

DIGITAL TWINS...

F.M. Tangorra¹, A. Bassi², E. Ighina¹

¹Dipartimento di Medicina Veterinaria e Scienze Animali, Università degli Studi di Milano

²IoT Italy

Il settore agricolo si è evoluto nel corso della storia parallelamente agli sviluppi tecnologici di tutte le rivoluzioni industriali, passando, nell'arco di due secoli e mezzo, dalla fase di meccanizzazione o Agricoltura 2.0 – così definita per distinguerla dalla precedente fase di agricoltura tradizionale basata esclusivamente sull'uso di risorse umane e animali - a quella di parziale automazione (Agricoltura 3.0) con le prime applicazioni di robotica, fino a giungere alla cosiddetta Agricoltura 4.0, caratterizzata dall'automazione e dall'impiego di tecnologie "smart" come le reti di sensori wireless (WSN) e il rilevamento in tempo reale, l'intelligenza artificiale (AI) e l'apprendimento automatico (ML), l'edge computing, l'analisi dei big data e l'Internet degli oggetti (IoT). I rapidi progressi nell'applicazione di queste tecnologie stanno consentendo ai sistemi di produzione agricola di essere completamente guidati dai dati nel contesto dell'Agricoltura 5.0, ultima ed attuale rivoluzione, che rappresenta un nuovo modello di sviluppo del settore agricolo, orientato all'efficienza energetica e alla sostenibilità economica, etica e ambientale. Questi risultati si possono ottenere grazie all'uso dei cosiddetti "gemelli digitali", o digital twins (DT) (Figura 1).

Il concetto di oggetto speculare è solo relativamente nuovo. Dal 1970, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) ha creato sistemi a specchio per monitorare spazi fisici irraggiungibili (le navicelle spaziali in missione) e trovare soluzioni ad eventuali problemi. Il primo esempio, e probabilmente il più famoso, è un ambiente simulato sviluppato durante la missione Apollo 13 nella quale vennero costruiti due veicoli spaziali identici che si rispecchiavano l'uno nell'altro. Quando, due giorni dopo il lancio, uno dei serbatoi di ossigeno esplose, il team di controllo del volo della NASA a Houston trovò una soluzione al problema, simulando e poi analizzando tale condizione su un modello fisico (un sistema speculare) della navicella Apollo 13 e dei suoi componenti. Grazie all'ambiente simulato, gli ingegneri riuscirono a modellare e testare le possibili soluzioni trovando una via d'uscita, ovvero realizzando un depuratore d'aria improvvisato. Dalla Terra, gli ingegneri insegnarono agli astronauti come costruirlo con i materiali disponibili nella navicella. Allo stesso tempo, gli astronauti a terra effettuavano simulazioni a Houston e al Kennedy Space Center per testare le procedure necessarie per riportare l'equipaggio dell'Apollo 13 a terra sano e salvo.

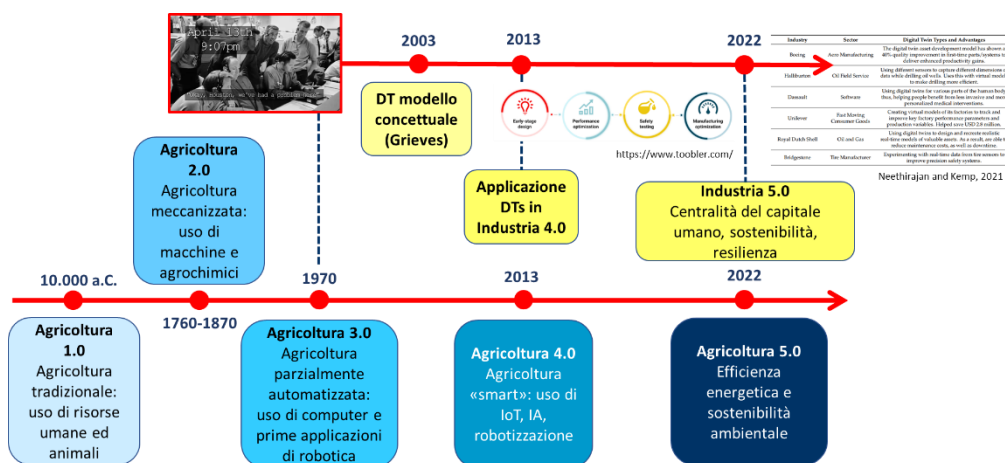


Figura 1. Cronologia delle rivoluzioni agricole e del Digital Twin.

