



# Agricoltura avanzata, coltivazione precisa e verticale



Anche la produzione agricola sta diventando smart. L'intera filiera dell'agrifood si sta trasformando grazie a un insieme di tecnologie digitali come: Gps, Gis, sistemi di guida automatici, droni, smart sensor, sistemi meccatronici e robotici, modelli di supporto alle decisioni, Blockchain. E si diffondono le installazioni di vertical farming.

Mario Gargantini



Il dosaggio variabile permette di fornire alle piante le sostanze di cui necessitano, con precisione, utilizzando droni e diverse piattaforme di sensori

**A FIL DI RETE**  
[www.osservatori.net](http://www.osservatori.net)  
[www.som.polimi.it](http://www.som.polimi.it)  
[www.rise.it](http://www.rise.it)  
[www.imem.cnr.it](http://www.imem.cnr.it)  
[www.iccom.cnr.it](http://www.iccom.cnr.it)  
<https://site.unibo.it>

O rmai anche per l'agrifood si parla di sistemi 4.0, ad indicare il ruolo che in tutta la filiera agroalimentare stanno assumendo le nuove tecnologie digitali. Non solo se ne parla ma si possono quantificare risultati positivi in questi ultimi anni: il mercato mondiale dell'Agricoltura 4.0 continua a crescere e se nel 2022 ha

registrato un aumento del 10%, si stima che entro il 2027 possa raggiungere un valore di circa 30 miliardi.

In Italia, secondo i dati elaborati dall'Osservatorio *Smart Agrifood 2023* della **School of Management del Politecnico di Milano** e del Laboratorio **Rise** dell'Università degli Studi di Brescia, il mercato dell'**Agricoltura 4.0** nel 2022 è



La coltivazione verticale, detta anche Vertical Farming, avviene all'interno di un ambiente controllato, fuori dal suolo e su più livelli

cresciuto del **31%** rispetto al 2021 arrivando a superare la soglia dei 2 miliardi di euro.

L'ampio ricorso alla digitalizzazione in agricoltura si spiega considerando i vantaggi evidenti che questo comporta: l'adozione di soluzioni 4.0 consente aumenti dell'efficienza produttiva, riduzione dell'impiego di risorse (acqua, concimi, foraggi) e conseguente riduzione dei costi di produzione. Lo stesso Osservatorio rileva come più della metà delle aziende agricole implementi più di una soluzione; mentre tra le aziende di trasformazione agroalimentare un buon 82% ha utilizzato o sperimentato almeno una soluzione digitale.

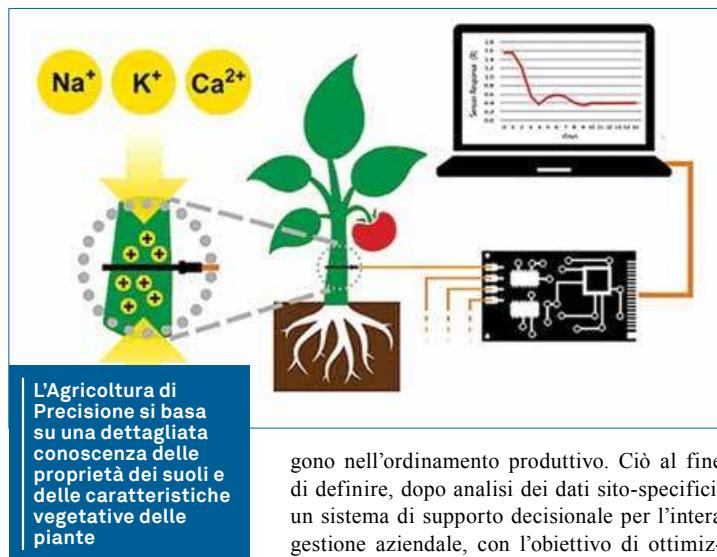
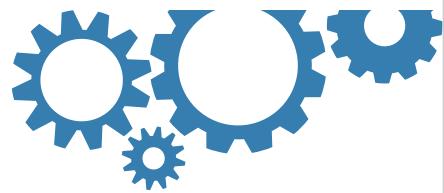
Limitandoci all'ambito dell'Agricoltura, la crescita è guidata dalla spesa per macchine e attrezzature agricole nativamente connesse (47% del mercato) seguita da quella per sistemi di monitoraggio e controllo applicabili a mezzi e attrezzature agricole post-vendita (35%). Parallelamente è cresciuta la superficie coltivata con strumenti di Agricoltura 4.0: nel 2021 ha toccato il 6% del totale, il doppio dell'anno precedente.

