



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

Corso di Laurea triennale in
ECONOMIA E COMMERCIO

Digital Twins nella catena del valore
dell'impresa

Digital Twins in the enterprise value chain

Relatore:
Prof. Aldo Bellagamba

Rapporto Finale di:
Eldi Dal Cin Bace

Anno Accademico 2022/2023

Indice

Introduzione..... pag.4

I. Introduzione ai sistemi collaborativi d'informazione

1.1 “Industrial Internet of Things”(piattaforma internet industriale) pag.7

1.2 Digital twins technology pag.10

1.3 Blockchain technology pag.11

1.4 DT-BC operanti sulla piattaforma internet industriale pag.12

II. Digital Twins nella produzione industriale

2.1 Progettazione del DT nella produzione industriale pag.15

2.2 Supporto nei sistemi di produzione flessibili. pag.16

2.3 La struttura dei DT per sistemi produttivi flessibili. pag.19

2.4 Procedure per l'utilizzo delle tecnologie DT. pag.22

2.5 L'impatto dei DT sulle performance operative. pag.24

2.6 Altri aspetti da considerare per l'implementazione
di tecnologie DT all'interno delle catene di
approvvigionamento di industrie produttive. pag.26

III. Implementazione dei Digital Twin nelle catene di approvvigionamento agroalimentari

3.1 Le principali sfide delle catene di approvvigionamento agroalimentari.	pag.28
3.2 Elementi chiave nell' implementazione del DT.	pag.31
3.3 Livelli di integrazione dei DT.	pag.32
3.4 Le sfide nell'implementazione dei DT nell'industria agroalimentare.	pag.33
3.5 Il futuro dei DT nell'industria agroalimentare.	pag.35
Conclusioni.....	pag.39
Bibliografia/Sitografia.....	pag.42

Introduzione

Nei recenti anni sono state implementate diverse tecnologie per aumentare l'efficienza delle catene del valore delle imprese in vari settori. All'avvento di nuove sfide, date da un contesto sempre più competitivo, si è sempre più in bisogno di soluzioni innovative, immediate ed efficienti che possano concorrere in un mercato definito da un continuo avanzamento tecnologico. Emerge così il concetto di "Digital Twin" che sta ad indicare una vera e propria replica virtuale di un oggetto fisico, processo o sistema di cui si è in grado di monitorare, ottimizzare o regolare le performance in tempo reale grazie a sensori implementati nell'oggetto fisico che permettono di ottenere informazioni importanti sulle quali effettuare decisioni proattive o esplorare scenari speculativi operando i dati e le informazioni rilevate in un contesto simulativo per cercare di ottimizzare i processi, provare strategie differenti e valutare l'impatto dei vari cambiamenti prima di implementarli; tutto questo senza alcun rischio.

L'utilizzo dei Digital Twins può portare a una riduzione dei costi, miglioramento della qualità, aumento della produttività e servizio logistico aumentando così anche la soddisfazione del cliente.

Proprio per questo diverse industrie (come quelle manifatturiere, sanitarie e logistiche) stanno implementando questo sistema informativo anche per l'incredibile efficacia e flessibilità che si mostra nell'operarlo.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di capire il funzionamento di questa nuova tecnologia, la sua posizione dentro il sistema industriale e le sinergie che si possono creare con altri sistemi futuri o già in uso.

Approfondendo le complessità dei Digital Twins e delle sfide che nascono nell'adoperare tali sistemi, ci proponiamo di analizzare anche il loro ruolo nel miglioramento della manutenzione predittiva, nell'ottimizzazione dei processi di progettazione e nella comprensione dei sistemi complessi come quelli di fabbricazione.

Si andrà ad analizzare , per prima cosa, il funzionamento delle tecnologie Digital Twins e come l'elaborazione dei dati derivanti dai vari processi andrà gestito e protetto utilizzando sistemi di sicurezza Blockchain.

In seguito, si approfondirà l'importanza nell'adoperare tali tecnologie nei sistemi di produzione industriali e agricoli focalizzandosi anche sulle difficoltà di adattamento delle stesse nelle catene di approvvigionamento delle imprese odierne. Comprendendo i principi e le sfide che si vengono a creare, si cercherà di fornire, inoltre, indicazioni sul profondo impatto che i Digital Twins hanno sul futuro dei sistemi connessi.

Infine, navigando attraverso queste sezioni, si propone di fornire una comprensione completa dell' importanza della funzione dei Digital Twins, facendo luce sulle loro applicazioni, sui benefici e sul panorama in evoluzione in cui operano.

I. Introduzione ai sistemi collaborativi d'informazione

1.1 “Industrial Internet of Things”(piattaforma internet industriale).

È possibile notare sempre più che lo scambio e la veloce elaborazione dei dati all'interno della catena del valore dell'impresa può portare a notevoli benefici. Sempre più si predilige una rete comunicativa più vasta che colleghi tutte le attività dell'impresa (Tao et. al., 2022) ci ritroviamo così di fronte alla nascita di vere e proprie infrastrutture tecnologiche conosciute come IIoT (“industrial internet of things”) che abilitano l'integrazione e la gestione di vari strumenti industriali , macchine e sistemi utilizzando dati sulle operazioni , sui processi e sugli oggetti stessi.

Una delle caratteristiche principali di questi sistemi è proprio la loro capacità di connettere tra di loro processi e strumenti differenti all'interno delle diverse attività dell'impresa.

Ci sono numerosi benefici nell'implementare un sistema IIoT;

- 1.** si riscontra un miglioramento nell'efficienza operativa in quanto è possibile eseguire un processo di monitoraggio e controllo in tempo reale

delle attività in corso, questo può portare ad un'ottimizzazione delle risorse utilizzate e quindi anche ad un aumento della produttività stessa.

2. In secondo luogo le informazioni fornite possono evidenziare eventuali bisogni di attività di manutenzione identificando attrezzature non adatte al lavoro per colpa di usure o altre insufficienze tecniche delle stesse, minimizzando così il “downtime” delle macchine non pianificato e riducendo i costi di manutenzione.

3. Un ulteriore vantaggio è dato dalla vasta quantità di informazioni ricevute tempestivamente; questo facilita l'attività di decision-making in tutti i livelli organizzativi rendendo la fase di progettazione di nuovi prodotti più agevolata.