Digital Model, Digital Shadow e Digital Twin

Nella sua definizione più semplice, il Digital Twin consiste in un duplicato digitale di un'entità fisica esistente. Il concetto di Digital Twin, introdotto per la prima volta da Grieves (2003), si applica a un sistema costituito da tre sottosistemi principali: (a) lo spazio reale con gli oggetti fisici, (b) il cyberspazio con gli oggetti virtuali e (c) l'interconnessione degli oggetti virtuali e reali tramite dati e informazioni: i dati sono diretti dallo stato fisico a quello virtuale, mentre le informazioni e i processi sono diretti in senso contrario. Il flusso bidirezionale e automatizzato di dati/informazioni tra oggetto fisico e oggetto virtuale, tale per cui una modifica nell'oggetto fisico provochi una modifica nell'oggetto virtuale e viceversa, è condizione necessaria per poter parlare di Digital Twin. Quando, invece, si realizza esclusivamente un flusso unidirezionale e automatizzato di dati tra prodotto fisico e prodotto virtuale, tale per cui una modifica nell'oggetto fisico provoca una modifica nell'oggetto virtuale ma non viceversa, siamo in presenza di un Digital Shadow (ombra digitale). Infine, quando non c'è alcuno scambio automatico di dati tra prodotto fisico e prodotto virtuale, per cui una modifica nell'oggetto fisico non provoca una modifica nel prodotto virtuale e viceversa, parliamo semplicemente di modello digitale (Figura 2).

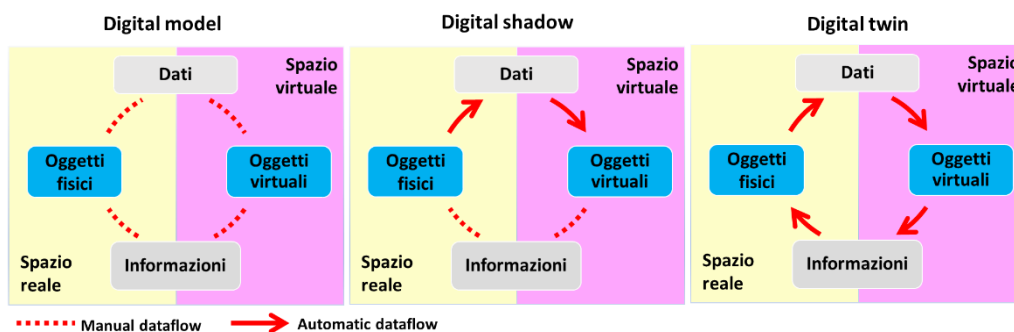


Figura 2. Digital Model, Digital Shadow e Digital Twin: relazioni tra spazio reale e spazio virtuale.

Quando si integra il concetto di Digital Twin nelle produzioni zootecniche, l'oggetto fisico diventa un sistema fisico che può consistere in un'intera struttura zootecnica (animali, macchinari, attrezzature, strategie di alimentazione, ecc.) o in una mandria oppure nel singolo animale. I dispositivi di monitoraggio e rilevamento sono incorporati nel sistema fisico in modo da raccogliere i dati richiesti e inviarli al sistema virtuale che costituisce una rappresentazione del sistema fisico. Con l'estrazione, l'elaborazione e l'analisi dei dati mediante tecniche di intelligenza artificiale (IA) e di machine learning (ML), il sistema virtuale fornisce un feedback per supportare il processo decisionale e controllare il sistema fisico, in modo da ottimizzarne il funzionamento. L'interconnessione tra il sistema fisico e quello virtuale, consente la trasmissione dei dati dal sistema fisico al suo gemello virtuale, nonché il feedback inverso delle informazioni dal sistema virtuale a quello fisico (struttura zootecnica). Il tipo di tecniche utilizzate per stabilire tale interconnessione dipende dal volume, dal tipo e dalla fonte dei dati, nonché dalla velocità e dal ritmo necessari per ottenere il minimo ritardo sia nella trasmissione dei dati che nel feedback delle informazioni (Figura 3).

