



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in INGEGNERIA GESTIONALE

**Studio e Applicazioni su Cloud
del Digital Twin**

**Analysis and Application on
Cloud of Digital Twin**

Relatore:
Prof. Maura Mengoni

Tesi di Laurea di:
Giorgio Foschi

Correlatore:
Dr. Alex Altieri

A.A. 2019/2020

Ringraziamenti

Vorrei dedicare questo lavoro alla mia famiglia e alla mia ragazza, le persone che più hanno creduto in me, sostenendomi in ogni momento.

Ringrazio il mio relatore, la Prof. Maura Mengoni e il mio co-relatore Dr. Alex Altieri per il continuo supporto e la disponibilità dimostrata fin dal primo istante.

Infine, ringrazio tutte le persone conosciute durante questo percorso, con cui ho condiviso gioie e “dolori” senza mai demordere, sostenendoci a vicenda.

Un sentito grazie a tutti.

Indice

1. Abstract.....	5
2. Introduzione.....	7
3. Digital Twin: Overview.....	9
3.1 Cenni Storici.....	9
3.2 Che cos'è un Digital Twin.....	10
3.3 Stadio di sviluppo.....	11
3.3.1 Digital Model.....	11
3.3.2 Digital Shadow.....	12
3.3.3 Digital Twin.....	12
3.4 Struttura, Piattaforme e Tecnologie Abilitanti del Digital Twin.....	13
3.4.1 Tecnologie.....	13
3.4.2 Piattaforme per i Digital Twin.....	14
3.4.3 Struttura di un Digital Twin.....	20
3.4.4 Ciclo di vita di un Digital Twin.....	21
4. Ambiti Applicativi del Digital Twin.....	22
4.1 Industry 4.0.....	22
4.1.1 Digital Twin Shop-floor.....	22
4.1.2 Digital Twin for Additive Manufacturing.....	23
4.1.3 Digital Twin for Product Design.....	23
4.1.4 Digital Twin for PLM.....	24
4.2 Ambito Ospedaliero.....	26
4.3 Altri Ambiti di Applicazione.....	27
4.4 Casi di applicazioni reali.....	28
5. Digital Twin e Domotica.....	30
5.1 Smart Cities.....	30
5.2 Domotica.....	31
5.3 Industria e Immobiliare, differenze e analogie.....	31
5.4 Esempi Reali.....	33
5.5 Re-Design delle Smart Homes attraverso il Digital Twin.....	34
5.6 Hardware e Software per la progettazione della Smart Home.....	35
5.7 Creazione del prototipo.....	35
5.8 Funzionamento del prototipo.....	36
5.9 Risultati.....	36
5.10 Conclusioni.....	36
6. Cloud Computing.....	38
6.1 Descrizione.....	38

6.2 Figure Coinvolte.....	39
6.3 Architettura.....	40
6.4 Servizi.....	41
6.5 Problemi, Rischi e Critiche.....	42
6.6 Cloud Computing e Industria 4.0.....	45
6.6.1 Un esempio concreto di piattaforma SaaS: BEPLAN.....	45
6.6.2 Il Cloud Computing è molto più di un semplice accesso ai file su più dispositivi.....	47
6.6.3 Come il Cloud Computing sta evolvendo: Statistiche 2022.....	48
7. Digital Twin e Cloud Computing: Gemelli Digitali di Azure.....	49
7.1 Linguaggio di Programmazione	49
7.2 Cos'è il servizio Gemelli Digitali di Azure.....	57
7.2.1 Funzionalità di Gemelli Digitali di Azure.....	57
7.2.2 Gemelli Digitali di Azure in un contesto della soluzione.....	60
7.2.3 Limiti del servizio.....	61
7.3 Prerequisiti per lo svolgimento delle esercitazioni.....	64
7.4 Configurare un'Istanza e un'Autenticazione di Azure Digital Twin.....	64
7.5 Prima Esercitazione: Scrivere il codice di un'App Client.....	65
7.6 Seconda Esercitazione: Esplorare i Digital Twin di Azure con un'App Client di Esempio.....	67
7.7 Terza Esercitazione: Creare una Soluzione End-to-End.....	70
8. Digital Twin e Cloud Computing: Compatibilità e Sviluppi Futuri.....	73
8.1 Servizi Cloud di Digital Twin per l'Ingegneria delle Infrastrutture.....	73
8.1.1 Un esempio di piattaforma per le infrastrutture: Bentley.....	73
8.2 Digital Enterprise: Fusione di Digital Twin e Cloud Computing.....	76
8.2.1 MindSphere: Una Piattaforma ed Ecosistema per Abilitare la Digital Enterprise.....	84
8.2.2 Alcuni casi concreti.....	87
8.3 Modellazione di Cloud-Based Digital Twin per la Smart Manufacturing.....	89
8.3.1 CPCM System Concept e MTConnect.....	90
8.4 Costruzioni 4.0: Dal Cloud all'Industria Immobiliare.....	96
8.5 Un modello Digital Twin di riferimento per i Cloud-Based Cyber-Physical Systems.....	98
9. Conclusioni.....	101
Bibliografia.....	104

1. Abstract

In un periodo storico in cui lo sviluppo tecnologico risulta sempre più centrale, non solo per quanto riguarda l'ottimizzazione delle attività produttive e industriali, ma anche nell'ambito del quotidiano, l'avvento di tecnologie basate, ad esempio, sull'*Internet delle Cose (IoT-Internet of Things)*, ha permesso la nascita di una nuova visione basata sull'interconnessione tra entità fisiche ed informatiche, attraverso l'introduzione di concetti come "*Smart Device*", "*Smart Product*", "*Smart City*" o "*Smart Factory*". Essi convergono, attraverso l'utilizzo di tecnologie abilitanti come "*Big Data*" o "*IoT and Simulations*", all'interno dei *Cyber Physical Systems*, ossia sistemi modulari che riescono a simulare virtualmente ed in tempo reale un qualsiasi ambiente fisico, grazie all'utilizzo di sensori ed attuatori.

A tal proposito, durante l'attività di tirocinio presso l'Università Politecnica delle Marche (svolta in modalità telematica), è stato necessario testare la versatilità e le capacità del paradigma informatico denominato *Digital Twin* attraverso il servizio *Gemelli Digitali* fornito dalla piattaforma *Azure* di *Microsoft*. Di fondamentale importanza è stato dunque comprendere come creare risorse, istanze, app e soluzioni end-to-end che convergessero nel *Digital Twin* in creazione, al fine di abilitarne l'utilizzo relativamente ad un insieme di dati generati in telemetria da un termostato simulato.

Questo lavoro di tesi ha dunque l'obiettivo di analizzare la suddetta architettura digitale e valutarne l'eventuale utilità e l'applicabilità relativamente al *Cloud Computing*, ossia l'erogazione di servizi su richiesta, a partire da un insieme di risorse configurabili e disponibili in remoto sotto forma di sistema informatico distribuito, e pertanto costituito da un insieme di processi interconnessi tra loro in cui le comunicazioni avvengono esclusivamente tramite un'opportuna rete di messaggistica. A tale scopo, pertanto, verrà presentata dapprima un'accurata rappresentazione dello stato dell'arte relativo alle tecnologie di *Digital Twin* e *Cloud Computing*, conducendo una rigorosa literature review. Dopodiché ci si sposterà in un ambito più pratico, attinente all'attività di tirocinio vera e propria, dove verranno annoverate e spiegate le procedure, le tecnologie ed i linguaggi di programmazione utilizzati per lo sviluppo di una struttura *Digital Twin* funzionante. Come già accennato, per questa fase è stato

utilizzato il servizio *Gemelli Digitali di Azure*, che attraverso la creazione di risorse e istanze e la possibilità di seguire tutorial mirati, ha permesso l'implementazione di un'*App Client* ed una *end-to-end solution* basata su dati di telemetria forniti dal portale stesso, basati su un termostato simulato.

Infine, verrà offerta una visione, come da titolo, delle possibilità di implementazione dei Digital Twins nell'ambito dei servizi informatici basati sull'*host providing* in generale, dove notoriamente il Cloud Computing trova appunto largo utilizzo, in linea con il processo di profonda trasformazione digitale che sta coinvolgendo su scala sempre più vasta non solo l'ambito industriale ma anche, ad esempio, quello urbano, domotico e sanitario.

1. Introduzione

L' Internet of Things nasce dall'idea di portare nel modo virtuale gli oggetti dell'esperienza quotidiana, i quali hanno un carattere prettamente fisico e non digitale. Proprio in questa logica si va a collocare il paradigma del Digital Twin, che può essere visto come il *core* della fase di design in un processo di realizzazione di un oggetto intelligente. In generale la definizione di Gemello Digitale è applicata al prodotto, nonostante per realizzarlo occorra lavorare sul processo vero e proprio e sulle sue derivazioni. Il gemello digitale ha dunque vita propria, anche se riproduce il prodotto fisico nella sua elaborazione e nell'output cui si perviene applicando le metodiche digitali. Effettivamente il paradigma del Digital Twin si inserisce a pieno nel concetto di *Quarta Rivoluzione Industriale* (o più brevemente Industry 4.0), poiché adempie perfettamente alle tre attività fondamentali di: *sperimentazione* (volta alla semplificazione del processo d'acquisto), *predizione* (per l'anticipazione dei consumi) e *controllo* (attraverso l'utilizzo di big data, machine learning e Artificial Intelligence). Non è solo il settore industriale, tuttavia, a poter beneficiare dello sviluppo delle tecnologie IoT-based. Esso è infatti solo uno dei possibili *Cyber-Physical Systems* (CPS) implementabili tramite queste tecnologie. Tramite questo lavoro di tesi si andrà dunque a sviluppare e descrivere, per quanto possibile, il concetto di *C2PS* (*Cloud-Based Cyber-Physical Systems*) associato ad un'architettura Digital Twin, contestualizzandolo nel paradigma della *Smart City*, conseguenza diretta della necessità di gestire un'urbanizzazione sempre più complessa e frenetica, e di un netto incremento non solo della popolazione, ma della complessità delle esigenze della popolazione stessa. I sistemi C2P si propongono dunque di garantire e migliorare l'interconnessione e l'interoperabilità delle macchine in un'ideale città intelligente, implementando quella che viene chiamata *Machine-to-Machine* (M2M) interaction e connettendo ad ogni oggetto fisico un oggetto virtuale allocato nel cloud. Essendo inoltre particolarmente importante l'ambito manifatturiero nella realtà economica italiana, si analizzerà la possibilità di sviluppare *Cloud-Based Digital Twins* (CBDT), attraverso l'utilizzo di predizioni e stime, per aumentare l'efficienza riguardo l'utilizzo delle risorse. Verranno dunque esposti alcuni dei possibili metodi di progettazione di strutture CBDT al fine di adattarli a sistemi *CPCM* (*Cyber-Physical*

Cloud Manufacturing), i quali utilizzano un server cloud per la coordinazione dell'intero apparato.

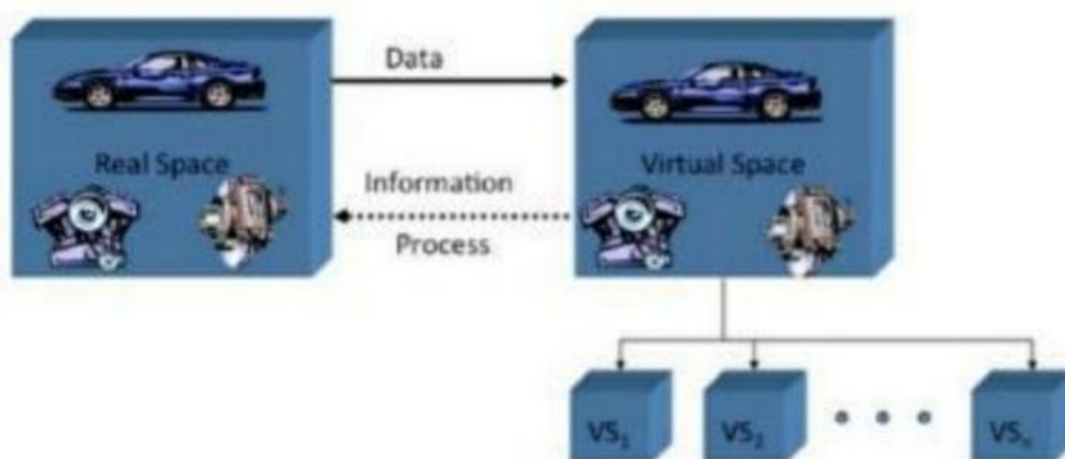
3. Digital Twin: Overview

3.1 Cenni storici

La prima definizione del concetto oggi noto come Digital Twin venne fornita nel 2002 dallo studioso del Florida Institute of Technology *Michael Grieves*, nella sua ricerca sul ciclo di vita del prodotto (*Product Lifecycle Management – PLM*).

Egli lo definiva dunque come un approccio strategico per la gestione di informazioni, risorse e processi che intervengono nelle varie fasi del ciclo di vita di un prodotto o servizio, dall'ideazione fino al declino.

Secondo la definizione di Grieves, pertanto, il Digital Twin si compone di tre parti principali (come in figura): il prodotto fisico, quello virtuale e la connessione tra i due prodotti. [1]



Anche se per convenzione comune il concetto si fa risalire al 2002, esso in realtà compare già negli anni '60, in merito alla celebre missione Apollo 13 lanciata dalla *National Aeronautics and Space Administration* (N.A.S.A.), dove, a causa del mancato allunaggio in seguito ad un incendio che recò gravi danni agli equipaggiamenti, gli scienziati si trovarono a dover risolvere problemi a più di 300'000km di distanza dalla Terra. Venne quindi creato un Digital Twin della navicella per supportare gli astronauti nella realizzazione di decisioni in situazioni critiche.

