ambientale, come l'iniziativa di Archer Daniels Midland per tracciare al 100% la soia USA destinata all'Europa e garantire il rispetto della direttiva EUDR (European Union Deforestation Regulation).
Infine, la blockchain sta vivendo una fase di maturazione: i progetti operativi rappresentano ormai un terzo del totale e non solo proof-of-concept.

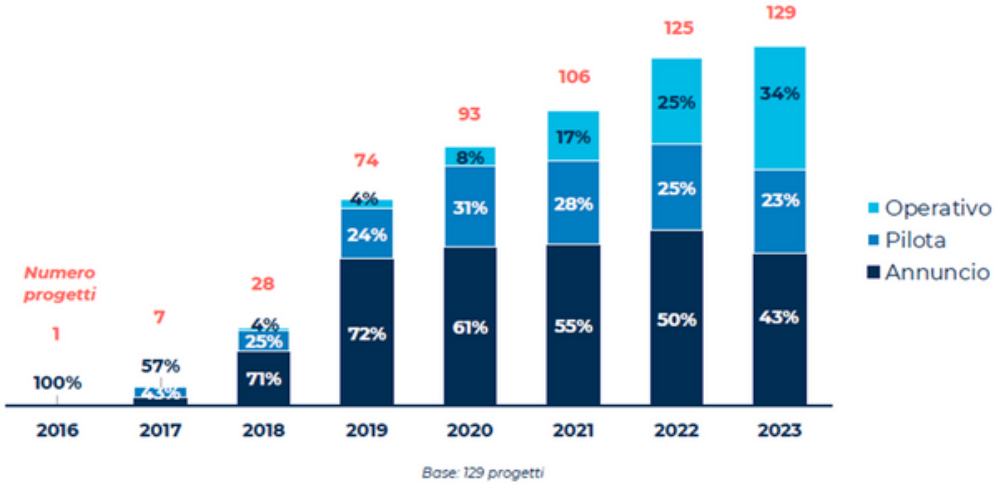


Figura 12: I progetti internazionali del settore agrifood che implementano la Blockchain

L'Europa, nei progetti blockchain, è l'area più attiva (29% dei progetti globali), con l'Italia che da sola pesa per il 12% del totale, in particolare su filiere di qualità e DOP/IGP.
Dando uno sguardo al mercato, secondo Market Research Future, il mercato globale della blockchain in agricoltura e food supply chain è stimato in 180,7 miliardi USD nel 2024, crescerà a 207,8 miliardi nel 2025 e raggiungerà 730,5 miliardi entro il 2034, con un CAGR del 15% nel periodo 2025-2034[14].

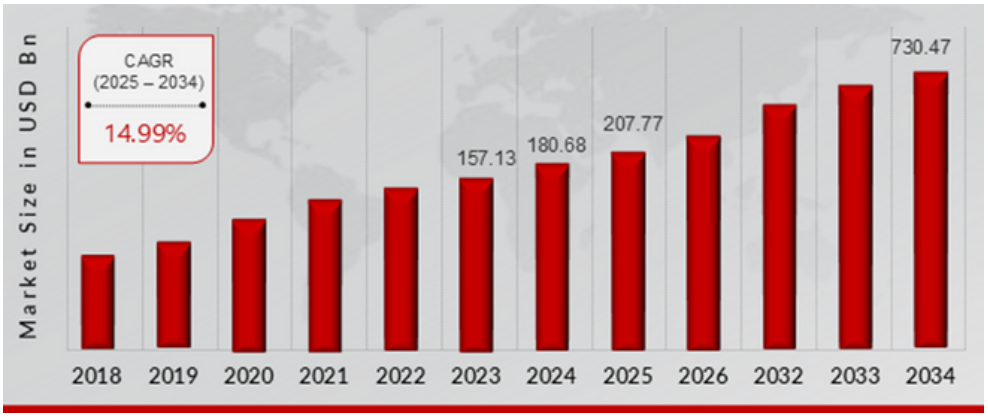


Figura 13: Andamento del mercato globale della blockchain in agricoltura e food supply chain

[14] Blockchain in Agriculture and Food Supply Chain Market Size - https://www.marketresearchfuture.com/reports/blockchain-in-agriculture-and-food-supply-chain-market-31200

Droni e telerilevamento satellitare

Accanto ai sensori in situ, anche il **telerilevamento a distanza tramite droni e satelliti sta rivoluzionando il modo di osservare e gestire le colture**.
I **droni agricoli** – velivoli senza pilota equipaggiati con camere ad alta risoluzione, sensori multispettrali o termici – **permettono di sorvolare i campi catturando immagini dettagliate dello stato delle piante e del terreno**.

