

Capitolo 6

Gemelli Digitali e Decisioni Intelligenti

Jack C Chaplin, Giovanna Martinez-Arellano e Andrea Mazzoleni

6.1 Introduzione

Nel capitolo 5 sono stati discussi i modi per simulare e modellare i sistemi di produzione in modo offline. In questo contesto offline significa che la simulazione in esecuzione è disconnessa dal sistema reale e dipende dall'utente l'aggiornamento dei parametri e dati affinché il modello sia accurato. Questo capitolo, invece, descrive in dettaglio le simulazioni online, in cui il modello è collegato direttamente al sistema fisico in modo da essere aggiornato automaticamente man mano che il sistema cambia. Questo approccio è comunemente chiamato *digital twin*. Inoltre, questo capitolo discuterà i sistemi di supporto alle decisioni, che sono pacchetti software destinati a migliorare il processo decisionale discusso nel capitolo 4, e a rendere risolvibili problemi complessi.

Un gemello digitale (*digital twin*) è una replica simulata di un sistema complesso. A differenza della simulazione più convenzionale, il gemello digitale è collegato in tempo reale all'equivalente fisico e raccoglie i dati generati. Questo permette al gemello digitale di migliorare la sua precisione in base al sistema reale, di analizzare il sistema o di eseguire test che sarebbero troppo costosi o lunghi da eseguire nel caso reale. I gemelli digitali sono utilizzati per modellare sistemi complessi e hanno le loro origini nel campo della modellazione di aerei e veicoli spaziali.

J.C. Chaplin (✉), G. Martinez-Arellano

Institute for Advanced Manufacturing, Università di Nottingham, Nottingham, Regno Unito

email: jack.chaplin@nottingham.ac.uk, giovanna.martinez@nottingham.ac.uk

A. Mazzoleni

AFIL – Associazione Fabbrica Intelligente, Milano, Italia

email: andrea.mazzoleni@afil.it

© Gli autori 2020

J.C. Chaplin et al. (ed), Produzione Digitale per PMI

La prima definizione di un gemello digitale (allora solo un'idea senza nome) è stata conosciuta da Michael Grieves nel 2002 [1] come concetto per la gestione del ciclo di vita del prodotto. Dopo molti nomi diversi tra cui Mirrored-Spaces Model, Information Mirroring Model, e Virtual Twin, il nome ormai consolidato "digital twin" (gemello digitale) è stato successivamente introdotto da John Vickers in un rapporto della NASA pubblicato nel 2010 [2] ed è diventato la terminologia standard. Una revisione della letteratura pubblicata tra il 2012 e il 2016 da Negri e colleghi [3] nell'ambito del progetto MAYA, ha identificato 16 diverse definizioni per gemelli digitali in quattro campi di ricerca: aeronautica e spazio, robotica, produzione e informatica. Alcune delle definizioni proposte sono raccolte in Tabella 6.1-1.

Anno	Definizione
2010	Una simulazione multi-fisica, multi-scala e probabilistica integrata di un veicolo o sistema che utilizza i migliori modelli fisici disponibili, aggiornamenti dai sensori, storia della flotta, ecc., per rispecchiare la vita del suo gemello volante. Il gemello digitale è ultra-realistico e può prendere in considerazione uno o più sistemi di veicoli importanti e interdipendenti [4].
2012	Modello computerizzato ultra realistico, "dalla culla alla fossa" di una struttura dell'aeromobile utilizzato per valutare la capacità dell'aeromobile di soddisfare i requisiti di missione [5].
2015	Modelli molto realistici dello stato attuale del processo e del suo comportamento in interazione con l'ambiente nel mondo reale [6].
2016	La simulazione dell'oggetto fisico stesso per predire gli stati futuri del sistema [7].
2018	I gemelli digitali sono la rappresentazione digitale realistica delle cose fisiche [8].

Tabella 6.1-1 Definizione di gemelli digitali in ordine cronologico.

Grieves ha descritto il modello di gemello digitale nel modo più semplice con il diagramma di Figura 6.1-1. Un gemello digitale corrisponde sempre a un *gemello fisico* - l'istanza fisica reale del prodotto che viene simulato con il gemello digitale.

Il gemello fisico e il gemello digitale sono collegati. Questo è ciò che distingue un gemello digitale da una simulazione più convenzionale. I dati vengono raccolti dal gemello fisico in tempo reale con sensori e utilizzati per migliorare e ottimizzare il gemello digitale. Il gemello digitale può eseguire metodi di analisi, e molteplici possibili scenari possono essere testati digitalmente. Le informazioni elaborate ottenute da questi possono essere restituite al gemello fisico per ottimizzare le prestazioni del mondo reale.

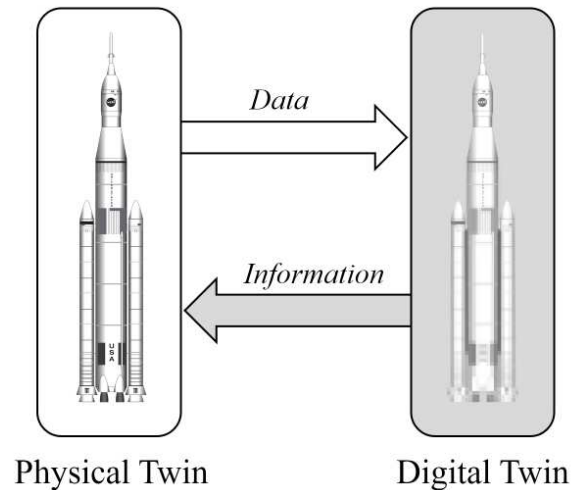


Figura 6.1-1 Il gemello digitale è la controparte virtuale del gemello fisico, ed è utilizzato per comprendere meglio sistemi complessi come linee di produzione o razzi. I dati raccolti con i sensori nel gemello fisico aggiornano il gemello digitale e migliorano l'accuratezza, e la comprensione acquisita analizzando il gemello digitale può essere utilizzata per controllare il gemello fisico. Diritti di immagine: gli autori, adattata da [1].

I sistemi semplici possono essere simulati con un livello di dettaglio sufficiente a non richiedere l'aggiunta della complessità di una connessione in tempo reale. I gemelli digitali sono tipicamente riservati a sistemi complessi in cui non è possibile creare un'adeguata simulazione offline e la simulazione deve essere migliorata nel tempo.

“Aeroplani, razzi, attrezzature per la produzione di pavimenti, e anche automobili hanno o avranno [istanze di gemelli digitali]. Le graffette no”[†]

- Michael Grieves

Il fattore di differenziazione chiave tra un modello convenzionale e un digital twin è che il sistema fisico sta alimentando i dati in tempo reale nel digital twin per aggiornare il modello. Sebbene modifiche strutturali significative al sistema fisico possano richiedere un intervento manuale, dati come la velocità effettiva di produzione, le dimensioni del buffer, i tempi di up/down, ecc. possono essere

[†] “Airplanes, rockets, manufacturing floor equipment, and even automobiles have or will have [digital twin instances]. Paper clips will not” - Michael Grieves

raccolti e utilizzati automaticamente per mantenere aggiornato il digital twin. Tutte le simulazioni eseguite sul modello del digital twin utilizzano le informazioni più recenti e accurate.

Prima che i digital twin siano ulteriormente discussi, è importante capire come sia possibile collegare una simulazione di digital twin al gemello fisico, l'aspetto online che differenzia l'approccio dagli approcci offline nel Capitolo 5. Ciò si ottiene utilizzando sensori per monitorare il gemello fisico e segnalarne lo stato, e section 6.2 introdurrà sensori e il moderno sviluppo di sensori intelligenti.

6.2 Sensori

6.2.1 Introduzione ai Sensori

L'industria manifatturiera deve raggiungere una crescita sostenibile ed incrementare la produttività per poter restare competitiva su scala globale. L'accesso e lo sfruttamento di dati del manifatturiero stanno contribuendo sempre più a questi scopi, attivando un processo decisionale più veloce ed efficace.

Una delle tecnologie chiave per lo sfruttamento dei dati è l'*Internet delle Cose* (Internet of Things – IoT), che comprende sensori e strumenti di comunicazione integrati direttamente nelle macchine e nelle linee di produzione, in grado di raccogliere e trasmettere dati alla rete dell'impresa manifatturiera. L'applicazione di queste tecnologie in ambito manifatturiero è qualche volta chiamata Internet Industriale delle Cose (Industrial Internet of Things - IIoT).

L'IoT consiste in un recente sviluppo ed è un termine piuttosto vasto che indica un set di tecnologie, sistemi e principi di progetto associati all'utilizzo di strumenti connessi ad internet in grado di monitorare e manipolare l'ambiente fisico. L'IoT connette sensori ed attuatori ai sistemi di tecnologie di informazione e comunicazione (information and communication technologies - ICT) attraverso reti cablate o senza fili (wireless). La tecnologia più importante a livello di dispositivo e hardware in questa infrastruttura di rete è la tecnologia dei *sensori*, considerata come il mezzo basilare per il raccoglimento ed il controllo dei dati in tempo reale.

Un sensore è un dispositivo in grado di osservare e misurare le proprietà fisiche di un fenomeno naturale o di un processo creato dall'uomo, e successivamente convertire questa misura in un segnale. Tale segnale può essere poi riportato ad un operatore, usato per attivare un attuttore, oppure raccolto per successive analisi. I sensori hanno avuto un ruolo fondamentale nel manifatturiero sin dalla loro invenzione. Essi sono il mezzo per raggruppare informazioni sulle operazioni ed i processi di manifattura, e sul modo in cui queste sono eseguite. Tipicamente, questo comporta che alcune proprietà del processo (temperatura, velocità, luogo, etc) siano convertite in un segnale elettrico raccolto dal controllore di processo, spesso basato su logica programmabile (Programmable Logic Controller – PLC). Il controllore può utilizzare i dati provenienti dalla lettura del sensore per modificare il processo, oppure il segnale può semplicemente essere memorizzato al suo interno per una valutazione successiva.

I *dati di processo* costituiscono la documentazione della lavorazione eseguita per creare i prodotti, compresi dettagli come il programma eseguito (per una macchina CNC), i parametri di processo impostati dall'utente e i dati registrati dai sensori come le vibrazioni, la temperatura o la forza di taglio (a seconda del processo). La correlazione di questi dati con l'ID del singolo prodotto permette di analizzare questi dati in relazione ai risultati di qualità o alla vita utile del prodotto specifico. I sensori più tradizionali convertono la misura di una determinata proprietà in elettricità e quindi richiedono di essere connessi tramite filo o cavo ad uno strumento esterno che si occupi di registrare questo valore. I cavi possono essere fili di rame, anche intrecciati, e fibra ottica.