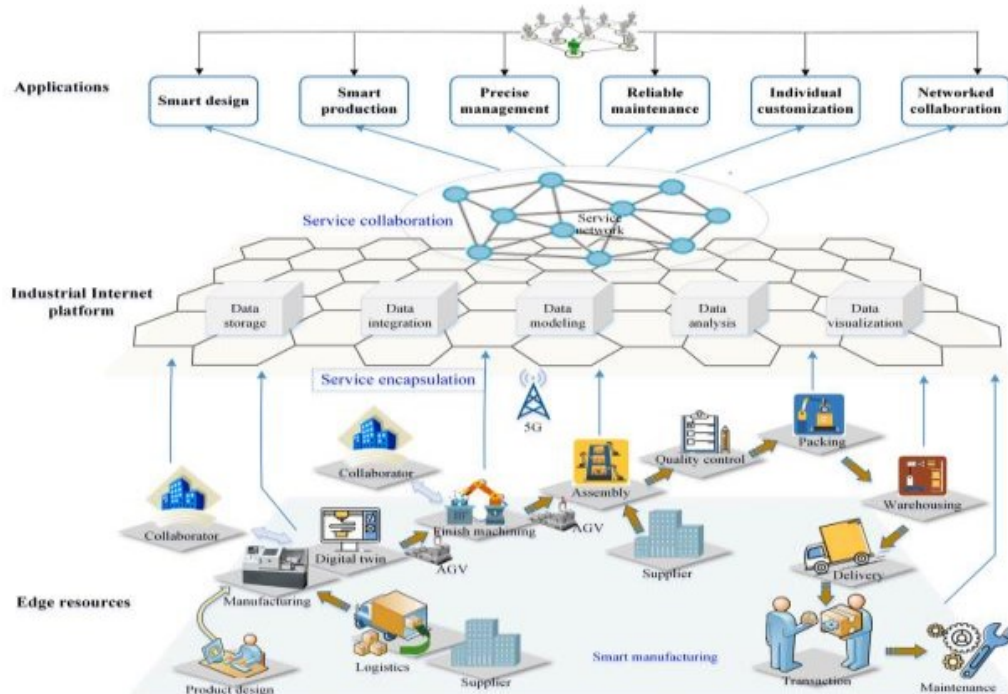
I sistemi IIoT attuali si basano sulla connettività e su modelli di calcolo distribuiti nei quali l'elaborazione dei dati avviene il più vicino possibile a dove essi stessi vengono generati (“edge computing”) questo aiuta a rilevare dati quanto più rigorosi, puntuali ed accurati.

Con l'avanzamento della tecnologia l'ammontare delle informazioni richieste per le risorse, attrezzature e imprese accessibili grazie alla piattaforma è in continuo aumento.

Un limite che restringe l'utilizzo della piattaforma è dato proprio dalla sua trasparenza e disponibilità nel gestire ed operare con i dati generati in quanto essi rappresentano un componente chiave per mantenere la

competitività dell'impresa e la sua personalità nel mercato, la diffusione di tali informazioni potrebbe risultare nocivo anche in campo finanziario in quanto potrebbe ostacolare l'entrata di eventuali investitori peggiorando anche la reputazione aziendale.

Fig.1 Rappresentazione dell'IloT (Industrial Internet of Things), (Tao et. al., 2022)



1.2 Digital twins technology.

Con la tecnologia digital twin è possibile creare modelli virtuali fedeli ai corrispettivi oggetti fisici in modo da simulare e predire i loro comportamenti; diventa un metodo efficiente per correggere i problemi relativi alla staticità delle informazioni raccolte dove si potrebbero trascurare i cambiamenti periodici di status delle risorse ottenendo così una funzione di raccolta e assimilazione dati più dinamica.

I Digital Twin diventano un'ottima implementazione all'interno dell'IIoT in quanto possono collegare efficientemente gli oggetti fisici alla base dell'attività produttiva con il resto del sistema informativo aziendale riuscendo a fornire informazioni precise e accurate in tempo reale; in secondo luogo, analizza e computa informazioni riguardo il ciclo di vita del prodotto derivanti direttamente dall'oggetto che li ha generati riducendo errori da diffusione e manipolazione di dati.

Nel momento in cui le industrie abbracciano il potenziale dell'IIoT, la tecnologia Digital Twin si pone come pietra angolare, consentendo alle organizzazioni di visualizzare, analizzare e ottimizzare le loro operazioni in modi precedentemente inimmaginabili.

1.3 Blockchain technology.

La tecnologia Blockchain rappresenta un nuovo paradigma e un nuovo modo di pensare a come i dati rilevati dalle attività possono essere archiviati, integrati e comunicati in sicurezza, in quanto all'interno si trovano meccanismi di consenso (per la modifica di dati serve il consenso di tutti gli altri nodi del sistema), algoritmi di criptaggio (permettono ai partecipanti di ottenere le informazioni rilevanti riducendo il rischio di dispersione di dati) ed altre tecnologie di computazione e "data storage". Nel panorama industriale, dove i dati critici guidano i processi decisionali (Tao et al., 2022), la blockchain garantisce l'integrità delle informazioni, favorendo la fiducia tra le parti interessate. I contratti intelligenti in questo caso snelliscono ulteriormente i processi automatizzando le transazioni quando vengono soddisfatte condizioni predefinite. Questo è vantaggioso perché:

- riduce la necessità di intermediari
- ottimizza l'efficienza complessiva dei processi industriali
- accelera anche le operazioni
- garantisce una registrazione trasparente e verificabile di ogni transazione

L'utilizzo all'interno dell'IIoT risulta vantaggioso (Tao et al., 2022) in quanto le industrie abbracciano sempre più il potenziale di questa e

l'integrazione della tecnologia blockchain rappresenta una pietra miliare, che rafforza le fondamenta di un ecosistema industriale più sicuro, trasparente e interconnesso.

1.4 DT-BC operanti sulla piattaforma internet industriale.

Il processo operativo della piattaforma internet industriale inizia con i processi produttivi (manufacturing services, MS) nei quali si individuano a loro volta operazioni che possono essere migliorate grazie alle tecnologie digital twin (DT) in quanto sono altamente dipendenti da macchinari e attrezzi (Tao et al., 2022).

La collaborazione tra DT e MS tiene conto di:

- Funzioni del singolo processo produttivo
- Informazioni della struttura fisica dell'oggetto o sistema
- Informazione digitale corrispondente a quella fisica
- Input e Output del processo produttivo
- Tempo registrato dello stato attuale delle informazioni derivanti dal processo produttivo

Tutti i dati riguardanti il sistema di produzione vengono, in seguito centralizzate nella piattaforma internet industriale dando inizio alla creazione di un network collaborativo di informazioni in cui i vari processi