Altro dato significativo è la crescita del numero di startup dello Smart Agrifood, attive prevalentemente nei servizi legati alla tracciabilità dei prodotti così come nei sistemi di monitoraggio da remoto delle coltivazioni e delle macchine agricole.

### Agricoltura di Precisione

Ma cosa significa Agricoltura 4.0 e quali sono le tecnologie e le innovazioni che maggiormente la caratterizzano? Possiamo riferirci a una denominazione che meglio suggerisce l'idea sintetica di questo nuovo modo di gestire il settore primario: parliamo di **Agricoltura di Precisione** (AdP), un'espressione introdotta negli Usa negli anni 90 ad indicare un insieme di soluzioni e di approcci poi sempre più sviluppati grazie anche al diffondersi di tecnologie trasversali quali: i Gps, i Gis, i sistemi di guida automatici, i droni, gli smart sensor, i sistemi meccatronici e robotici, i modelli di supporto alle decisioni.

Una definizione di Agricoltura di Precisione è quella formulata già nel 1997 dal National Research Council americano che la descrive come: "Una strategia che usa le tecnologie d'informazione per integrare dati provenienti da più strati informativi ai fini decisionali per la gestione dei sistemi agricoli"; mentre una definizione più compiuta è presente nelle corrispondenti Linee Guida emanate dal **Mipaaf** (Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali) nel 2017 che la qualificano come "una gestione aziendale (agricola, ma anche forestale e zootecnica) basata sull'osservazione, la misura e la risposta dell'insieme di variabili quantitative inter ed intra-campo che interven-



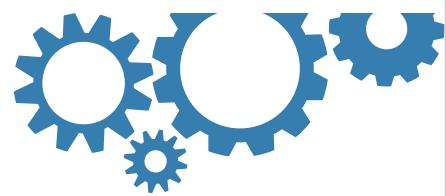
gono nell'ordinamento produttivo. Ciò al fine di definire, dopo analisi dei dati sito-specifici, un sistema di supporto decisionale per l'intera gestione aziendale, con l'obiettivo di ottimizzare i rendimenti nell'ottica di una sostenibilità avanzata di tipo climatico e ambientale, economico, produttivo e sociale". In pratica si tratta di una prospettiva stimolante e interessante per tutti gli operatori della filiera, cioè la possibilità di intervenire al momento giusto, nel posto giusto, con il giusto mezzo tecnico, alla giusta dose sia in agricoltura convenzionale, a basso impatto, che in agricoltura biologica.

Lo stesso documento del Mipaaf ci può aiutare a individuare le tecnologie, sulle quali si fonda, di Agricoltura di Precisione. "Tecnologie di **elettronica** preposte sia all'acquisizione del dato, sia all'impiego dell'informazione all'interno del contesto produttivo; sono, pertanto, tecnologie che generano e usano informazioni nella fase iniziale e finale del ciclo produttivo. Tecnologie di posizionamento con le quali le informazioni per il ciclo produttivo si integrano con ulteriori dati indispensabili quando entra in gioco una dimensione spaziale (o sito-specifica) del processo produttivo. Tecnologie **informatiche** hardware per la gestione fisica dei dati, ovvero la disponibilità di sistemi e supporti o canali fisici per la loro visualizzazione, conservazione, trasmissione e tecnologie informatiche software preposte all'elaborazione delle informazioni e all'interfacciamento delle funzionalità digitali dell'hardware ai fini della fruibilità per gli utenti finali. Sono inoltre esaminate due tecnologie fondamentali all'interno dell'Adp: la guida semiautomatica e il

dosaggio variabile. La prima prevede l'installazione di sistemi di **guida semi-automatica** (tramite Gps) sui trattori in modo che in campo gli stessi possano muoversi con una 'precisione' superiore a quella garantita da un operatore. Il **dosaggio variabile** permette di fornire alle piante con 'precisione', ossia secondo le concrete esigenze, le sostanze di cui necessitano. A questo scopo sono utilizzate mappe create ad hoc attraverso l'ausilio di strumenti come satelliti, droni e sensori di prossimità".