La N.A.S.A. ne diede quindi la seguente definizione: "*Una simulazione ultra realistica ad alta scalabilità, che utilizza i migliori modelli fisici disponibili, i dati dei sensori e quelli storici per il mirroring di uno o più sistemi reali*".[2]

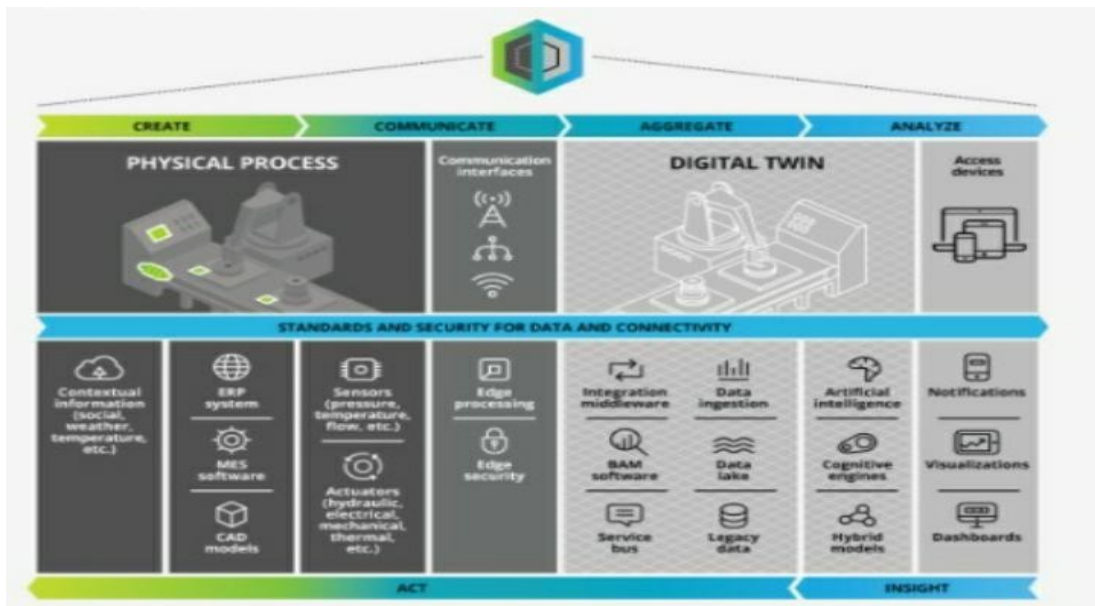
3.2 Che cos'è un Digital Twin

Un Digital Twin è, dunque, la rappresentazione virtuale di un'entità fisica, vivente o non vivente, di una persona o di un sistema anche complesso. [3] In termini generali le principali caratteristiche del Digital Twin sono:

- L'insieme dei dati e delle informazioni in qualunque modo riferibili alle entità rappresentate dal gemello digitale.
- La connessione tra gli elementi della componente fisica con la relativa parte virtuale. [4]
- La possibilità di accesso ubiquitario a dati e risorse informatiche attraverso il web, con possibilità di ricerca e analisi delle informazioni (big data, machine learning, intelligenza artificiale).
- Lo scambio di dati e informazioni tra la componente virtuale e quella fisica, con utilizzo di sensori e attuatori. [5]

I gemelli digitali possono integrare l'internet delle cose, l'intelligenza artificiale, l'apprendimento automatico e l'analisi dei dati con i grafici delle reti spaziali. Essi hanno dunque la possibilità di creare modelli di simulazione digitale, cambiando e aggiornandosi quando mutano le loro controparti fisiche.

In altre parole, grazie ai Digital Twin, è possibile testare e capire come si comporteranno i sistemi e i prodotti che si vogliono realizzare in un'ampia varietà di ambienti, usando lo spazio e la simulazione virtuale.



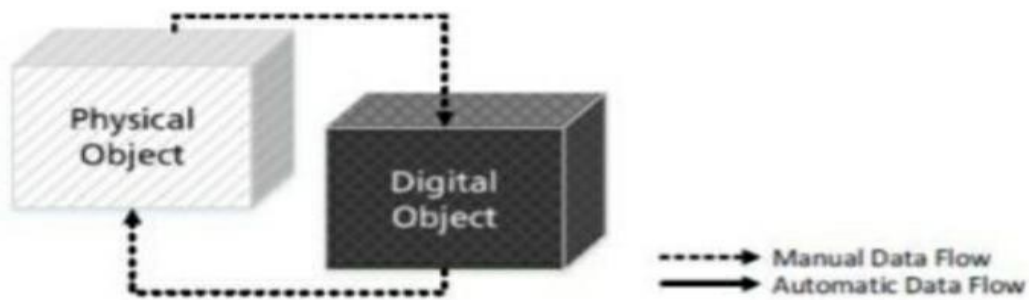
3.3 Stadio di sviluppo

Il processo di sviluppo del Digital Twin è stato alquanto lento. Nella letteratura vengono individuati in particolare tre stadi di maturità del paradigma che ne segnano l'evoluzione. La caratteristica fondamentale che li contraddistingue risiede nel differente livello di interazione tra l'oggetto fisico e la controparte digitale.

3.3.1 Digital Model

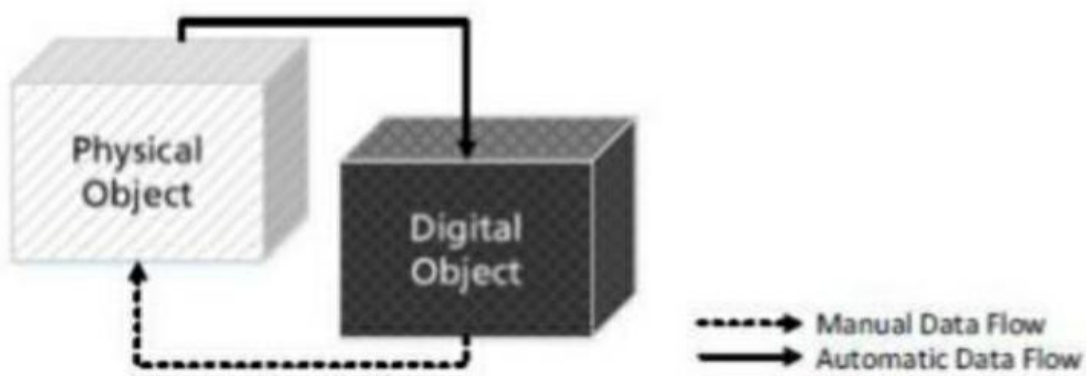
Il primo stadio di sviluppo del Digital Twin viene indicato con il nome *Digital Model*. Come si evince dalla figura in basso, nel Digital Model non esiste connessione tra l'oggetto fisico e l'oggetto digitale, e lo scambio di dati tra lo spazio reale e lo spazio virtuale avviene per mezzo di un operatore.

Affinché i risultati ottenuti siano affidabili, il Digital Model deve essere aggiornato periodicamente in funzione degli ultimi dati disponibili. In queste circostanze un cambiamento di stato dell'entità fisica non ha nessun effetto diretto sulla sua rappresentazione digitale e viceversa. [6]



3.3.2 Digital Shadow

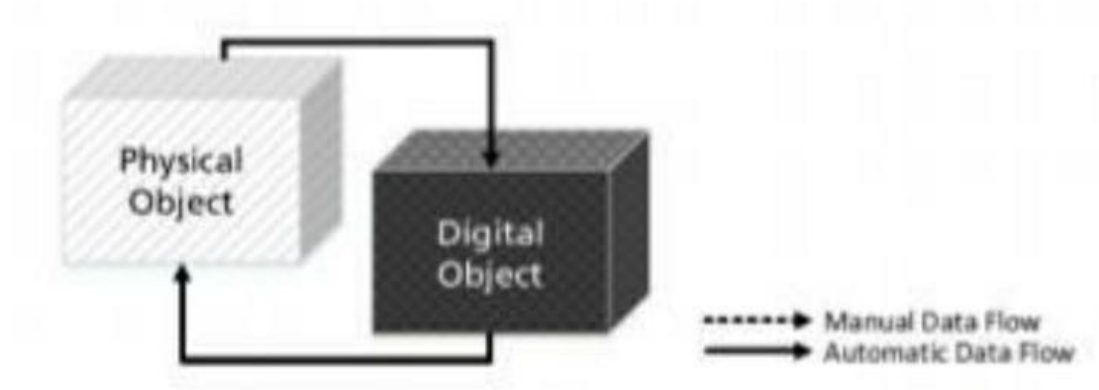
Il secondo stadio di sviluppo del Digital Twin viene comunemente definito *Digital Shadow*. In questo modello è prevista una connessione unidirezionale tra l'entità fisica e la sua controparte digitale. Questo significa che il passaggio di dati dall'oggetto fisico all'oggetto digitale viene automatizzato, sebbene rimanga manuale il procedimento inverso. Una connessione unidirezionale può essere utilizzata per riflettere lo stato dell'entità fisica nella controparte digitale. L'oggetto digitale è in grado di acquisire dati in real time dallo spazio reale che sfrutta per simulare ed esaminare il comportamento dell'oggetto fisico. In queste circostanze, un cambiamento di stato dell'oggetto fisico porta ad un cambiamento di stato dell'oggetto digitale, ma non viceversa.



3.3.3 Digital Twin

È nello stadio di sviluppo successivo al Digital Shadow che la tecnologia prende il nome di Digital Twin. In questo stadio la rappresentazione digitale e l'oggetto fisico sono connessi, non è richiesto l'intervento umano, e la condivisione dei dati avviene

automaticamente in entrambe le direzioni. Si assiste all'integrazione dei due mondi, e la rappresentazione digitale viene utilizzata come strumento per il controllo dell'oggetto fisico. In queste circostanze, un cambiamento di stato dell'oggetto fisico porta direttamente ad un cambiamento di stato dell'oggetto digitale e viceversa. [7]



3.4 Struttura, Piattaforme e Tecnologie Abilitanti del Digital Twin

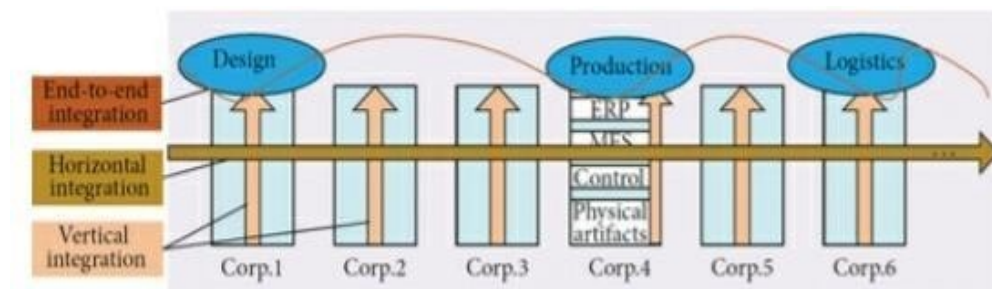
3.4.1 Tecnologie

L'insieme delle tecnologie utilizzate per l'implementazione del Digital Twin si basa sulla *connettività*, sulla *digitalizzazione* e sull'*intelligenza artificiale*.

- **Connettività.** Per instaurare una connessione tra il sistema fisico e quello digitale è fondamentale l'utilizzo dell'Internet of Things, attraverso cui si raccolgono i dati precedentemente acquisiti da sensori volti a creare una mappatura digitale dell'ambiente fisico (Smart Sensors) e li trasferisce dal mondo reale a quello virtuale tramite Cloud.
- **Digitalizzazione.** Le rappresentazioni digitali vengono realizzate attraverso determinati modelli di simulazione (discrete Event Simulation e Agent-Based Model). I modelli di simulazione riproducono l'evoluzione nel tempo dell'oggetto fisico, e nello specifico ne ricreano il comportamento e ne verificano la funzionalità e l'efficienza, al fine di proporre un insieme di scenari di miglioramento.
- **Intelligenza Artificiale.** L'AI (Artificial Intelligence) e il Machine Learning valutano i dati provenienti dallo spazio fisico in real time, e li integrano con

funzionalità analitiche avanzate con l'obiettivo di correggere il comportamento dell'oggetto fisico o fornire previsioni atte ad ottimizzarne la performance, senza la supervisione umana.

- **Progettazione End-to-End.** Nell'Industry 4.0 anche il processo di ingegnerizzazione muta, passando così da un'attenzione mirata al solo processo di produzione, al considerare anche il prodotto finale. Il focus dell'ingegneria end-to-end è l'intero PLC1, tutte le fasi vengono seguite attentamente, monitorate e se necessario modificate. Sviluppo e produzione lavorano sinergicamente insieme, garantendo il miglioramento continuo di tutte le fasi del PLC.

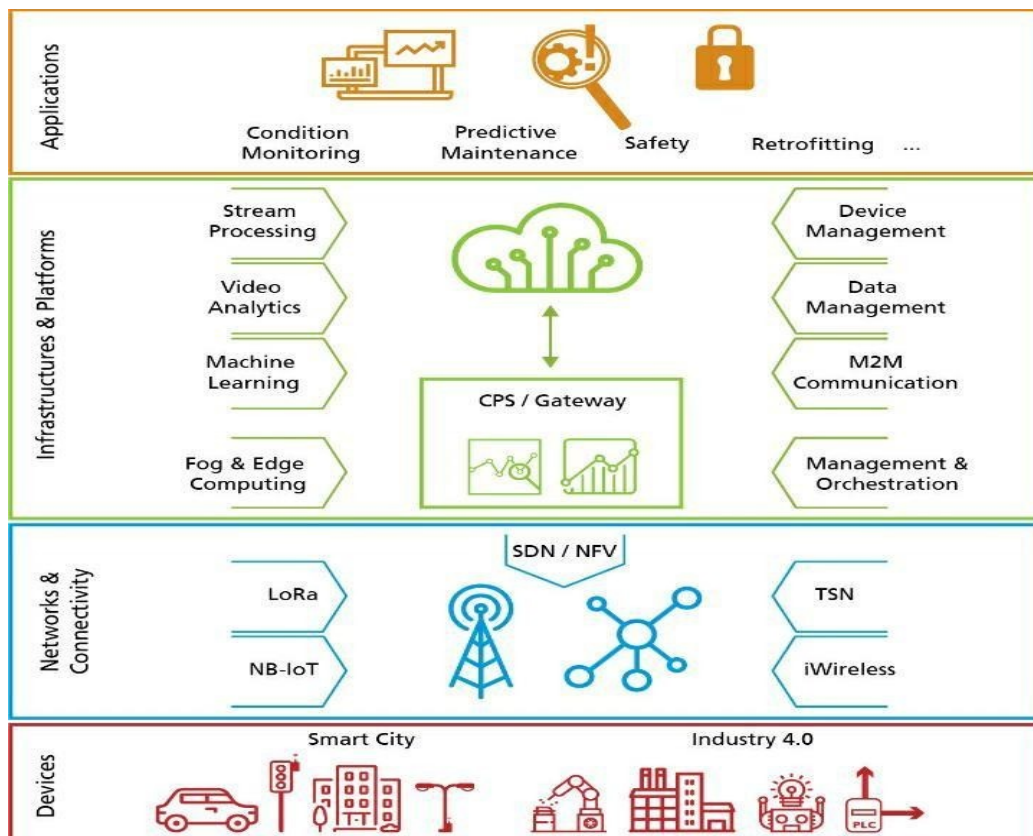


In Figura è possibile osservare graficamente come solo a seguito di un'integrazione orizzontale e verticale, si possa procedere attraverso un'integrazione end-to-end volta a garantire l'integrità e l'ottimizzazione del ciclo di vita del prodotto. [8]