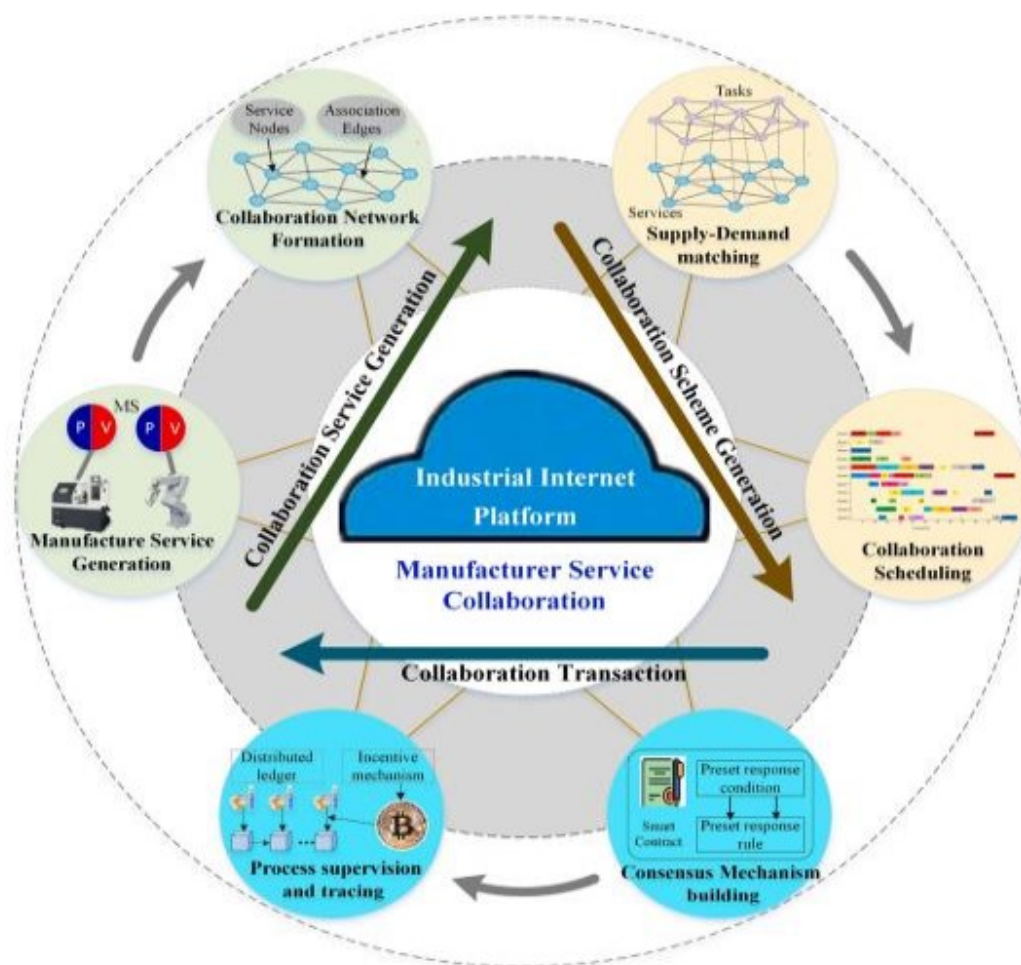
produttivi sono chiamati nodi che vengono associati tra di loro e aggiornati in tempo reale.

In seguito per la costruzione di uno schema collaborativo bisogna visualizzare le singole mansioni ed affiancarle ai processi produttivi di competenza ; mansioni più complesse avranno bisogno di essere decomposte in sub mansioni per poter essere abbinate. Si potrà procedere poi con la formazione di una programmazione (scheduling) delle attività in base ai vincoli di tempo spazio o legali.

Infine, per il processo collaborativo transazionale è importante risolvere il problema dei consensi e della fiducia degli stakeholders:

il sistema Blockchain (BC) ha avuto implementazione in tanti campi tra qui anche quello manifatturiero in quanto provvede alla possibilità di operare in un ambiente sicuro, i dati derivanti dal processo produttivo e da valutazioni derivanti dai consumatori vengono scaricati all'interno del sistema blockchain che non solo garantisce la protezione delle informazioni ma genera anche regole per operare sulla piattaforma in maniera sicura e fiduciosa.

Fig.2 Operazioni all'interno dell' IIoT. (Tao et al., 2022)



In conclusione, (Tao et al., 2022) l'integrazione della tecnologia Digital Twin e della Blockchain nell'Industrial Internet of Things rappresenta un paradigma trasformativo per le industrie perché combina le capacità di visualizzazione e ottimizzazione dei Digital Twin con quelle di sicurezza, trasparenza e automazione della Blockchain, aprendo la strada a un ecosistema industriale interconnesso e guidato dai dati.

II. Digital Twins nella produzione industriale

2.1 Progettazione del DT nella produzione industriale.

Il “gemello digitale” ha uno scopo diverso da quello di una nuova tecnologia a sé stante; infatti, rappresenta una sistematizzazione di come le componenti tecnologiche di rilevamento, trasmissione, modellazione e analisi possano essere integrate nelle attività di management (Neto et al., 2023). Sotto un punto di vista pratico, l’applicazione nell’ambito industriale-produttivo dei sistemi DT può essere ottenuta attraverso l’implementazione di strutture cyber-fisiche (come l’IIoT) o attraverso specifiche progettazioni per le imprese (Tao et al., 2019).

La progettazione generalmente consiste in cinque elementi:

1. Il lato fisico del sistema composto dalla struttura dei sensori usati per raccogliere dati operativi,
2. Un modello digitale ,
3. Una struttura che comprenda le capacità analitiche e di controllo,
4. Un sistema di archiviazione di tutti i dati creati dal digital twin ,
5. Una struttura informativa che facilita la trasmissione di dati in tutti gli strati precedenti.

L'utilizzo dei DT nelle attività di produzione è stato associato con varie applicazioni, attualmente divise in tre principali scopi: produzione (monitoraggio della produzione e progettazione dinamica), manutenzione (previsione a difetti, guasti o irregolarità delle macchine e manutenzione preventiva) e controllo qualità (qualità del processo produttivo).

2.2 Supporto nei sistemi di produzione flessibili.

L'abilità di un sistema a resistere a cambiamenti produttivi dentro il suo mix di produzione senza imporre eccessivi costi durante questa manovra rispecchia la flessibilità di un sistema produttivo (Neto et al., 2023), il riconoscimento della flessibilità di produzione come una componente di vantaggio competitivo avviene in modo incrementale quando le organizzazioni riconoscono la strategia di differenziazione come un beneficio per la loro attività commerciale.

Sebbene la sua esistenza nei decenni precedenti il concetto teorico di flessibilità di mix produttivo fu chiarificata non prima del ventesimo secolo quando studi fatti sui “flexible manufacturing systems” (FMS) divennero argomenti preminenti nella ricerca accademica.

Basandosi sulla definizione data da Gerwin D., (2005) possiamo definire l'FNS dalla prospettiva del suo "range" come raggio di quantità ed eterogeneità dei beni prodotti senza incorrere in penalità nelle performance dei sistemi produttivi.

In tempi recenti la crescita nell'implementazione di tecnologie digitali e social media all'interno delle realtà aziendali è cresciuta per meglio assimilare la domanda dei mercati sempre più in crescita ed esposti a continui cambiamenti.

È proprio in questa intersezione tematica; tra i requisiti di flessibilità sempre più elevati e la nascita di nuove tecnologie (DT) che questi capitoli si posizionano.

