

Il progetto CESTA: un'applicazione delle tecnologie dell'IA ed IoT per l'agricoltura sostenibile

Nel settore agricolo anche il settore dei Consumer Products sta vivendo una profonda trasformazione, guidata dalla digitalizzazione, dall'introduzione dell'intelligenza artificiale (IA) ed Internet of Things (IoT), e da una crescente attenzione alla sicurezza alimentare ed all'innovazione. In questo contesto, numerosi studi evidenziano che le imprese agroalimentari devono adattarsi costantemente per restare competitive.

DOI 10.12910/EAI2025-047

di Walter Gaggioli, Francesco Rovense, Antonio Ricca, Flavio Fontana Dipartimento tecnologie energetiche e fonti rinnovabili Divisione Smart Sector Integration e fonti energetiche rinnovabili distribuite - ENEA

L'analisi dei dati del 7° Censimento generale dell'agricoltura italiana ^[1], evidenzia una progressiva trasformazione del settore. Il numero di aziende agricole è diminuito, mentre la superficie agricola utilizzata si è ridotta in misura molto più contenuta. Ad oggi, in Italia operano circa 1.130.000 aziende, con una dimensione media di 11 ettari, ancora sotto la media UE, ma in crescita rispetto al passato. Negli ultimi dieci anni, le aziende su terreni non di proprietà sono aumentate del 36.9%, e molte svolgono anche attività connesse come agriturismo (37.8%), servizi conto terzi (18 %) e produzione di energia rinnovabile (15.9%, con un aumento del +214.4%). La trasformazione delle aziende agricole si estende anche alla struttura societaria. Il numero delle aziende individuali è in forte contrazione a favore di quelle società di persone o capitali. Questa trasformazione va di pari passo alla nuova riforma della Politica Agricola Comune, che punta ad un sistema più solido e resiliente alle crisi, come COVID-19 ed eventi climatici estre-

mi. Anche il settore dei Consumer Products sta vivendo una profonda trasformazione, guidata dalla digitalizzazione, dall'introduzione dell'intelligenza artificiale (IA) ed Internet of Things (IoT), e da una crescente attenzione alla sicurezza alimentare ed all'innovazione. In questo contesto, numerosi studi evidenziano che le imprese agroalimentari devono adattarsi costantemente per restare competitive. I principali cambiamenti derivano dall'evoluzione delle preferenze dei consumatori, sempre più orientati verso prodotti sostenibili e rispettosi dell'ambiente ^[2], e dalla maggiore frequenza e gravità di eventi climatici estremi che alterano gli habitat di molte specie, mettendo a rischio la stabilità degli ecosistemi ^{[3][4][5]}.

Il ruolo fondamentale delle tecnologie dell'agricoltura di precisione

In questo scenario in rapida evoluzione, le tecnologie dell'agricoltura di precisione assumono un ruolo fondamentale per migliorare efficienza, sostenibilità e redditività del settore. L'integrazione di IA e IoT permette di

monitorare e gestire in tempo reale molte variabili: sensori nei campi e nei sistemi produttivi rilevano dati su umidità, temperatura, stato delle colture e meteo ^[6]. Tali dati, elaborati da algoritmi di IA, ottimizzano irrigazione, fertilizzazione e trattamenti fitosanitari, riducendo sprechi e massimizzando le rese ^{[6][7]}. L'agricoltura digitale consente non solo di aumentare la produttività ^{[8][9]}, ma anche di prevedere con più precisione stress, malattie o carenze nutrizionali, favorendo interventi rapidi e mirati ^[10]. **Studi recenti ^[11] mostrano che l'adozione di queste tecnologie può ridurre i consumi e migliorare la sostenibilità economica ed ambientale delle aziende agricole.** In futuro, queste stesse tecnologie consentiranno ai robot agricoli di adattarsi alle diverse condizioni ambientali e colturali, aumentando ulteriormente la loro versatilità ed efficacia per svolgere numerose mansioni ^[12].

Tuttavia, la diffusione della robotica in agricoltura presenta ancora criticità legate a manutenzione, gestione e regolamentazione, richiedendo spesso competenze specialistiche