I dati dei sensori devono in qualche modo essere inviati a un computer per essere interpretati o memorizzati. Spesso si tratta di un PLC locale o di un dispositivo di acquisizione dati in cui i dati del sensore possono essere immediatamente utilizzati. Può trattarsi di un server remoto in cui i dati possono essere registrati in un database o in un semplice foglio di calcolo. *Bus di campo* (Fieldbus) è il termine usato per le reti di computer industriali. Esistono molti standard, tra cui Ethernet, Industrial Ethernet, Controller Area Network (CAN), Process Field Bus (Profibus) e un'ampia varietà di tecnologie specifiche del fornitore. L'uso di queste tecnologie dipende dalla compatibilità delle apparecchiature e dai requisiti per il controllo di processo.

I sensori senza cavo (wireless) offrono maggiore flessibilità di installazione, così da risultare più adatti per il monitoraggio e controllo di processo, a fronte di una riduzione di costi di installazione e manutenzione. Le applicazioni industriali offrono un ampio ambito di crescita per l'utilizzo di sensori wireless, ma questa crescita non può essere raggiunta se il mercato non affronta alcune sfide chiave:

- *Evoluzione di Standard*: le tecnologie di comunicazione senza cavo sono tuttora oggetto di ricerca e sviluppo. Alcuni di questi standard possono risultare non compatibili con altri standard, comportando quindi una limitazione di interoperabilità della rete.
- *Dimensione della Rete*: l'applicazione o lo scenario in cui si utilizza la rete ne determina la dimensione. Alcuni approcci che richiedono sensori senza cavo sono più adatti per dislocamento su scala più piccola o più grande, e se l'applicazione richiede un cambio di locazione, anche l'approccio deve prevedere la modifica del numero di nodi della rete e adattamenti alla sua topologia.
- *Bande di Frequenza Disponibili per Reti senza cavo* (Open Wireless Frequency Bands): con la propagazione di tecnologie senza cavo quali telefoni cellulari ed il Wi-Fi, c'è mancanza di bande di frequenza disponibili. Attualmente, la maggior parte dei dispositivi che fanno parte delle reti di sensori senza cavo opera su bande non licenziate, comprese tra i 915 Mhz e i 2.4 GHz, ed una comunicazione affidabile può però risentire di interferenze provenienti da altri dispositivi funzionanti nella stessa banda di frequenza.

- *Sicurezza Industriale*: rendere un sistema di sensori senza cavo sicuro anche in caso di mal funzionamento dipende fortemente dal tipo di applicazione in cui tale sensore viene utilizzato.

Oltre a queste reti, esistono a livello superiore molti protocolli di *comunicazione da macchina a macchina* per lo scambio di dati di processo (anziché di dati di controllo) nelle applicazioni di automazione industriale. Questi includono Open Platform Communications - Unified Architecture (OPC UA), MTConnect, Data Distribution Services (DDS) e MQ Telemetry Transport (MQTT). Gli standard possono semplificare notevolmente l'acquisizione dei dati di processo gestendo molti aspetti della rete e fornendo uno standard comune per i dati.

6.2.2 Tipi di Sensori

I sensori convertono i fenomeni fisici in segnali e sono un esempio di origine dati primaria (vedere la sezione 5.2.2). Quasi tutti i fenomeni fisici possono essere misurati con un sensore, ma i tipi più comuni utilizzati sono elencati di seguito.

- *Temperatura*: questo sensore fornisce misure di temperature, trasformate in un segnale elettrico (di solito la tensione) che risulta essere proporzionale alla misura di temperatura effettuata. Ci sono vari sensori di temperatura elettrici, come i termistori, le termocoppie, i termometri a resistenza, i sensori di temperatura a banda proibita a base silicica, e ognuno ha precise proprietà che li rendono più o meno adatti a certe situazioni.
- *Forza, pressione*: sono dispositivi che sono in grado di convertire variazioni di forza e pressione applicate in un segnale elettrico. Ne esistono due principali che sono diventati dominanti nella misura della forza: gli estensimetri (strain gauge - based sensors) ed i sensori di forza piezoelettrici. I sensori ad estensimetro contengono un elemento in stagnola elettricamente conduttivo che si deforma quando una certa forza viene applicata. Questa deformazione cambia il valore di resistenza elettrica di una molla, così che la variazione della proprietà venga convertita in un segnale elettrico. I sensori piezoelettrici contengono due dischi di cristallo in mezzo ai quali è montato un sottile foglio di metallo che funziona da elettrodo. Quando viene applicata la forza, si genera una carica elettrica che può essere amplificata ed utilizzata come segnale. I sensori piezoelettrici sono di solito la scelta primaria per effettuare misure veloci di forze molto piccole, mentre gli estensimetri vengono utilizzati quando ci sono in gioco forze più grandi [9].
- *Livello*: questi sensori sono in grado di riconoscere il livello dei liquidi o di altri fluidi, oppure di solidi resi fluidi, come le polveri che vengono utilizzate comunemente in un controllo di processo industriale. Esempi includono sensori idrostatici (che misurano la pressione dell'acqua e ne deducono il livello), sensori di livello ottici, che usano l'attenuazione della luce per misurare la profondità di un fluido.

- *Accelerazione, Vibrazione*: il movimento può essere anche rilevato tramite sensori. Gli accelerometri misurano l'accelerazione in una singola direzione e sono spesso combinati tra loro, come nei sistemi di due (bi-assiali) o tre (tri-assiali) accelerometri, disposti tra loro ad angolazioni precise per poter rilevare la direzione di accelerazione corretta. Gli accelerometri possono essere usati anche per rilevare vibrazioni. Accelerometri sono anche i micro sistemi elettro meccanici (Micro-Electro-Mechanical Systems - MEMS), che convertono il movimento di una piccolissima massa in un segnale elettrico ottenuto attraverso cristalli piezoelettrici. Questi cristalli generano piccoli segnali elettrici quando sono sottoposti a stress meccanici.
- *Orientazione*: i sensori giroscopici rilevano la rotazione intorno ad un singolo asse e, come gli accelerometri, spesso si trovano combinati in sensori bi-assiali e tri-assiali. Gli accelerometri triassiali possono infatti anche rilevare l'orientazione di un oggetto stazionario, dato che sono in grado di rilevare la gravità terrestre. Tuttavia, gli accelerometri non possono svolgere questa funzione se l'oggetto si trova in movimento. Accelerometri e giroscopi triassiali possono quindi essere combinati in Unità di misura inerziale (Inertial Measurement Units - IMUs). Le unità di misura inerziale sono usate per determinare l'orientazione di telefoni cellulari, per la calibrazione delle sospensioni nelle auto, e per il controllo di un aeroplano.
- *Prossimità*: i sensori di prossimità rilevano se un oggetto è fisicamente vicino ad un sensore e rilevano effettivamente la presenza o l'assenza di oggetti. Possono essere implementati tramite una gran varietà di tecnologie tra cui quelle ottiche, induttive, magnetiche e capacitive. Sono largamente utilizzati nell'automazione industriali nelle linee di nastri trasportatori per il conteggio oppure per rilevare blocchi, e nelle macchine utensili per sequenzialità e dispositivi di blocco di sicurezza.
- *Posizione*: i sensori di posizione rilevano la posizione meccanica degli oggetti. Sono basati su tecnologie molto simili a quelle utilizzate dai sensori di prossimità, ma possono determinare se un oggetto è presente e quanto questo oggetto sia distante dal sensore. Possono misurare la distanza assoluta, la rotazione angolare, angoli di tilt, a seconda della tecnologia su cui sono basati e della applicazione. Sono comunemente usati per controllare il movimento dei robot e degli attuatori, rotazione delle valvole, e gli angoli degli attuatori.
- Altri sensori sono quelli di *umidità*, di *gas*, *biosensori*, *sensori fotoelettrici*, di flusso, e tanti altri, al limite del descrivibile nella presente sessione.

Una discussione sui sensori con ulteriori dettagli sulle loro applicazioni in robotica è disponibile nel capitolo 8.

6.2.3 Sensori Intelligenti

Di base, i sensori sono dispositivi meccanici o elettronici molto semplici, che convertono stimoli fisici in segnali elettrici. Tuttavia, il progresso e la

miniaturizzazione tecnologica, combinata con l'orientamento verso l'Internet delle Cose, comportano che molti sensori (in particolare, una altissima percentuale di sensori senza fili) abbiano caratteristiche più complesse e siano molto di più che semplici traduttori di segnali.

I *sensori intelligenti (smart sensors)* sono regolati da microprocessori e includono caratteristiche come capacità di comunicare e diagnostiche integrate (on-board), che forniscono informazioni al sistema di monitoraggio e/o all'operatore, il che permette di incrementare la loro efficienza funzionale e ridurre i costi di manutenzione. Possono effettuare elaborazione dati localmente, in modo da ridurre la quantità di informazioni che deve essere successivamente trasmessa. Ciò è particolarmente importante per i sensori senza fili, che hanno meno banda disponibile rispetto ai sensori cablati. Le caratteristiche principali dei sensori intelligenti includono:

- *Condizionamento del segnale* che preserva l'integrità dello stesso e assicura l'isolamento in condizioni industriali problematiche, riducendo quindi l'effetto del rumore e amplificando in modo opportuno segnali di debole intensità.
- Utilizzano una *potenza computazionale locale* per processare ed interpretare i dati localmente; effettuano decisioni basate sui parametri fisici misurati, adattano i parametri in modo autonomo e selezionano quali dati sia opportuno trasmettere.
- *Diagnostiche integrate* per la semplificazione di insorgere di problematiche e di manutenzione.
- Sono compatibili con una *gran varietà di standard di comunicazione*, quali il Wi-Fi, il Bluetooth e lo Zigbee, e non sono rilegati all'utilizzo di una singola tecnologia.

I sensori sono stati utilizzati per decenni in ambito manifatturiero, ma i sensori intelligenti offrono nuovi benefici che potenzialmente possono portare ad un maggior profitto e ad un incremento della produttività. Principalmente, i sensori intelligenti offrono dati più ricchi - il contesto e la rilevanza dei dati sono registrati insieme al segnale stesso, motivo per cui i sensori intelligenti sono in grado di essere selettivi riguardo alla tipologia di dati che è necessario inviare e dove inviarli. Le applicazioni dei sensori intelligenti in ambito manifatturiero includono:

- *Aggregazione e Raccolta di Dati Grandi (Big Data): Big data and data mining* utilizzano una quantità di dati estremamente elevata per ottenere una comprensione globale. I sensori intelligenti facilitano questo processo in tre modi diversi;
 - Primariamente, i sensori intelligenti sono spesso molto più semplici da implementare rispetto ai sensori convenzionali, dato che includono al loro interno tutto l'equipaggiamento necessario, inoltre hanno protocolli di comunicazione senza fili che li connettono ai sistemi di esecuzione esistenti nel contest manifatturiero, tutto in un singolo blocco, senza che ci sia necessità di utilizzare un gran numero di cavi.