3.4.2 Piattaforme per i Digital Twin

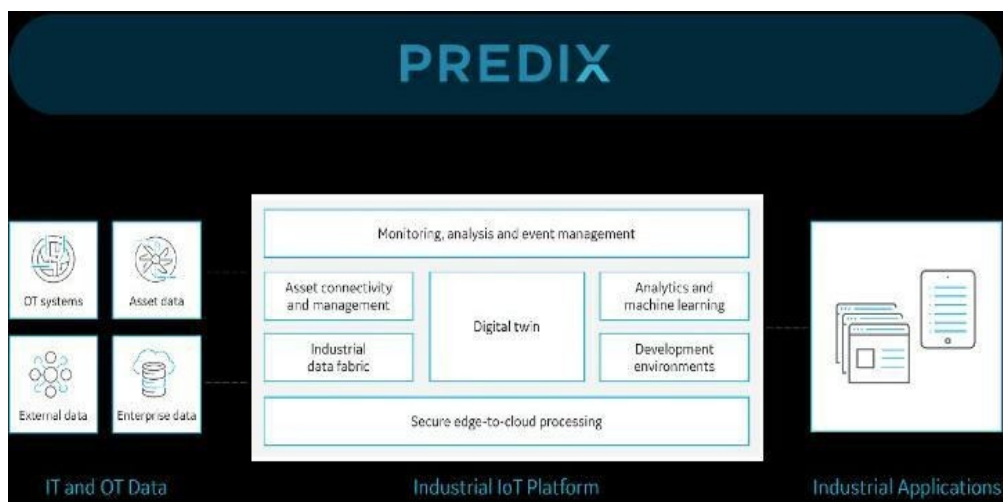
Le piattaforme più conosciute nell'ambito dei Digital Twin sono *AWS IoT* di Amazon, *Watson IoT* della IBM, *Predix* della General Electric, *Azure Service Fabric* di Microsoft, *ThingWorx* della PTC e infine *IoT Application Enablement* della SAP. Oggi i framework utilizzati si possono catalogare in due grandi mondi:

- il mondo IIoT (Industrial IoT), in cui rientrano società come la Microsoft, la General Electric e la SAP;
- il mondo dei dispositivi interconnessi in cui rientra Amazon.



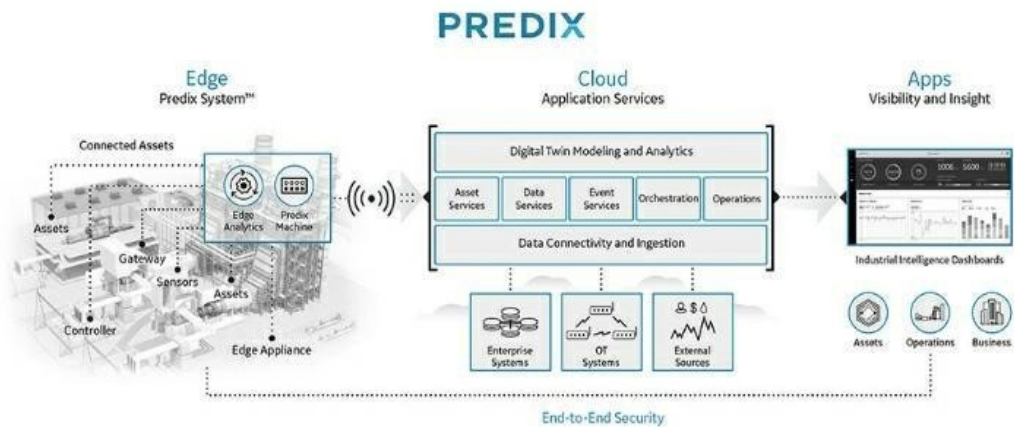
Di seguito viene fornita una panoramica delle piattaforme sopra elencate.

- **GE Predix**

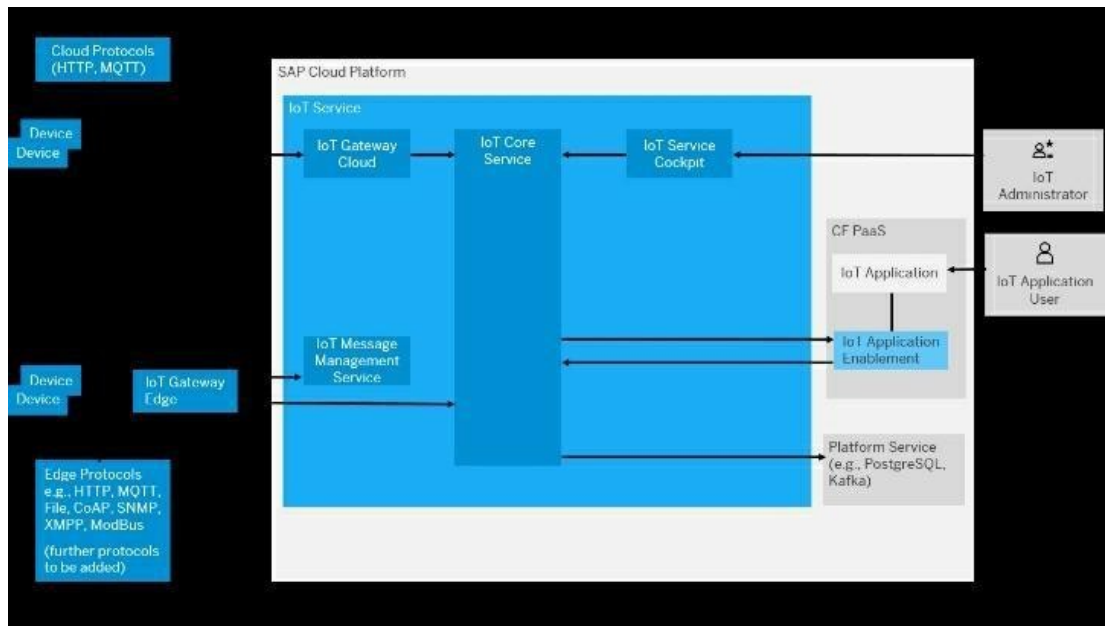


La General Electric ha progettato Predix con lo specifico scopo di presentare una piattaforma che fosse in grado di soddisfare le aspettative del mondo industriale producendo previsioni e risultati in grado di essere validi per qualsiasi tipo di mercato fosse coinvolta una azienda. Tra le principali

caratteristiche della piattaforma, vi è il fatto che Predix consideri i dispositivi remoti come dispositivi intelligenti in grado di poter operare direttamente sui dati oppure sulle risorse stesse a cui sono associati. Per questo motivo i dispositivi che vengono utilizzati prevedono l'uso della *Predix Machine*, che è in grado di garantire l'organizzazione e l'utilizzo di protocolli di comunicazione e autenticazione. Di fondamentale importanza è poi il lato *cloud*, il quale è stato ottimizzato per poter creare una struttura scalare ed elastica per l'ottenimento dei dati e che li renda disponibili al momento opportuno, indipendentemente dallo stato del dispositivo coinvolto. Predix è dunque in grado di supportare varie tipologie di dati in ambito industriale. La sua architettura è basata su microservizi e grazie a questa caratteristica può essere effettuato un approccio modulare da parte degli sviluppatori. Di fondamentale importanza è, inoltre, la comunicazione fra dispositivi edge e cloud: essendo spesso alcuni sensori o attuatori posizionati in punti difficilmente collegabili, Predix ha sviluppato un'architettura duale per dispositivi edge e cloud in grado di ottimizzare il carico di lavoro usando una varietà di casi di implementazione.

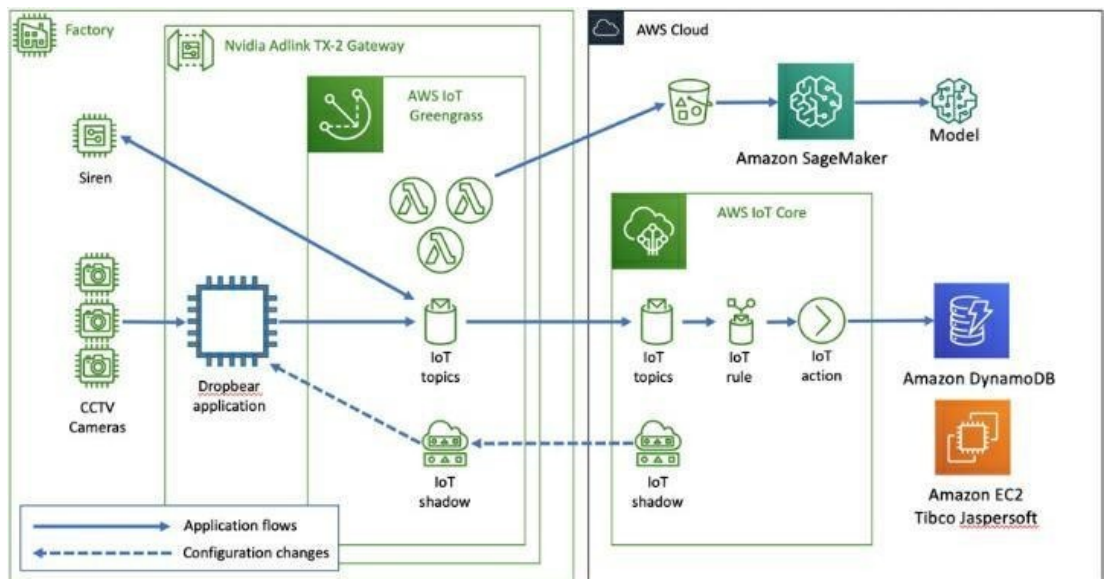


- **SAP IoT Application Enablement**



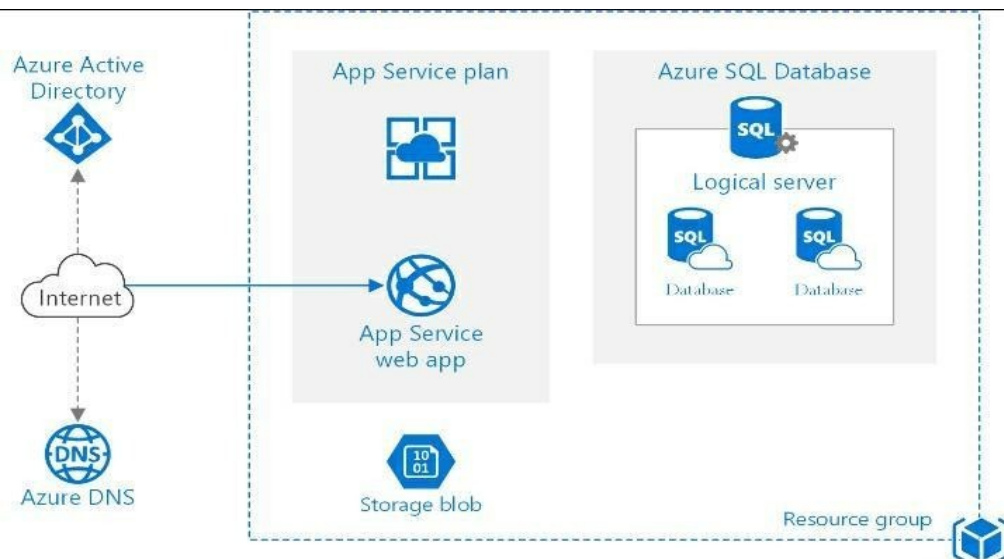
La piattaforma realizzata dalla SAP, come già accennato, rientra nella categoria delle piattaforme specializzate nel campo dell'IIoT. In quanto tale, presenta numerose caratteristiche per il soddisfacimento di bisogni prettamente industriali: tra queste spicca l'architettura Digital Twin, la quale tuttavia non presenta un corpo centrale ben definito, viceversa presente nella piattaforma Predix. La SAP IoT Application Enablement fornisce agli sviluppatori l'opportunità di costruire una propria applicazione IoT in grado di gestire grandi quantità di dati industriali.

- **AWS IoT** Avendo deciso di specializzarsi nel campo dei dispositivi interconnessi, Amazon ha creato la sua piattaforma riunendo insieme molti dei suoi precedenti prodotti derivanti dal campo dell'internet delle cose o dal campo dell'analitica, ponendoli al centro della struttura AWS IoT Core. Come visibile in figura le principali componenti della struttura AWS sono: Greengrass, IoT core, Amazon QuickSight, Amazon SageMaker, Greengrass ML Inference.