L'Agricoltura di Precisione si basa su una dettagliata conoscenza della variabilità spaziale delle principali proprietà dei suoli e delle caratteristiche vegetative delle piante nei sistemi colturali. Per l'acquisizione dei dati - osserva il documento del Mipaaf - entrano in gioco i sensori, distinguibili in 'aero-spaziali' e 'terrestri'. Negli ultimi anni, "la **sensoristica da remoto** ha subito una notevole evoluzione, passando da sensori che analizzavano solo porzioni limitate dello spettro elettromagnetico (essenzialmente il visibile e l'infrarosso vicino), a sensori in grado di utilizzare un ampio intervallo di lunghezze d'onda (dalle microonde agli ultravioletti), consentendo di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser, così come di utilizzare la spettrofotometria a fluorescenza e la spettrometria termica. La larghezza di banda spettrale si è poi ridotta drasticamente con l'avvento del rilevamento iperspettrale, che permette una migliore analisi di composti specifici, delle interazioni molecolari, dello stress delle colture e consente, inoltre, di individuare specifiche caratteristiche biofisiche e biochimiche". Nel contempo, l'evoluzione dei sensori ha incrementato la risoluzione spaziale, permettendo la valutazione del suolo e delle colture con un'accuratezza sub-metrica, richiedendo, però, l'incremento delle capacità di memorizzazione ed elaborazione dei dati.

La realizzazione di cartografie (Gis, pedologiche ecc.) con adeguata scala di dettaglio può avvalersi di misure più economiche ed efficienti, grazie allo sviluppo di **sensori prossimali** (che eseguono la misura a distanze minime di 1-2 m o tramite contatto diretto col suolo) che forniscono mappe molto dettagliate della variabilità del suolo a diverse profondità; rispetto ai sensori aviotrasportati o satellitari, hanno il pregio di avere una maggior precisione e un più



semplice utilizzo, ma a corto raggio. Tra i sensori prossimali troviamo quelli per il monitoraggio della coltura, quelli per il monitoraggio della produzione, il monitoraggio della qualità e quelli - connessi in reti wireless - per il monitoraggio in tempo reale dei parametri legati alla fisiologia della pianta e al suo ambiente di sviluppo, che diventano così fruibili da remoto. Un altro ambito che sta trasformando l'attività produttiva in agricoltura riguarda lo sviluppo di tecnologie per consentire il dialogo tra macchine (machine-to-machine, M2M) che a sua volta si inserisce nel più ampio tema dell'**IoT** (Internet of Things).

L'interconnessione tra le macchine vede già impegnati alcuni costruttori (ad esempio il dialogo tra raccogli-trincia-distributrici e rimorchi ecc.); mentre alcune applicazioni IoT partono direttamente dal campo e dall'interno delle coltivazioni. È il caso di un sistema sviluppato dal **Cnr-Imem** (Istituto dei Materiali per l'Elettronica ed il Magnetismo) che contribuisce al raggiungimento di uno degli obiettivi principali dell'Agricoltura 4.0 cioè il risparmio e un più efficiente utilizzo della risorsa idrica, considerando che ad oggi le produzioni agricole consumano il 70% delle risorse idriche disponibili sul pianeta. Si tratta di **Bioristor**, un transistor elettrochimico organico (Oect: Organic Electro Chemical Transistor) che viene inserito nel fusto delle piante ed è in grado di monitorare in modo continuativo e in tempo reale i cambiamenti nella composi-

zione ionica della linfa delle piante; è stato già applicato per studiare stress di natura abiotica in ambiente controllato su numerose specie tra cui: pomodoro, kiwi, soia, la canna da fiume. In campo il bioristor è collegato a una centralina WiFi che può trasmettere il segnale a una App ed è in grado di rilevare l'insorgenza dello stress idrico e inviare un segnale all'agricoltore o alle macchine operatrici segnalando che è ora di irrigare: è evidente il contributo alla riduzione degli sprechi di acqua irrigua e quindi all'aumento della sostenibilità delle produzioni agricole.