- Secondo, l'abilità dei sensori intelligenti di effettuare una pre-elaborazione dei dati permette di aggregare una quantità di dati maggiori e trasmetterla in modo più efficace. Tipicamente, sia i Dati Grandi sia la disseminazione di dati si basano su una quantità di dati enorme tale da garantire la maggiore comprensione possibile dei fenomeni, e semplici sensori non sarebbero in grado di raccogliere e condividere un tale volume di dati richiesti.
- Terzo, i sensori intelligenti possono spesso comunicare tra loro, permettendo quindi ai dati provenienti da altri sensori di essere correlati tra loro, agevolando quindi l'analisi dei dati provenienti da sorgenti multiple.
- *Controllo di qualità*: la qualità è critica per la competitività nel manifatturiero, per cui il controllo di qualità deve essere un elemento integrato nel processo manifatturiero. L'identificazione immediata dei problemi riduce o addirittura rimuove il costo di parti scartate o di ri-lavorazione. Il mantenimento attivo del controllo dei processi richiede un monitoraggio, e questo è tradizionalmente effettuato con sensori convenzionali che forniscono diagrammi di controllo e metodi di controllo della qualità. I sensori intelligenti tuttavia sono in grado di pre-elaborare i dati in modo da rilevare eventuali anomalie e fornendo quindi segnali di allarme in tempo reale quando i processi deviano dal loro comportamento nominale. Queste caratteristiche aggiuntive dei sensori intelligenti permettono di inviare informazioni molto più ricche rispetto ad un singolo segnale relativo al parametro fisico, il che consente di effettuare decisioni in modo più immediato.
- *Logistiche di miglioramento e automazione, gestione delle risorse*: l'alimentazione a batteria e la comunicazione senza fili tipica dei sensori intelligenti permette a questi ultimi di tracciare la locazione delle risorse, veicoli, inventari o delle persone. I dati possono essere usati dal produttore per tracciare logistiche e la filiera, monitorare i movimenti e l'utilizzo delle risorse, ritrovare pezzi e utensili persi.
- *Conformità alle normative*: molti settori del manifatturiero sono regolamentate da norme molto stringenti riguardo la raccolta ed immagazzinamento dei dati per assicurarne la conformità. Conformare i resoconti necessari provenienti dai dati dei sensori, dai file di log e dalle registrazioni provenienti da sistemi multipli può essere una attività estremamente dispendiosa in termini di tempo e di impegno. Un sistema di gestione ben strutturato combinato con l'utilizzo dei sensori intelligenti permette di semplificare moltissimo questo processo, in particolare modo se si utilizzano sensori in grado di raccogliere dati ambientali, quali temperatura ed umidità, ma anche dati riguardo l'utilizzo degli strumenti, in grado di fornire informazioni riguardo consumo di energia, ore di operatività, manutenzione.

6.2.4 Tracciamento dei Prodotti

La funzione fondamentale dei sensori è rilevare i fenomeni fisici e convertirli in segnali elettronici, ma potrebbero non essere sempre semplici come convertire (ad

esempio) una temperatura in una tensione. Un sensore ottico accuratamente impostato può diventare un lettore di codici a barre, consentendo di raccogliere informazioni più ricche e complesse. Il *tracciamento dei prodotti* consiste nell'uso di sensori per determinare quale articolo specifico si trova in una posizione, consentendo di tenere traccia di prodotti unici e di raccogliere informazioni più discrete. Queste informazioni potrebbero quindi essere inserite in un gemello digitale, fornendogli i dati in tempo reale sui prodotti che sono in produzione.

Il tracciamento dei prodotti richiede l'implementazione di tre caratteristiche chiave:

1. Un metodo per identificare in modo univoco il prodotto (o la parte, o il bene materiale) da tracciare.
2. Un metodo per acquisire dati sul prodotto (come i dati delle misurazioni o i dati di processo) che possono essere correlati al suo identificatore.
3. Un metodo per memorizzare i dati acquisiti per riferimento futuro.

Non è intrinsecamente necessario automatizzare nessuna di queste tre funzioni. L'identificatore potrebbe essere un numero scritto sul pezzo con un pennarello, l'acquisizione dei dati potrebbe essere un parametro di processo annotato su un foglio di carta e i dati potrebbero essere archiviati in una cartellina di plastica per riferimento futuro. Questo può sembrare un esempio esagerato, ma questo approccio rimane estremamente comune nelle moderne aziende manifatturiere sia grandi sia piccole. Le schede di lavoro scritte a mano sono ancora lo standard più comunemente utilizzato e possono funzionare in modo estremamente efficace. Tuttavia, ogni inserimento manuale dei dati aumenta le possibilità di commettere errori. L'inserimento manuale dei dati implica anche che un lavoratore qualificato svolga un lavoro poco qualificato, mentre spesso il suo tempo potrebbe essere speso in modo migliore.

Le tecnologie di tracciamento automatico dei prodotti possono rientrare in ciascuna di queste tre categorie. Esse consentono l'identificazione, l'acquisizione e l'archiviazione dei dati con minor sforzo o completamente senza sforzo. Inoltre, queste tecnologie riducono significativamente la probabilità di errore e facilitano il richiamo e l'analisi dei dati grazie all'applicazione di standard di dati comuni. Le tecnologie di *identificazione automatica del prodotto* o *Automatic Identification and Data Capture* (AIDC) permettono di inserire i dati in un sistema informatico con un coinvolgimento umano minimo o nullo. L'esempio più comune di AIDC è l'uso dei codici a barre nei negozi al dettaglio. L'uso di questi codici illustra le tre fasi critiche dell'AIDC:

1. *Codifica dei dati*: i caratteri o i numeri leggibili dall'uomo sono raramente il modo più efficiente di rappresentare i dati per le tecnologie AIDC. Invece, i dati (come il numero del prodotto) devono essere codificati in qualche modo, come la larghezza delle barre in un codice a barre.

2. *Letture dei dati*: un dispositivo in grado di leggere in modo affidabile i dati codificati e di convertirli in un formato appropriato per la trasmissione. Il lettore di codici a barre è un esempio di lettore di dati.
3. *Decodifica dei dati*: il decodificatore di dati converte il segnale del lettore di dati nei caratteri originali che sono stati codificati. Ad esempio, in questo modo si ottiene il numero di codice a barre che rappresenta il prodotto. Il software del punto vendita può quindi cercare il numero in un database e recuperare il nome e il prezzo dell'articolo.

L'AIDC utilizza diversi tipi di tecnologia, con diversi vantaggi e svantaggi. Essi sono dettagliati nella tabella 6.2-1 [10].

Tecnologia	Prestazioni	Vantaggi	Svantaggi
Inserimento manuale	Tipo di Sensore: <i>Manuale</i> Tempo di Ingresso: <i>Basso</i> Tasso di Errore: <i>Alto</i> Costo: <i>Basso</i>	Basso costo iniziale. Semplice da impostare. Altamente adattabile.	Alto costo di esercizio (costo del tempo del lavoratore). Lente velocità d'ingresso. Incline a errori o omissioni.
Riconoscimento biometrico	Tipo di Sensore: <i>Ottico (tipicamente)</i> Tempo di Ingresso: <i>Medio</i> Tasso di Errore: <i>Basso</i> Costo: <i>Medio</i>	Intuitiva. Identificazione rapida delle persone. Adatta per applicazioni di sicurezza.	Applicazioni di nicchia. Spesso impopolare. La configurazione iniziale richiede la presenza fisica delle persone.
OCR (Optical Character Recognition)	Tipo di Sensore: <i>Ottico</i> Tempo di Ingresso: <i>Medio</i> Tasso di Errore: <i>Medio</i> Costo: <i>Medio</i>	I dati rimangono leggibili dalle persone.	I caratteri devono essere stampati. Bassa densità di dati. Tasso di errore dipendente dalle condizioni (ad es. illuminazione).
Visione artificiale	Tipo di Sensore: <i>Ottico</i> Tempo di Ingresso: <i>Veloce</i> Tasso di Errore: <i>Dipendente dall'applicazione</i> Costo: <i>Alto</i>	Applicazione versatile. Le apparecchiature possono essere riutilizzate per diverse applicazioni. Alta velocità. Può leggere altre forme di codifica dei dati come i codici a barre.	Successo fortemente dipendente dall'applicazione e dalla qualità dell'implementazione.
Codici a barre lineari (1D)	Tipo di Sensore: <i>Ottico</i> Tempo di Ingresso: <i>Medio</i> Tasso di Errore: <i>Basso</i> Costo: <i>Basso</i>	Economico da implementare. Versatile. Codici a barre facili da stampare e applicare.	Densità di dati inferiore rispetto ai codici a barre 2D.

Tecnologia	Prestazioni	Vantaggi	Svantaggi
Codici a barre bidimensionali (2D)	Tipo di Sensore: <i>Ottico</i> Tempo di Ingresso: <i>Medio</i> Tasso di Errore: <i>Basso</i> Costo: <i>Alto</i>	Elevata densità di dati. Affidabile e versatile. I codici a barre 2D occupano più spazio di quelli 1D, ma sono comunque facili da usare.	Costo delle apparecchiature più elevato che per i codici a barre 1D, quindi bisogna considerare se è necessario usare quelli 2D.
RFID (Radio Frequency Identification Tags)	Tipo di Sensore: <i>Elettromagnetico</i> Tempo di Ingresso: <i>Veloce</i> Tasso di Errore: <i>Basso</i> Costo: <i>Medio</i>	Funziona anche senza contatto visivo. Versatile: esistono tag in grado di leggere/scrivere e tag alimentati a batteria. Alta densità di dati (con tag più costosi).	Costo per singolo uso maggiore rispetto ai metodi ottici. I tag con elevata capacità di dati o capacità di lettura/scrivitura sono costosi. La qualità e il raggio di lettura possono diminuire in ambienti metallici.
Smart Cards (sottotipo of RFID)	Tipo di Sensore: <i>Elettromagnetico</i> Tempo di Ingresso: <i>Veloce</i> Tasso di Errore: <i>Basso</i> Costo: <i>Medio</i>	Identifica le persone senza riconoscimento biometrico. Può essere implementato senza che la persona sia presente. Veloce e semplice da usare.	Può essere perso, rubato o usato illecitamente, come invece non è possibile con il riconoscimento biometrico.
Magnetic Stripe	Tipo di Sensore: <i>Elettromagnetico</i> Tempo di Ingresso: <i>Medio</i> Tasso di Errore: <i>Basso</i> Costo: <i>Medio</i>	Elevata densità di dati. Capacità di lettura/scrivitura.	Per la lettura dei dati è necessario il contatto fisico. Danneggiata dai campi elettromagnetici.

Tabella 6.2-1 Sintesi delle tecnologie AIDC comuni e delle loro proprietà.

È importante notare che non esiste una tecnologia “migliore”, queste tecnologie vengono tutte utilizzate perché offrono vantaggi e svantaggi unici. Inoltre queste tecnologie possono essere implementate individualmente o in combinazione tra loro per ottenere risultati diversi. Quando si decide quale tecnologia di AIDC utilizzare, bisogna tenere in considerazione i requisiti sul codice, sul lettore e sul decodificatore. Ad esempio, qual è l’area disponibile per il codice? Il codice deve essere leggibile sia dall’uomo sia dalle macchine? Quanti dati devono essere codificati? In quali condizioni deve essere letto il codice: è ben illuminato, o irregolare e scuro? Il codice può essere visibile o è nascosto sul prodotto?