Alcuni contributi nello studio dei DT rivolti verso i sistemi produttivi flessibili si occupano del problema di identificazione delle possibili distorsioni e ritardi produttivi proponendo un piano di programmazione dinamico assumendo principalmente percorsi produttivi alternativi per evitare eventuali guasti delle macchine. Alcuni studi mirano a utilizzare i DT per gestire meglio le mutevoli esigenze della domanda dei clienti, avvicinando queste particolari architetture al concetto di flessibilità del mix di produzione. Questi contributi affrontano in genere il problema della

programmazione dinamica¹ utilizzando le informazioni sulla domanda come parte del pool di dati dinamici gestiti all'interno della struttura DT. Questi studi non forniscono esplicitamente linee guida per la progettazione, l'implementazione e l'utilizzo del gemello digitale, in particolare perché le sfide della flessibilità non si limitano alla fornitura di una programmazione dinamica per questo bisognerebbe in primo luogo bisognerebbe studiare sistematicamente i sistemi di produzione flessibili per progettare un architettura generale del DT che affronta le sfide della flessibilità rilevanti per la produzione in modo completo e adattabile piuttosto che in maniera specifica al problema, in secondo luogo fornendo un contributo sotto forma di procedure organizzative end-to-end per l'operatività dell'architettura del DT in contesti pratici stabilendo linee guida che superano la mera descrizione delle componenti tecnologiche.

¹ La programmazione dinamica delle macchine è un approccio all'automazione industriale che ottimizza la programmazione e il funzionamento delle macchine in base alle condizioni in tempo reale e alle priorità in evoluzione. Questa metodologia prevede la regolazione continua delle impostazioni e dei compiti delle macchine per ottenere la massima efficienza e produttività.

2.3 La struttura dei DT per sistemi produttivi flessibili

Si identificano tre sfide principali motivate dai requisiti di flessibilità nel mix di produzione in grado da essere risolte attraverso i sistemi DT (Neto et al., 2023);

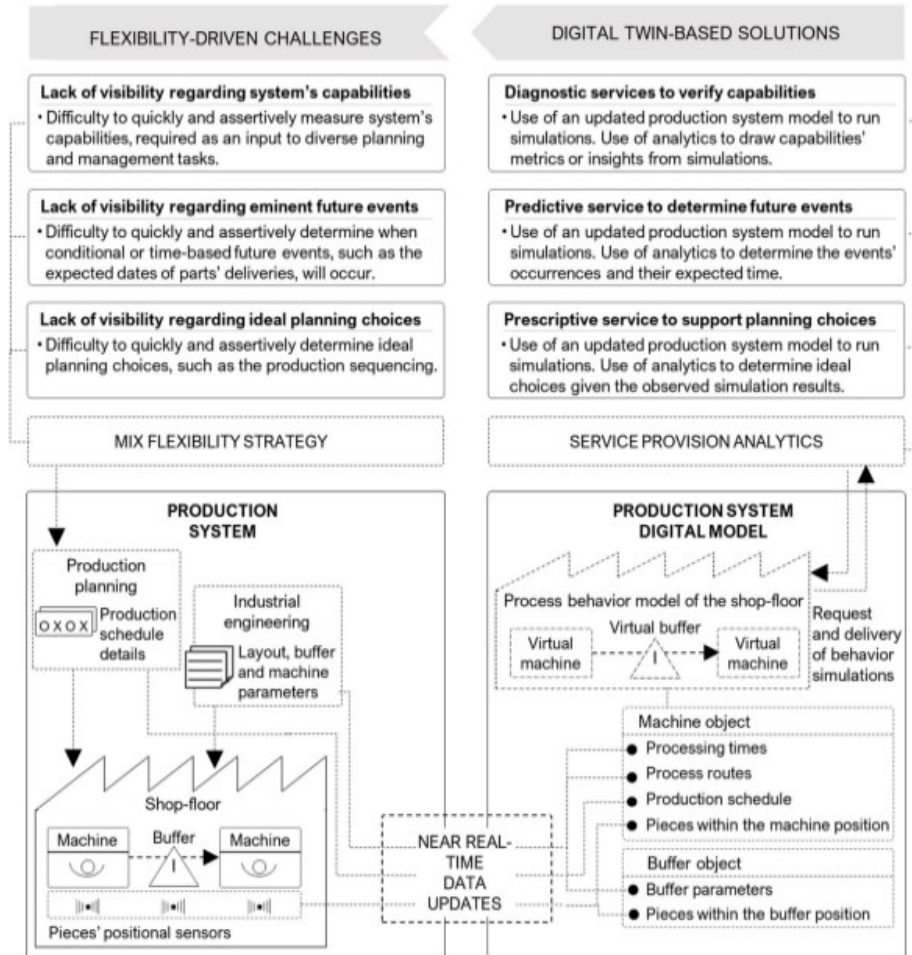
- 1.** La prima consiste nell'incapacità dei manager di valutare rapidamente e in modo assertivo le capacità complessive del sistema di produzione ,sia per prevedere le prestazioni che le capacità del sistema di produzione all'imminenza di una modifica del mix produttivo che può portare ad un'alterazione delle operazioni chiave del sistema produttivo: questa mancanza di visibilità si ripercuote sulla gestione delle operazioni, in quanto le prospettive delle prestazioni del sistema diventano sconosciute e i manager sono privati dell'utilizzo di diverse metriche di capacità come input per una serie di attività di pianificazione.
- 2.** La seconda sfida consiste nell'incapacità dei manager di determinare rapidamente e in modo assertivo se produzioni specifiche basate su tempi o condizioni sono destinati a verificarsi e, in caso affermativo, quando sono effettivamente attesi, poiché la variazione dei parametri del mix ostacola la capacità di stimare in modo affidabile eventi come le date previste per la consegna di lotti specifici di prodotti. Infine

3. La terza sfida consiste nell'impossibilità per i manager di determinare le scelte ideali di pianificazione a breve termine, come la migliore strategia di sequenziamento della produzione, a causa di nuovi requisiti di mix che impongono revisioni urgenti della pianificazione.

Per offrire una soluzione generale a queste sfide è stata sviluppata un'architettura generale di DT, in grado di fornire le caratteristiche di servizio indicate come soluzioni ideali dai professionisti. Descriviamo l'architettura in termini di: modello digitale e capacità di aggiornamento dei dati e capacità di fornitura di servizi. Un modello può essere definito come una rappresentazione degli aspetti di interesse relativi alla natura di un sistema reale. Il tipo di modello digitale che rientra nei confini di questa architettura consiste in una rappresentazione del sistema di produzione, in cui vengono modellate le controparti virtuali di macchine, "buffer" ed inoltre, viene simulata la logica di comportamento con cui i pezzi scorrono lungo il sistema, dal loro ingresso a monte fino alla consegna a valle. Per quanto riguarda la conservazione dello stato aggiornato del modello, viene annunciato un flusso di dati che collega gli input del modello con fonti di dati distinte: i dati di ingegneria di processo e di pianificazione della produzione, ad esempio, dovrebbero essere utilizzati per parametrizzare il comportamento del modello durante una simulazione, controllando aspetti

come i percorsi di produzione, i tempi di lavorazione delle macchine, le dimensioni massime dei “buffer” e i dettagli del programma di produzione; i dati di posizionamento dei pezzi, invece, dovrebbero essere utilizzati per consentire al modello di avviare le simulazioni da un quadro aggiornato dell'officina .Infine, la capacità di fornitura del servizio si riferisce al modo in cui l'analisi e i risultati della simulazione del modello interagiscono per fornire esigenze di servizio specifiche. Questa interazione è guidata da un flusso di lavoro del servizio che agisce come un processo principale che tiene collegati i componenti architettonici dall'acquisizione dei dati alla fornitura del servizio. Di conseguenza, è possibile fornire una serie di servizi diagnostici, predittivi e prescrittivi, che affrontano le sfide della flessibilità fornendo un maggiore livello di visibilità manageriale (come mostrato in Fig.3)