### Tracciabilità

Tra i fattori che stanno guidando l'innovazione nel settore agroalimentare, emerge la richiesta di una sempre maggiore trasparenza e sicurezza. La tracciabilità è uno degli ambiti in cui le aziende stanno maggiormente utilizzando il digitale, anche per finalità di marketing e comunicazione nei confronti del consumatore finale. Secondo l'indagine condotta dal citato Osservatorio Smart AgriFood sui consumatori, "oltre metà degli italiani (53%) ricerca sempre o spesso informazioni legate alla tracciabilità del cibo che acquista; il 35% lo fa ogni tanto e soltanto il 12% non è interessato. Tra le varie informazioni, c'è attenzione in particolare per la provenienza geografica, tanto che l'italianità del marchio e l'origine della materia prima sono i fattori che maggiormente influenzano l'acquisto".

Il sito internet è lo strumento principale per avere accesso alle informazioni di tracciabilità dei prodotti, consultato spesso dal 22% dei consumatori, seguito dalle piattaforme social di terze parti (13%) e dai QR Code (13%), mentre sono ancora poco diffusi strumenti come NFC e realtà aumentata.

Proprio l'interesse alla tracciabilità e alla sicurezza porta il settore agroalimentare a guardare con forte interesse alle tecnologie **Blockchain & Distributed Ledger**. L'agrifood è il quarto settore per adozione di questa tecnologia nei progetti internazionali; in Italia però solo il 6% dei consumatori ha già sentito parlare di applicazioni della Blockchain nel settore agrifood e ben il 60% non ne ha mai sentito parlare in generale. Tra i consumatori che conoscono la tecnologia, il 45% ha fiducia nelle sue potenzialità per poter garantire maggiore sicurezza dei prodotti alimentari grazie a controlli più effi-

L'illuminazione led permette di regolare in modo efficiente l'intensità luminosa e manipolare la composizione spettrale della luce

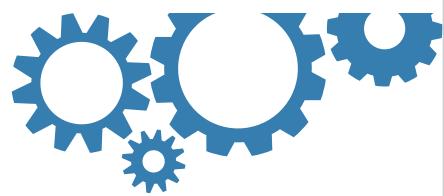




L'impiego di led ad alta efficienza consentirà di guidare la produzione di metaboliti secondari nelle piante

Il progetto Sustainable Vertical Farming (VFarm), sviluppato da un consorzio comprendente i Dipartimenti di agraria di diverse università del nostro Paese, è pensato per implementare in Italia un processo virtuale che consenta di creare ambienti adatti per la rapida crescita dell'agricoltura verticale

caci e il 51% ritiene che possa dare accesso a informazioni più affidabili. Gli attori del settore agrifood guardano con interesse alla Blockchain soprattutto per obiettivi di marketing e comunicazione, ma nel 47% dei casi anche per una maggiore efficienza nei processi di gestione e coordinamento della supply chain e nel 26% per una supervisione dei processi al fine di migliorare la sostenibilità della filiera. L'implementazione della Blockchain nel settore continua a essere spinta dai soggetti a valle della filiera, in particolare grandi attori della trasformazione e della distribuzione, ma rispetto al passato aumentano i casi in cui sono i produttori di materia prima (agricoltura e allevamento) e di input produttivi a rendersi promotori.

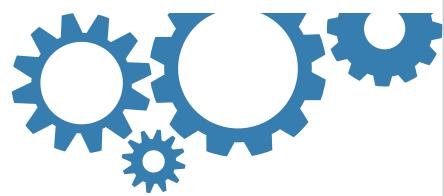


“Trasparenza, immutabilità del dato e condivisione dello stesso lungo l'intera filiera sono infatti i benefici principali di questa tecnologia, cui si aggiunge la rapidità nel reperire le informazioni relative a ciascun prodotto. Tutto questo è consentito da un lato dai meccanismi di consenso specifici di ciascuna piattaforma, che rendono impossibile, o comunque molto complesso, poter modificare i dati inseriti, e dall'altro lato dalla natura di registro distribuito che permette di rendere accessibili i dati in modo più semplice e continuativo”.