È inoltre importante notare che, sebbene le tecnologie nuove ed emergenti come la visione artificiale possano offrire nuove e significative capacità, le tecnologie collaudate e testate come i codici a barre lineari continuano ad essere utilizzate diffusamente grazie al loro funzionamento efficiente, affidabile ed economico.

6.2.5 Conclusioni sui Sensori

I sensori sono ovviamente importanti nella produzione per il controllo dei processi e molti sono spesso integrati nelle apparecchiature e nei sistemi di controllo. Le posizioni degli attuatori, la presenza o l'assenza di parti, le velocità di rotazione dei mandrini o le temperature dei processi chimici sono tutti esempi di caratteristiche di processo che devono essere monitorate affinché il processo abbia successo, anche se spesso si potrebbe anche non sapere che i sensori sono lì.

Tuttavia, una parte fondamentale della creazione di un modello efficace e utile o di un digital twin è l'accesso a dati accurati del sistema che si sta tentando di modellare. I sensori integrati nei processi possono fornire dati utili per un modello, ma spesso mancano dati chiave che sono esterni ai processi. Il movimento delle parti attorno a un sistema, l'uso di utensili o materiali, la gestione dell'inventario e qualsiasi processo che deve collaborare possono richiedere sensori aggiuntivi per acquisire le prestazioni e i parametri.

I sensori possono essere letti direttamente (sorgenti primarie) o inseriti in un sistema di controllo secondario come un PLC o un computer incorporato (sorgente secondaria) a seconda dell'applicazione. I dati ricevuti da questi possono essere registrati in un database, un foglio di calcolo, un software di monitoraggio su misura, anche registrato manualmente, e di seguito analizzati con il ciclo di elaborazione dei dati discusso nella sezione 5.2. La differenza tra gli approcci di modellazione convenzionali della sezione 5.3 e i digital twin, è che la modellazione convenzionale scatta un'istantanea di un sistema e costruisce un modello che rimane statico, mentre un digital twin è collegato alla registrazione dei dati e può aggiornare costantemente il modello.

6.3 Gemello Digitale

6.3.1 Categorie dei Gemelli Digitali

"Digital twin" è una parola in voga e sempre più comune nella produzione anche se spesso usato in modo improprio per fare riferimento agli approcci di modellazione e simulazione offline. Come area emergente, ci sono pochi standard formali per i gemelli digitali. Il gruppo di lavoro ISO/IEC JTC1/AG 11 Digital Twin [11] e il comitato tecnico ISO/TC 184/SC Industrial Data [12] stanno lavorando su standard come ISO/DIS 23247-1 Digital Twin Framework [13], ma al momento non sono completati. Anche la rete tedesca Platform Industrie 4.0 ha promosso gli "asset shell" standard per i gemelli digitali, ma questo è un punto di partenza piuttosto che un'architettura di riferimento completa. A causa della mancanza di standardizzazione, il concetto di gemello digitale è ancora poco chiaro e spesso la comprensione è guidata da fornitori di strumenti software per gemelli digitali. Tuttavia, alcuni gruppi autorevoli hanno proposto diverse classificazioni. Quando si valuta il software che sostiene di essere un gemello digitale, vale la pena considerare in quale di queste classi rientri.

Secondo Kritzinger et al. [14] del Fraunhofer Austria Research, il livello di integrazione dei dati tra la controparte fisica e digitale consente la classificazione dell'approccio:

1. Un *Modello Digitale* non utilizza il trasferimento automatico dei dati tra l'asset reale/fisico e il modello virtuale, ma solo il trasferimento manuale dei dati. La maggior parte non considererebbe questo un vero gemello digitale poiché lo scambio manuale di dati impedisce all'oggetto digitale di avere accesso ai dati in tempo reale.
2. Un' *Ombra Digitale* include un flusso automatico unidirezionale di dati dal sistema fisico alla rappresentazione digitale.
3. In un *Gemello Digitale* i dati scorrono automaticamente in entrambe le direzioni tra il sistema fisico e il modello virtuale. In questo caso, il gemello digitale è in grado di controllare l'oggetto fisico in base alle decisioni del gemello digitale.

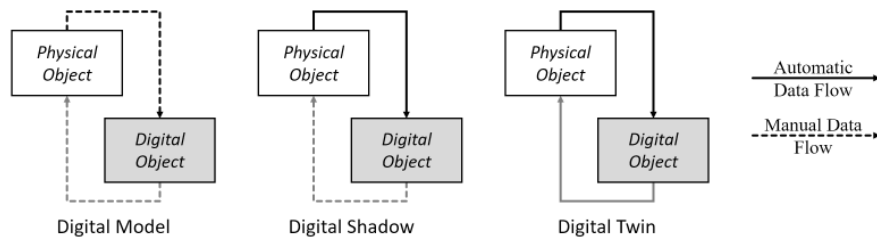


Figura 6.3-1 Le classi di gemelli digitali secondo Kritzinger. Più è automatizzato il flusso di informazioni, più il risultato è vicino ad un vero e proprio gemello digitale [14].

L'Advanced Manufacturing Research Centre (AMRC) dell'Università di Sheffield nel Regno Unito ha proposto di classificare i gemelli digitali in base alle capacità e al valore aggiunto dato dal gemello digitale [15]. La funzionalità di base consiste nella presentazione contestuale dei dati e il tipo di gemellaggio dipende quindi dal fatto che le funzionalità opzionali a valore aggiunto includano l'analisi dei dati, il controllo sul bene fisico e/o le previsioni tramite simulazioni. Le tre classi sono:

- *Tipo 1 Gemello Digitale Supervisionato:* un gemello di monitoraggio passivo, dove i dati vengono ricevuti dal sistema fisico e combinati in un unico modello. Questo modello può essere utilizzato per identificare i limiti di avvertimento o le soglie sulle variabili che indicano problemi. Approssimativamente uguale ad un'ombra digitale nella classificazione di Kritzinger;
- *Tipo 2 Gemello Digitale Interattivo:* il gemello digitale è in grado di influenzare il gemello fisico impostando parametri per migliorare gli indicatori di performance chiave con semplici algoritmi di controllo. Il controllo può essere

completo o parziale. Approssimativamente uguale al gemello digitale completo nella classificazione di Kritzinger;

- *Tipo 3 Gemello Digitale Predittivo*: integra metodi di simulazione e analisi per prevedere le prestazioni basate sui dati di processo dal gemello fisico e li usa per ottimizzare i parametri di elaborazione, e poi proattivamente effettuare queste regolazioni come necessario nel gemello fisico.

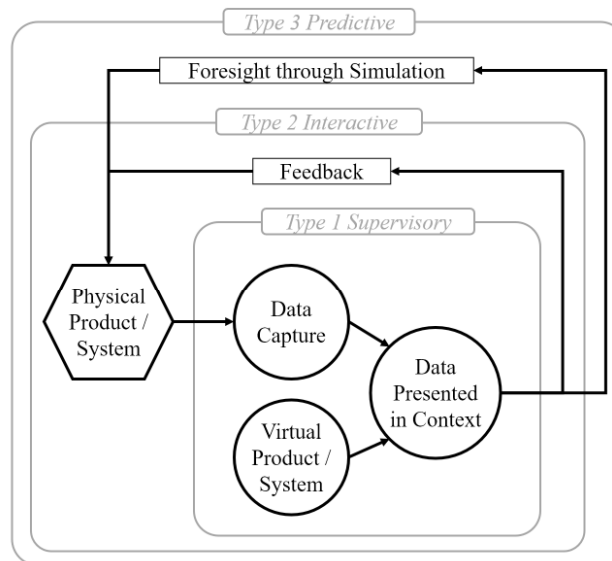


Figura 6.3-2 I tipi di gemelli digitali sono sovrapposti, secondo la classificazione AMRC [15].

6.3.2 Elementi dei Gemelli Digitali

A causa dell'attuale mancanza di standard, i componenti e i requisiti tecnici di un gemello digitale variano a seconda del tipo, della classificazione e del fornitore del gemello digitale. Tuttavia, alcuni elementi comuni stanno emergendo.

- *Obbligatorio: Gemello Fisico connesso in tempo reale*. Qualche volta non si tiene conto del fatto che un gemello digitale richiede un gemello fisico, tipicamente un prodotto o un sistema. Il gemello fisico può essere passivo e/o non comunicativo, o un prodotto/sistema intelligente in grado di comunicare da macchina a macchina (M2M) o di comunicare con l'uomo. Il digitale gemello richiederà sensori (sia integrati in prodotti intelligenti / sistemi, o soluzioni IoT aggiunti in seguito), gli standard di comunicazione per condividere i dati con il digitale gemello, e la capacità di farlo in tempo reale. Ciò che si qualifica come

tempo reale è l'applicazione cui fa riferimento, ma di solito considerato nell'ordine di millisecondi.

- *Obbligatorio: Modello.* Il gemello digitale richiede un equivalente virtuale del gemello fisico che dà contesto ai dati raccolti, differenziandolo da un database o da un lago di dati. Nonostante questa differenza, il gemello digitale richiede ancora la memorizzazione dei dati raccolti, e una banca dati può essere la soluzione tecnica da adottare. Il modello è uno degli elementi più difficili da definire in quanto è altamente specifico per l'applicazione - un modello di fabbrica può essere implementato in modo diverso da un modello di un motore a reazione, per esempio. I modelli 3D dei gemelli fisici sono una considerazione comune, ma non obbligatoria.
- *Facoltativo: Analisi e Simulazione.* Uno dei casi d'uso più comuni di gemelli digitali è quello di utilizzarlo per eseguire analisi e capire come meglio controllare il gemello fisico. Questo è tipicamente possibile attraverso l'uso di simulazione e analisi. Può sembrare strano che questo sia elencato come facoltativo: qual è lo scopo di un modello se non si eseguono mai simulazioni su di esso? Tuttavia, come descritto dalla classificazione AMRC [15], un digital twin può essere solo un modo per presentare i dati nel contesto senza alcuna analisi eseguita direttamente. L'analisi e le simulazioni rimangono una caratteristica desiderabile molto comune, naturalmente, ma non sono obbligatorie. Diverse tecniche di analisi e simulazione possono essere incluse in gemelli digitali a seconda dell'applicazione, con l'intenzione di identificare problemi o opportunità in anticipo in base ai dati in arrivo e allo stato del gemello fisico.
- *Facoltativo: Controllo.* Dare a un gemello digitale la capacità di controllare il gemello fisico non è obbligatorio (vedi tipo 1 supervisione gemelli digitali) ma - come analisi e simulazione - è un uso previsto molto comune. I sensori nel gemello fisico consentono la cattura dei dati, ma allo stesso modo gli attuatori possono consentire al gemello digitale di cambiare i parametri o altri elementi del sistema di controllo del gemello fisico. Questo sarebbe in genere in combinazione con strumenti di analisi o simulazione per prendere le decisioni su come cambiare i parametri, che vengono poi inviati al gemello fisico.

