

L'infrastruttura di ricerca METROFOOD per la digitalizzazione delle filiere agroalimentari

L'infrastruttura di ricerca METROFOOD, coordinata da ENEA a livello italiano ed europeo, svolge un ruolo strategico nella digitalizzazione delle filiere agroalimentari, coprendone tutte le fasi. METROFOOD rappresenta un esempio all'avanguardia di come la digitalizzazione possa trasformare le filiere agroalimentari, migliorando efficienza, sostenibilità, sicurezza e trasparenza. Grazie all'integrazione tra componenti fisica ed elettronica, offre soluzioni innovative per affrontare le sfide del settore. La collaborazione tra ricerca, industria e consumatori, supportata da un approccio di co-creation e open innovation, garantisce che le soluzioni sviluppate siano rilevanti, applicabili ed in grado di contribuire a un sistema agroalimentare più resiliente, trasparente e sostenibile.

DOI 10.12910/EAI2025-023

di Claudia Zoani, Valeria Poscente, Emilia Pucci, Claudia Scagliarino, Massimo Iannetta - Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali - Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili - ENEA

L'infrastruttura di ricerca METROFOOD, coordinata da ENEA a livello italiano ed europeo, svolge un ruolo strategico nella digitalizzazione delle filiere agroalimentari, coprendone tutte le fasi. **L'obiettivo dell'infrastruttura è supportare la ricerca e l'innovazione nel settore agroalimentare fornendo servizi integrati, accelerando la digitalizzazione dei sistemi agroalimentari e la loro efficienza, promuovendo la rintracciabilità, la sostenibilità e l'affidabilità di prodotti e processi e delle informazioni fornite ai cittadini, alle autorità locali ed a tutti gli stakeholder.** Un elemento cruciale è rappresentato dalla raccolta, analisi e accessibilità dei big data, garantendo la riferibilità metrologica e l'affidabilità dei risultati analitici e promuovendo la comparabilità e l'integrazione di dati metrologicamente affidabili. In tal senso, la digitalizzazione coinvolge tutte le fasi della filiera, con vantaggi in termini di costi,

qualità dei dati e accesso in tempo reale a informazioni da parte di un pubblico ampio.

METROFOOD, come infrastruttura di ricerca innovativa, è in grado di fornire un apporto fondamentale per ogni anello di questa catena, integrando tecnologie avanzate come sensori intelligenti, sistemi di calcolo ad alte prestazioni (HPC), strumenti di intelligenza artificiale (IA) e blockchain, al fine di raccogliere, integrare e analizzare grandi volumi di dati lungo tutta la filiera. Il contributo di METROFOOD alla digitalizzazione si estende anche alla gestione e all'utilizzo dei dati, promuovendo la visione di un sistema agroalimentare più sicuro, resiliente e trasparente.

Tecnologie ed integrazione: un sistema innovativo

METROFOOD integra una componente fisica ed una elettronica, creando un ecosistema tecnologico unico per la digitalizzazione del settore agro-

alimentare. La componente fisica coordina e integra facilities all'avanguardia: laboratori per la caratterizzazione chimica, chimico-fisica e microbiologica degli alimenti e di ogni altra matrice di interesse per il settore agroalimentare, impianti per lo sviluppo e la produzione di Materiali di Riferimento, campi e fattorie sperimentali per la produzione agricola e l'allevamento, impianti per la trasformazione e la conservazione degli alimenti, cucine-laboratorio e siti "demo" per il coinvolgimento diretto degli stakeholder e la gestione di Living Lab. La componente elettronica fornisce accesso ad una piattaforma per la raccolta, condivisione e integrazione dei dati secondo l'approccio FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*). **Soluzioni innovative basate su sistemi Internet of Things (IoT), IA e blockchain supportano la digitalizzazione dei sistemi agroalimentari, promuovendo qualità & sicurezza, rintracciabilità, food tran-**

sparency, sostenibilità ed economia circolare. Le applicazioni di queste tecnologie coprono ogni fase della filiera:

- **Produzione primaria:** sensori intelligenti e sistemi IoT vengono utilizzati per monitorare e raccogliere parametri ambientali e agricoli (es.: temperatura, umidità) analizzati tramite piattaforme digitali integrate con sistemi HPC e IA, che permettono lo sviluppo di modelli predittivi al fine di ottimizzare l'uso delle risorse naturali e minimizzare l'impatto ambientale.
- **Trasformazione:** la blockchain facilita la tracciabilità dei prodotti alimentari, assicurando che ogni fase del processo venga documentata e verificata. Strumenti e servizi avanzati vengono utilizzati per monitorare e migliorare la lavorazione degli alimenti, garantendo elevati standard di qualità e sicurezza.
- **Distribuzione e logistica:** la tracciabilità digitale dei prodotti con blockchain garantisce un monitoraggio dei movimenti lungo la filiera, aumentando la trasparenza e riducendo il rischio di frodi alimentari. Sensori e modelli predittivi basati su IA consentono di ottimizzare la logistica, riducendo i tempi di consegna e minimizzando le perdite legate alla deperibilità dei prodotti.
- **Commercializzazione:** piattaforme digitali consentono al consumatore di accedere a dati certificati, offrendo alle aziende uno strumento per dimostrare la conformità a standard di qualità, sicurezza e sostenibilità. Soluzioni per la gestione intelligente delle scorte consentono di monitorare la qualità dei prodotti in tempo reale e ridurre gli sprechi.
- **Post-vendita:** lo sviluppo di modelli di *machine learning* favorisce la creazione di ecosistemi digitali per la gestione e il recupero degli scarti, supportando soluzioni innovative per il riciclo e la trasformazione dei sottoprodotti in un'ottica di bioeconomia circolare.

Big Data, AI e Blockchain: costruire trasparenza e fiducia

La gestione dei big data è al centro dell'infrastruttura METROFOOD, che utilizza un'architettura orientata ai servizi per la raccolta, l'integrazione e l'interoperabilità dei dati raccolti dalle facilities fisiche e dai sistemi IoT lungo tutte le fasi della filiera. Questo approccio garantisce che i dati siano non solo accessibili, ma anche metrologicamente riferibili, ovvero collegati a standard riconosciuti a livello internazionale per garantire l'accuratezza e la comparabilità delle misurazioni.

L'integrazione di Open Data e ICT (OD&ICT) consente di gestire, elaborare ed archiviare grandi quantità di dati e rendere disponibili i risultati in

tutte le fasi del processo di analisi. Questo sistema si basa su una potente infrastruttura hardware/software ottimizzata per il calcolo HPC, ospitata presso 3 data center: CRESCO7 (ENEA), ReCaS (Università degli Studi di Bari Aldo Moro), Stake Lab (Università degli Studi del Molise).

Attraverso tecniche di clustering, classificazione e regressione, METROFOOD sviluppa modelli predittivi in grado di fornire informazioni, ad esempio, sulle rese agricole, la shelf-life e la qualità dei prodotti, o identificare pattern relativi all'origine. Elemento distintivo è l'uso dell'IA esplicativa (XAI), che non solo fornisce previsioni, ma rafforza la fiducia degli utenti finali grazie alla capacità di rendere comprensibili e trasparenti le decisioni prese dai modelli.