- Microsoft's Azure Digital Twin** Questa è la piattaforma per cui si è optato nello sviluppo delle esercitazioni relative al tirocinio. Azure's Digital Twin è un'offerta PaaS (Platform as a Service) che consente la creazione di grafici di conoscenze basati su modelli digitali di interi ambienti. Questa piattaforma consente dunque di: modellare qualsiasi ambiente e implementare i gemelli digitali in modo scalabile e sicuro; connettere risorse come dispositivi IoT e sistemi aziendali già esistenti; usare un sistema di eventi affidabile per creare una logica di business dinamica; eseguire l'integrazione con dati, analisi e servizi di intelligenza di Azure per tenere traccia del passato e quindi prevedere il futuro. I principali punti di forza del servizio offerto da Microsoft sono: presenza di un linguaggio di modellazione aperto (i modelli definiti nella programmazione vengono implementati con un linguaggio simile a JSON, detto DTDL, e descrivono i gemelli in termini di proprietà dello stato, eventi di telemetria, comandi, componenti e relazioni); ambiente di esecuzione live (Gemelli Digitali di Azure fornisce un sistema di eventi completo per mantenere aggiornato il grafo con l'elaborazione dati e la business logic, garantendo inoltre la possibilità di estrarre informazioni dell'ambiente di esecuzione live usando l'API di query avanzata); input da sistemi IoT e aziendali (è possibile usare l'hub IoT per connettere la soluzione a dispositivi IoT e IoT Edge, rappresentati come parte del grafo dei gemelli, anche attraverso

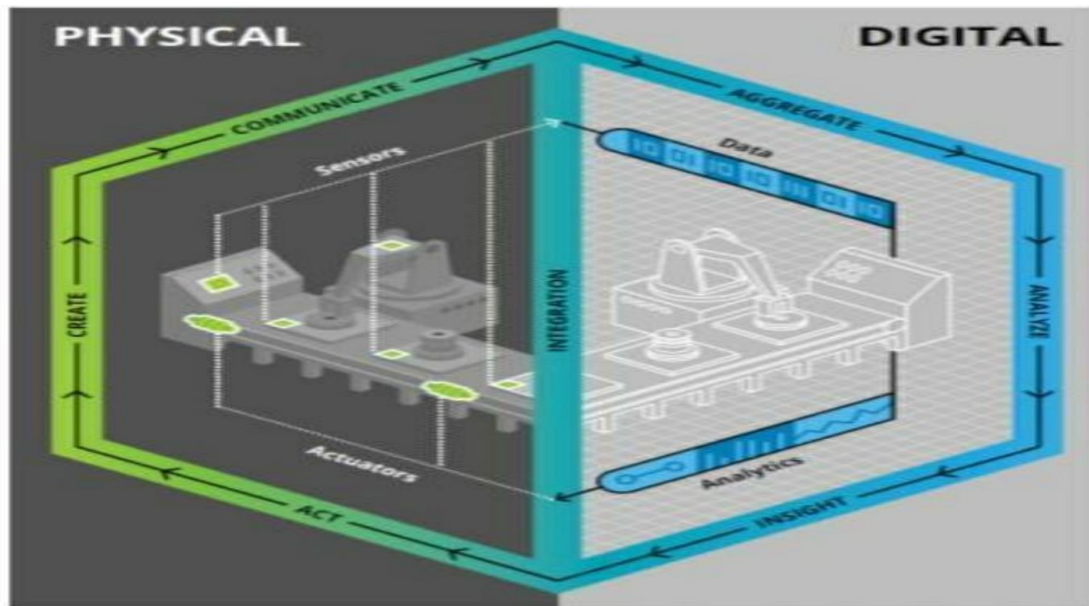
l'utilizzo delle API REST); output in TSI, archiviazione ed analisi (i dati del gemello possono essere instradati ai servizi di Azure downstream per ulteriore analisi o archiviazione). Azure offre, inoltre, una grande quantità di livelli di sicurezza, ed è pertanto considerata una tra le piattaforme più sicure contro gli attacchi. In effetti, per la maggioranza delle organizzazioni nel campo dell'energia risulta essere più conveniente e sicuro conservare i propri dati nel cloud, piuttosto che utilizzare storage collegati ai data center. Inoltre, attraverso applicazioni funzionanti anche in un ambiente interconnesso, assicura sia agli utenti che ai componenti l'accesso ai dati ed alle informazioni. Entrambe le soluzioni assicurano che solo gli utenti autorizzati visualizzino le informazioni al momento opportuno, rendendo i Digital Twin un luogo sicuro per archiviare i propri dati.



[9]

3.4.3 Struttura di un Digital Twin

In figura è possibile vedere come un Digital Twin sia generato dall'unione di realtà fisica e digitale.



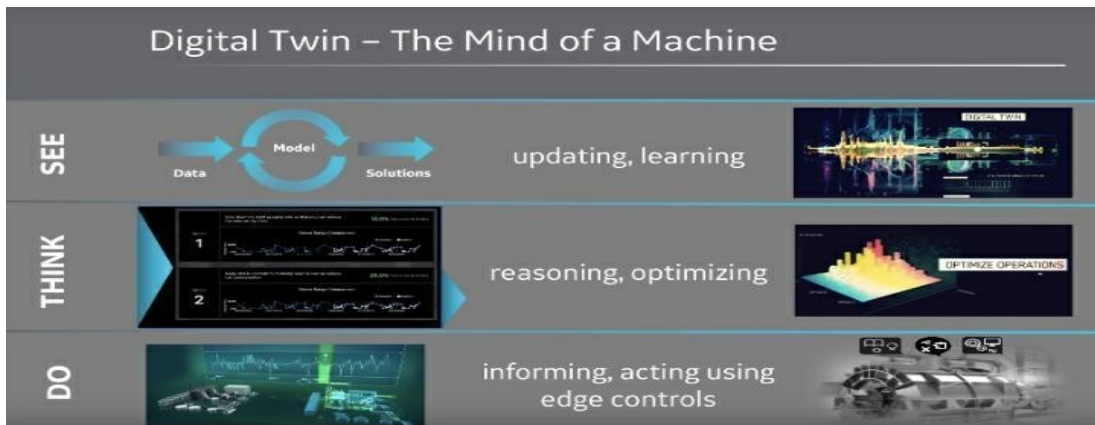
Esso è infatti composto da entità tangibili e da entità inesistenti nel mondo fisico che risiedono solamente in quello virtuale.

Un Digital Twin può essere scomposto in tre sottostrutture caratterizzanti:

- Un insieme di sensori distribuiti lungo tutta la catena, che processano i segnali e permettono al Digital Twin di catturare dati operazionali e ambientali, e attuatori che invece operano direttamente sul processo produttivo stesso con il fine di ottimizzarlo;
- Dati appartenenti al mondo digitale, approssimabili ad aggregazioni di informazioni ricevute tramite i sensori. Possono essere, ad esempio, disegni di progetto prodotti da altri programmi come CAD, connessioni a fonti esterne di dati oppure log effettuati dai dispositivi sul campo;

- Tecniche analitiche usate per processare dati e, attraverso simulazioni e visualizzazioni di routine giornaliere, produrre previsioni atte a migliorare il sistema stesso. [10]

3.4.4 Ciclo di vita di un Digital Twin



Il ciclo di vita di un Digital Twin è composto da tre macro-fasi, ciascuna delle quali è suddivisa in ulteriori passaggi, ognuno importante ai fini di una funzione particolare:

- **See:** procedura durante la quale il gemello si aggiorna continuamente per riflettere le precise condizioni dell'ambiente.
- **Think:** per l'ambito in cui è prettamente utilizzato, e quindi quello dell'IIoT, è la fase più importante in quanto in essa, attraverso il machine-learning e avanzate tecniche di apprendimento, vengono calcolati tutti i possibili problemi futuri.
- **Do:** è la fase finale, ossia quella in cui si va ad interagire sul processo vero e proprio. [10]

4. Ambiti applicativi del Digital Twin

Il Digital Twin si candida a rivoluzionare in larga parte il modello di gestione di una qualsiasi tipologia di struttura, apportando benefici soprattutto in ambito predittivo. Grazie alla rappresentazione tramite Gemello Digitale, infatti, sarà possibile guardare in avanti, simulando comportamenti o situazioni di varia complessità in tempi rapidi. Ne trarrà vantaggio, ad esempio l'edilizia e il settore immobiliare, ma ne godrà anche l'ambito industriale, specie in ottica Industry 4.0. In realtà è proprio il comparto produttivo ad aver, sebbene non completamente, sperimentato tale paradigma.

4.1 Industry 4.0

Le caratteristiche del Digital Twin lo rendono ideale per la gestione aziendale. Sebbene oggi solo il 13% delle imprese che implementano progetti basati sull'Internet of Things lo impieghi già, il 62% sta già cercando come stabilire l'utilizzo dei Gemelli Digitali o stia pianificando di farlo. Da alcune previsioni risulta che entro il 2022, oltre due terzi delle aziende che già contano su soluzioni IoT avranno implementato almeno un Digital Twin nel ramo produttivo.

4.1.1 Digital Twin Shop-floor

Il Digital Twin Shop-floor (DTS) è l'applicazione dell'omonimo paradigma ad una linea produttiva nell'ambito industriale. Il processo tradizionale di produzione consta di numerosi passaggi. Prima della produzione viene redatto il piano di produzione sulla base degli ordini e dello storico. Una volta che il piano è validato, si passa alla preparazione per la produzione vera e propria. Durante la produzione il processo viene monitorato, assicurandosi che segua quanto schedulato. Nel caso emergano discrepanze, il piano viene modificato e adattato alla situazione. A fine produzione, vengono effettuati i controlli qualitativi e valutate le performance. Tutte queste operazioni generano una serie di documenti che sono archiviati sotto forma di file.

Dunque, nella produzione tradizionale, lo spazio virtuale è limitato e tende a sovrapporsi a quello fisico. Il focus è raccogliere i dati e collezionarli, mentre vengono ignorate tutta una serie di possibilità come, effettuare simulazioni, ottimizzare, predire. La mancanza di una sincronizzazione efficace, tra spazio virtuale e fisico, è il problema principale.

Le tecnologie abilitanti di Industry 4.0, attraverso l'IoT e i CPS, efficientano la produzione e garantiscono che le risorse fisiche possano comunicare, controllare ed elaborare. Queste tecnologie permettono di abilitare il Digital Twin all'interno di uno shop-floor.

4.1.2 Digital Twin for Additive Manufacturing

Il Digital Twin for Additive Manufacturing (DTAM) nasce dalla necessità di ottimizzare il processo di produzione di Additive Manufacturing (AM) di tipo laser-assisted. La qualità del prodotto finito e del processo produttivo dipende dalla geometria, dalla microstruttura e dai difetti. Tutte queste caratteristiche sono legate da numerose variabili di processo e peculiarità del metallo. Spesso non possono essere identificate se non durante la produzione. Ma vi sono alcune variabili non correlate, la cui selezione ottimale, può garantire un processo produttivo efficiente. Ed è proprio su questa selezione efficiente che si basa l'idea del DTAM, ovvero di uno strumento capace di prevedere le variabili rilevanti, che possono condizionare la struttura e le proprietà metallurgiche dei componenti. Il Digital Twin per l'AM, una volta validato con dati sperimentali, potrebbe ridurre o addirittura sostituire i costosi esperimenti che sottraggono tempo alla fase produttiva.

4.1.3 Digital Twin for Product Design

Il Digital Twin for Product Design (DTPD) è un'applicazione relativamente recente del paradigma generale. Questo permette di creare un prodotto basandosi sulle analisi dei Big Data raccolti. Quando si parla di Big Data, bisogna pensare che tali dati sono numerosi e spesso non strutturati. Capire quali informazioni siano realmente importanti per lo sviluppo del prodotto non è semplice. Immaginare un modo per incrociare i dati provenienti da prodotti, clienti e ambiente è poi una sfida che solo i data scientist possono vincere. Una volta identificate però le correlazioni ed effettuate

le previsioni future sulle necessità del cliente, ci si accorge della potenza dello strumento DTPD, rispetto a tecniche classiche quali QFD2, AHP3, FMEA4, TRIZ5 e Modello di Kano. Il design di prodotto data-driven si differenzia da quello tradizionale, in quanto non dipende fortemente dall'esperienza del designer nell'identificare i dati rilevanti. Questo non vuol dire che l'attività umana viene sostituita da quella di un algoritmo, in quanto per identificare pattern consistenti, nei big data, servono dei data scientist, ma piuttosto si riescono a creare dei prodotti tailor-made sui bisogni dei clienti. Le caratteristiche necessarie per DTPD sono 3, ovvero le entità fisiche nello spazio fisico, il modello virtuale nello spazio virtuale e il collegamento dei dati tra mondo fisico e virtuale. Il modello virtuale include non solo la geometria del modello, ma anche regole, comportamenti e proprietà del materiale, oltre ad analisi meccaniche di monitoraggio. L'attività di product design non si esaurisce con l'invio dell'oggetto in produzione, ma grazie all'IoT segue il prodotto dal cliente e l'informazione fluisce in modo circolare permettendo di ottimizzare i futuri sviluppi del prodotto.

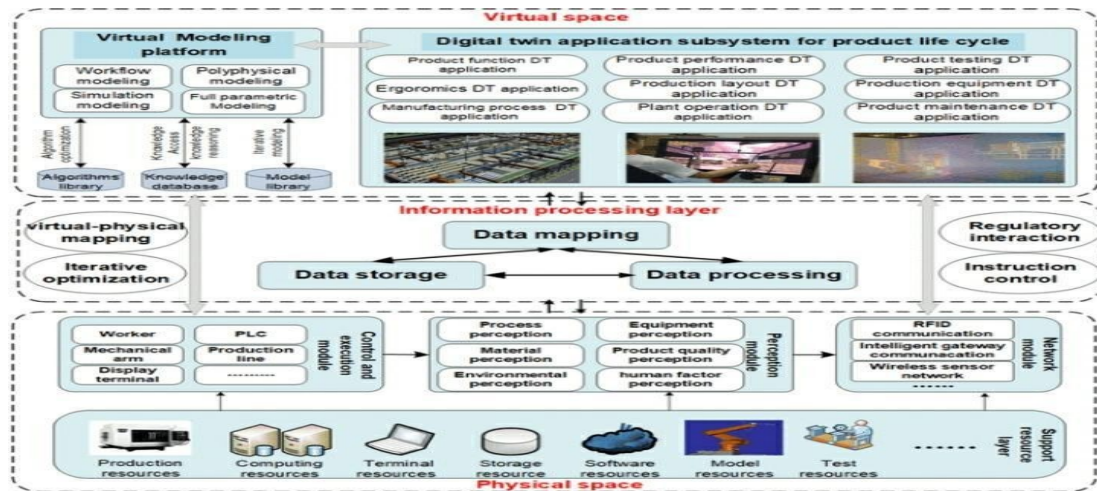
4.1.4 Digital Twin for PLM

Oggi la manifattura intelligente è guidata dall'analisi dei Big Data attraverso tre fasi, quali associazione, previsione e controllo. Ciononostante, il PLC presenta alcuni problemi legati alla gestione delle informazioni. In particolare, i dati generati durante l'intero ciclo di vita del prodotto sono spesso duplicati, causando in questo modo uno spreco di risorse. Le interazioni tra le analisi dei Big data e le varie attività durante il PLC sono spesso assenti. Tutto ciò determina l'impossibilità di confrontare in parallelo le analisi effettuate e il processo di manifattura in corso. In risposta ai problemi evidenziati, il Digital Twin si pone come possibile soluzione. La visione olistica del paradigma abbraccia perfettamente l'obiettivo del PLM. Il Digital Twin permette di focalizzarsi sul modello virtuale, mantenendo una connessione tra spazio fisico e virtuale. In questo modo è possibile comparare, analizzare e interpretare i valori teorici dei Big Data con quelli delle attività reali. Nell'ambiente virtuale del Digital Twin è possibile simulare diverse attività del PLC così come monitorare, verificare e ottimizzare i processi. Il risultato è la realizzazione efficace del PLM e la valorizzazione dei dati, che non vengono più duplicati.