6.3.3 Applicazioni dei Gemelli Digitali

I gemelli digitali trovano un'ampia gamma di applicazioni, tra cui automazione dei veicoli, generazione di energia, modellazione del traffico e pianificazione urbana, sanità e altro ancora. Qui, tuttavia ci concentreremo su alcune applicazioni specifiche per l'ambito produttivo [1].

- *Replicazione della Linea di Produzione:* Una delle applicazioni dei gemelli digitali più comunemente utilizzate in ambito produttivo è la creazione di una replica digitale di una linea di produzione, o di un'intera fabbrica. Le simulazioni di fabbricazione non sono nuove, ma si basano su un alto grado di comprensione

del processo simulato. La naturale connessione in tempo reale dei gemelli digitali consente alla simulazione di migliorare costantemente nel tempo, di essere monitorata e ottimizzata in base allo stato del sistema in tempo reale e di rispondere a eventi nuovi e imprevisi. Il gemello digitale serve due obiettivi primari qui. In primo luogo, i dati acquisiti per il sistema di produzione sono unificati e conservati in un unico luogo, semplificando il monitoraggio e consentendo istantanee storiche del comportamento del sistema da recuperare in caso di guasto. In secondo luogo, il gemello digitale può eseguire *simulazioni "in avanzamento"*, utilizzando la natura "più veloce del tempo reale" delle simulazioni per "valutare velocemente in anticipo" e prevedere lo stato del sistema in futuro [16].

- *Replicazione del prodotto*: Anche sistemi di produzione complessi possono produrre prodotti semplici che non richiedono un gemello digitale. Tuttavia, quando il prodotto è complesso come il sistema che lo crea, un prodotto digitale gemello può offrire alcuni vantaggi. Analogamente alla replicazione della linea di produzione, l'utilizzo di un gemello digitale per un prodotto aiuta a raccogliere tutti i dati generati nella sua creazione in un unico luogo, utile per settori altamente regolamentati come l'aerospaziale o i prodotti farmaceutici. I gemelli digitali possono anche essere integrati con sistemi di monitoraggio del ciclo di vita del prodotto per garantire che i processi previsti siano eseguiti sul prodotto, in particolare quando vi sono grandi fonti di incertezza nel processo di fabbricazione o quando le configurazioni vengono modificate man mano che il prodotto viene fabbricato.
- *Manutenzione preventiva*: La manutenzione preventiva è una tecnica chiave per prevenire costosi guasti, programmando la manutenzione durante le interruzioni di produzione per sostituire i componenti usurati prima della loro rottura prevista. La manutenzione preventiva è in genere programmata regolarmente in base all'esperienza dell'operatore e alle indicazioni del fabbricante dell'apparecchiatura. La manutenzione predittiva controlla le condizioni delle apparecchiature dotate di sensori per migliorare la stima di previsione della manutenzione. Questo aiuta entrambi a determinare se l'apparecchiatura si romperà prima del previsto, o se la manutenzione può essere ritardata, risparmiando denaro.

Un gemello digitale delle apparecchiature di produzione aiuta nell'attuazione della manutenzione predittiva consentendo la raccolta e l'analisi dei dati del sensore dalle apparecchiature e l'analisi di funzionamento per prevedere la finestra di manutenzione ottimale. I dati provenienti da precedenti fermi-macchina possono essere utilizzati per aiutare a identificare nuovi guasti imminenti, e i dati in tempo reale dall'apparecchiatura possono essere confrontati con i dati "ideali" precedenti per cercare differenze.

- *Pianificazione robotica/Robotica collaborativa*: La programmazione del percorso robotico industriale è spesso sviluppata con simulazioni offline per tracciare e testare i programmi proposti, utilizzando pacchetti software come ABB Robotstudio, KUKA.Sim or Dassault Systemes DELMIA. Questi sono

strumenti eccellenti per attività ripetitive, altamente prevedibili. I gemelli digitali possono aiutare questo processo lì dove il processo robotico è variabile o imprevedibile. Questo può verificarsi quando il prodotto è grande, flessibile o di qualità sconosciuta. L'imprevedibilità può verificarsi anche quando gli esseri umani sono coinvolti nel processo, come nel caso della robotica collaborativa o Cobotica, la cui popolarità è in forte crescita, in cui i robot e gli esseri umani lavorano insieme sulle attività.

La sicurezza è fondamentale per l'implementazione di successo della Cobotica e i gemelli digitali consentono alla simulazione, utilizzata per la pianificazione del movimento, di essere aggiornata in tempo reale per garantire la posizione e la mobilità del lavoratore umano. Potrebbero anche consentire tecniche di realtà virtuale o aumentata per migliorare l'interazione tra lavoratore umano e il controllo del cobot.

6.3.4 Esempi di software Gemelli Digitali

I gemelli digitali sono una tecnologia emergente e un campo in rapido cambiamento. Senza standard chiaramente definiti per i gemelli digitali, ciò che si qualifica o meno come gemello digitale risulta ambiguo. Inoltre, molti pacchetti digitali offerti sono in realtà più pezzi di software che lavorano insieme per implementare il gemello digitale. Questi pacchetti utilizzano spesso un pacchetto di modellazione e simulazione esistente (come quelli menzionati nella sezione 5.3.5) con componenti aggiuntivi per raccogliere dati in tempo reale. A causa dello stadio iniziale delle tecnologie, si consiglia di ricercare soluzioni e sviluppi prima di impegnarsi in un prodotto o pacchetto specifico e prestare particolare attenzione ai tipi e agli elementi dei gemelli digitali in modo da poter essere sicuri che ciò che si sta acquistando faccia ciò che ci si aspetta. Tuttavia, ecco alcuni esempi di soluzioni o pacchetti sul mercato.

- *Siemens Digital Enterprise*: La doppia offerta digitale di Siemens è una combinazione olistica di una gamma di prodotti software piuttosto che di un singolo software dedicato, ma questi rientrano nel portafoglio di Digital Enterprise. A seconda dell'area di applicazione, verranno utilizzati diversi strumenti. Ad esempio, in un ambiente farmaceutico STAR-CCM+[‡] viene utilizzato come modello, HEEDS[§] per l'analisi, e SIMATIC SIPAT^{**} viene utilizzato per il monitoraggio della qualità in tempo reale. Poiché Siemens fornisce anche un'ampia gamma di apparecchiature di automazione industriale e di rilevamento, l'integrazione di questo approccio in un gemello digitale in tempo reale è semplificata.

[‡] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/STAR-CCM.html>

[§] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/simcenter-heeds.html>

^{**} <https://new.siemens.com/global/en/markets/pharma-industry/sipat-software.html>

- *GE Digital Predix*: Predix è una piattaforma di dati basata su cloud in grado di raccogliere dati da fonti IoT, contestualizzarli con un modello e utilizzare algoritmi di analisi per prevedere eventi futuri. Ha più applicazioni dichiarate tra cui componente, attività, sistema, e modellazione di processo.
- *Dassault Systemes 3DEXPERIENCE*: Un altro ampio portafoglio di software, 3DEXPERIENCE copre la progettazione dei prodotti, la pianificazione dei processi, la simulazione e l'analisi e la gestione dei dati dei prodotti. Chiamando i gemelli digitali "3DEXPERIENCE Twins", il pacchetto copre la gamma di elementi necessari per un gemello digitale. Altre società hanno anche utilizzato 3DEXPERIENCE come base per i propri prodotti gemelli digitali, come *Veristar's AIM^{3D}*, specializzata nella modellizzazione di grandi navi e piattaforme gas/petrolio.
- *Microsoft Azure Digital Twins*: Attualmente in una fase di test pubblico, Azure Digital Twins è una soluzione digitale doppia basata su cloud con un approccio "grafico di intelligenza spaziale" a dominio neutro per la modellazione e l'integrazione con l'ingresso di dati IoT, l'apprendimento automatico e le funzionalità AI di Azure. Microsoft ha anche collaborato con *Ansys Twin Builder* per aggiungere ulteriori funzionalità di manutenzione predittiva.

6.3.5 Implementazione e Sfide

Come area emergente, ci sono diverse sfide per i gemelli digitali da superare per diventare una tendenza dominante. Questi sono riassunti qui, e sono aspetti di cui essere consapevoli prima di adottare qualsiasi soluzione di gemello digitale specifico.

- *Norme e interoperabilità*: Come discusso nella sezione 6.3.1, vi è attualmente una mancanza di standard industriali per i gemelli digitali, e anche quando sono finalizzati, la loro adozione richiederà tempo. Di conseguenza, l'interoperabilità tra diversi fornitori di soluzioni per gemelli digitali o componenti di una soluzione può essere limitata. Molti strumenti attuali sono basati su suite esistenti di software di produzione e cercare di combinarli e farli di interfacciarli può essere costoso o non possibile.
- *Fiducia*: La chiave per la vendita di prodotti per gemelli digitali è un sistema auto-ottimizzante, con analisi e simulazioni eseguite su dati in tempo reale i cui risultati sono utilizzati per ottimizzare il fisico gemello. Tuttavia questo richiede un livello di fiducia da parte degli operatori - alcune decisioni non corrette o deduzioni errate potrebbero far sì che gli utilizzatori del gemello digitale non venga più utilizzato in ciclo chiuso automatico, ma come strumento consultivo piuttosto che completamente integrato.
- *Quantità di Dati*: Un aspetto chiave dei gemelli digitali è quello di raccogliere dati in tempo reale in un unico luogo ed essere in grado di presentarlo nel contesto (vedi Figura 6.3-2). Questo approccio non è dissimile da quello dei dati "lago" e dei dati "magazzino", ma a differenza di questi approcci, i gemelli

digitali richiedono dati centralizzati in tempo reale. A seconda dei volumi di dati, della distanza delle fonti di dati e del metodo di trasmissione dei dati, l'invio di dati grezzi potrebbe semplicemente non essere possibile. La pre-elaborazione dei dati prima della trasmissione può contribuire ad attenuare tale situazione.