Queste tecnologie offrono una "vista dall'alto" che consente di **individuare precocemente stress idrici, carenze nutrizionali, attacchi parassitari o altre anomalie difficili da cogliere a occhio nudo sul campo.** Ad esempio, dall'analisi di indici spettrali come l'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ricavati da immagini multispettrali, si può mappare il vigore vegetativo delle colture e identificare zone di campo con crescita stentata (forse per carenza di azoto o acqua). Intervenendo tempestivamente in tali aree mirate (es. con irrigazione o concimazione localizzata), l'agricoltore può correggere il problema ed evitare cali di resa. I droni trovano impiego anche per la distribuzione mirata di agrochemicals (spraying di precisione) e per operazioni speciali come la diffusione di insetti utili (es. lotta biologica con lancio di insetti antagonisti dei parassiti). Un vantaggio chiave dei droni è la loro flessibilità e alta risoluzione spaziale: possono volare a bassa quota e rilevare dettagli su piccole parcelle, risultando ideali per colture pregiate (vigneti, frutteti, orticole) dove anche differenze localizzate sono importanti. Inoltre, i voli possono essere ripetuti con frequenza (settimanale o dopo ogni evento meteo) fornendo una fotografia dinamica dello sviluppo colturale durante la stagione.

L'adozione di droni nel settore è ancora agli inizi ma in crescita costante. Come da figura 6, solo il 5% circa delle aziende agricole digitalizzate in Italia dichiara di usare soluzioni con droni, percentuale sinora limitata rispetto ad altre tecnologie 4.0, a causa di alcuni fattori: costi dei mezzi aerei, necessità di competenze di pilotaggio e analisi dati, nonché normative di volo restrittive in certe aree. Ciononostante, l'interesse è alto e diversi progetti sperimentali stanno mostrando il valore aggiunto dei droni.

Tecnologie emergenti nella filiera

Oltre alle tecnologie già maggiormente affermate, ve ne sono altre emergenti che promettono di portare l'innovazione agroalimentare a un livello ancora più avanzato. Tra queste meritano in primis attenzione **i digital twin, l'edge computing, le biotecnologie digitali, l'automatizzazione avanzata** e perfino le potenzialità del **quantum computing** in futuro.

- **Digital Twin** (Gemello Digitale): consiste nel creare una replica virtuale di un sistema fisico (un'azienda agricola, un impianto di trasformazione, o addirittura di una coltura specifica) su cui effettuare simulazioni e ottimizzazioni. In agricoltura, i digital twin possono simulare la crescita di una coltura in un certo ambiente: ad esempio la startup PhoGrow3D[15] ha sviluppato un sistema IA con gemelli digitali delle colture, che simula la crescita delle piante in ambienti controllati per ottimizzare l'uso di risorse e ridurre i costi di test in campo. Un gemello digitale di un vigneto, alimentato da dati meteorologici e da sensori reali, può permettere di provare virtualmente diversi scenari di irrigazione o concimazione e vedere l'effetto su resa e qualità, prima di applicarli realmente. Allo stesso modo, digital twin di impianti alimentari consentono di sperimentare modifiche di processo o nuovi layout produttivi in modo virtuale, individuando configurazioni ottimali senza interrompere la produzione reale. Questa tecnologia è ancora in fase iniziale nell'agroalimentare, ma è considerata molto promettente per supportare decisioni basate su simulazioni what-if, riducendo trial-and-error sul campo e anticipando possibili criticità (ad es. stress della pianta) nel mondo virtuale.

- **Edge Computing e IoT avanzato**: con la proliferazione di sensori e dispositivi IoT nei campi e negli stabilimenti, cresce la necessità di elaborare i dati vicino alla fonte, senza doverli inviare tutti al cloud centralizzato. L'Edge computing risponde a questa esigenza portando capacità di calcolo "sul campo", ad esempio in centraline locali o direttamente a bordo dei macchinari.

[15] www.phogrow3d.com

In agricoltura di precisione, l'edge computing consente di analizzare immediatamente i dati dei sensori e reagire in tempi rapidi: un esempio è una centralina di irrigazione intelligente che, grazie a un piccolo computer edge, elabora i dati di umidità su quel campo e attiva l'irrigazione automatica in pochi secondi, senza attendere istruzioni dal cloud. Il Progetto INTEGRA della Rete RIAV ha tra i suoi obiettivi quello di sviluppare un sistema informatico che combina edge.