Framework for PLM

Un possibile framework applicativo del Digital Twin è caratterizzato da tre parti livelli operativi: spazio fisico, spazio virtuale e livello di processamento delle informazioni. La mappatura bidirezionale dello spazio fisico e virtuale è possibile grazie al canale di scambio, che garantisce anche l'interoperabilità. All'interno dello spazio fisico coesistono persone, macchine, materiali, regole, software e molto altro. Tutte queste tipologie di oggetti sono separate e necessitano della tecnologia IoT per connettersi e scambiare informazioni. Una volta raccolti, i dati necessitano poi di un'integrazione con i sistemi informativi di gestione, quali PDM, ERP e MES. In questo modo tutti i dati provenienti dal mondo fisico, non vengono solo collezionati, ma utilizzati per gestire, controllare e ottimizzare i processi. Il livello di processamento delle informazioni è il canale bidirezionale di collegamento tra lo spazio fisico e virtuale. Questo è caratterizzato da tre elementi: archiviazione dati, processamento dati e mappatura dati. In questo livello vengono immagazzinate le informazioni tecniche e di processo provenienti dallo spazio fisico e quelle di simulazione, valutazione e previsioni provenienti dallo spazio virtuale. Le informazioni transitanti vengono prima ripulite ed analizzate, poi strutturate e clusterizzate. La mappatura delle informazioni garantisce la sincronizzazione tra il livello superiore e inferiore. Di estrema importanza è quindi l'operazione di costruzione di un data model a sequenza temporale, per i dati multidimensionali ed eterogenei. Questa operazione garantisce l'identificazione di regole di evoluzione dei dati di produzione e informazioni estremamente utili per le operazioni decisionali del livello virtuale. Lo spazio virtuale è caratterizzato da un Virtual Environment Platform (VMP) e da un sottosistema del Digital Twin per il PLM. In sostanza il VMP elabora e restituisce diversi modelli virtuali per il Digital Twin, quest'ultimo poi confronta i modelli con i metodi e dati storici e smista le

informazioni alle diverse applicazioni che compongono il PLM. [7]



4.2 Ambito ospedaliero

Attualmente è in corso lo sviluppo del Digital Twin anche per quanto riguarda l'ambito sanitario e ospedaliero. Prima di analizzare direttamente l'ambito applicativo, è bene prendere come spunto di partenza un progetto ideato dalla IBM, nel quale è stato implementato uno *Smart Building*, ossia un edificio permeato dalla tecnologia del gemello digitale stesso. Tramite questo esempio è possibile comprendere i vantaggi derivanti non solo dalla digitalizzazione dei processi produttivi, ma anche e soprattutto da quella delle strutture vere e proprie. In particolare, un ipotetico gemello digitale dell'ospedale aiuterebbe nel coordinare perfettamente le sale operatorie sapendo in anticipo le operazioni che dovranno essere svolte, cercando di ridurre il più possibile gli spostamenti dei pazienti sulla base della loro posizione all'interno dell'ospedale e cercando di ottimizzare al meglio il modo in cui avviene la suddivisione delle operazioni nelle varie sale di intervento, in funzione di ciò che dovrà essere svolto. In aggiunta può essere di supporto all'attività umana in quanto può essere usato nella funzione di "infermiere digitale" in continuo monitoraggio delle condizioni del paziente. Con il continuo controllo dei dati del ricoverato, è possibile rilevare in anticipo un'anomalia nella sua fase di recupero e informare il medico assegnatogli. Esso può, inoltre, giocare un ruolo chiave nel campo della prevenzione, in quanto, grazie alla creazione di un Digital Twin rappresentante la cartella clinica di ogni

paziente, consente il continuo monitoraggio dello stato di salute e della formazione di nuove patologie.

4.3 Altri ambiti di applicazione

Rientrando in un ambito prettamente industriale, il Digital Twin è perfetto per essere applicato anche in realtà che non siano relegate solamente al manifatturiero: la sua capacità di gestire in diminuzione i costi considerando le variabili in gioco è applicabile ed utile in qualsiasi campo venga inserito. Risulta quindi prevedibile l'introduzione e l'espansione dei Gemelli Digitali in campi come quello dei palazzi intelligenti, oppure della prevenzione della salute, o ancora in quello delle smart cities e in molti altri ancora. Ciò che si vuole eseguire però non è una semplice esportazione del concetto di Digital Twin, ma l'utilizzo di questa occasione per l'ulteriore potenziamento della tecnologia in modo tale da renderlo adatto al miglior uso nei nuovi campi. È pertanto necessario focalizzare l'attenzione su un elemento che, oltre il campo manifatturiero e qualche altro campo particolare, acquista fondamentale importanza all'interno del sistema da analizzare: l'essere umano. L'introduzione dell'uomo quale nuovo elemento all'interno del sistema in cui il Digital Twin deve operare, crea delle necessità a cui il gemello digitale deve far fronte ma che allo stato attuale non può soddisfare in quanto la sua struttura risulta ancora limitata dalle applicazioni per cui è stata pensata originariamente:

- **Uso dei dati raccolti** I Digital Twin per poter replicare le condizioni della controparte fisica hanno la necessità di essere aggiornati in tempo reale su tutte le informazioni che la riguardano e questo avviene tramite i sensori installati sulla controparte oppure nell'ambiente circostante: come già spiegato i dati raccolti vengono utilizzati principalmente in funzione di un uso futuro, tranne nel caso di situazioni particolari come al verificarsi di un malfunzionamento. Con la presenza dell'uomo però questi dati non servono più solo in un'ottica futura ma nella maggior parte dei casi è necessario conoscere dati e informazioni appena raccolti.

- **Ordini impartiti** Generalmente i Digital Twin non devono rispondere a comandi impartiti ma devono agire in totale autonomia, quindi non sono pronti a riceverne di alcun tipo. Con l'introduzione dell'uomo, è quindi fondamentale che i Digital Twin acquisiscano la capacità di poter reagire a comandi umani ed agire di conseguenza andando, in caso di necessità, ad interagire anche con la sua controparte reale o con altre entità se presenti.

4.4 Casi di applicazioni reali

- **General Electric** La General Electric è una azienda produttrice di turbine 4.0; è specializzata in molti ambiti, a partire da quello aeronautico fino a quello eolico. In ambito aeronautico, le loro turbine producono ogni giorno in un singolo volo 500GB di dati che vengono inviati in tempo reale (approssimativamente ogni minuto) alla centrale operativa: tutte le informazioni ricevute sono molto importanti, consentendo da un lato di simulare il comportamento del Digital Twin e dall'altro di rilevare difformità di funzionamento tra il gemello e la turbina reale. Dato che il Digital Twin opera secondo i dati di progetto, la segnalazione di un'anomalia indica che molto probabilmente qualcosa non va nella turbina reale. A questo punto scattano dei meccanismi di controllo per identificare il problema (ad esempio cosa stia causando un surriscaldamento), al fine di porre rimedio: continuando l'esempio precedente possono essere attivati dei meccanismi di raffreddamento, oppure se per esempio avviene una spinta asimmetrica che sbilancia l'aereo, diminuire la richiesta di potenza al motore provvedendo ad aumentare, se possibile, quella dell'altro ribilanciando così l'aereo. [11]
- **Tesla** Un altro caso reale di applicazione del Digital Twin è quello rappresentato dalla compagnia automobilistica statunitense Tesla, le cui macchine producono ogni giorno dati sui viaggi percorsi inviandoli poi alla centrale operativa. Per l'azienda la possibilità di monitorare i prodotti durante il loro utilizzo offre, risulta essere un'opportunità per verificarne le funzionalità e lo stato di usura. In pratica il sistema in questione permette di proseguire il

testing iniziale di produzione, integrandolo con dati derivanti dall'uso reale, con il conseguente affinamento del prodotto nelle versioni successive

- **NASA** Essendo stata una delle fautrici del Digital Twin, la NASA continua a sviluppare nuove attrezzature e veicoli spaziali utilizzando il sistema in questione al fine di controllare sistemi che non sono fisicamente vicini grazie alle numerose simulazioni e alla facilità con la quale è possibile monitorare e risolvere problematiche a distanza.
- **Esseri Umani** Grazie alla presenza dell'internet delle cose e ai dispositivi wearable, il Digital Twin può rappresentare una persona all'interno del mondo digitale permettendogli vantaggi quali la raccolta ed il monitoraggio di dati personali per la salute e la prevenzione di malattie. Un ulteriore utilizzo risiede nell'individuazione in tempo reale di errate abitudini alimentari aventi ripercussioni sulla salute personale al fine di prevenire l'insorgenza di malattie ad esse collegate. Il sistema in questione è, inoltre, utile per la vita quotidiana, come ad esempio nel caso della valutazione della tipologia di abbigliamento adatta ad un individuo in base allo stile di vita e ai parametri fisici dello stesso.

5. Digital Twin e Domotica

Come già evidenziato in precedenza il Digital Twin è strettamente collegato all'utilizzo dell'Internet delle cose (IoT), il cui scopo principale è quello di semplificare e automatizzare determinate pratiche per l'uomo in modo da aiutarlo nella vita quotidiana. In particolare, due degli ambiti più interessanti per lo sviluppo dell'IoT sono le *Smart Cities* e la *Domotica*.

5.1 Smart Cities

Per Smart Cities si intende l'applicazione del mondo IoT in uno scenario cittadino, al fine di aumentare le funzionalità che la città stessa può offrire e per coordinare al meglio tutte le dinamiche che avvengono nel suo contesto. Grazie alla tecnologia in questione si è in grado di migliorare l'uso di molte infrastrutture cittadine, quali le strade oppure i sistemi di illuminazione, ma anche semplificare e migliorare la vita dei cittadini. Il passaggio da semplice città a smart city si ha con l'inserimento di una rete di sensori tra cui alcuni specifici con cui poter effettuare previsioni metereologiche, telecamere ed altoparlanti. Un esempio di come una smart city rivoluzionerebbe la vita dei cittadini, è rappresentato da una applicazione per migliorare la gestione del traffico nelle ore di punta. Tramite un monitoraggio dello spostamento delle auto, considerate come smart objects, si inviano dati sulla loro posizione e destinazione, con i quali si ricostruisce una mappa della città con l'informazione di quanto ciascuna di esse è trafficata così da poter calcolare e gestire al meglio il coordinamento dei semafori per rendere il traffico il più scorrevole possibile. È inoltre possibile misurare l'inquinamento dell'aria, un tema molto importante per gli agglomerati urbani di maggiori dimensioni, così da identificare quando viene superata la soglia di inquinamento massima e avvisare le autorità competenti.

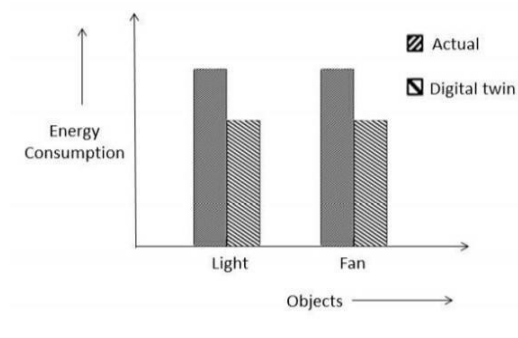
5.2 Domotica

La Domotica è la scienza che si occupa della trasformazione dell'abitazione in una Smart Home: installando dispositivi intelligenti in grado di comunicare fra di loro è possibile realizzare una casa all'interno della quale questi sono in perfetta sincronia ed agiscono per rendere al meglio la vita domestica in tutte le sue sfaccettature. Un ruolo chiave in questo ambito viene giocato dai dispositivi mobili che assumono la funzione di telecomandi universali: in applicazioni avanzate il telefono può essere usato come telecomando per accendere o spegnere i vari dispositivi ed allo stesso tempo per monitorare la routine di una persona. Il sistema usando le informazioni acquisite può memorizzare le abitudini personali e porle in atto in automatico alle ore programmate. Ad esempio, se una persona ha l'abitudine di fare un bagno caldo al ritorno dal lavoro, il sistema gestirà la preparazione degli elementi per il bagno caldo in modo tale che questo sia pronto all'arrivo a casa dell'utente. È implicito che tutte le funzioni programmate possono essere resettate in qualsiasi momento da parte dell'utente

5.3 Industria e immobiliare, differenze e analogie.

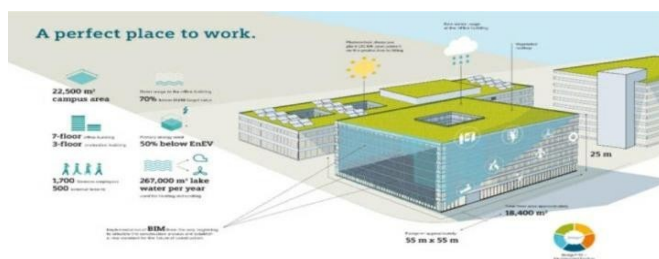
Dato che il campo dell'industria a livello di Digital Twin è quello attualmente più sviluppato ed utilizzato, è possibile effettuare un paragone che possa in qualche modo incrementare l'impiego del gemello digitale nel campo immobiliare. In termini di gestione, ci sono molte differenze, ma anche analogie: a livello tecnologico, i sensori per il real estate si basano sull'Internet of Things, mentre nel contesto industriale si adottano soluzioni Industrial IoT. Il simulatore di base, adottato nel comparto industriale e immobiliare, è diverso perché da una parte si hanno eventi discreti, dall'altra continui, così pure sono differenti le scale temporali. In campo domotico, le lavorazioni possono avvenire in secondi o in decimi di secondo, la temperatura o il grado di umidità di un ufficio non si alterano repentinamente. Detto questo, i concetti sono analoghi: esistono azioni che modificano un ambiente, il quale deve essere monitorato con opportuni sensori, ed è fondamentale sapere come l'ambiente evolverà nel tempo tramite un modello valido. A fronte di sensori che catturano dati reali, è inoltre possibile confrontare ciò che si sta pensando che avvenga con ciò che sta accadendo realmente.