- *Sicurezza informatica (cybersecurity)*: Qualsiasi azienda innovatrice in Industria 4.0 è purtroppo un obiettivo per le entità dannose, da individui, bande organizzate, agli stati nazionali. Irdeto ha scoperto che il 79% delle aziende intervistate che implementano IoT ha subito una sorta di ciber-attacco contro i loro sistemi IoT l'anno precedente[17]. Le conseguenze di un attacco informatico su un gemello digitale potrebbero essere significative, e vanno dalla perturbazione del gemello fisico, ad attacchi "ransomware", o il furto di proprietà intellettuale a causa della ricchezza di dati memorizzati nel gemello digitale. I metodi tipici di sicurezza industriale come la sicurezza hardware e "l'air-gapping" non sono più sufficienti. Occorre invece attuare una protezione basata sul software, implementare una procedura aziendale ben definita per gli aggiornamenti del software/firmware e, ove possibile, criptare i dati.
- *Implementazione*: I gemelli digitali richiedono il coinvolgimento di un'ampia gamma di attrezzature e persone all'interno di una attività per sfruttare al massimo l'approccio. Una parola d'ordine comune per i gemelli digitali è "olistico", cioè qualcosa che è più della somma delle sue parti, ma in questo caso la parola è appropriata. I gemelli digitali possono trarre dati da un'attività, e se i dati non sono già organizzati o ben compresi il processo di implementazione del gemello digitale può essere impegnativo. Gartner [18] ha pubblicato uno studio condotto nel 2017 tra 202 aziende e descritto le quattro migliori pratiche per l'implementazione e il mantenimento dei gemelli digitali:
 1. Gli investimenti in soluzioni di gemelli digitali potrebbero essere guidati dalla catena del valore del prodotto o del processo. E' fondamentale capire perché gli investitori hanno bisogno di accedere ai dati, o controllare il gemello fisico.
 2. Procedure standardizzate documentate dovrebbero essere eseguite durante la creazione al gemello digitale per garantire che questo sistema potenzialmente molto complesso sia ben documentato e compreso, il che faciliterà le modifiche e gli aggiornamenti.
 3. L'uso e l'accesso ai dati dovrebbero essere possibili da più fonti per consentire l'interazione e l'evoluzione del gemello digitale. Ciò può richiedere la disaggregazione dei depositi di dati esistenti e l'applicazione di norme all'interno dell'impresa, in modo da consentire un accesso più ampio ai dati.
 4. Software proprietario e formati non standard dovrebbero essere evitati per garantire che l'azienda non si blocchi in un approccio o non sia in grado di integrare nuovi componenti del programma.

6.4 Sistema di Supporto alle Decisioni

6.4.1 Introduzione

In tutto questo libro è stato discusso il concetto di processo decisionale e ne è stata sottolineata l'importanza. Il ruolo dell'analisi nel settore manifatturiero è quello di consentire di prendere decisioni migliori e quindi di essere più produttiva e redditizia per l'azienda. Tutti gli strumenti e i metodi di cui abbiamo discusso esistono per aiutare nelle decisioni. Tuttavia, esiste un'altra classificazione degli strumenti che può aiutare nel processo decisionale: il sistema di supporto alle decisioni (Decision Support System - DSS).

Un DSS è un Sistema software che supporta l'attività decisionale di una impresa, incluso ma non limitato all'ambito manifatturiero. Hanno tipicamente un'area circoscritta di interesse (*dominio*) in cui sono di supporto all'attività decisionale. Per esempio, i DSS stanno diventando molto comuni in ambito medico, al fine di aiutare nella diagnosi e nei piani di trattamento, ambiti in cui i problemi sono ben lontani dall'essere strutturati. Esistono tre classi di DSS, che rappresentano la tipologia di supporto che forniscono:

- *Passivo*: offre informazioni ed analisi al fine di aiutare l'essere umano nel processo di attività decisionale, ma non forniscono nessun suggerimento o soluzione immediata.
- *Attivo*: analizza i dati per fornire suggerimenti e soluzioni all'utilizzatore.
- *Cooperativo*: offre suggerimento e soluzione all'operatore, ma tiene conto anche del riscontro fornito dall'operatore, cosicché sia possibile rifinire e migliorare suggerimenti e decisioni. Tuttavia, questo tipo di DSS è piuttosto raro al di fuori del contesto scientifico.

Oltre queste tre classi, esiste una classificazione di DSS, dettagliata nelle prossime quattro pagine, basata sulla metodologia su cui si basano per fornire supporto.

6.4.2 Classi di Sistemi di Supporto alle Decisioni

6.4.2.1 Communications-Driven

Forse possono essere ritenuti come la forma di DSS più diffusa, e probabilmente si utilizza senza neanche rendersi conto che si tratti di uno strumento di supporto alla decisione. I DSS basati su *Communications-Driven* (CD-DSS) facilitano le decisioni consentendo agli operatori di scambiare informazioni consentendo di prendere una decisione di tipo collettivo. Sono spesso chiamati Sistemi di Supporto Decisionale di Gruppo per questa ragione. Un CD-DSS non genera o analizza dati da solo, li rende disponibili agli operatori, inclusi quelli che sono disseminati su altre aree piuttosto che operanti in uno stesso contesto, e che comunicano in modo asincrono.

Esempi di questa tipologia di DSS includono gli strumenti di condivisione dei documenti, come ad esempio Google Docs o Microsoft SharePoint, strumenti di collaborazione come Slack o Microsoft Teams. Anche le soluzioni di teleconferenza come Skype o Zoom sono qualche volta descritti come CD-DSS. Questi sistemi consentono agli operatori di prendere decisioni riguardo problemi non-strutturati o semi-strutturati, interagendo con gruppi di lavoro e condividendo esperienza e conoscenza, piuttosto che affrontare il problema da soli. CD-DSS sono un esempio di DSS passivi.

6.4.2.2 Data-Driven

Per problemi semi-strutturati e anche per alcuni problemi strutturati, si possono avere dati a disposizione, tuttavia essi possono essere fruibili in un formato che ne rende complicato, se non impossibile, l'utilizzo efficace da parte dell'operatore. I *DSS Data-Driven* (DD-DSS) considerano i dati (tipicamente sequenze temporali di dati) e li propongono all'operatore in modo più chiaro, di solito corredandoli anche ad una analisi dei dati stessi. I dati saranno forniti dai data base della azienda, anche se talvolta vengono considerati anche dati provenienti da sorgenti esterne. I dati sono di solito di tipo storico, ma sono inclusi anche i dati in tempo reale. La maggior sfida con gli approcci di tipo DD-DSS riguarda l'integrazione dei dati – ossia, la modalità con cui i dati generati dalle machine sono acquisiti e quindi integrati ai dati prodotti dagli esseri umani.

Un pannello di controllo per il manifatturiero (manufacturing dashboard) è un comune esempio di DD-DSS in ambito industriale, in quanto mostra dati chiave, ottenuti da sorgenti multiple, e sono in grado di fornire una indicazione chiara sullo stato dell'officina, degli ordini o della produttività. Esempi comuni includono il Microsoft Power BI, Dundas BI, e Tableau, ma molte compagnie spesso sviluppano pannelli di controllo con visualizzazione delle librerie come R Studio's Shiny o Grafana. Molti approcci sono direttamente integrati all'interno del database, come nel caso di SAP HANA. Anche uno resoconto di fogli di calcolo e grafici può raggiungere questi obiettivi.

I DD-DSS sono il secondo esempio di DSS più diffuso ed è anche il più comunemente conosciuto e considerato come un DSS. Ci si riferisce spesso a questi sistemi come Pacchetti di Logica di Impresa (Business Intelligence packages), il che sottolinea anche il grado di sofisticazione che caratterizza gli strumenti messi a disposizione. Sono da considerarsi DSS di tipo passivo, tuttavia stanno aumentando al loro interno strumenti di supporto decisionale di tipo attivo.

6.4.2.3 Model-Driven

I *DSS Model-Driven* (MD-DSS) usano modelli di simulazione per il supporto decisionale; essi forniscono delle predizioni sulle ricadute ed i conseguenti cambiamenti sullo scenario corrente. Possono essere modelli numerici basati su fogli di calcolo, modelli di prodotti ottenuti tramite computer-aided design (CAD),

tutte le simulazioni di tipo 3D multifisico riguardanti processi di fabbricazione e lavorazione.

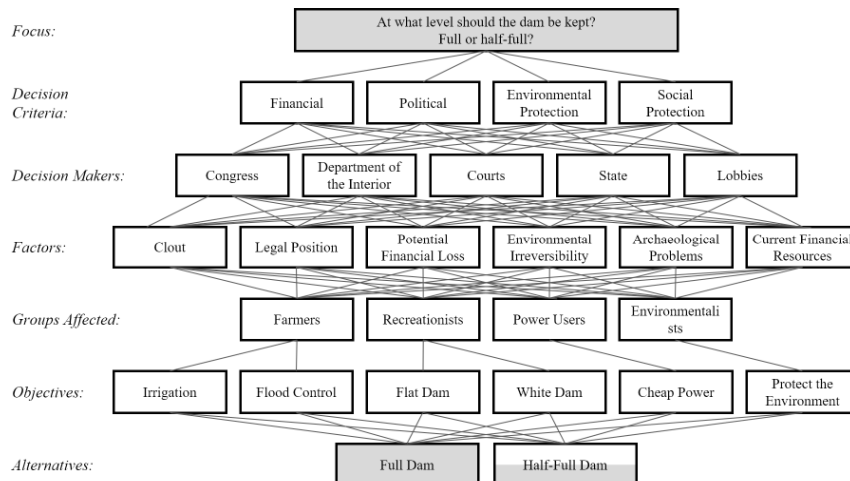


Figura 6.4-1 I processi Gerarchici Analitici (Analytical Hierarchy Processes) sono usati per avviare una destrutturazione di problemi particolarmente complessi, in modo da strutturarli in un modello che permetta poi di testare le varie opzioni.

I DSS Model-Driven (MD-DSS) usano modelli di simulazione per il supporto decisionale; essi forniscono delle predizioni sulle ricadute ed i conseguenti cambiamenti sullo scenario corrente. Possono essere modelli numerici basati su fogli di calcolo, modelli di prodotti ottenuti tramite computer-aided design (CAD), tutte le simulazioni di tipo 3D multifisico riguardanti processi di fabbricazione e lavorazione, e discusse nella sezione 5.3. L'introduzione alla visualizzazione basata su simulazione avanzata tipica dei progetti CAD attuata con tecnologie di interazione e collaborazione, come la realtà aumentata e la realtà virtuale (AR/VR), sta cambiando il processo di design del prodotto, abilitando alla prototipazione visuale, ma sta anche rendendo più agevole la collaborazione tra gruppi di lavoro distribuiti, nel momento in cui la modellazione CAD implementi anche elementi di DSS Communications-Driven. Modelli e simulazioni sono tipicamente considerati DSS attivi, dato che forniscono all'operatore i risultati delle loro scelte e, in alcuni casi, risulta possibile ottenere una scelta ottimale per la soluzione ad un problema, ricorrendo ad algoritmi di ottimizzazione.

Anche modelli di analisi decisionale (decision analysis model –DAM) ricadono tra le categorie di MD-DSS. I DAM sono strumenti e metodi statistici, come ad esempio i processi analitici gerarchici (analytical hierarchy processes - AHP), le analisi dell'albero decisionale (decision tree analysis), l'analisi decisionale multi

criterio, le previsioni probabilistiche per il supporto decisionale, ove siano da considerare criteri multipli e non vi sia una singola risposta ottimale.