- **Computing e High Performance Computing** (HPC) per gestire l'acquisizione, l'analisi e l'integrazione di grandi moli di dati da sensori fissi e mobili, sia outdoor che indoor. Ciò costituisce un tassello per costruire infrastrutture dove il dato grezzo viene filtrato e sintetizzato in loco (edge), inviando al cloud solo le informazioni essenziali da archiviare e analizzare storicamente. Questo approccio riduce la latenza (risposte più immediate) e ottimizza la banda (meno dati trasmessi), fondamentale quando si hanno migliaia di sensori o telecamere connesse. Ad esempio, un trattore dotato di videocamere e AI di visione edge può riconoscere ed estirpare le erbacce in tempo reale durante il passaggio sul terreno, senza dover mandare tutte le immagini a un server remoto. L'edge computing migliora l'autonomia dei sistemi sul campo (che continuano a funzionare anche con connettività internet scarsa o assente, tipica di zone rurali) e apre la strada ad applicazioni come i veicoli agricoli autonomi, che devono prendere decisioni "in loco" in frazioni di secondo per evitare ostacoli o regolare la rotta.

- **Biotecnologie digitali**: l'incrocio tra biotecnologie e digitalizzazione sta generando innovazioni notevoli nella genetica agraria e nelle scienze alimentari. Ad esempio, l'uso di big data genomici e algoritmi AI consente di accelerare i programmi di breeding (miglioramento genetico) individuando marcatori genetici legati a tratti desiderati con una velocità prima impensabile. Strumenti di gene-editing, coadiuvati da modellazione computerizzata, permettono di sviluppare varietà vegetali resistenti a stress climatici o malattie in tempi più rapidi. Un altro ambito è quello dei biosensori digitali: sensori basati su molecole biologiche (come enzimi o recettori) accoppiati a dispositivi elettronici, in grado di rilevare contaminanti o parametri qualitativi negli alimenti in modo veloce. Ad esempio, biosensori portatili connessi potrebbero rilevare in pochi minuti la presenza di patogeni su una linea di produzione alimentare, inviando l'allarme prima che il prodotto esca dallo stabilimento.

- **Automazione avanzata e veicoli elettrici**: tra le tecnologie emergenti possiamo includere lo sviluppo di trattori elettrici e a guida autonoma, spinto anche dalla necessità di ridurre emissioni e consumi carburante. I trattori elettrici, dotati di batterie e motori silenziosi, sono già in fase di test in vigneti e frutteti (dove l'autonomia limitata è meno problematica dati i percorsi brevi e la possibilità di ricaricare in azienda). Questi mezzi, integrati con GPS RTK e sensori LiDAR, possono diventare piattaforme robotiche modulabili a cui agganciare vari attrezzi, svolgendo lavorazioni senza conducente. La piena agricoltura autonoma (fattorie in cui semina, trattamenti e raccolta sono effettuati interamente da robot e mezzi automatici coordinati da un sistema centrale) è ancora futuristica, ma gli elementi tecnologici si stanno assemblando: visione artificiale, edge computing, connettività 5G rurale per far comunicare i mezzi, AI per la gestione flessibile delle operazioni. In ambito industriale, l'automazione avanzata include l'uso di veicoli a guida autonoma nei magazzini (AGV e droni inventariati), l'introduzione di sistemi cyber-fisici cooperativi (linee di produzione che riorganizzano autonomamente i flussi in base a esigenze, grazie a sensori IoT ovunque), e l'uso di realtà aumentata per supportare gli operatori nella manutenzione (smart glasses che mostrano istruzioni e dati in sovrimpressione mentre il manutentore ispeziona un macchinario).

Guardando ancora più avanti, non è utopistico pensare a tecnologie quantistiche applicate alla filiera: ad esempio, algoritmi di ottimizzazione quantistica potrebbero risolvere problemi complessi di logistica alimentare (come instradare migliaia di consegne deperibili minimizzando tempi e costi) più velocemente dei computer classici. Oppure simulazioni quantistiche della chimica potrebbero portare a nuovi fertilizzanti "intelligenti" o materiali per imballaggi alimentari più sostenibili. Queste frontiere sono ancora speculative, ma indicano come l'agroalimentare stia diventando terreno di applicazione per l'intero spettro delle tecnologie emergenti.

In conclusione, le tecnologie emergenti arricchiscono ulteriormente la cassetta degli attrezzi digitali a disposizione dell'agroalimentare. Digital twin permetteranno di testare scelte in un mondo virtuale gemello prima di attuarle in campo, riducendo rischi. Edge computing renderà i sistemi più reattivi e autonomi, fondamentale per i veicoli e dispositivi intelligenti sul campo.