Il processo progettuale e costruttivo, invece, si apre sempre di più alle possibilità offerte dalla digitalizzazione. Fondamentalmente ci sono due importanti presupposti per passare da una visione analogica a una digitale: BIM e Digital Twin. Potremmo dire che il BIM caratterizza l'edificio come dovrebbe essere, mentre il Digital Twin descrive come l'edificio è e sarà. Più nel dettaglio, il BIM nasce per coadiuvare il progettista a contare su tutte le informazioni utili per la realizzazione di un edificio, tuttavia non fornendo informazioni in tempo reale, cosa invece possibile al Digital Twin. Quest'ultimo, contando su sensoristica IoT applicata e su funzioni di Intelligenza Artificiale, abilita lo sviluppo di smart building, edifici capaci di rispondere immediatamente ai bisogni e ai desideri degli utenti. Il Digital Twin è, pertanto, uno strumento ideale per lo smart building, per mettere in atto la gestione e l'efficienza energetica e soddisfare al meglio l'esigenza di comfort e di benessere di chi vive e abita l'edificio. Da qui bisogna partire, non solo per le nuove costruzioni, ma anche e soprattutto per quelle esistenti, da sottoporre a una profonda opera di riqualificazione energetica e tecnologica. La caratteristica fondamentale di un edificio, intelligente, infatti, risiede nel fatto che i sistemi centrali al suo interno sono non solo collegati e in dialogo tra loro, ma anche capaci di generare dati. Ottenere informazioni mirate risponde inoltre alla finalità del Digital Twin di rendere "intelligenti" gli spazi: gli smart spaces sono appunto questo. A tale proposito, questo strumento offrirà al facility manager la possibilità di accedere alle informazioni in maniera più semplice e immediata, potendo così svolgere interventi necessari alla manutenzione degli edifici, immediatamente e in remoto. Non solo: il Digital Twin comprende anche la possibilità di avere sempre a disposizione lo storico dell'edificio, avendo ben presente sia la traccia digitale sia la possibilità di analizzare interventi ordinari e predittivi. Il Gemello Digitale risponde inoltre alla necessità di efficientamento energetico, obiettivo principale cui rispondono gli smart building. Il 40% circa dell'energia prodotta a livello globale è consumata dall'edilizia. Un modello 3D dell'edificio, arricchito con informazioni tecniche rilevanti per le operazioni successive è la base per una gestione dell'edificio efficiente, ma non solo. Le simulazioni degli edifici possono essere utilizzate per valutare il fabbisogno energetico, la qualità dell'ambiente interno, le emissioni di CO2 e i periodi di ammortamento delle misure di risparmio energetico per tutta la durata di vita del bene. [12]



5.4 Esempi Reali

Il *Siemens Campus* a Zugo (Svizzera) è un modello all'avanguardia che rappresenta concretamente quelle che sono le potenzialità tecnologiche combinate in edilizia. La struttura è dotata di sistemi di automazione degli edifici molto innovativi, sistemi di recupero del calore e di raccolta dell'acqua piovana, di impianti solari fotovoltaici, ed è un modello di riferimento per mettere in pratica le opportunità di efficienza energetica, digitalizzazione e analisi dei dati nel settore delle tecnologie edilizie. Costato circa 250 milioni di dollari, la struttura di 18.400 metri quadri, è certificata LEED Platinum, per il plesso adibito agli uffici e LEED Gold per lo stabilimento produttivo. Entrambi gli edifici sono stati qualificati con lo standard svizzero *Minergie*, sinonimo di efficienza e mantenimento di valore nel tempo, ma che mette al centro il comfort abitativo e lavorativo degli utenti.



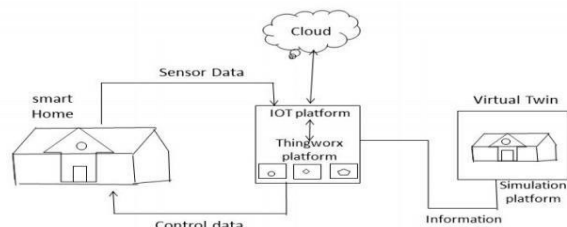
Tuttavia, la stessa compagnia ha ammesso che una soluzione che integri BIM e Digital Twin comporta un elevato impegno economico e di modelli iniziali, “ma i benefici a lungo termine superano significativamente i costi aggiuntivi”.

Attuare il gemello digitale permette di ridurre però il fabbisogno energetico e i costi relativi. L'esempio, in questo senso, è fornito dalla *Nanyang Technological University* (NTU) di Singapore. IES, la società che ha fornito un modello interattivo di visualizzazione 3D e masterplanning per l'ateneo, ha calcolato che il risparmio ottenibile dall'implementazione della soluzione, dai test virtuali, dalla modellazione operativa dettagliata di 21 edifici e dalla conseguente ottimizzazione delle prestazioni, ha permesso un risparmio energetico del 31%, quantificato in 4,7 milioni di dollari. [12]

5.5 Re-Design delle Smart Homes attraverso il Digital Twin

L'applicazione del Digital Twin allo Smart Home si compone di tre passaggi fondamentali:

- **Design.** Inizialmente il Digital Twin viene creato usando un software 3D (ad esempio ANSYS) creando una replica del sistema fisico: l'edificio viene fornito di sensori, controllori e attuatori che registrano e offrono risultati analitici usando la piattaforma IoT.
- **Build.** Twin Home La progettazione di una Twin Home ha lo scopo di rappresentare e gestire l'insieme di dati raccolti dai sensori che vengono reindirizzati in specifici database.
- **Operate: Data processing task.** L'apparato viene associato ad un Cloud che raccoglie e rielabora tutti i dati provenienti dai sensori. I sensori rilevano lo stato dell'ambiente circostante e si attivano per controllare il consumo e l'utilizzo di energia.



5.6 Hardware e Software per la progettazione della Smart Home

Per costruire una Smart Home sono necessari Hardware e Software basati sull'approccio del Digital Twin.

Alcuni esempi di Hardware sono:

- Arduino UNO Microcontroller.
- ESP 8266 Wi-fi Module
- Sensors (PIR, HTU 21D-Humidity and temperature)
- USB to UART cable
- Male and female Jumper wires.
- Relay Driver Modules
- Breadboard and wires
- Buzzer
- LED bulbs
- Fan

Possibili Software sono invece:

- Arduino SDK
- PTC Thingworx IoT platform
- Microsoft Azure IoT hub
- ANSYS Software - Simulation Platform
- Windows 10