6.4.3 Knowledge-Driven

I *DSS Knowledge-Driven* (KD-DSS) raccolgono dati, informazioni e conoscenza sia da sorgenti interne all'azienda che esterne. Essi quindi utilizzano i database di conoscenza passata per prendere decisioni con l'aiuto di tecniche di intelligenza artificiale (AI) e suggeriscono le azioni da compiere. I KD-DSS utilizzano le tecniche di AI per combinare ingenti quantità di informazioni relative alla conoscenza del dominio e alle esperienze pregresse, al fine di elaborare nuove informazioni. I sistemi di esperti (Expert System, che hanno raggiunto il picco di popolarità tra gli anni 80 e 90) sono una forma di KD-DSS e utilizzavano regole *if-then* ed approccio euristico per risolvere problemi. Le versioni più moderne di KD-DSS utilizzano gli ultimi progressi in fatto di tecniche AI, come ad esempio reti neurali, apprendimento automatico (machine learning), logica fuzzy e algoritmi genetici.

I sistemi DSS basati sul Reciprocal Learning (RL-DSS) sono da considerarsi come una sottoclasse di sistemi KD-DSS e sono in grado di apprendere da decisioni comuni e subentrare nell'attività decisionale per ridurre il carico di tale attività all'operatore. I compiti delle routine di decisione possono quindi essere apprese e programmate e i decisori possono aggiornare le loro conoscenze ed essere di aiuto nel generare decisioni più intelligenti per problemi semi-strutturati rispetto a quelle precedentemente formulate.

Nel contesto manifatturiero, la vera sfida consiste nell'acquisire la conoscenza del dominio di esperti. In alternativa, piuttosto che affidarsi ad esperti di dominio che traducano la loro conoscenza in regole, i sistemi KD-DSS più moderni ed usati in ambito manifatturiero adottano il processo di estrazione dei dati (data mining) ed l'apprendimento automatico per gestire ingenti volumi di dati storici e renderli quindi utilizzabili per determinare il corso di azione ottimale. Il machine learning (apprendimento automatico) si sta dimostrando estremamente vantaggioso per la classificazione di alcuni problemi come classificazione di difetti, individuazione di problemi durante i processi di lavorazione, e consentono di intervenire in modo proattivo e preventivo alla manutenzione, di creare modelli dei processi di lavorazione che siano troppo complicati per essere compresi.

Un esempio famoso è Watson di IBM. Watson è un sistema informatico in grado di rispondere a domande espresse in un linguaggio naturale ed è una forma di KD-DSS, che utilizza un'enorme banca dati di conoscenze e regole per rispondere rapidamente alle domande. Questo approccio fu utilizzato per vincere il primo posto nella gara di Jeopardy!, consentendo di battere i campioni precedenti di misura molto significativa. Watson utilizza un metodo complesso per rispondere alle domande, e, tuttavia condivide lo stesso metodo utilizzato da ogni altro sistema KD-DSS. La modalità di risposta alla domanda consiste nella decisione, e utilizza database di informazioni per proporre possibili soluzioni; successivamente, utilizza

un secondo database che sia in grado di determinare quale tra le soluzioni possa essere con più probabilità la più vantaggiosa rispetto alle altre. Questo processo ha una durata di millisecondi.

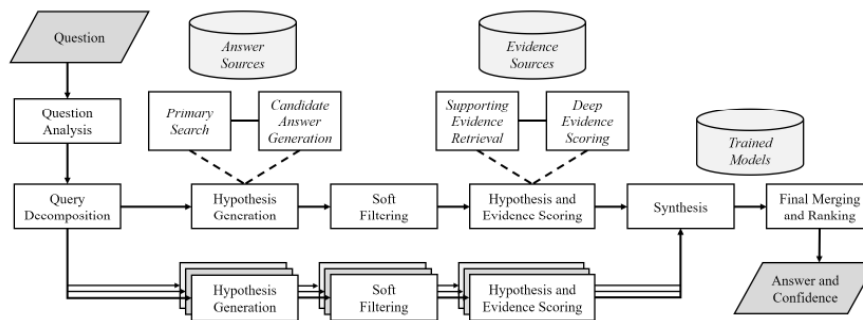


Figura 6.4-2 Watson di IBM si basa sull'elaborazione avanzata del linguaggio naturale per analizzare il significato di una domanda, e poi attinge a un vasto database di informazioni per ipotizzare e soppesare le risposte. Watson può essere considerato all'avanguardia tra i sistemi DSS, ma le tecniche utilizzate sono sempre più comuni nelle soluzioni commerciali.

6.5 Casi di Studio

6.5.1 Monitoraggio della Fabbrica – Rold

Rold è un'azienda di medie dimensioni nel settore dei componenti per elettrodomestici. L'azienda ha un'elevata flessibilità e responsabilità garantita da una struttura manageriale tipicamente a conduzione familiare unita a criteri gestionali e tecnologie di alto livello. Gli standard nella ricerca delle migliori prestazioni da offrire sul mercato sono costantemente aggiornati.

L'azienda ha cercato soluzioni innovative alle seguenti criticità:

- Macchine di produzione non collegate tra loro, che non consentivano quindi, ad esempio, un monitoraggio efficiente del consumo energetico e l'analisi dei dati di produzione.
- Dati non disponibili in tempo reale e comunicati in formato cartaceo, che ritardavano l'identificazione dei problemi e rettificavano l'azione.
- Presenza diffusa di informazioni soggettive e non oggettivate dal processo.
- Difficoltà ad avere visibilità dei processi tra impianti, ostacolando l'identificazione dei problemi di "quadro generale".
- Tecnologie digitali non molto diffuse a livello di reparto.
- Necessità di maggiore coinvolgimento dell'operatore nel controllo dei processi.

Molte piccole e medie imprese cercheranno società IT esterne o fornitori di soluzioni per assistenza con gemelli digitali o sistemi di supporto alle decisioni. A causa delle sue dimensioni Rold, tuttavia, possedeva l'esperienza interna per sviluppare una propria soluzione, che da allora è diventata un prodotto commerciale. Rold SmartFab è il risultato della collaborazione di ricerca e sviluppo di Rold, che ha messo insieme il know-how aziendale interno e le tecnologie per creare un sistema per le PMI che operano nell'industria e che consente di monitorare e analizzare le informazioni provenienti dagli impianti e sottosistemi aziendali dell'azienda e di renderli disponibili su dispositivi fissi, mobili e indossabili. SmartFab è l'ideale per le aziende del settore meccatronico e manifatturiero, in quanto acquisisce lo stato di operatività delle macchine e lo restituisce in totale fruibilità, in tempo reale e su dispositivi intelligenti ovunque. Ciò consente una rapida identificazione dei problemi di produzione, ad esempio tempi di inattività e rallentamenti significativi. Questa piattaforma consente di:

- Monitorare in tempo reale le linee di produzione.
- Avere dati in tempo reale e allarmi su dispositivi touch screen e dispositivi mobili, nonché dispositivi indossabili di facile scelta (ad esempio smartwatch).
- Utilizzando standard aperti e middleware, permette alle macchine moderne di comunicare con quelle più vecchie.
- Riduzione dei costi di grazie ad una diminuzione dei tempi di intervento tecnico e manutenzione.
- Maggiore coinvolgimento degli operatori nel controllo dei processi in quanto ora possono accedere rapidamente a informazioni oggettive.

Una riduzione del consumo energetico e dei relativi costi grazie alla possibilità di misurare in tempo reale l'utilizzo di energia delle singole risorse di produzione. Aumento del livello delle soft skills degli operatori in termini di digitalizzazione, spianando la strada al futuro. L'azienda necessitava il superamento delle barriere tecnologiche legate al bisogno di collegare macchine eterogenee, compresi i sistemi obsoleti senza interfacce standard. Ciò dimostra l'importanza degli standard aperti nella digitalizzazione della produzione. Se si sta tentando di raccogliere dati da più computer vecchi e nuovi, da più fornitori con più protocolli di comunicazione, è possibile che si abbiano problemi a meno che non possano utilizzare standard comuni.

6.5.2 Sensorizzazione Remota - Alascom

Alascom è una società di servizi IT di medie dimensioni fondata nel 2001 e con sede a Milano in Italia. Alascom ha sviluppato negli anni una vasta esperienza nel campo delle telecomunicazioni e dell'integrazione di sistemi. Per diversi anni ha implementato una strategia di solution providing con lo sviluppo di nuove soluzioni innovative per integrare il dominio della produzione con il dominio dell'Information and Communication Technology (ICT), allargando la

proposizione all'Internet of Things (IoT) e in particolare all'Industria 4.0 e Data Analytics. Alascom è esperta in analisi statistica e strumenti di programmazione, modelli matematici, machine learning, Intelligenza Artificiale e memoryDB.

Alascom si è occupata di implementare sistemi di monitoraggio per una serie di impianti di biogas per fornire una visione completa dell'intera rete di impianti e dei singoli impianti. Gli impianti di biogas sono sistemi complessi che producono energia "pulita". A causa della loro complessità, il mantenimento del corretto funzionamento è fondamentale per garantire flussi di ricavi costanti e per evitare costi aggiuntivi dovuti a guasti, malfunzionamenti e tempi di inattività. Inoltre, migliorare l'efficienza e l'efficacia della produzione di energia elettrica degli impianti è un altro obiettivo fondamentale che può essere possibile attraverso un migliore monitoraggio. La dispersione geografica degli impianti e l'incapacità di mantenere in loco personale di manutenzione specializzato ha fatto sorgere la necessità di un monitoraggio remoto, centralizzato e granulare.

Il monitoraggio fornisce una visione completa dell'intero impianto e dei dettagli dei singoli sistemi monitorati. L'obiettivo è quello di migliorare l'efficienza del processo produttivo attraverso l'uso di un software che consenta la massimizzazione del rapporto ricavi/costi, avere una maggiore comprensione del processo stesso e dell'impatto delle diverse modalità operative per ridurre la complessità della gestione della rete di impianti.

Il software, progettato per essere adattabile a diversi impianti di produzione, è in grado di normalizzare i dati provenienti da siti multipli abilitando il confronto tra impianti anche diversi in portata e dimensioni; il maggiore flusso di dati entrante nel sistema informatico costituirà una conoscenza riutilizzabile a beneficio di ciascun impianto. L'architettura software riceve i dati da sensori di conteggio intelligenti appena installati e procede all'analisi dei dati. Gli step sono i seguenti:

1. Contatori intelligenti utilizzati per monitorare il consumo elettrico dei sistemi ausiliari.
2. "Concentratore" (gateway/controller del contatore) che raccoglie i dati dai contatori intelligenti con una frequenza specificata e restituisce i valori in modo conforme agli standard sul canale Ethernet fisico e sul protocollo TCP.
3. Gateway IoT che acquisisce dati da più origini, normalizza i dati e li invia al back-end della piattaforma digitale, dove vengono quindi elaborati e presentati. Questo elemento architettonico è in grado di comunicare con diversi sistemi, in particolare con il concentratore per l'acquisizione di misurazioni elettriche di ausiliari e con il PLC per l'acquisizione dei dati disponibili dal sistema di controllo esistente.
4. Piattaforma digitale composta da livello cloud back-end e livello front-end. Il primo livello di architettura acquisisce dati normalizzati, che vengono quindi archiviati e resi disponibili per l'applicazione di livello superiore. Il livello front-end è sviluppato con tecnologie di servizi web e consente la visualizzazione dei dati dell'impianto con indicatori appropriati, cruscotti e tabelle definiti con il supporto degli esperti della società cliente. I filtri disponibili nell'interfaccia web

consentono all'utente di inserire richieste specifiche e ottenere informazioni sintetizzate - grafiche o numeriche - in forma descrittiva o statistico-predittiva. Il sistema, attraverso l'uso di algoritmi appropriati che operano sui dati disponibili, suggerisce automaticamente quali azioni devono essere eseguite e quando, tenendo conto anche di eventuali vincoli imposti dall'utente.