Le biotecnologie digitali abiliteranno salti quantici in produttività e sostenibilità (nuove varietà resilienti, fermentazioni più efficienti, cibi personalizzati magari stampati in 3D). L'adozione di queste soluzioni di frontiera richiederà tempo e un ecosistema di supporto (ricerca, trasferimento tecnologico, investimenti mirati). Ma è verosimile che nei prossimi 5-10 anni alcune di esse diventino mainstream, proprio come oggi IoT e AI lo stanno diventando. L'importante è che il sistema agroalimentare italiano – imprese e istituzioni – continui a investire in innovazione e sperimentazione, per non farsi trovare impreparato all'alba di queste nuove rivoluzioni tecnologiche.

Piattaforme digitali e integrazione dati

La trasformazione digitale dell'agroalimentare non consiste solo nell'adozione di singole tecnologie, ma richiede anche un approccio integrato ai dati e ai processi. Per sfruttare appieno sensori, IoT, AI, ecc., le aziende hanno bisogno di **piattaforme digitali capaci di raccogliere, unificare e analizzare tutte le informazioni provenienti dalle diverse fonti lungo la filiera**. Si pensi ai dati meteorologici, ai parametri dei sensori IoT in campo, ai dati di produzione in stabilimento, ai dati di vendita e logistici: spesso questi dati sono eterogenei e dispersi in silos separati. Le piattaforme digitali fungono da "cervello centrale", connettendo i vari anelli della filiera e permettendo una visione d'insieme.
Un esempio sono i sistemi gestionali aziendali evoluti o FMIS (Farm Management Information System) per aziende agricole: software che integrano i dati agronomici (colture, appezzamenti, operazioni) con quelli contabili e logistici, offrendo un quadro completo dell'andamento aziendale.

Tali piattaforme spesso includono dashboard intuitive dove l'agricoltore può visualizzare mappe di vigore, grafici di trend climatici, bilanci di campo e alert; inoltre consentono di pianificare le attività (semina, trattamenti, irrigazione) e registrare automaticamente i trattamenti effettuati ai fini di conformità (quaderni di campagna digitali). Quando la stessa piattaforma collega anche la fase di stoccaggio e conferimento (ad es. cantina sociale o cooperativa), si crea un flusso informativo integrato dal campo all'impianto di trasformazione, con vantaggi di efficienza e tracciabilità.
Nella fase di industria alimentare, le piattaforme smart integrano i sistemi di produzione (SCADA, MES) con quelli gestionali e con dati esterni (ad es. previsioni di vendita), abilitando il paradigma Industry 4.0 nel food.
Un caseificio digitalizzato, ad esempio, può avere sensori IoT nei fermentatori e nei magazzini di stagionatura: la piattaforma raccoglie queste misure (temperature, pH, umidità) e attraverso algoritmi le collega con la qualità del prodotto finale, suggerendo regolazioni per mantenere standard costanti. Allo stesso modo, piattaforme di filiera possono connettere produttori agricoli e trasformatori: in alcuni distretti, gli agricoltori conferiscono i dati di raccolto in un portale web comune, attraverso cui il trasformatore (es. un frantoio oleario) sa in anticipo i volumi e le qualità in arrivo, ottimizzando la pianificazione della lavorazione. Un aspetto cruciale è l'interoperabilità: spesso i macchinari

e i dispositivi provengono da fornitori diversi e generano formati di dati proprietari, non immediatamente compatibili. La mancanza di interoperabilità è stata definita un vincolo, in quanto ostacola la piena integrazione dei sistemi. Per affrontare ciò, si stanno sviluppando standard e middleware in grado di tradurre e aggregare dati da fonti diverse. Una piattaforma digitale ben progettata può abilitare funzionalità avanzate: analisi Big Data, simulazioni e modelli (digital twin dell'azienda), servizi personalizzati. Ad esempio, la startup italiana Abinsula ha sviluppato AgreeTech, una piattaforma per agricoltura di precisione che integra dati da sensori IoT, satelliti e rilevamenti prossimali, fornendo un monitoraggio agronomico avanzato e modelli previsionali personalizzati per l'azienda utente. In pratica, i dati multi-fonte confluiscono in un sistema cloud dove algoritmi di AI elaborano previsioni sul decorso colturale o suggeriscono interventi ottimali, fungendo da consulente virtuale.