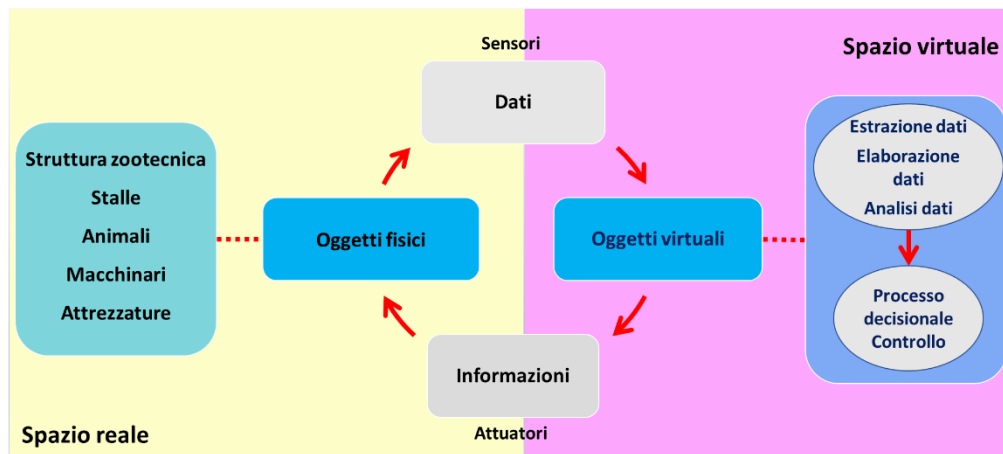


Figura 3. Schema di un Digital Twin applicato ad una struttura zootecnica.

Tecnologie che facilitano l'implementazione di un Digital Twin

Le tecnologie che stanno alla base del Digital Twin sono l'Internet of Things (IoT), l'apprendimento automatico o Machine Learning (ML), il Cloud Computing (CC), la realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR).

L'**IoT** costituisce la spina dorsale dei Digital Twin, connettendo oggetti fisici e sensori che raccolgono e trasmettono, attraverso specifici protocolli di trasmissione e gateway, dati (temperatura corporea, peso, movimento, ecc.) in tempo reale. Questo consente al Digital Twin di rimanere sincronizzato all'oggetto fisico e di rifletterne i cambiamenti in modo accurato e tempestivo potendo definire scenari tendenziali.

Il **ML** permette ai computer di acquisire conoscenza dai dati e di fare inferenze. Il ML migliora il Digital Twin consentendo processi decisionali più adattivi e basati sui dati.

Il **CC** fornisce l'infrastruttura necessaria per gestire i dati generati dal Digital Twin, riduce la necessità di infrastrutture locali, rendendo l'implementazione del Digital Twin più flessibile e conveniente, offre l'accesso remoto alle risorse di archiviazione e di elaborazione, permettendo il monitoraggio in tempo reale e consentendo l'analisi predittiva su scala globale.

La **AR** e la **VR** introducono la visualizzazione immersiva nel Digital Twin consentendo agli utenti di interagire con modelli virtuali nello spazio tridimensionale. La realtà aumentata sovrappone in tempo reale i dati agli oggetti reali per eseguire, ad esempio, manutenzioni o attività operative, mentre la realtà virtuale utilizza simulazioni completamente virtuali per addestrare o testare i sistemi. L'uso di queste tecnologie rende i dati del Digital Twin facilmente accessibili e intuitivamente comprensibili per indirizzare meglio ingegneri e operatori nel processo decisionale.

Complessivamente queste tecnologie consentono al Digital Twin di acquisire dati in tempo reale dai sistemi fisici, analizzarli e simulare nuovi scenari.

Architettura di un Digital Twin

L'architettura di un Digital Twin è composta da più livelli o strati (layer) per integrare efficacemente le controparti fisiche e virtuali (Figura 4). I principali ruoli e funzioni dei diversi layer, nel caso di un'architettura a 6 livelli, sono riportate in Tabella 1.



Figura 4. Architettura di un Digital Twin

Tabella 1. Ruoli e funzioni dei diversi layer di un Digital Twin

Layer	Ruolo	Funzione
Layer fisico (1)	Rappresenta il sistema o l'oggetto del mondo reale	Raccoglie i dati grezzi tramite i sensori
Layer di raccolta e trasferimento dati (2)	Aggrega e filtra in tempo reale i dati provenienti dai sensori	Prepara i dati per l'archiviazione o l'analisi immediata
Layer di memorizzazione ed elaborazione dati (3)	Archivia ed elabora i dati raccolti per l'analisi e il processo decisionale	Gestisce l'archiviazione, l'analisi e le trasformazioni locali
Layer di comunicazione (4)	Facilita il trasferimento sicuro e affidabile dei dati tra i layer	Trasferisce dati e approfondimenti in tempo reale utilizzando i protocolli di comunicazione.
Layer di cloud computing e archiviazione (5)	Gestisce l'archiviazione dei dati su larga scala e il calcolo avanzato	Ospita modelli di apprendimento automatico, dati storici e simulazioni su larga scala
Layer virtuale (6)	Rappresenta la replica virtuale in tempo reale e predittiva dell'oggetto/sistema fisico	Simula scenari, analizza i dati e fornisce informazioni o raccomandazioni attuabili

Dal Digital Model al Digital Shadow verso il Digital Twin

In ambito zootecnico si assiste ad un crescente interesse della ricerca per lo sviluppo e l'applicazione di questo tipo di tecnologia che potrebbe favorire i processi decisionali nella prevenzione e cura degli animali o nella gestione e controllo dei sistemi produttivi, aumentandone l'efficienza, riducendone i costi, accrescendo la sicurezza alimentare e la qualità dei prodotti, garantendo una maggiore sostenibilità economica, etica e ambientale.