L'integrazione dei sensori e il software sono stati un successo: tutti gli impianti di biogas possono essere monitorati da remoto da un'unica posizione, riducendo i costi e migliorando l'efficienza degli impianti. Il progetto, tuttavia, non è stato privo di sfide, prima tra tutte l'interazione tra gli esperti degli impianti di biogas dell'azienda cliente, i consulenti esperti di sensori intelligenti e gli ingegneri informatici di Alascom.

6.5.3 Sistemi di Trasporti Connessi – Bellini

Bellini è una piccola azienda specializzata nello sviluppo, produzione, commercializzazione e assistenza tecnica di lubrificanti e fluidi. A causa della complessità della produzione chimica e del peso dei materiali e dei prodotti, Bellini ha voluto rivedere il processo produttivo con integrando dei software per il monitoraggio remoto, nonché dei veicoli a guida automatizzata (AGV) per il trasporto automatizzato di materiali e prodotti.

Gli operatori del reparto produzione utilizzavano dei controllori logici programmabili (PLC) autonomi per controllare il processo di produzione: le informazioni non sono condivise con il software ERP (Enterprise Resource Planning). Si è reso necessario migliorare l'interfaccia utente nell'area silos e mixer in modo che le informazioni necessarie per svolgere le attività all'interno del processo siano più complete e condivise con il sistema ERP. Inoltre, la movimentazione di materiali e prodotti tra la produzione e il reparto logistico avveniva manualmente. Si è reso necessario implementare un sistema di trasporto per la movimentazione automatizzata dal reparto di produzione alla zona di spedizione.

Date le esigenze specificate, l'azienda ha deciso di acquistare un programma software per monitorare l'avanzamento delle attività. In particolare, l'intervento prevedeva l'introduzione di un software per il controllo remoto dei PLC, il rinnovamento dei sensori e la sostituzione degli attuali pannelli LCD sull'apparecchiatura con touch screen intuitivi e più grandi. Un migliore accesso alle informazioni, che consente di visionarla da remoto o semplicemente in modo chiaro e unificato, è un esempio di sistema di supporto decisionale basato sui dati. Essere in grado di vedere chiaramente lo stato di un sistema a colpo d'occhio rende il processo decisionale rapido ed efficace più semplice e meno soggetto a errori. Grazie alla remotizzazione dei dati del PLC, sarà possibile identificare più rapidamente i guasti delle apparecchiature e altre perdite. L'accesso remoto dei dati del PLC evita l'immissione manuale, con una riduzione del tempo di lavoro e un minor numero di errori introdotti.

Il controllo degli AGV richiede spesso un approccio digital twin per la movimentazione altamente dinamica tipica delle aziende piccole e dinamiche: deve essere controllata la posizione degli AGV in tempo reale per garantire che il materiale possa essere instradato dove e quando è richiesto in modo sicuro. Il nuovo sistema automatizzato di movimentazione dei materiali consentirà il movimento del materiale tra i due reparti in modo automatizzato, grazie all'utilizzo di un AGV collegato alla relativa sensoristica di posizionamento, sia a bordo che nell'impianto. Gli AGV sono più efficienti dal punto di vista energetico rispetto alle attuali macchine di movimentazione manuale (principalmente carrelli elevatori), permettendo un risparmio sui costi. Il tempo di movimentazione manuale del materiale è stato ridotto grazie all'uso dell'AGV.

La sfida principale è stata la ricerca della soluzione tecnologica appropriata. La barriera è stata superata dopo 4 mesi di analisi progettuale. Si è reso inoltre necessario un importante investimento sia per acquisire che per pianificare l'integrazione del sistema. Come per qualsiasi investimento significativo nelle tecnologie di produzione digitale, è di fondamentale importanza sviluppare un solido business case che mostri il valore della soluzione proposta.

6.6 Conclusioni

In questo capitolo sono stati discussi gli ultimi progressi nell'analisi della produzione, tra cui l'uso della modellazione e della simulazione online (digital twin) e gli strumenti di supporto per il processo decisionale (sistemi di supporto alle decisioni), nonché i dettagli di alcuni esempi di come l'accesso ai dati e l'uso delle simulazioni possono supportare le imprese.

Poiché questi campi sono nuovi e/o in rapida evoluzione, è importante comprendere sia i loro punti di forza che i loro limiti. C'è molto clamore intorno ai gemelli digitali e la mancanza di standard significa che molti prodotti possono essere etichettati come tali senza necessariamente avere le funzionalità che ci si potrebbe aspettare. Sebbene i potenziali vantaggi dei sistemi online siano significativi, vi sono rischi di investire in tecnologie che potrebbero non essere pienamente sostenute in futuro e che potrebbero non generare profitto.

Prima di investire in un nuovo pacchetto di modellazione di sistema di digital twin è opportuno sviluppare un business case per esso. Quali domande ci consentirà di rispondere questo nuovo approccio a cui prima non potevamo rispondere? Come utilizzeremo le nuove informazioni per migliorare la produttività (o qualsiasi altro indicatore chiave delle prestazioni)? Quali cambiamenti dovremo apportare ai nostri processi di lavoro e quanto tempo richiederà la formazione e l'acclimatazione? In particolare per i gemelli digitali in cui non sono stati stabiliti standard e le parole in voga sono frequentemente utilizzate in maniera inappropriata, è importante capire esattamente cosa viene offerto e i potenziali costi e benefici di esso.

Se c'è una lezione importante in questo libro, è che le formule matematiche, i software di modellazione digitale, i sistemi di supporto alle decisioni e i digital twin

sono tutti strumenti di supporto nel processo decisionale. Tutti questi strumenti hanno i loro punti di forza e di debolezza e le aree di applicabilità; nei capitoli di questo libro gli strumenti non sono presentati in una scala da ‘cattivi’ a ‘buoni’, ma solo dal manuale, al digitale offline, e poi al digitale online. Comprendere il processo decisionale, gli indicatori chiave di prestazioni misurabili, il motivo per cui è necessario uno strumento di analisi e quale è più utile è un punto nevralgico per un processo decisionale efficace in un contesto di produzione. Senza capire esattamente quali domande vengono poste e perché, lo strumento di supporto non sarà in grado di offrire appieno la sua capacità di aiutare l’impresa a rispondere a tali domande.

Accesso Aperto L’autore(i) ed il detentore(i) dei diritti relativi ai contributi di tale capitolo garantiscono a tutti gli utilizzatori il diritto d’accesso gratuito, irrevocabile ed universale e l’autorizzazione a riprodurlo, utilizzarlo, distribuirlo, trasmetterlo e mostrarlo pubblicamente e a produrre e distribuire lavori da esso derivati in ogni formato digitale per ogni scopo responsabile, soggetto all’attribuzione autentica della paternità, nonché il diritto di riprodurre una quantità limitata di copie stampate per il proprio uso personale.

Se non diversamente indicato le immagini e il materiale di terze persone inclusi in questo capitolo sono sotto la licenza Creative Common. Il materiale con diritti riservati necessita la richiesta di un permesso per poter essere riprodotto, utilizzato o distribuito.

6.7 Bibliografia

- [1] M. Grieves, “Virtually intelligent product systems: digital and physical twins,” *Complex Systems Engineering: Theory and Practice*, pp. 175-200, 2019.
- [2] B. Piascik, J. Vickers, D. Lowry, S. Scotti, J. Stewart and A. and Calomino, “Materials, structures, mechanical systems, and manufacturing roadmap,” *NASA Technology Area 12-2*, 2012.
- [3] E. Negri, L. Fumagalli and M. and Macchi, “A review of the roles of digital twin in cps-based production systems,” *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 939-948, 2017.
- [4] M. Shafto, M. Conroy, R. Doyle, E. Glaessgen, C. Kemp, J. LeMoigne and L. and Wang, “Modeling, simulation, information technology & processing roadmap,” National Aeronautics and Space Administration, 2012.
- [5] B. Gockel, A. Tudor, M. Brandyberry, R. Penmetsa and E. and Tuegel, “Challenges with structural life forecasting using realistic mission profiles,” *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, p. 1813, 2012.

- [6] R. Rosen, G. Von Wichert, G. Lo and K. and Bettenhausen, "About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 567-572, 2015.
- [7] T. Gabor, L. Belzner, M. Kiermeier, M. Beck and A. and Neitz, "A simulation-based architecture for smart cyber-physical systems," *2016 IEEE international conference on autonomic computing (ICAC)*, pp. 374-379, 2016.
- [8] A. Bolton, L. Butler, I. Dabson, M. Enzer, M. Evans, T. Fenemore, H. F. and e. al, "Gemini Principles," Centre for Digital Built Britain, 2018.
- [9] HBM, "Piezoelectric or Strain Gauge Based Force Transducers?," [Online]. Available: <https://www.hbm.com/en/3719/piezoelectric-or-strain-gauge-based-force-transducers/>. [Accessed 2020 11 23].
- [10] M. Groover, *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*, Pearson Education, 2016.
- [11] International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC JTC 1 Information Technology - AG 11 Digital Twin," [Online]. Available: https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:14:3438570860908::: FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:25023,25. [Accessed 23 11 2020].
- [12] International Organization for Standardization, "ISO/TC 184/SC 4 - Industrial Data," [Online]. Available: <https://www.iso.org/committee/54158.html>. [Accessed 23 11 2020].
- [13] International Organization for Standardization, "ISO/DIS 23247-1: Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/75066.html>. [Accessed 23 11 2020].
- [14] W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes and W. and Sihn, "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification.," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 1016-1022, 2018.
- [15] High Value Manufacturing Catapult, *Visualisation and VR Forum*, "Feasibility of an Immersive Digital Twin," 2018.
- [16] M. Grieves and J. and Vickers, "Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems," *Transdisciplinary perspectives on complex systems*, pp. 85-113, 2017.
- [17] Irdeto, "Irdeto Global Connected Industries cybersecurity Survey," Amsterdam, 2019.
- [18] R. Millman, "Gartner: Four best practices for managing digital twins," 19 03 2018. [Online]. Available: <https://internetofbusiness.com/half-of-businesses-with-iiot-projects-planning-to-use-digital-twin/>. [Accessed 23 11 2020].



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



“Il supporto della Commissione europea per la produzione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione dei contenuti che riflettono solo le opinioni degli autori e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni in essa contenute”

Digital Manufacturing Training System for SMEs (Digit-T)
Project ref: 2017-1-UK01-KA202-036807