Dal lato logistico e commerciale, piattaforme digitali stanno rivoluzionando il modo in cui i prodotti agroalimentari vengono scambiati. Si moltiplicano i portali di intermediazione online che mettono in contatto diretto produttori e acquirenti (mercati digitali B2B per cereali, latte, frutta), migliorando la trasparenza dei prezzi e riducendo i passaggi. Queste piattaforme spesso incorporano servizi finanziari (es. fintech agricolo: pagamenti digitali, assicurazioni parametriche legate a dati meteo) e servizi logistici (tracking spedizioni, ottimizzazione carichi). L'integrazione dei dati end-to-end consente, ad esempio, di far sapere in tempo reale al distributore al dettaglio quale sarà la data di arrivo di un certo lotto, potendo avvisare i punti vendita per predisporre lo spazio a scaffale, riducendo sprechi e rotture di stock.
In sintesi, le **piattaforme digitali sono l'ossatura invisibile che collega le varie tecnologie innovative in un sistema coerente.** Senza di esse, il rischio è quello di implementare soluzioni puntuali (un sensore qui, un robot là) senza ottenere pienamente il potenziale beneficio, perché i dati restano isolati e le decisioni non vengono prese sulla base di un quadro complessivo.
Al contrario, con piattaforme integrate si può aspirare a una gestione unificata della filiera basata sui dati (data-driven), dove ogni informazione trova il suo posto e utilità. Va detto che l'adozione di tali piattaforme richiede competenze e investimenti non banali, specialmente per le PMI: oltre al software in sé, serve formare il personale ad utilizzarlo e spesso ripensare i flussi di lavoro aziendali in chiave digitale. Nonostante le difficoltà, i trend indicano che l'agroalimentare sta andando verso ecosistemi digitali integrati: chi riuscirà a connettere tutti i pezzi (campi, fabbrica, magazzino, negozio, consumatore) disporrà di un vantaggio competitivo notevole in termini di efficienza operativa, qualità del servizio e capacità di adattamento al mercato.

Sfide e difficoltà della digitalizzazione del settore

L'entusiasmo per le tecnologie digitali in agricoltura e nell'industria alimentare deve fare i conti con la realtà pratica dell'implementazione. La trasformazione digitale del settore agroalimentare si scontra infatti con diverse sfide e difficoltà, che vanno oltre gli aspetti tecnici e abbracciano dimensioni economiche, sociali e culturali. In questo capitolo si proverà ad esaminare gli ostacoli principali riscontrati nel percorso di digitalizzazione, con un focus particolare sulle competenze e la formazione necessarie lungo tutta la filiera – dall'imprenditore agricolo agli operai di produzione, fino ai tecnici della logistica – affinché l'innovazione possa essere davvero adottata ed esprimere il suo potenziale.

1.Barriere economiche e dimensionali

Molte aziende agricole e PMI alimentari operano con margini ristretti e risorse finanziarie limitate. Gli investimenti richiesti per implementare sistemi avanzati (es. acquistare sensori, droni, software gestionali, robot) possono essere percepiti come onerosi, soprattutto se il ritorno economico non è immediato o chiaramente quantificabile. Questo è particolarmente vero per le aziende di piccola scala, che rappresentano la maggioranza in Italia: spesso faticano a intravedere benefici tangibili nel breve periodo a fronte dei costi e quindi esitano ad investire nell'innovazione digitale. Inoltre, il modello agricolo italiano (molti piccoli produttori) rende difficile ottenere economie di scala negli acquisti di tecnologia – cosa che all'estero (es. grandi aziende in USA o in Nord Europa) facilita la diffusione. Un drone o un robot possono essere giustificati su 500 ettari di coltivazioni, ma molto meno su 10 ettari frammentati. Questo crea un circolo vizioso: le imprese più piccole, che avrebbero forse più bisogno di efficienza, rischiano di restare escluse dall'innovazione. Tra le soluzioni in atto vi sono incentivi pubblici e sgravi e modelli di servizio condiviso – ad esempio cooperative o contoterzisti che acquistano la tecnologia e la mettono a disposizione di più aziende. Tuttavia, il rallentamento o la riduzione di questi incentivi negli ultimi anni ha subito mostrato un impatto: nel 2024, con la flessione degli aiuti, il mercato agritech ha segnato la prima contrazione (- 8%, Figura 5).

2.Interoperabilità e standard

La scarsa interoperabilità tra sistemi rappresenta un freno notevole. Molti agricoltori che hanno provato ad introdurre l'agricoltura di precisione si sono scontrati con "isole tecnologiche" non comunicanti – ad esempio, un trattore a guida GPS di marca X i cui dati non sono leggibili dal software gestionale Y, o sensori IoT proprietari che funzionano solo con la piattaforma del fornitore e non con altre. Questo crea frustrazione e inefficienze, e talvolta porta all'abbandono della tecnologia. La situazione sta migliorando: molti nuovi dispositivi adottano protocolli standard e ci sono sforzi a livello di consorzi internazionali per l'armonizzazione dei dati agrari. Ma si è ancora lontani dalla plug&play. Questa complessità tecnica può scoraggiare chi non ha un reparto IT interno (cioè la quasi totalità delle aziende agricole e PMI alimentari). La semplicità d'uso è cruciale: se la tecnologia si presenta troppo complicata da far funzionare, l'adozione ne risente.