Fig.3 Architettura Digital Twin per sistemi produttivi flessibili (Neto et al., 2023)



2.4 Procedure per l'utilizzo delle tecnologie DT.

L'utilizzo del gemello digitale è limitato dalle azioni dell'utente e dai processi algoritmici che interagiscono durante il funzionamento dello stesso. In particolare, la procedura di utilizzo comprende due classi di routine: quelle che riguardano l'attivazione e la visualizzazione degli

aggiornamenti del modello e quelle che riguardano la richiesta di erogazione dei servizi. È attraverso la valutazione delle prestazioni che si possono innescare revisioni e affinamenti, che portano alla riattivazione delle procedure di progettazione e implementazione alla ricerca di miglioramenti. L'aggiornamento del modello è la base per tutte le altre routine di utilizzo,

che assicurano che il gemello digitale mantenga il suo stato aggiornato.

I requisiti per eseguire una routine di aggiornamento possono essere strutturali o non strutturali:

- Gli aggiornamenti non strutturali sono caratterizzati dalla modifica del valore di una o più proprietà degli oggetti virtuali modellati, in modo che le loro caratteristiche possano rispecchiare le loro controparti fisiche e generare simulazioni e visualizzazioni accurate (Questo tipo di aggiornamento può essere eseguito periodicamente per mantenere un modello digitale continuamente aggiornato oppure eseguito come processo preliminare ogni volta che viene richiesto un servizio di gemello digitale).

-Gli aggiornamenti strutturali invece sono richiesti sotto tre circostanze:

1. Quando il piano di officina è soggetto a cambiamenti strutturali, come l'aggiunta o la sottrazione di prodotti fabbricati;

2. Quando le analisi dipendenti dai parametri mostrano un calo delle prestazioni;

3. Quando le formule degli indicatori di prestazione, vengono modificate.

Indipendentemente dal tipo o dalle dimensioni, la necessità di aggiornamenti strutturali viene determinata e richiesta come parte della gestione continua delle prestazioni e dei rischi del DT durante l'utilizzo.

Infine, con i parametri inseriti, gli utenti richiedono il servizio tramite l'interfaccia digitale disponibile.

Da un punto di vista procedurale, questo segna la fine dei processi legati all'utente e l'inizio dei processi computazionali, che seguono il flusso di lavoro del servizio di un DT installato durante la procedura di implementazione.

2.5 L'impatto dei DT sulle performance operative.

Valutiamo il valore aggiunto delle procedure alla performance per prima cosa tenendo conto dell'attuabilità (le procedure per l'utilizzo possono essere applicate? E se sì con quale facilità?). Il caso applicativo riscontrato nello studio di Neto A.A. et. al. ha dimostrato che l'operatività del gemello digitale può supportare la gestione della flessibilità produttiva, in particolare attraverso una migliore visibilità manageriale dopo il verificarsi di modifiche del mix di prodotti.

Inoltre, l'operatività è stata associata anche a impatti positivi sui costi, sulla velocità e sull'affidabilità.

Quando i manager perdono visibilità e sono costretti ad agire rapidamente, vengono applicati approcci informali, come le riunioni tra i membri dei vari gruppi di pianificazione, che non richiedono una configurazione significativa. Questi approcci, tuttavia, potrebbero essere più coerenti per quanto riguarda la velocità di erogazione e la qualità del supporto decisionale.

Con le procedure del gemello digitale, i manager possono contare sull'affidabilità di un flusso di lavoro sistematico e sulla velocità di erogazione dei servizi di supporto alle decisioni in tempo quasi reale.

Inoltre, l'affidabilità della velocità porta anche a un miglioramento dell'efficienza dei costi, grazie al valore generato da una reazione più rapida e a un migliore utilizzo della forza lavoro.

2.6 Altri aspetti da considerare per l'implementazione di tecnologie DT all'interno delle catene di approvvigionamento di industrie produttive.

Si prevede che in futuro le informazioni arricchite in nuovi formati e fonti , ad esempio dalle blockchain, potrebbero non supportare le architetture esistenti; pertanto, è anche implicito che gli architetti IT debbano lavorare per migliorare l'utilità del gemello digitale per definire progetti nuovi che consentano l'accesso e l'utilizzo di dati provenienti da molte fonti diverse. Secondo Kamble S.S et. al., 2022 , poiché le DT saranno spesso impiegate in catene di fornitura che operano in ambienti eterogenei con molteplici applicazioni e utenti, sarà molto impegnativo mantenere i dati, i modelli e le informazioni correlate al sicuro e gestire la privacy e la proprietà di tali informazioni. Inoltre, le informazioni archiviate in una catena di fornitura digitale costituiscono un'ampia riserva di proprietà intellettuale e di "know-how". La gestione dei dati sensibili relativi alla progettazione dei prodotti e alle simulazioni delle prestazioni, alle interazioni con i clienti e ai dati di utilizzo, nonché le questioni relative alla proprietà, alla governance, all'accesso e al controllo creano una nuova serie di sfide da affrontare per le organizzazioni. Il vasto bacino di informazioni disponibili in una catena di fornitura digitale è un obiettivo redditizio per i criminali informatici.

La ricerca futura dovrebbe essere condotta anche su come le aziende affrontano i benefici e i rischi socio-etici dell'uso dei gemelli digitali. Una valutazione degli effetti delle tecnologie emergenti sulle considerazioni etiche sarebbe

considerazioni etiche sarebbero significative per vari motivi (Cotton, 2014); queste valutazioni dovrebbero individuare e prevenire qualsiasi impatto negativo della tecnologia sulla società. Le lacune incoerenti tra il modello reale e quello virtuale porteranno allo sviluppo di un gemello digitale scadente che non riesce a riconoscere le attività reali. In tali situazioni, il gemello digitale può diventare incontrollabile e distruggere l'ecosistema, aumentando lo stress e l'ansia per i dipendenti, le parti interessate e la società. I dipendenti e i vari stakeholder di un'organizzazione rappresentano la società; pertanto, dovrebbero poter deliberare e riflettere sugli aspetti costi-benefici derivanti dall'implementazione dei gemelli digitali nelle loro catene di fornitura.

catene di fornitura.