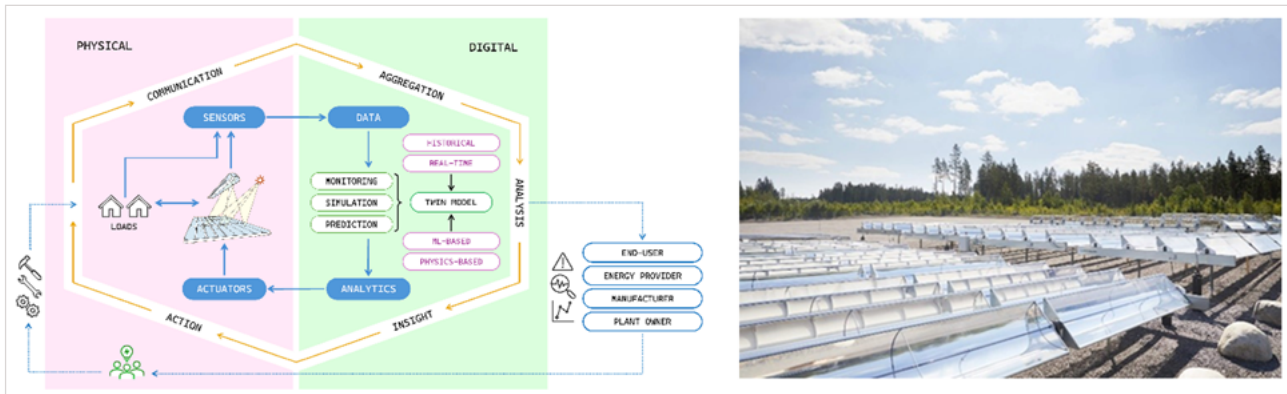


Figura 1: Sinistra: Struttura della piattaforma CESTA; Destra: impianto CST

esterne al settore, che attualmente limitano il loro utilizzo a progetti pilota^[13]. Una delle principali tendenze attuali è l'integrazione di AI, IoT e tecnologie geospaziali^[14] che consente il monitoraggio continuo delle colture e lo sviluppo di strategie predittive ed interventi mirati per ottimizzare l'efficienza produttiva. Ne sono esempio servizi come quelli offerti dalle start-up PreAgri^[15] e FarmWise^[16], che propongono soluzioni in abbonamento o pay-per-use. Queste aziende utilizzano algoritmi di AI per elaborare immagini satellitari e/o acquisite con droni, per monitorare la salute delle colture, rilevando criticità e fornendo raccomandazioni operative. Un progetto pilota in California ha dimostrato che tali tecnologie possono aumentare le rese fino al 15% e ridurre significativamente il consumo d'acqua^[17]. Parallelamente, la questione energetica rappresenta una delle principali sfide per l'agricoltura contemporanea che richiede notevoli quantità di elettricità e calore^[18]. **Secondo la FAO, il settore agricolo utilizza circa il 30% dell'energia globale impiegata nella produzione alimentare^[19].** La forte dipendenza dai combustibili fossili lo rende vulnerabile a variazioni di prezzo e possibili interruzioni delle forniture, evidenziando la necessità urgente di **adottare soluzioni sostenibili che assicurino mag-**

giore autonomia e resilienza^[20]. Una delle soluzioni più promettenti a queste sfide è l'adozione di sistemi basati sull'**agrivoltaico^[21]** per la generazione di energia elettrica e sugli **impianti solari termodinamici** (Concentrating Solar Thermal - CST in inglese) per la produzione di energia termica^{[22][23][24]}.

Il progetto Cyber Enterprise for Solar Thermal Applications (CESTA)

L'efficacia di questi sistemi dipende sempre più dall'integrazione tra generazione di energia e soluzioni digitali per la gestione intelligente delle risorse e dei processi produttivi. In questo contesto si inserisce il progetto **Cyber Enterprise for Solar Thermal Applications (CESTA)**, in cui i ricercatori di ENEA svilupperanno una piattaforma digitale multifunzionale e modulare per la gestione delle risorse energetiche e produttive, applicabili anche in ambito agricolo. Nata con l'obiettivo di creare soluzioni operative intelligenti per l'integrazione degli impianti CST in sistemi energetici complessi multivettore, **la piattaforma CESTA sottende l'integrazione di servizi avanzati basati sulle tecnologie più innovative per l'ottimizzazione delle risorse, come modelli di digital twin e strumenti basati sull'AI.** L'adozione di tali tecnolo-

gie punta a rendere accessibile anche ad utenti base funzionalità sinora ad essi precluse quali previsioni accurate degli scenari operativi e delle condizioni meteorologiche, una avanzata capacità di simulazione dei processi, ed una acquisizione ed elaborazione ottimizzata dei dati in tempo reale. In aggiunta, la struttura modulare e digitalizzata introdotta da CESTA facilita le procedure di espansione della rete di risorse gestite.

Scenari innovativi per le "fattorie del futuro"

L'approccio di base promosso dalla piattaforma CESTA risiede nella digitalizzazione delle tecnologie in campo, permettendo in tal senso una gestione più efficiente delle risorse attraverso una ottimizzazione del loro utilizzo ed una riduzione ponderata degli investimenti. Difatti, CESTA abbraccia un approccio metodologico capace di combinare modelli avanzati per la simulazione delle tecnologie coinvolte e previsioni basate sull'intelligenza artificiale, ed in particolare sul machine learning.

La combinazione di tali avanzamenti tecnologici rende CESTA capace di effettuare il monitoraggio e la gestione intelligente dei consumi, la manutenzione predittiva ottimizzata degli impianti e l'integrazione efficace delle fonti rinnovabili nel sistema ener-

getico. Le innovazioni tecnologiche legate a CESTA offrono significativi vantaggi economici: per gli impianti CST, si prevede una riduzione fino al 70% del rapporto tra costi operativi e ricavi, grazie anche alla maggiore durata dei componenti ottenuta con la diagnostica e la manutenzione predittiva. Questo rende le tecnologie CST più competitive e abbassa il costo livellato del calore prodotto. **L'ap-**

plicazione di CESTA nel campo dell'agricoltura apre la strada a scenari innovativi per le "fattorie del futuro".