3.Infrastrutture e connettività

La digitalizzazione efficace richiede infrastrutture di base adeguate – in primis la connessione internet veloce nelle aree rurali. Molte zone agricole soffrono ancora di connettività limitata (banda stretta o instabile). Ciò può impedire, ad esempio, il funzionamento di sistemi cloud in campo o l'uso di applicazioni IoT avanzate. Fortunatamente, negli ultimi anni la situazione sta migliorando con progetti di banda ultra-larga e l'arrivo di tecnologie come il 5G e internet via satellite (Starlink e simili) che possono coprire aree remote. Tuttavia, restano sacche di digital divide. Un altro elemento infrastrutturale è l'energia elettrica affidabile: i sensori IoT devono essere alimentati (anche se molti vanno a batteria e pannelli solari), e soprattutto se parliamo di trattori elettrici o sistemi edge in campo, serviranno reti elettriche robuste o sistemi di accumulo. In mancanza di infrastrutture, la trasformazione digitale rischia di rimanere a metà.

4.Resistenza al cambiamento e fattore umano

"Culture eats strategy for breakfast", la cultura aziendale può vanificare anche la migliore strategia digitale se le persone non la abbracciano. Nel settore agroalimentare, con la sua forte tradizione, molti operatori possono mostrare diffidenza verso le nuove tecnologie. L'agricoltore veterano che per 40 anni ha deciso quando irrigare guardando il cielo e toccando il suolo può non fidarsi di un sensore che gli dice il contrario; l'enologo che ha fatto vini eccellenti con la sua esperienza potrebbe guardare con sospetto un algoritmo che gli suggerisce di anticipare la svinatura.

Questa resistenza psicologica è normale, l'innovazione può mettere in discussione competenze acquisite e prassi consolidate. Inoltre, c'è la paura dell'ignoto e dell'errore: cosa succede se il trattore a guida automatica sbaglia e rovina il raccolto? E se il computer si guasta nel momento del bisogno? Molti agricoltori evidenziano la mancanza di fiducia nel digitale dovuta a inesperienza o a timore di perdere il controllo. Per superare tali resistenze, è fondamentale puntare su formazione, dimostrazioni pratiche e accompagnamento. Anche il coinvolgimento delle nuove generazioni è chiave: i giovani imprenditori agricoli sono in genere più aperti e propensi all'innovazione. Purtroppo, come noto, l'agricoltura italiana soffre di scarso ricambio generazionale: meno del 10% delle aziende agricole è condotto da under 40[16], e addirittura oltre il 57% dei capi azienda ha più di 60 anni. Questo squilibrio genera inerzia rispetto al cambiamento. La mancanza di digital mindset a livello dirigenziale nelle aziende di food&beverage è inoltre un ostacolo segnalato in diversi studi. Per questo, oltre ai tecnici operativi, anche i manager e i titolari vanno formati ai concetti di Industria 4.0, data analytics, ecc., affinché diventino sponsor interni dell'innovazione.

5.Competenze e formazione

La carenza di competenze digitali lungo tutta la filiera è un tema cruciale. L'introduzione di sensori, AI, robot implica nuove abilità da parte degli addetti. Servono figure capaci di installare e manutenere i dispositivi tecnologici (es. sistemi IoT in campo, centraline, droni), di interpretare i dati generati (agronomi data analyst, tecnologi alimentari con skill di data science), di gestire la cybersicurezza dei sistemi. Molti agricoltori non hanno ricevuto una formazione adeguata all'uso di questi strumenti. Spesso, acquistato il macchinario, si trovano in difficoltà a sfruttarne tutte le funzionalità per mancanza di addestramento. È quindi essenziale organizzare percorsi formativi mirati: corsi brevi per agricoltori sull'uso pratico di tecnologie specifiche, corsi professionalizzanti per giovani che vogliano diventare digital farming specialist, ma anche formazione continua per i dipendenti dell'industria alimentare (saper interagire con robot collaborativi, utilizzare interfacce digitali per il controllo qualità, etc.).

[16] www.rivistailmulino.it/a/giovani-agricoltori

Negli ultimi anni si stanno moltiplicando iniziative in tal senso: ad esempio corsi gratuiti finanziati da fondi UE per competenze digitali in agrifood (come quelli promossi da vari enti di formazione regionale). Gli ITS (Istituti Tecnici Superiori) in ambito agroalimentare stanno introducendo moduli su agricoltura di precisione e tracciabilità blockchain. E alcune università hanno attivato Master in Agricoltura Digitale o Smart Agrifood. Tuttavia, il fabbisogno è ampio e coinvolge tutte le fasce: non solo formare nuove figure, ma anche riqualificare il personale esistente. Ad esempio, un operatore di linea in un pastificio che per 20 anni ha fatto controlli visivi sul prodotto, deve essere formato per collaborare con un sistema di visione artificiale.