III. Implementazione dei Digital Twin nelle catene di approvvigionamento agroalimentari

3.1 Le principali sfide delle catene di approvvigionamento agroalimentari.

Le imprese agroalimentari sono esposte ad un grande fattore di rischio derivante dall'importanza che si deve dare all'incolumità, alla sicurezza, alla qualità e alla sostenibilità degli alimenti per questo è anche soggetta a più incertezze che aumentano la componente di rischio più di molte altre imprese. In aggiunta una situazione di rischio strutturale non prevedibile come la pandemia COVID -19 o i conflitti prolungati in Ucraina o sanzioni economiche pervenute da guerre hanno sottolineato la fragilità della rete di approvvigionamento mondiale che in questi casi accoglie fattori che possono compromettere l'attività di queste imprese come:

- Ritardi nella consegna
- Gestione dei costi
- Difettosità nella collaborazione con altre imprese
- Sincronizzazione dei dati ricevuti
- Aumento spese per servizi logistici

- Difficoltà della previsione della domanda
- Deperibilità dei prodotti
- Politiche protezionistiche

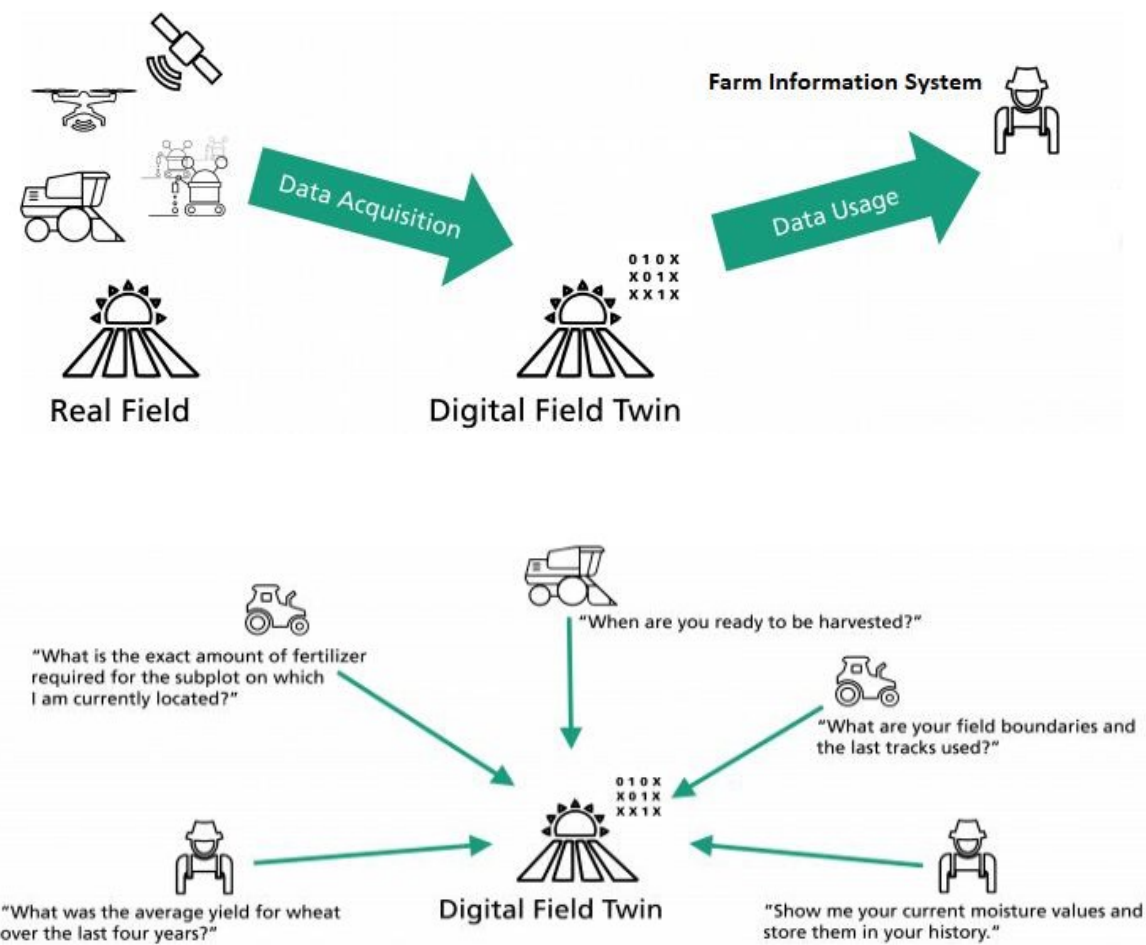
Le tecnologie Digital Twins stanno percependo un utilizzo sempre maggiore anche nelle catene di valore di imprese agroalimentari (Melesse et al., 2023) in quanto riescono a migliorare la qualità del prodotto e del servizio offerto; non solo, riescono anche a portare efficienza nell' utilizzo delle risorse e nei servizi di manutenzione che diventano sempre più tempestivi riducendo le perdite migliorando il sistema logistico, facilitano il lavoro delle attività all'interno della supply chain di monitorare la qualità, di controllare e capire la domanda e quindi prevenire le situazioni ostili provenienti dall'esterno.

In agricoltura, l'uso di tali strumenti può fornire informazioni su fertilizzanti, prodotti chimici, sementi, tecniche di gestione dell'irrigazione, protezione ambientale, parassiti, clima, soluzioni di gestione del monitoraggio delle colture, richieste del mercato e cambiamenti aziendali.

In generale, le DT nella catena di approvvigionamento agroalimentare (Digital Field Twin) forniscono simulazione e ottimizzazione, tracciamento del bestiame e gestione della salute pianificazione e collaborazione, monitoraggio e gestione delle colture, visibilità e tracciabilità della catena

di approvvigionamento (Moshood et al., 2021) analisi predittiva e supporto alle decisioni per aiutare gli agricoltori e i gestori della catena di approvvigionamento ad ottenere informazioni utili per la loro attività.

Fig. 4 Funzionamento di un Digital Field Twin (Jasmin A. 2020)



3.2 Elementi chiave nell' implementazione del DT.

Più in generale, i cinque componenti essenziali dei DT sono stati identificati in entità fisiche, entità virtuali, piattaforme di servizi, modelli di dati e collegamenti informativi. L'identificazione delle entità fisiche è la prima componente essenziale dell'implementazione del DT.

L'entità fisica è un termine che si riferisce al prodotto o al sistema reale che un DT imita in modalità virtuale.