L'implementazione della blockchain completa questo sistema, creando

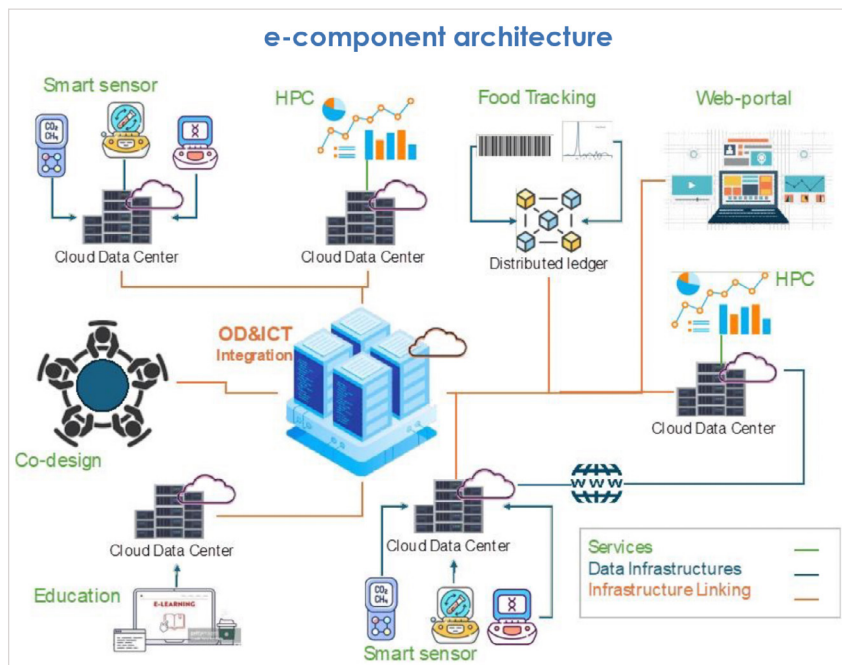


Figura 1: architettura della componente elettronica dell'infrastruttura METROFOOD. Tratto da: Di Bitonto P, Magarelli M, Novielli P, Romano D, Diacono D, de Trizio L, et al. "From data to nutrition: the impact of computing infrastructure and artificial intelligence". Explor Foods Foodomics. 2024;2:810-29 (https://doi.org/10.37349/eff.2024.00063)

un registro digitale dalla produzione fino al consumo finale attraverso l'ottimizzazione dei tempi di processo, integrità dei dati, trasparenza, sicurezza e privacy, gestione efficiente delle risorse e adozione di pratiche sostenibili.

Un sistema agroalimentare resiliente e sostenibile

METROFOOD rappresenta un esempio all'avanguardia di come la digitalizzazione possa trasformare le filiere agroalimentari, migliorando efficienza, sostenibilità, sicurezza e trasparenza. Grazie all'integrazione tra componenti fisica ed elettronica, offre soluzioni innovative per affron-

tare le sfide del settore. La collaborazione tra ricerca, industria e consumatori, supportata da un approccio di *co-creation* e *open innovation*, garantisce che le soluzioni sviluppate siano rilevanti, applicabili ed in grado di contribuire a un sistema agroalimentare più resiliente, trasparente e sostenibile.

Per informazioni: claudia.zoani@enea.it

Acronimi:

OD: Open Data
 ICT: Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione
 XAI: IA esplicativa
 IA: Intelligenza Artificiale
 IoT: Internet of Things
 FAIR: Findable, Accessible, Interoperable, Reusable
 HPC: calcolo ad alte prestazioni

Studiare gli effetti del cambiamento climatico con l'I.A.

di Stefania Marconi - Servizio Relazioni con i media

L'intelligenza artificiale può giocare un ruolo di primo piano nello studio del cambiamento climatico, per analizzare dati complessi, fare previsioni e sviluppare soluzioni innovative per mitigare gli impatti. E' quanto emerge da uno studio condotto da Claudia Zoani ricercatrice del Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali dell'ENEA, in collaborazione con un team dell'Università degli Studi di Bari coordinato dalla professoressa Sabina Tangaro.

I primi risultati - ottenuti nell'ambito del progetto METROFOOD-IT finanziato dal PNRR e pubblicati sulla rivista *Machine Learning and Knowledge Extraction*, che gli ha dedicato anche la copertina - aprono nuove prospettive per la gestione sostenibile del suolo, pratiche agricole più sostenibili, la tutela dell'ambiente e la sicurezza alimentare.

Le tecniche di machine learning hanno consentito di identificare una delle principali 'sentinelle' della salute del terreno, il microbioma, vale a dire l'insieme di batteri, funghi e protisti che popolano il terreno e giocano un ruolo cruciale nella dinamica del carbonio in risposta al cambiamento climatico. Questa scoperta può avere implicazioni di rilievo per la mitigazione dei cambiamenti climatici e la gestione sostenibile del suolo.

Lo studio ha preso in esame dati raccolti da un'indagine condotta su 332 campioni di suolo raccolti in 29 paesi, rappresentativi di una vasta gamma di condizioni climatiche e di caratteristiche del suolo. Questo approccio globale ha permesso di 'catturare' le differenze regionali nei modelli di uso del suolo, consentendo ai ricercatori di costruire modelli predittivi più robusti. "In un'epoca in cui il cambiamento climatico richiede risposte immediate e innovative, integrare l'intelligenza artificiale con la conoscenza della dinamica del microbioma offre un'opportunità unica per proteggere il suolo, salvaguardare la sicurezza alimentare e costruire un futuro più sostenibile - sottolinea Claudia Zoani-. L' I.A. offre strumenti molto efficaci per analizzare dati complessi, fare previsioni e sviluppare soluzioni innovative per mitigare gli effetti del cambiamento climatico e adottare pratiche agricole sostenibili che promuovano la produzione alimentare nel lungo termine" conclude.