6.Privacy e fiducia nei dati

Un altro ostacolo meno tangibile ma importante è la gestione di dati sensibili e la fiducia reciproca. Digitalizzare la filiera significa raccogliere enormi quantità di dati su terreni, pratiche colturali, ricette di prodotti alimentari, performance economiche, etc. Queste preoccupazioni, se non affrontate, possono portare a resistenze nel fornire dati ai sistemi digitali o nell'adottarli. È qui che entrano in gioco contratti chiari (ad es. sul possesso e utilizzo dei dati raccolti dalle macchine), misure di sicurezza informatica per evitare fuoriuscite di informazioni, e architetture come la già citata blockchain che possono dare garanzie di trasparenza sul come e dove i dati vengono usati. Creare un ecosistema digitale di filiera richiede fiducia tra gli attori: strumenti come codici etici dei dati e piattaforme governate in modo equo (es. consorziate tra produttori) possono aiutare a far percepire il digitale non come minaccia ma come opportunità condivisa.

7.Incertezza normativa e burocrazia

Spesso l'innovazione corre più veloce delle norme. Ci sono casi in cui mancano riferimenti normativi chiari, o al contrario eccesso di burocrazia, che frenano l'adozione. Un esempio è la normativa sui droni, che fino a pochi anni fa limitava molto l'uso in agricoltura per questioni di regolamentazione dello spazio aereo e patentini: solo di recente ENAC ha introdotto semplificazioni per droni agricoli leggeri. Anche in ambito di blockchain e smart contract, la mancanza di uno status legale definito (ad esempio: un registro blockchain può sostituire ufficialmente un registro cartaceo? uno smart contract può valere come contratto legale per la compravendita di grano?) crea zone grigie che scoraggiano le aziende ad affidarsi totalmente a questi strumenti.

D’altro canto, la burocrazia tradizionale non si è ancora adattata: molte aziende che digitalizzano processi si trovano comunque a dover stampare carta e compilare moduli per adempimenti vari, vanificando in parte l’efficienza acquisita.Un avanzamento positivo è stato la modifica normativa che obbliga dal 2025 di tenere il registro dei trattamenti fitosanitari in formato digitale (registro dematerializzato), cosa che incentiva l’uso di app e gestionali al posto del cartaceo.
In sintesi, il percorso di digitalizzazione del settore agroalimentare è ricco di potenzialità ma anche di ostacoli concreti. Questi ostacoli non vanno ignorati: conoscerli è il primo passo per rimuoverli. Come evidenziato, uno dei fattori trasversali è il capitale umano: senza adeguate competenze e mentalità aperta all’innovazione, i migliori sensori o algoritmi servono a poco. Per questo, investire in formazione e accompagnamento del cambiamento è tanto importante quanto investire in tecnologia. Inoltre, servono politiche e strategie che facilitino l’accesso all’innovazione anche ai piccoli (aggregazione, incentivi mirati, servizi condivisi), e un impegno continuo nel costruire un ecosistema di fiducia e collaborazione tra imprese, fornitori tecnologici, enti di ricerca e istituzioni. Solo così la trasformazione digitale potrà davvero dispiegare i suoi benefici lungo tutta la filiera, anziché creare nuove disparità.

Conclusioni

Dal report emergono chiaramente sia le enormi opportunità offerte dalla digitalizzazione della filiera agroalimentare, sia le complessità da affrontare per attuarla con successo. L'Italia dispone di un patrimonio agroalimentare unico – in termini di prodotti, biodiversità, know-how – che può essere ulteriormente valorizzato e reso competitivo globalmente grazie alle tecnologie innovative. Tuttavia, la trasformazione digitale non è automatica né semplice: richiede visione strategica, investimenti continuativi e un approccio sistemico che coinvolga tutti gli attori lungo la filiera.