Può trattarsi di un veicolo, componente , prodotto, sistema, ecc. ,ad esempio, nella catena di approvvigionamento agroalimentare, è comune trovare i DT di frutta, fattorie, aziende agricole, ecc. in quanto, per costruire un'entità virtuale, si deve creare un modello digitale con lo stesso aspetto, proprietà, comportamenti e regole dell'entità reale. Gli esperti per sviluppare al meglio la catena di approvvigionamento, sono sempre più alla ricerca di dati in tempo reale come i dati demografici raccolti da varie fonti partecipanti alla catena che possono essere utilizzati per ottenere informazioni relative all'ubicazione di percorsi di camion, centri di adempimento, punti vendita, consumatori, ecc. , per comprendere al meglio la logistica e il comportamento dei soggetti esterni. Questi dati possono essere inseriti direttamente in banche dati come Enterprise Resource Database (ERP); Inoltre, i DT possono utilizzare i dati dei sistemi di

gestione dei trasporti (TMS) e sistemi di gestione delle relazioni con la clientela (CRM). Analisi intelligente di qualità, quantità, e l'integrazione dei dati sono requisiti fondamentali per un utilizzo ottimale dei sistemi DT oltre alla visibilità trasparenza e frequenza di aggiornamento dei dati .

3.3 Livelli di integrazione dei DT.

La comunità scientifica ha descritto i Digital Twin in tanti modi; in alcune circostanze è diventato difficile distinguere una tecnologia Digital Twin da una tecnologia “Digital Shadow” o un “Digital Model”.

Per definire precisamente un modello digitale (Melesse et al., 2023), si fa riferimento spesso al fatto che non c'è scambio di informazioni e dati automatizzato dalla forma fisica a quella digitale dell'oggetto in questione; invece un modello di “Digital Shadow” (ombra digitale) prevede lo scambio di informazioni unidirezionale che va dall'oggetto fisico a quello digitale e non viceversa in questo caso lo scambio di informazioni è un processo automatico dalla forma fisica a quella virtuale ma manuale dalla forma digitale alla sua controparte fisica. Come si può intuire nei Digital Twin lo scambio di informazioni è automatico e bidirezionale rendendola una “tecnologia autonoma” in quanto le decisioni possono essere automatiche in base ai modelli di apprendimento automatico delle

macchine che può essere supervisionato e non supervisionato , i dati derivanti da questo processo possono essere (facendo un esempio inerente all'argomento) le condizioni di conservazione dei prodotti orticoli e la risposta biologica misurata dei prodotti orticoli freschi nel tempo.

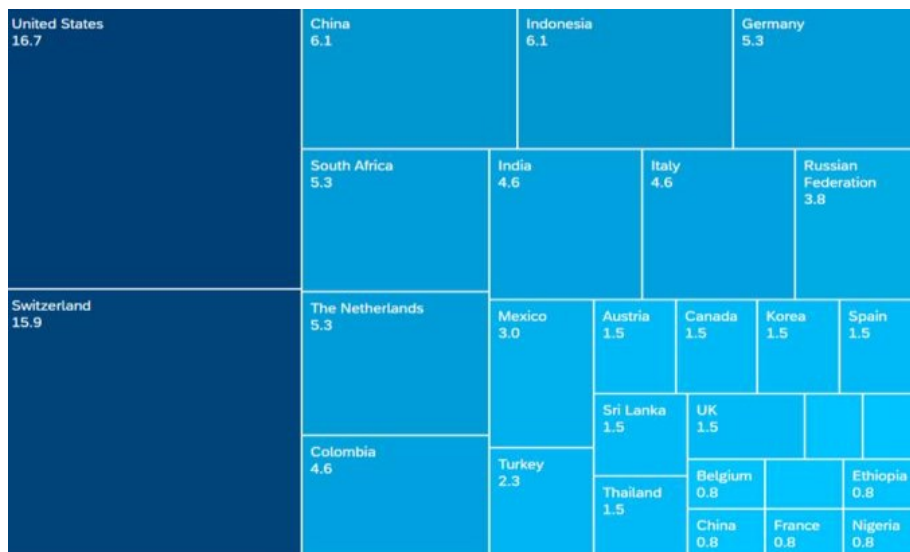
3.4 Le sfide nell'implementazione dei DT nell'industria agroalimentare.

L'adozione dei DT nell'industria agroalimentare rimane ancora una scelta difficile che richiederebbe uno studio approfondito che tenga conto dei presupposti che tali sistemi portano. La richiesta di energia elettrica che dovrebbe essere assorbita da questi sistemi rimane alta anche in caso di utilizzo di pannelli solari o altri metodi di energia alternativa risulterebbe sempre un incremento di costi di mantenimento e costi operativi per tenere attivi questi sistemi, dall'altra parte ricordiamo che la mancanza di una buona connessione internet in aree rurali; infatti, c'è bisogno di una banda larga per eseguire al meglio la consegna dei dati necessari per il servizio: un ritardo dei dati in certe occasioni potrebbe comportare situazioni di pericolo per la produzione che andrebbe a compromettere anche le altre aree della supply chain.

Prima della fase di implementazione gli stakeholders devono decidere se implementare certi sistemi basandosi su studi dimostrativi dei benefici che non si possono ottenere senza un ingente costo iniziale e in un periodo di tempo lungo.

Combinare conoscenza multidisciplinare e procurare dati sufficienti sono gli aspetti più critici che trattengono l'implementazione dei sistemi DT, in modo simile anche la protezione e la sicurezza dei dati raccolti ha un costo ingente e può risultare un ostacolo per l'implementazione, anche se studi recenti e continuamente in crescita mostrano l'interesse dei ricercatori da tutto il mondo verso la materia dato dal bisogno di digitalizzare l'industria agroalimentare.

Fig.5 Mappa delle percentuali di ricerche eseguite su “DT in agri-food supply chain” in tutto il mondo (Melesse et al., 2023)



3.5 Il futuro dei DT nell'industria agroalimentare.

Come sottolineato efficacemente da Christos et al.,(2021), non tutti i benefici nell'utilizzo di un sistema DT sono stati esplicitati per un contesto industriale agricolo non solo per i limiti citati precedentemente ma appoggiandosi anche al fatto che essendo nuove tecnologie; la teoria a riguardo è in continuo mutamento ed espansione cercando sempre di apportare col passare del tempo sempre più miglioramenti all' efficienza ed efficacia dei sistemi. Conseguentemente non è stato mai semplice per gli stakeholders indagare a fondo sui suoi benefici in quanto il valore aggiunto dato dall'utilizzo degli stessi non si è del tutto dimostrato in applicazioni agroalimentari.

L'articolo propone che l'implementazione di tali sistemi avverrà gradualmente iniziando ad operare con sistemi più semplici ed elementari che staranno alla base del sistema per andare ad aggiungere in futuro componenti e funzionalità anche in base ai bisogni delle singole imprese. Uno stage successivo di applicazione di queste tecnologie in tale contesto può essere un utilizzo di DT sul territorio agricolo in larga scala questo sistema complesso sarà in grado di considerare le dinamiche tra i componenti del territorio e le attività operanti delle imprese e capire questi processi attraverso meccanismi di apprendimento autonomo rendendo

anche il lavoro umano meno arduo e più sicuro (questo aspetto è cruciale in quanto ogni anno un grande numero di infortuni sul lavoro occorre proprio nel lavoro agricolo in quanto le mansioni dei lavoratori sono svolte con equipaggiamenti e macchinari operanti molte volte senza i requisiti di sicurezza).