### Indoor Vertical Farming

Un insieme di innovazioni tecnologiche che a buon diritto entrano nello scenario dell'Agricoltura 4.0 riguarda l'approccio noto come Vertical Farming, o **coltivazione verticale**. Si tratta di pratiche di coltivazione all'interno di un ambiente controllato, fuori suolo su più livelli (in strati sovrapposti verticalmente, superfici inclinate verticalmente e/o integrate in edifici), che attraverso l'utilizzo di opportune tecnologie raggiungono risultati interessanti da più punti di vista. Non più quindi colture in campi aperti con luce solare naturale e irrigazione bensì coltivazioni indoor, con sviluppo verticale e impiego di sistemi di coltivazione artificiale come l'**idroponica**, l'**acquaponica** o altri metodi di **agricoltura fuori suolo**.

Tra i vantaggi del vertical rispetto all'agricoltura tradizionale c'è anzitutto il fatto che la produzione non è limitata dalla regione geografica e dai cambiamenti stagionali ma di poter fornire raccolti regionali o stagionali al chiuso tutto l'anno, offrendo ai consumatori un accesso più facile ai prodotti più freschi. Altro vantaggio è l'utilizzo di molto meno terreno: per alcune colture, nell'agricoltura verticale è possibile ottenere da 10 a 20 volte la resa per ettaro rispetto alle colture in pieno campo. Inoltre le fattorie verticali si trovano in strutture chiuse, quindi non soggette a condizioni meteorologiche estreme o difficili; possono essere costruite nei deserti, nelle aree urbane ad alta densità di popolazione e in altri luoghi in cui l'agricoltura tradizionale in campo aperto non è praticabile. Da non sottovalutare anche il fatto che si può coltivare spesso senza il ricorso ai pesticidi e che si hanno molte meno probabilità di contaminazioni da agenti patogeni dannosi per l'uomo.



Nell'agricoltura verticale è possibile ottenere da 10 a 20 volte la resa per ettaro rispetto alle colture in pieno campo

Non mancano certamente gli svantaggi e i limiti. Lo svantaggio principale è la rinuncia al Sole, che è la fonte di energia più abbondante (e gratuita) sulla Terra. Il vertical farming spesso richiede fonti di luce artificiale che possono diventare costose; richiede anche il controllo dell'umidità attraverso sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria costosi e ad alta intensità energetica. Molte attività di ricerca sono finalizzate a superare questi limiti. In Italia si possono trovare

progetti in diversi istituti del Cnr. Interessante ad esempio il progetto **VertiGrow**, sviluppato all'**Iccom** (Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici) con la partecipazione di altri istituti del **Cnr** (Ispsp, Imm, Nanotec) e del centro **Helmholtz di Monaco** (D): gli obiettivi sono di applicare Led ad alta efficienza per guidare la produzione di metaboliti secondari nelle piante manipolando la composizione spettrale della luce e di produrre un prototipo di laboratorio utilizzando perovskite e celle solari Dssc (*Dye-Sensitized Solar Cell*) per alimentare i Led. Anche in ambito universitario si intensificano le ricerche: significativo il progetto **Sustainable Vertical Farming (VFarm)** – sviluppato da un consorzio comprendente i Dipartimenti di agraria delle università di Bologna, Napoli, Roma e Torino - che “mira a implementare un processo virtuale per creare l'ambiente per la rapida crescita dell'agricoltura verticale in Italia. Tale obiettivo sarà perseguito dalla ricerca interdisciplinare che combina strategie per la diversificazione delle colture insieme alla ricerca applicata ai sistemi di coltivazione, al controllo dei parassiti, all'illuminazione a Led, al controllo del clima”. Nel progetto vengono studiate le migliori soluzioni per le Pfal (Plant Factories with Artificial Lighting) dei tre tipi a seconda delle dimensioni: Micro- Pfal, da 0,03 a 3 m<sup>3</sup>; Mini- Pfal, da 3 a 30 m<sup>3</sup>; Pfal di grandi dimensioni, oltre i 30 m<sup>3</sup>. ■

L'agricoltura verticale permette una produzione non vincolata alle caratteristiche geografiche e ai cambiamenti stagionali, con raccolti possibili tutto l'anno