Un esempio di Digital Model orientato al Digital Shadow e in prospettiva al Digital Twin è rappresentato da quanto stanno sviluppando alcuni ricercatori afferenti ai Dipartimenti di Medicina Veterinaria e Scienze Animali (DIVAS) e di Scienze Agrarie e Ambientali (DISAA) dell'Università degli Studi di Milano, unitamente a due aziende lombarde di bovine da latte, nell'ambito del progetto "Uso efficiente dell'illuminazione artificiale e sfruttamento intensivo della luce naturale nelle sale di mungitura (MungiLUX)", finanziato da Regione Lombardia nell'ambito del FEASR – Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020, Misura 16 – "Cooperazione", Sottomisura 16.1 – "Sostegno per la costituzione e la gestione dei Gruppi Operativi del PEI in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura". La realizzazione di un modello digitale 3D della sala di mungitura

ha permesso di simulare le prestazioni illuminotecniche di diverse soluzioni di illuminazione, senza dover attuare modifiche fisiche degli impianti, di quantificarne il consumo energetico e di valutare il contributo della luce naturale al soddisfacimento dei requisiti normativi in termini di illuminamento e uniformità di illuminazione (Figure 5 e 6). L'implementazione di sensori di illuminamento consentirà di misurare in tempo reale l'illuminamento delle aree sede del compito visivo del mungitore nelle diverse fasi della giornata e di quantificare il contributo della luce naturale allo scopo di migliorare le condizioni di lavoro e ridurre i consumi energetici. L'analisi dei dati storici e attuali mediante tecniche che integrano algoritmi di apprendimento automatico (ML) permetteranno di stimare il contributo della luce naturale in funzione dell'illuminamento esterno, del rapporto illuminante e dell'orientamento dell'edificio rispetto all'asse elioteramico.

Modellazione digitale 3D

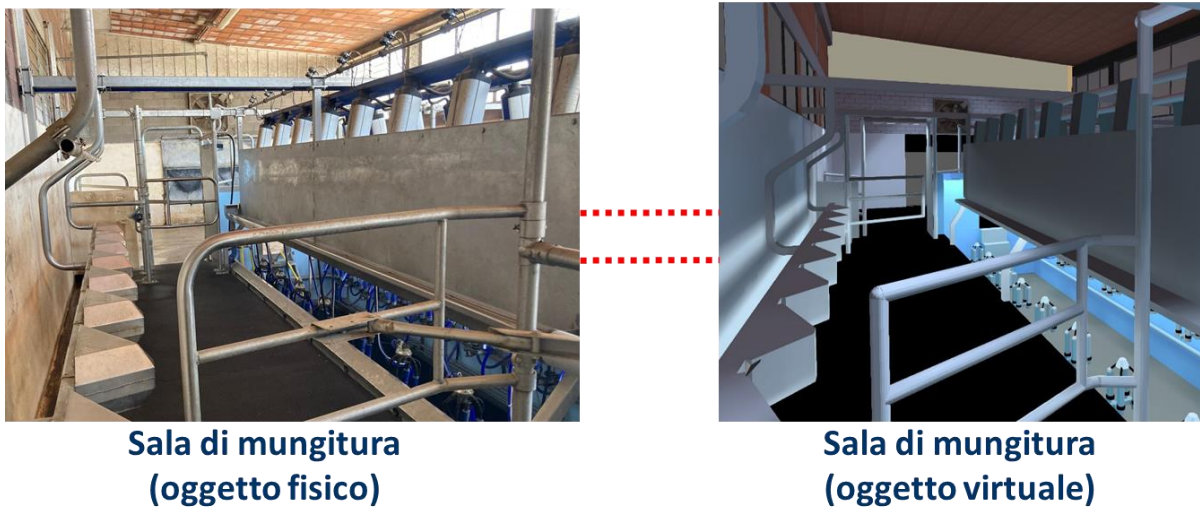


Figura 5. Modello digitale 3D di una delle sale di mungitura coinvolte nel Progetto MungiLUX.