L'eventuale successo di utilizzo di DT in industrie agroalimentari non dovrà dipendere soltanto dalla tecnologia, dall'abilità nell'operare nel settore predestinato o dalla qualità e utilizzo dei dati forniti ma anche da una componente strettamente dettata dal business stesso in quanto si deve tenere conto del fatto che si tratta di un vero e proprio investimento che deve dimostrare il suo valore in futuro (ROI).

Secondo un'attenta analisi svolta da Christos et al.,(2021), si possono identificare tre caratteristiche dei DT applicate ad industrie agricole:

1. Molti DT utilizzati per l'agricoltura coinvolgono direttamente o indirettamente "sistemi viventi" e prodotti deperibili quindi la loro integrazione con gli oggetti fisici può risultare laborioso e complicato.
2. A differenza di DT utilizzati in altri tipi di industrie quelli sfruttati per l'agricoltura hanno un range abbastanza vasto che va da piante

individuali ad animali a pezzi di terreno quindi l'ammontare di informazioni recepite può risultare maggiore di quello di altre industrie

3. Nella dimensione temporale c'è da considerare il fatto che i DT operanti in industrie agricole avranno un tempo di risposta più lento dato dal loro corrispettivo oggetto fisico. Ad esempio, il processo agricolo come la crescita del raccolto è relativamente lento quindi non avrà interazioni frequenti che non permetteranno sfruttare al meglio il sistema.

Queste caratteristiche sono molto importanti e devono essere considerate quando si sviluppano queste tecnologie all'interno dell'ecosistema industriale.

Sebbene siano stati sviluppati molti sistemi di Digital Twins in ambito ingegneristico, manifatturiero e sanitario, è necessario considerare ulteriori tentativi nel contesto agricolo per lo sviluppo di sistemi in grado di monitorare, registrare e analizzare i dati, per prevedere e prescrivere le migliori decisioni per la gestione dell'agricoltura digitale (Nasirahmadi & Hensel ,2022). Può aiutare gli agricoltori a diminuire la pressione economica sul settore agricolo e i problemi relativi alla forza

lavoro, e aiutare i responsabili della sicurezza alimentare e della protezione ambientale a rafforzare il settore agricolo. Inoltre, facilita il lavoro dei ricercatori che stanno esplorando metodi per tracciare e monitorare le macchine agricole e i prodotti agricoli o per ridurre l'uso di acqua, prodotti chimici ed energia .

Conclusione

Con i progressi di tecnologie come l'Internet of Things (IoT), l'intelligenza artificiale (AI) e il cloud computing, le capacità dei Digital Twins si stanno espandendo rapidamente diventando sempre più sofisticati, consentendo l'analisi dei dati in tempo reale, l'analisi predittiva e persino un processo decisionale autonomo. Con un accesso immediato ai DT, la maggior parte delle industrie ha iniziato a sfruttare queste tecnologie per gestire i propri asset critici.

Le analisi mostrano che il gemello digitale sta diventando una parte fondamentale di un prodotto e di un'infrastruttura per raggiungere obiettivi sostenibili non solo nelle catene di fornitura. Le prospettive future mostrano che, per sfruttare i vantaggi di un gemello digitale, è necessario integrare i partner esterni della catena di fornitura con i sistemi di produzione esistenti. Attualmente, le applicazioni di un gemello digitale sono fortemente incentrate sul raggiungimento “dell'eccellenza produttiva”; tuttavia, aumentando la portata di un gemello digitale per includere tutti gli oggetti e gli esseri umani nella catena di approvvigionamento, porterà i manager a prendere decisioni più proattive. Le sfide identificate per lo sviluppo di un efficiente gemello digitale della supply chain sono

l'estensione del ciclo di vita del prodotto, la cybersecurity, la protezione della proprietà intellettuale e le fonti di dati non strutturati. Sulla base di questi risultati, si è sviluppato un quadro di implementazione sostenibile del gemello digitale per le catene di fornitura.

Essendo una tecnologia ancora in fase di sviluppo non sempre si ha convenienza nell'implementazione ma sicuramente risulterà una fonte in grado di potenzialmente sviluppare un grande vantaggio competitivo per tante aziende in futuro se si soddisfano i requisiti di internalizzazione.

Non solo; le applicazioni dei gemelli digitali in diverse fasi della catena del valore, dalla progettazione e produzione dei prodotti alla gestione della catena di fornitura e al servizio clienti, ne dimostrano la versatilità e l'adattabilità. Collegando il "regno fisico" e quello digitale, le organizzazioni possono raggiungere un livello superiore di visibilità, controllo e reattività. Questo non solo ottimizza i processi interni, ma migliora anche la proposta di valore complessivo per i clienti.

In sostanza, i gemelli digitali non sono solo uno strumento tecnologico, ma un fattore strategico per le organizzazioni che cercano di navigare nelle complessità del panorama aziendale moderno. La loro integrazione nella catena del valore aziendale rappresenta un cambiamento, in cui si intravede un futuro dove le organizzazioni non si limitano a adattarsi, ma

anticipano, sfruttando la potenza dei gemelli digitali per creare valore in un ambiente aziendale in continua evoluzione.

Bibliografia

- Tao F., Zhang Y., Cheng Y., Wang J.r.d., Qi Q., Li. P.; *Digital twin and blockchain enhanced smart manufacturing service collaboration and management*, Journal of Manufacturing Systems, 62, 2022.
- Kamble S.S., Gunasekaran A., Parekh H., Mani V., A. Belhadi, Sharma R.; *Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework*, 176, 2022.
- Melesse T.Y., Franciosi C., V. Di Pasquale, Riemma S.; *Analysing the Implementation of Digital Twins in the Agri-Food Supply Chain*. Logistics, 7, 33. 2023.
- Christos P., Sjoukje O., Ioannis N. A.; *Introducing digital twins to agriculture*, 184, 2021.
- Gerwin D., *An agenda for research on the flexibility of manufacturing processes*, 2005.
- Moshood, T.D.; Nawanir, G.; Sorooshian, S.; Okfalisa, O.; *Digital Twins Driven Supply Chain Visibility within Logistics: A New Paradigm for Future Logistics*. 4, 29, 2021.

- Tao F, Zhang H., Liu A., Nee A. Y. C.; *Digital Twin in Industry: State-of-the-Art*, IEEE, 15, 2019.
- Cotton M.; *Ethics and Technology Assessment: A Participatory Approach*, 13, 2014.
- Neto A. A., Da Silva E.R., Deschamps F., Nascimento Jr. L.A., De Lima E. P.; *Modeling production disorder: Procedures for digital twins of flexibility-driven manufacturing systems*, 260, 2023.
- Nasirahmadi A., Hensel O.; *Toward the Next Generation of Digitalization in Agriculture Based on Digital Twin Paradigm*. Sensors 22, 498, 2022.
- Jasmin A., *Fraunhofer IESE-Blog*, 2020