In primo luogo, a livello istituzionale e di policy, è fondamentale creare un contesto favorevole: le politiche pubbliche dovranno continuare a sostenere l'innovazione con incentivi ad hoc (specialmente indirizzati alle PMI e ai giovani agricoltori), ma anche semplificando le normative e la burocrazia legate all'adozione di nuove tecnologie. Servono inoltre iniziative di coordinamento: la filiera agroalimentare coinvolge agricoltura, industria, logistica, distribuzione e richiede piattaforme e standard condivisi. In tal senso, sarebbe strategico promuovere progetti pilota integrati (magari a livello regionale o di distretto) in cui si sperimentino ecosistemi digitali dall'azienda agricola fino al mercato, coinvolgendo tutti i soggetti (fornitori tecnologici, imprese, università, enti di controllo). Tali progetti fungerebbero da best practice replicabili. Una menzione va fatta alle priorità individuate dal Rapporto Ambrosetti 2025 sul settore Food & Beverage: tra di esse spicca l'importanza di incrementare gli investimenti in ricerca e sviluppo per sostenere l'innovazione della filiera agroalimentare e la competitività del Paese. Questa priorità – insieme a quelle su sostenibilità climatica, dimensione aziendale, export e tutela del made in Italy – sottolinea come l'innovazione tecnologica sia un pilastro riconosciuto per il rilancio del settore nei prossimi anni.

Dal lato delle imprese, occorre adottare una prospettiva di medio-lungo termine: la digitalizzazione va inserita nei piani strategici aziendali come fattore chiave di sviluppo, e non vissuta come un semplice costo. Le imprese leader dovrebbero farsi traino (anche condividendo esperienza con filiere di fornitura), mentre le associazioni di categoria e i consorzi possono fungere da catalizzatori aggregando domanda di innovazione.

Un altro aspetto strategico è la sostenibilità: digitale e green devono procedere insieme, in un'ottica di Twin Transition. Diventa opportuno orientare l'innovazione in modo da perseguire obiettivi ambientali misurabili.

Non va poi dimenticato l'aspetto sociale e territoriale: la digitalizzazione può aiutare a rendere più attrattivo il lavoro in agricoltura per i giovani (più innovazione, meno fatica fisica, nuove professionalità), contribuendo a miti

gare il problema dell'invecchiamento e dell'abbandono delle aree rurali. Creare nuove figure professionali – come il digital agronomist, il tecnico manutentore di robot agricoli, l'esperto di dati per l'industria alimentare – significa portare occupazione qualificata in settori tradizionalmente considerati "a bassa qualifica". Questo richiede uno sforzo coordinato con il sistema educativo (dagli istituti tecnici alle università), ma i benefici ricadranno sul territorio in termini di competitività e coesione. Un settore agroalimentare innovativo e sostenibile può favorire la nascita di startup nelle aree rurali, arginando la fuga di talenti verso le città e creando un indotto di servizi digitali (smart villages). Dunque, l'innovazione digitale in agricoltura non è solo questione di produzione, ma anche di sviluppo territoriale e inclusione.

Possiamo dire che la filiera agroalimentare sta entrando in una nuova era di trasformazione, forse paragonabile per portata alle rivoluzioni meccaniche e chimiche del secolo scorso. La digitalizzazione integrale della filiera – dall'agricoltura 4.0 all'industria alimentare 4.0, fino alla logistica intelligente – rappresenta non solo un obiettivo tecnologico, ma una visione strategica di insieme: un sistema agroalimentare più efficiente, trasparente, sostenibile e resiliente. Per l'Italia, che fa dell'agroalimentare un pilastro economico e identitario, cogliere questa sfida è imprescindibile per rilanciare la competitività a livello internazionale e, al contempo, perseguire modelli di produzione più green e sicuri. Gli ingredienti del successo saranno: coordinamento tra attori (nessuno può innovare da solo un'intera filiera), investimenti mirati e costanti (in tecnologia ma soprattutto in persone), e capacità di visione.

In questo contesto, **la rete RIAV, si propone di essere un acceleratore di adozione digitale per le imprese della filiera agroalimentare del Veneto.**

IN.TE.G.R.A., il progetto in sviluppo da alcune aziende e centri di ricerca aderenti a RIAV, rappresenta l'attuazione pratica delle priorità delineate dal report: dati affidabili e continui per decisioni operative, modelli predittivi realmente utilizzabili, sostenibilità misurabile nei processi e nei territori, tracciabilità estesa (anche biologica) e soluzioni replicabili**.** Così RIAV non si limita a promuovere tecnologie, ma costruisce le condizioni — tecniche, organizzative e di competenza — perché l'innovazione diventi vantaggio competitivo diffuso per la filiera veneta, con effetti concreti su produttività, resilienza climatica e fiducia dei mercati.

fondazionespeedhub@confindustria.vr.it

www.fondazionespeedhut.it

FONDAZIONE SPEEDHUB
INNOVAZIONE IMPRESA SUPPLY CHAIN

DIH
Digital Innovation Hub

RIAV
Rete Innovativa
Alimentare Veneto