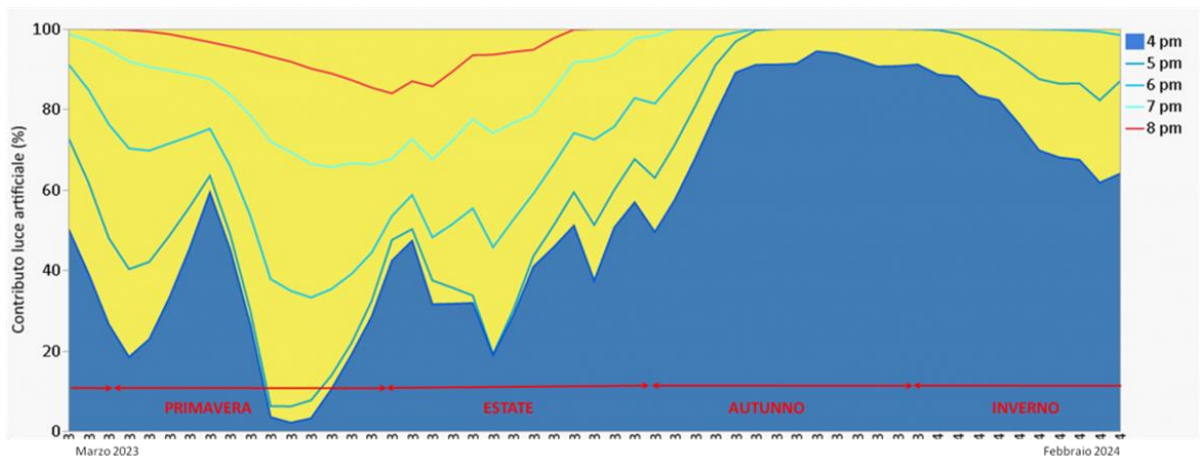


Figura 6. Percentuale di luce artificiale necessaria per raggiungere il valore minimo di illuminamento medio mantenuto ($E_m = 200 \text{ lx}$, UNI EN 12464-1:2021) nell'area sede del compito visivo del mungitore, in base all'orario d'inizio della mungitura e delle stagioni in una delle sale di mungitura del Progetto MungiLUX.

Limitazioni all'applicazione dei Digital Twin in ambito zootecnico

L'implementazione dei Digital Twin in ambito zootecnico presenta alcune difficoltà. Si tratta, infatti, di sistemi complessi che richiedono sensori, analisi dei dati e infrastrutture di connettività e molte aziende agro-zootecniche non dispongono delle competenze necessarie per gestire questi sistemi in modo autonomo. Di seguito si elencano alcune delle principali criticità connesse a questo tipo di tecnologia:

- **Manutenzione e aggiornamenti:** I DT dipendono da aggiornamenti regolari di sensori, dispositivi IoT e software. Dispositivi malfunzionanti o dati errati possono portare a decisioni sbagliate e problemi operativi.
- **Resistenza alla tecnologia:** gli allevatori sono tendenzialmente riluttanti ad adottare i Digital Twin a causa dei costi o della percezione che la tecnologia sia difficile da usare.
- **Manca di esperti:** I sistemi DT richiedono professionisti qualificati in analisi dei dati, IoT, Cloud computing e intelligenza artificiale. La carenza di queste competenze può portare a una cattiva implementazione e ad errori decisionali.
- **Rischio finanziario:** Costruire e mantenere sistemi DT è costoso, con un significativo investimento iniziale e spese continue. Una cattiva implementazione o dati di bassa qualità possono comportare perdite finanziarie.
- **Accesso limitato a Internet:** Le aree rurali, dove si trovano la maggior parte delle aziende agro-zootecniche, spesso mancano di connessioni Internet ad alta velocità. I DT richiedono connettività costante per il monitoraggio in tempo reale.
- **Problemi di gestione dei dati:** I DT generano grandi quantità di dati. Senza una gestione adeguata, le aziende agro-zootecniche potrebbero interpretare erroneamente le informazioni, portando a decisioni errate e risultati negativi.
- **Rischi per la sicurezza informatica:** Essendo online, i sistemi DT sono vulnerabili ad attacchi informatici. Gli hacker potrebbero interrompere le operazioni o rubare dati sensibili, compromettendo la sicurezza dell'azienda agricola.
- **Problemi di integrazione:** Molte aziende agricole utilizzano una combinazione di tecnologie vecchie e nuove, rendendo difficile l'integrazione dei sistemi DT senza ulteriori investimenti.