Grazie alla capacità di gestire in modo integrato non solo gli impianti CST ed agrivoltaici, ma anche tutti i sistemi agricoli digitalizzati, le innovazioni di CESTA avranno un impatto sulla sostenibilità ambientale e sulla resilienza energetica, grazie ad una indotta riduzione della dipendenza dalle fonti

fossili tradizionali e delle inefficienze sistemiche, rafforzando di fatto la sicurezza energetica nazionale. **Le aziende agricole potranno diventare così autentici "smart hubs", capaci di gestire contemporaneamente la produzione di energia rinnovabile e delle colture agricole.**

per info: walter.gaggioli@enea.it

Riferimenti:

1. Istat. 7 Censimento generale n.d. <https://www.istat.it/statistiche-per-temi/censimenti/agricoltura/7-censimento-generale/> (accessed June 3, 2025).
2. Commissione Europea. COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI Una strategia "Dal produttore al consumatore" per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente n.d.
3. Luca Mercalli; Alessandra Buffa; Guglielmo Ricciardi; Cambiamento climatico e sistema alimentare Documento di posizione n.d.
4. Slow Food. Cambiamenti climatici e sistemi agro-alimentari n.d.
5. Symbola. GreenItaly 2024 Un'economia a misura d'uomo contro le crisi I Quaderni di Symbola n.d.
6. Sharma K, Shivandu SK. Integrating artificial intelligence and Internet of Things (IoT) for enhanced crop monitoring and management in precision agriculture. *Sensors Int* 2024;5:100292. <https://doi.org/10.1016/J.SINTL.2024.100292>.
7. Lakhier IA, Yan H, Zhang C, Wang G, He B, Hao B, et al. A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints. *Agric* 2024, Vol 14, Page 1141 2024;14:1141. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE14071141>.
8. Colizzi L, Dimauro G, Guerriero E, Lomonte N. Artificial intelligence and IoT for water saving in agriculture: A systematic review. *Smart Agric Technol* 2025;11:101008. <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2025.101008>.
9. Aijaz N, Lan H, Raza T, Yaqub M, Iqbal R, Pathan MS. Artificial intelligence in agriculture: Advancing crop productivity and sustainability. *J Agric Food Res* 2025;20:101762. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2025.101762>.
10. Liakos KG, Busato P, Moshou D, Pearson S, Bochtis D. Machine Learning in Agriculture: A Review n.d. <https://doi.org/10.3390/s18082674>.
11. Papadopoulos G, Arduini S, Uyar H, Psiroukis V, Kasimati A, Fountas S. Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review. *Smart Agric Technol* 2024;8:100441. <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2024.100441>.
12. UK-RAS White papers. The Future of Robotic Agriculture n.d.
13. AgroNotizie. Robotica agricola, rivoluzione lenta n.d. <https://agronotizie.imagelinetwork.com/agrimeccanica/2025/04/02/robotica-agricola-rivoluzione-lenta/87018> (accessed June 3, 2025).
14. Kamilaris A, Kartakoullis A, Prenafeta-Boldú FX. A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Comput Electron Agric* 2017;143:23–37. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2017.09.037>.
15. Preagri. Precision Agriculture n.d. <https://www.preagri.com/index.htm> (accessed June 3, 2025).
16. FarmWise®. Feeding Our World and Our Future n.d. <https://www.farmwise.io/> (accessed June 3, 2025).
17. Gminsights. AI in agricoltura dimensione del mercato e condivisione, rapporto di crescita 2025-2034 n.d. <https://www.gminsights.com/it/industry-analysis/ai-in-agriculture-market> (accessed June 3, 2025).
18. Majeed Y, Usman Khan M, Waseem M, Zahid U, Mahmood F, Majeed F, et al. Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports* 2023;10:344–59. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.06.032>.
19. (FAO) F and AO of the UN. Production and Resources – B9: Management of energy in the context of CSA. n.d.
20. Benoit M, Mottet A. Energy scarcity and rising cost: Towards a paradigm shift for livestock. *Agric Syst* 2023;205:103585. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2022.103585>.
21. Mazzeo D, Di Zio A, Pesenti C, Leva S. Optimizing agrivoltaic systems: A comprehensive analysis of design, crop productivity and energy performance in open-field configurations. *Appl Energy* 2025;390:125750. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125750>.
22. Australia's Sundrop farms are designed for the desert | WIRED n.d. https://www.wired.com/story/sundrop-farms-australian-desert/?utm_source=chatgpt.com (accessed May 30, 2025).
23. How to grow tomatoes in the desert | Alfa Laval n.d. https://www.alfalaval.com/media/stories/fresh-water/how-to-grow-tomatoes-in-the-desert/?utm_source=chatgpt.com (accessed May 30, 2025).
24. 36.6MWh Integrated Energy System based on CSP, Australia n.d. https://www.aalborgcsp.com/projects/integrated-energy-systems/366mwh-integrated-energy-system-based-on-csp-australia?utm_source=chatgpt.com (accessed May 30, 2025).