5.7 Creazione del Prototipo

Di seguito viene riportata una stringa relativa ad un programma in linguaggio C per la creazione di un prototipo dove i sensori sono connessi a luci, impianto di condizionamento e porte.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <HTU.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Ethernet.h>
Const char* ssid="MyNetwork";
Const char* password="abcdef9678954";
// Application id key which gives login credentials
char app-key="287b9c77-983c-4abf-9f75-4fc237c7183a";
//create a thing and give the name to the things
char thingName[]="HTU21DThing";
// service Name offered by the service
char service-Name[]="setTempanHumid";
```

5.8 Funzionamento del Prototipo

Il prototipo lavora come segue: non appena una persona entra nell'abitazione esso individua e apre le porte necessarie. Se qualcuno entra in una stanza il programma accende automaticamente le luci e le spegne quando essa viene liberata. L'immagine virtuale, pertanto, riflette cosa sta accadendo all'interno dell'abitazione in ogni stanza ed in ogni momento, riportando una fedele rappresentazione tridimensionale.

5.9 Risultati

A processo concluso i risultati vengono inviati dal Cloud all'utilizzatore, il quale può visualizzare un'immagine 3D sulla quale è possibile effettuare tutte le azioni necessarie sugli oggetti, mentre il Cloud attua delle operazioni analitiche e applica i comandi richiesti. [13]

5.10 Conclusioni

Nonostante l'applicazione del Digital Twin nelle Smart Home possa rappresentare una grande innovazione a livello di efficientamento energetico e user friendliness, esso si deve confrontare con una serie di sfide al fine di coglierne appieno i benefici promessi. oltre ai fattori tecnici ed economici, già trattati nella presentazione, una delle problematiche principali da risolvere è quella della sicurezza. In particolare, allo stato attuale, la principale problematica è quella della convivenza tra uomo e macchina e in particolare della tutela della privacy e le precauzioni riguardanti i cyber-attacchi. A tale proposito sono stati sviluppati strumenti informatici, come ad esempio Akita,

realizzato dall'azienda HighIoT di Tel Aviv, che si propone come protettore silenzioso della casa domotica.

6. Cloud Computing

Il *Cloud Computing* (in italiano nuvola informatica [14] [15] [16]) indica, in informatica, un paradigma di erogazione di servizi offerti su richiesta da un fornitore a un cliente finale attraverso la rete internet (come l'archiviazione, l'elaborazione o la trasmissione dati), a partire da un insieme di risorse preesistenti, configurabili e disponibili in remoto sotto forma di architettura distribuita. [17]



6.1 Descrizione

Le risorse non vengono pienamente configurate e messe in opera dal fornitore appositamente per l'utente, ma gli sono assegnate, rapidamente e convenientemente, grazie a procedure automatizzate, a partire da un insieme di risorse condivise con altri utenti lasciando all'utente parte dell'onere della configurazione. Quando l'utente rilascia la risorsa, essa viene similmente riconfigurata nello stato iniziale e rimessa a disposizione nell'insieme condiviso delle risorse, con altrettanta velocità ed economia per il fornitore.

La correttezza nell'uso del termine è contestata da molti esperti: se Rob van der Meulen e Christy Pettey vedono queste tecnologie come un'evoluzione tecnologica offerta dalla rete internet [18], altri, come Richard Stallman, le considerano invece come una parola ingannevole ideata dalla commercializzazione per far cadere gli utenti nel tranello dei software offerti come servizio, che spesso li privano del controllo delle loro attività informatiche [19][20].

Utilizzando vari tipi di unità di elaborazione (CPU), memorie di massa fisse o mobili come RAM, dischi rigidi interni o esterni, CD/DVD, chiavi USB eccetera, un computer è in grado di elaborare, archiviare e recuperare programmi e dati.

Nel caso di computer collegati in rete locale (LAN) o geografica (WAN), la possibilità di elaborazione/archiviazione/recupero può essere estesa ad altri computer e dispositivi remoti dislocati sulla rete stessa. Sfruttando la tecnologia del cloud gli utenti collegati al fornitore possono svolgere tutte queste mansioni, anche tramite un semplice navigatore internet.

Possono, per esempio, utilizzare software remoti non direttamente installati sul proprio computer e salvare dati su memorie di massa in linea predisposte dal fornitore stesso (sfruttando sia reti via cavo che senza fili).

6.2 Figure Coinvolte

Il sistema del cloud computing prevede tre fattori distinti:

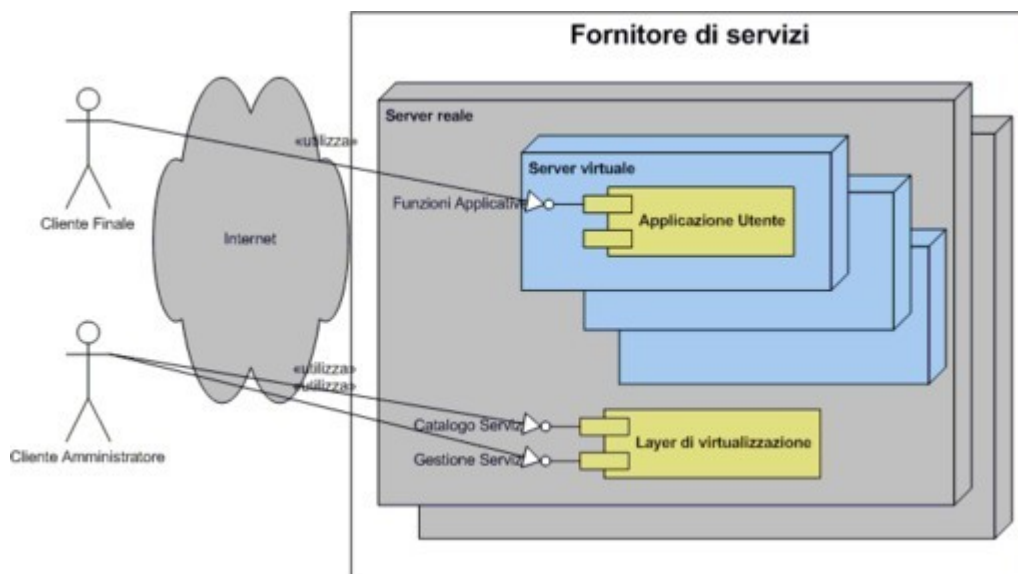
- fornitore di servizi: offre servizi di server virtuali, archiviazione, applicazioni complete (per es. base di dati) generalmente secondo un modello pay per use (PPU);
- cliente amministratore: sceglie e configura i servizi offerti dal fornitore, generalmente offrendo un valore aggiunto come per esempio applicazioni software;
- cliente finale: utilizza i servizi opportunamente configurati dal cliente amministratore.

In determinati casi d'uso il cliente amministratore e il cliente finale possono coincidere: per esempio, un cliente può utilizzare un servizio di archiviazione per effettuare una copia dei propri dati; in questo caso il cliente finale provvede a configurare e utilizzare il servizio.

I principali processi su cui i diversi fornitori cominciano a proporre soluzioni in modalità cloud sono la gestione della relazione col cliente (CRM), la gestione del capitale umano (HCM) e la pianificazione delle risorse d'impresa (ERP).

6.3 Architettura

L'architettura informatica del *cloud computing* prevede uno o più server reali, generalmente in architettura ad alta affidabilità (gruppi di server) e fisicamente collocati presso il centro dati del fornitore del servizio.



Il fornitore di servizi espone delle interfacce per elencare e gestire i propri servizi; il cliente amministratore utilizza tali interfacce per selezionare il servizio richiesto (per esempio un server virtuale completo oppure solo per archiviazione) e per amministrarlo (configurazione, attivazione, disattivazione).

Il cliente finale utilizza il servizio configurato dal cliente amministratore; le caratteristiche fisiche dell'implementazione (server reale, localizzazione del centro dati) sono irrilevanti.

6.4 Servizi

Nonostante il termine sia piuttosto vago e sembri essere utilizzato in diversi contesti con significati differenti tra loro, si possono distinguere tre tipi fondamentali di servizi *Cloud*: [21]

- SAAS (*software as a service*) - consiste nell'utilizzo di programmi installati su un server remoto, cioè fuori del computer fisico o dalla LAN locale, spesso attraverso un *server web*; quest'acronimo condivide in parte la filosofia di un termine oggi in disuso, ASP (*application service provider*). Un'evoluzione del SAAS in ambito mobile è stata rilasciata nel maggio 2020 sotto il nome di *Cloud Service Application (CSA)*;
- DAAS (*data as a service*) - con questo servizio vengono messi a disposizione via *web* solamente i dati, ai quali gli utenti possono accedere tramite qualsiasi applicazione come se fossero residenti su un disco locale;
- HAAS (*hardware as a service*) - con questo servizio l'utente invia dati a un computer, che vengono elaborati da computer messi a disposizione e restituiti all'utente iniziale.

A questi tre principali servizi possono esserne integrati altri:

- PAAS (*platform as a service*) - Invece che uno o più programmi singoli, viene eseguita in remoto una piattaforma software che può essere costituita da diversi servizi, programmi, librerie, ecc. Tale servizio è tipico di alcune piattaforme utilizzate per sviluppare altri programmi, quali *Amazon Web Services* o *Microsoft Azure*.
- IAAS (*infrastructure as a service*) - oltre alle risorse virtuali in remoto, vengono messe a disposizione anche risorse hardware, quali server, capacità di rete, sistemi di memoria e archivio. La caratteristica dell'IAAS è che le risorse vengono istanziate su richiesta o domanda al momento in cui una piattaforma ne ha bisogno.

Client
Application
Platform
Infrastructure
Server

Il termine *cloud computing* si differenzia però da *grid computing*, che è invece un paradigma orientato al calcolo distribuito e, in generale, richiede che le applicazioni siano progettate in modo specifico.

Nel caso di funzionalità di memorizzazione in remoto la creazione di una copia di sicurezza è automatica, e l'operatività si trasferisce tutta in linea, mentre i dati sono memorizzati in *fattorie di server* generalmente localizzate nel Paese d'origine del fornitore.

Il *Cloud Computing* rende disponibili all'utilizzatore le risorse come se fossero implementate da sistemi (server o periferiche personali) "standard". L'implementazione effettiva delle risorse non è definita in modo dettagliato, anzi l'idea è proprio che l'implementazione sia un insieme eterogeneo e distribuito – *cloud*, "nuvola" – di risorse le cui caratteristiche non siano note all'utilizzatore.

6.5 Problemi, Rischi e Critiche

Esistono numerosi aspetti sensibili legati alla tecnologia cloud, soprattutto per quanto riguarda la volatilità delle informazioni memorizzate, la crittografia eventualmente utilizzata e il tipo di approccio alla sicurezza IT.

Molti di tali aspetti potrebbero rimanere ignoti agli utenti finali poiché, per loro natura, richiederebbero conoscenze di tipo informatico di livello avanzato. I sistemi di *Cloud Computing* vengono criticati principalmente per l'esposizione degli utenti ai seguenti rischi. Di seguito se ne annoverano i principali;

1) Sicurezza informatica e privacy degli utenti:

- Utilizzare un servizio di cloud computing per memorizzare dati personali o sensibili, espone l'utente a potenziali problemi di violazione della privacy. I dati personali vengono memorizzati nelle Server Farms di aziende che spesso risiedono in uno Stato diverso da quello dell'utente. Il cloud provider, in caso di comportamento scorretto o malevolo, potrebbe accedere ai dati personali per eseguire ricerche di mercato e profilazione degli utenti. [22]
- Con i collegamenti wireless, il rischio sicurezza aumenta e si è maggiormente esposti ai casi di pirateria informatica a causa della minore sicurezza offerta dalle reti senza fili. In presenza di atti illegali, come appropriazione indebita o illegale di dati personali, il danno potrebbe essere molto grave per l'utente, con difficoltà di raggiungere soluzioni giuridiche e/o rimborsi se il fornitore risiede in uno stato diverso da paese dell'utente.
- Nel caso di industrie o aziende, tutti i dati memorizzati nelle memorie esterne sono seriamente esposti a eventuali casi di spionaggio industriale.

2) Problemi internazionali di tipo economico e politico:

- Possono verificarsi quando dati pubblici sono raccolti e conservati in archivi privati, situati in un paese diverso da quelli degli utenti della "nuvola". Produzioni cruciali e di carattere intellettuale insieme a una grande quantità di informazioni personali sono memorizzate crescentemente in forma di dati digitali in archivi privati centralizzati e parzialmente accessibili. Nessuna garanzia viene data agli utenti per un libero accesso futuro. [23]

- Altre problematiche sono legate alla localizzazione degli archivi della "nuvola" in alcuni paesi ricchi. Se non regolato da specifiche norme internazionali ciò potrebbe:
 - I. aumentare il divario digitale tra paesi ricchi e poveri (se l'accesso alle conoscenze memorizzate non sarà liberamente garantita a tutti).
 - II. favorire principalmente grandi corporation con «organismi policentrici" e "menti monocentriche" dislocate principalmente nei Paesi della "nuvola", essendo la proprietà immateriale considerata come un fattore strategico per le moderne economie "knowledge-based".

Maggiori sicurezze e garanzie vi sono nel caso in cui il fornitore del servizio appartenga alla stessa nazione/area applicando le medesime leggi/normative sulla privacy e sicurezza del cliente (la legislazione USA o di altre nazioni è molto diversa dall'italiana e diventa impossibile pensare di soddisfare normative nazionali con servizi in cloud di altre nazioni).

3) Continuità del servizio offerto:

- Delegando a un servizio esterno la gestione dei dati e la loro elaborazione l'utente si trova fortemente limitato nel caso in cui i suddetti servizi non siano operativi (out of service). Un eventuale malfunzionamento inoltre colpirebbe un numero molto elevato di persone contemporaneamente dato che questi sono servizi condivisi. Anche se i migliori servizi di cloud computing utilizzano architetture ridondate e personale qualificato al fine di evitare malfunzionamenti dei sistemi e ridurre la probabilità di guasti visibili dall'utente finale, non eliminano del tutto il problema. Bisogna anche considerare che tutto si basa sulla possibilità di avere una connessione Internet ad alta velocità sia in download che in upload e che anche nel caso di una interruzione della connessione dovuta al proprio Internet Service Provider/ISP si ha la completa paralisi delle attività.

4) Difficoltà di migrazione dei dati nel caso di un eventuale cambio del gestore dei servizi cloud:

- Non esistendo uno standard definito tra i gestori dei servizi, un eventuale cambio di operatore risulta estremamente complesso. Tutto ciò risulterebbe estremamente dannoso in caso di fallimento, rimodulazioni tariffarie o contenzioso col gestore dei servizi cui ci si è affidati. [24][25]

6.6 Cloud Computing e Industria 4.0

6.6.1 Un esempio concreto di piattaforma SaaS: BEPLAN

BEPLAN è il primo software cloud che permette di gestire tutto il ciclo di *produzione su commessa*, in linea con il processo di trasformazione digitale e tecnologica del Piano Nazionale Impresa 4.0.

BEPLAN è una rivoluzionaria piattaforma dedicata alle *Micro, Piccole e Medie Imprese* che operano prevalentemente su commessa, realizzando prodotti unici sulla base delle necessità dei propri clienti.

È un software *totalmente in cloud* che permette di gestire integralmente il flusso che va dallo sviluppo di un'offerta fino alla consuntivazione della produzione su commessa.

Tutte le informazioni sono storicizzate su una banca dati integrata. Inoltre, vi è la possibilità di analizzare i dati e generare report relativi alle performance.

BEPLAN permette, tra le altre cose, di gestire in modo integrato tutto il ciclo di produzione su commessa e di avere in tempo reale una visione puntuale sugli aspetti economici e tecnici al fine di supportare l'azienda nelle decisioni conseguenti. Tutto in cloud, online.

La digitalizzazione del processo di gestione della produzione su commessa gioca un ruolo chiave su tutta la catena del valore. *BEPLAN* consente, inoltre, di ottenere ottimi risultati sia dal punto di vista dell'efficacia che dell'efficienza.

BEPLAN è personalizzabile, flessibile, scalabile, in cloud, sicuro, analitico.

Funziona direttamente dal browser Internet, escludendo qualsiasi impegno legato al download, installazione e configurazione.

BEPLAN, in qualità di piattaforma software di gestione della produzione su commessa, è caratterizzato da una serie di funzionalità, quali:

- **Applicazione web based multi-dispositivo & user friendly.** È multi-dispositivo ed è accessibile da PC, Laptop, Tablet e Smartphone.
- **Piattaforma multi-user e multilevel.** Un sistema di profilazione che consente di definire diversi ruoli all'interno della piattaforma. A ciascun ruolo sono attribuiti privilegi di accesso a determinate funzionalità.
- **Gestione anagrafica risorse.** Personale, materiali, consulenti, terzisti, lavorazioni, tipologie di prodotto e macchine a controllo numerico (CNC).
- **Gestione preventivi.** Formulazione del preventivo al cliente in modo lineare e intuitivo; approccio sia analitico che parametrico; valutazione omnicomprensiva dei costi di produzione, trasporto, montaggio e spese di missione; storico revisioni.
- **Gestione della produzione su commessa.** Gestione del ciclo completo della produzione su commessa; allocazione delle risorse (materiali, personale, lavorazioni speciali, consulenze esterne, terzisti, utilizzo macchine CNC); possibilità di allegare documenti tecnici di diverso formato; stato avanzamento in tempo reale.
- **Gestione lotti e tracciabilità.** Controllo, conta e tracciamento lotti in modo semplice e veloce; possibilità di gestire un numero variabile e personalizzabile di informazioni.
- **Controllo presenze e attività.** Modulo di controllo delle presenze e delle attività sulla produzione su commessa; rilevazione automatizzata delle attività svolte da ciascun collaboratore sulle singole commesse; gestione giustificativi

(ferie, malattia, permessi, ecc.); possibilità d'interfacciamento con sistemi di rilevazione delle presenze.

- **Sistema di notifica & alert.** Il sistema di notifica integrato in piattaforma consente l'invio automatizzato agli utilizzatori (anche programmabile ad orari specifici) di notifiche via mail, sms e/o WhatsApp.
- **Report & analytics.** Sistema di analisi e reportistica completamente configurabile; indicazione chiara sulle performance, sugli scostamenti e sull'utilizzo delle risorse; dati di sintesi presentati in modo semplice e intuitivo con l'utilizzo di grafici e diagrammi.

L'immagine di seguito mostra due delle funzionalità specifiche di BEPLAN:

- registrazione di un nuovo materiale con diversi parametri configurabili,
- compilazione del modulo per la gestione del trasporto, montaggio e spese di missione.

I software basati su cloud offrono alle aziende di tutti i settori una serie di vantaggi, tra cui la possibilità di fruizione da qualsiasi dispositivo tramite un'applicazione nativa o un browser. Di conseguenza, gli utenti possono accedere ai loro file mantenendo le stesse impostazioni su altri dispositivi in modo completamente flessibile.

6.6.2 Il cloud computing è molto più di un semplice accesso ai file su più dispositivi

Grazie ai servizi cloud computing, gli utenti possono controllare la loro e-mail su qualsiasi computer e persino archiviare i file utilizzando servizi come *Dropbox* e *Google Drive*.

Ma il vantaggio più importante per le imprese è l'enorme potenziale di risparmio.

Infatti, prima che il cloud diventasse un'alternativa praticabile, le aziende dovevano acquistare, costruire e mantenere costose tecnologie e infrastrutture per la gestione delle informazioni.

6.6.3 Come il Cloud Computing sta evolvendo: Statistiche 2022

Il Cloud Computing è in forte espansione nel 2020. Ha avuto una crescita sorprendente lo scorso anno e si prevede che raggiungerà il suo record nei prossimi anni.

Al giorno d'oggi è quasi impossibile trovare un'organizzazione che non si affidi almeno parzialmente ai *servizi cloud*. Che si tratti di software applicativo, sistemi operativi, database, server Web, indirizzi IP o reti locali virtuali, il cloud sembra offrire tutto.

Secondo alcune statistiche interessanti:

- Il mercato globale del cloud computing dovrebbe raggiungere \$ 623,3 miliardi entro il 2023. (*Fonte: Report Linker*)
- L'89% delle aziende utilizza SaaS. (*Fonte: IDG*)
- Le entrate di SaaS hanno raggiunto \$ 85,1 miliardi nel 2012. (*Fonte: Gartner*)
- Il 75% di tutti i carichi di lavoro cloud e istanze di calcolo sarà SaaS entro il 2022. (*Fonte: Cisco*)
- Il 67% delle infrastrutture e dei software IT aziendali sarà basato su cloud entro la fine del 2022. (*Fonte: Forbes*)
- Si prevede che le imprese investiranno in media oltre 3,5 milioni entro il prossimo anno. Questa spesa prenderà il 30% del loro budget IT totale nel 2022. (*Fonte: IDG*)
- Le spese del cloud dovrebbero ammontare al 70% di tutte le spese tecnologiche entro il 2022. (*Fonte: Trend Micro*)
- Nel 2022, il 99% delle vulnerabilità maltrattate sarà già noto ai professionisti della sicurezza e dell'IT da almeno un anno. (*Fonte: Forbes*)

Le previsioni del **cloud computing** per il 2022 mostrano un ulteriore aumento dell'utilizzo del cloud. Le iniziative cloud ammonteranno al 70% di tutte le spese tecnologiche entro il 2022. [26] [27]

7. Digital Twin e Cloud Computing: Gemelli Digitali di Azure

Nel seguente capitolo verranno riportate le esercitazioni relative all'attività di tirocinio, al fine di comprendere le potenzialità pratiche dell'architettura Digital Twin applicata ad una piattaforma PaaS.

7.1 Linguaggio di programmazione

Di seguito verranno presentate alcune delle principali caratteristiche relative al linguaggio di programmazione utilizzato nelle esercitazioni, ovvero il linguaggio C#.

C# (pronunciato "See Sharp") è un linguaggio di programmazione moderno, orientato a oggetti e indipendente dai tipi. C# ha le sue radici nella famiglia di linguaggi C ed in particolare risulta molto simile ai linguaggi C, C++, Java, JavaScript e Visual Basic.

C# è un linguaggio di programmazione orientato a oggetti e orientato ai componenti. Esso fornisce costrutti di linguaggio per supportare direttamente questi concetti, rendendo C# un linguaggio naturale in cui creare e utilizzare i componenti software.

Dal momento in cui è stato originato, C# ha aggiunto funzionalità per supportare nuovi carichi di lavoro e procedure di progettazione software emergenti.

Diverse funzionalità C# facilitano la costruzione di applicazioni solide e durevoli.

- Garbage Collection recupera automaticamente la memoria occupata dagli oggetti inutilizzati non raggiungibili.
- La gestione delle eccezioni fornisce un approccio strutturato ed estendibile per il rilevamento e il ripristino degli errori.
- Le espressioni lambda supportano le tecniche di programmazione funzionale.
- La sintassi di query consente di creare un modello comune per lavorare con i dati di qualsiasi origine.
- Il supporto delle lingue per le operazioni asincrone fornisce la sintassi per la creazione di sistemi distribuiti.

- Criteri di ricerca fornisce la sintassi per separare facilmente i dati dagli algoritmi nei sistemi distribuiti moderni.

C# dispone di un sistema di tipi unificato. Tutti i tipi C#, inclusi i tipi di primitiva quali *int* e *double*, ereditano da un unico tipo *object* radice. Tutti i tipi condividono un set di operazioni comuni. I valori di qualsiasi tipo possono essere archiviati, trasportati e gestiti in modo coerente. C# supporta inoltre i tipi di riferimento definiti dall'utente e i tipi di valore. C# consente l'allocazione dinamica di oggetti e l'archiviazione in-line di strutture semplici.

C# enfatizza il controllo delle versioni per garantire che i programmi e le librerie possano evolversi nel tempo in modo compatibile. Gli aspetti della progettazione di C# che sono stati influenzati direttamente dalle considerazioni sul controllo delle versioni includono i virtual over-ride modificatori e separati, le regole per la risoluzione dell'overload del metodo e il supporto per le dichiarazioni esplicite dei membri di interfaccia.

Il programma "*Hello World*" viene tradizionalmente usato per presentare un linguaggio di programmazione. Di seguito è riportato il programma Hello, World in C#:

```
using System;

class Hello

{

    static void Main()

    {

        Console.WriteLine("Hello, World");

    }

}
```

Il programma "Hello World" inizia con una direttiva using che fa riferimento allo spazio dei nomi System. Gli spazi dei nomi consentono di organizzare i programmi e le librerie C# in modo gerarchico. Gli spazi dei nomi contengono tipi e altri spazi dei

nomi. Lo spazio dei nomi *System*, ad esempio, contiene diversi tipi, come la classe *Console* a cui viene fatto riferimento nel programma, e altri spazi dei nomi, come *IO* e *Collections*. Una direttiva *using* che fa riferimento a un determinato spazio dei nomi consente l'uso non qualificato dei tipi che sono membri di tale spazio dei nomi. Grazie alla direttiva *using*, il programma può usare *Console.WriteLine* come sintassi abbreviata per *System.Console.WriteLine*.

La classe *Hello* dichiarata dal programma "Hello World" ha un solo membro, ovvero il metodo denominato *Main*. Il metodo *Main* viene dichiarato con il modificatore *static*. Mentre i metodi di istanza possono fare riferimento a una particolare istanza dell'oggetto contenitore usando la parola chiave *this*, i metodi statici operano senza riferimento a un determinato oggetto. Per convenzione, un metodo statico denominato *Main* funge da punto di ingresso di un programma C#.

L'output del programma viene prodotto dal metodo *WriteLine* della classe *Console* nello spazio dei nomi *System*. Questa classe viene fornita da librerie di classi standard a cui, per impostazione predefinita, fa automaticamente riferimento il compilatore.

In C# esistono due generi di tipi: tipi valore e tipi riferimento. Le variabili dei tipi valore contengono direttamente i propri dati, mentre le variabili dei tipi riferimento archiviano i riferimenti ai propri dati, noti come oggetti. Con i tipi di riferimento, è possibile che due variabili facciano riferimento allo stesso oggetto ed è possibile che le operazioni su una variabile influiscano sull'oggetto a cui fa riferimento l'altra variabile. Con i tipi valore, ogni variabile ha una propria copia dei dati e non è possibile che le operazioni su uno influiscano sull'altro (ad eccezione di *ref* delle variabili di parametro e *out*).

Un identificatore è un nome di variabile. Esso è una sequenza di caratteri Unicode senza spazi vuoti, e può essere una parola riservata C#, se è preceduta da *@*. Questo può essere utile quando si interagisce con altri linguaggi.

I tipi di valore di C# sono ulteriormente divisi in tipi semplici:

- tipi *enum*
- tipi *struct*

- tipi di valore *Nullable*
- tipi di valore di *tupla*.

I tipi di riferimento di C# sono ulteriormente divisi in tipi di classe:

- tipi di interfaccia
- tipi di matrice
- tipi delegati.

La struttura seguente fornisce una panoramica del sistema di tipi di C#.

- Tipi valore
- Tipi semplici
- Integrale con segno: sbyte, short, int, long
- Integrale senza segno: byte, ushort, uint, ulong
- Caratteri Unicode: char, che rappresenta un'unità di codice UTF-16
- Virgola mobile binario IEEE: float, double
- Virgola mobile decimale a precisione elevata: decimal
- Booleano: bool, che rappresenta valori booleani, valori che sono true o false
- Tipi enum
- Tipi definiti dall'utente del modulo enum E {...}.

Un tipo *enum* è un tipo distinto con costanti denominate. Ogni tipo enum ha un tipo sottostante, che deve essere uno degli otto tipi integrali. Il set di valori di un tipo enum coincide con il set di valori del tipo sottostante.

I programmi C# usano le dichiarazioni di tipo per creare nuovi tipi. Una dichiarazione di tipo consente di specificare il nome e i membri del nuovo tipo. Sei categorie di tipi C# sono definibili dall'utente: tipi di classe, tipi di struct, tipi di interfaccia, tipi enum, tipi delegati e tipi di valore di tupla.

Un tipo *class* definisce una struttura dati contenente membri dati (campi) e membri funzione (metodi, proprietà e altro). I tipi classe supportano l'ereditarietà singola e il polimorfismo, meccanismi in base ai quali le classi derivate possono estendere e specializzare le classi di base.

Un tipo *struct* è simile a un tipo classe in quanto rappresenta una struttura con membri dati e membri funzione. Tuttavia, a differenza delle classi, gli *struct* sono tipi di valore e in genere non richiedono l'allocazione dell'heap. I tipi *struct* non supportano l'ereditarietà specificata dall'utente e tutti i tipi *struct* ereditano implicitamente dal tipo *object*.

Un tipo *interface* definisce un contratto come un set denominato di membri pubblici. Un oggetto *class* o *struct* che implementa un oggetto *interface* deve fornire implementazioni dei membri dell'interfaccia. Un tipo *interface* può ereditare da più interfacce di base e un tipo *class* o *struct* può implementare più interfacce.

Un tipo *delegate* rappresenta i riferimenti ai metodi, con un elenco di parametri e un tipo restituito particolari. I delegati consentono di trattare i metodi come entità che è possibile assegnare a variabili e passare come parametri. I delegati sono analoghi ai tipi funzione forniti dai linguaggi funzionali. Sono anche simili al concetto di puntatori a funzione disponibili in altri linguaggi. A differenza dei puntatori a funzione, i delegati sono orientati agli oggetti e indipendenti dai tipi.

I *class type struct*, *interface* e *delegate* supportano tutti i *generics*, in base ai quali possono essere parametrizzati con altri tipi.

C# supporta matrici unidimensionali e multidimensionali di qualsiasi tipo. A differenza dei tipi elencati in precedenza, i tipi di matrice non devono essere dichiarati prima di poter essere usati. Al contrario, i tipi matrice vengono costruiti facendo seguire a un nome di tipo delle parentesi quadre. Ad esempio, *int[]* è una matrice unidimensionale di *int*, *int[,]* è una matrice bidimensionale di *int* e *int[][]* è una matrice unidimensionale di matrici unidimensionali o una matrice "frastagliata" di *int*.

I tipi nullable non richiedono una definizione separata. Per ogni tipo non Nullable T, esiste un tipo nullable corrispondente *T?*, che può avere un valore aggiuntivo, *null*. Ad esempio, *int?* è un tipo che può ospitare qualsiasi intero a 32 bit o il valore *null* e *string?* è un tipo che può conservare qualsiasi string value o *null*.

Il sistema di tipi di C# è unificato in modo che un valore di qualsiasi tipo possa essere considerato come un *object*. In C# ogni tipo deriva direttamente o indirettamente dal

tipo di classe `object` e `object` è la classe di base principale di tutti i tipi. I valori dei tipi di riferimento vengono trattati come oggetti semplicemente visualizzando tali valori come tipi `object`. I valori dei tipi valore vengono trattati come oggetti mediante l'esecuzione di operazioni di `boxing` e `unboxing`.

Quando un valore di un tipo di valore viene assegnato a un `object` di riferimento, viene allocata una "casella" per conservare il valore. Questa casella è un'istanza di un tipo di riferimento e il valore viene copiato in tale casella. Viceversa, quando un `object` viene eseguito, viene eseguito un controllo affinché l'oggetto a cui fa riferimento l'`object` sia una casella del tipo di valore corretto. Se il controllo ha esito positivo, il valore nella casella viene copiato nel tipo di valore.

Il sistema di tipi unificato di `C#` significa che i tipi di valore vengono considerati come riferimenti "su richiesta". A causa dell'unificazione, le librerie di uso generico che usano il tipo `object` possono essere usate con tutti i tipi che derivano da `object`, inclusi sia i tipi di riferimento che i tipi di valore.

In `C#` sono disponibili diversi tipi di variabili, inclusi campi, elementi matrice, variabili locali e parametri. Le variabili rappresentano posizioni di archiviazione. Ogni variabile dispone di un tipo che determina quali valori possono essere archiviati nella variabile.

I concetti aziendali chiave in `C#` sono:

- i programmi
- gli spazi dei nomi
- i tipi
- i membri
- gli assembly

I programmi dichiarano i tipi, che contengono i membri e possono essere organizzati in spazi dei nomi. Classi, `struct` e interfacce sono esempi di tipi, mentre i campi, i metodi, le proprietà e gli eventi sono esempi di membri. Quando i programmi `C#` vengono compilati, vengono inseriti fisicamente in assembly. Gli assembly in genere hanno l'estensione `.exe` o `.dll`, a seconda che implementino rispettivamente applicazioni o librerie.

Come piccolo esempio, si consideri un assembly che contiene il codice seguente:

```
using System;

namespace Acme.Collections
{
    public class Stack<T>
    {
        Entry _top;

        public void Push (T data)
        {
            _top = new Entry (top, data);
        }

        public T Pop ()
        {
            if (_top == null)
                throw new InvalidOperationException ();
        }

        T result = _top.Data;
        _top = _top.Next;
        return result;
    }

    class Entry
    {
        public Entry Next {get; set;}

        public T Data {get; set;}

        public Entry (Entry next, T data)
        {

```



```

        Next = next;

        Data = data;
    }
}
}
}
}

```

Il nome completo di questa classe è *Acme.Collections.Stack*. La classe contiene vari membri: un campo *top*, due metodi *Push* e *Pop* e una classe annidata *Entry*. La classe *Entry* contiene altri tre membri: un campo *next*, un campo *data* e un costruttore. *Stack* è una classe generica. Ha un parametro di tipo, *T* che viene sostituito con un tipo concreto quando viene usato.

Gli assembly contengono codice eseguibile sotto forma di istruzioni di linguaggio intermedio (Intermediate Language, IL) e informazioni simboliche sotto forma di metadati. Prima che venga eseguita, il compilatore JIT (just-in-Time) di .NET. Common Language Runtime converte il codice IL in un assembly in codice specifico del processore.

Poiché un assembly è un'unità di funzionalità autodescrittiva che contiene sia il codice che i metadati, non sono necessarie `#include` direttive e file di intestazione in C#. I membri e i tipi pubblici contenuti in un determinato assembly vengono resi disponibili in un programma C# semplicemente facendo riferimento a tale assembly durante la compilazione del programma.

I programmi C# possono essere archiviati in diversi file di origine. Quando viene compilato un programma C#, vengono elaborati insieme tutti i file di origine e i file di origine possono farvi riferimento liberamente. Concettualmente, è come se tutti i file di origine fossero concatenati in un file di grandi dimensioni prima di essere elaborati. In C# non sono mai necessarie dichiarazioni con più edizioni perché, con poche eccezioni, l'ordine di dichiarazione non è significativo. C# non limita un file di origine alla dichiarazione di un solo tipo pubblico né richiede che il nome del file di origine corrisponda a un tipo dichiarato nel file di origine. [28]

7.2 Cos'è il servizio Gemelli Digitali di Azure

Gemelli digitali di Azure è un'offerta PaaS che consente la creazione di grafici di conoscenze basati su modelli digitali di interi ambienti. Questi ambienti possono essere edifici, fabbriche, reti energetiche, ferrovie, stadi e altro ancora, persino intere città. Questi modelli digitali possono essere usati per ottenere informazioni che consentono di migliorare i prodotti, ottimizzare le operazioni, ridurre i costi e rivoluzionare l'esperienza dei clienti.

È possibile sfruttare la propria esperienza del settore oltre a quella di Gemelli digitali di Azure per creare soluzioni personalizzate e connesse che consentono di:

- Modellare qualsiasi ambiente e implementare i gemelli digitali in modo scalabile e sicuro
- Connettere risorse come i dispositivi IoT e i sistemi aziendali esistenti
- Usare un sistema di eventi affidabile per creare una logica di business dinamica e l'elaborazione dati
- Eseguire l'integrazione con i dati di Azure, le analisi e i servizi di intelligenza artificiale per tenere traccia del passato e quindi prevedere il futuro.

7.2.1 Funzionalità di Gemelli Digitali di Azure

Di seguito è riportato un riepilogo delle funzionalità fornite da Gemelli Digitali di Azure:

Linguaggio di modellazione aperto. In Gemelli digitali di Azure è possibile definire le entità digitali che rappresentano le persone, i luoghi e gli elementi dell'ambiente fisico usando tipi di gemelli personalizzati denominati modelli.

Queste definizioni dei modelli possono essere pensate come un vocabolario specializzato per descrivere la propria attività. Per una soluzione di gestione degli edifici, ad esempio, è possibile definire modelli come "edificio", "piano" e "ascensore". È quindi possibile creare gemelli digitali basati su questi modelli per rappresentare l'ambiente specifico.

I modelli sono definiti in un linguaggio simile a JSON denominato *DTDL (Digital Twin Definition Language)* e descrivono i gemelli in termini di proprietà dello stato, eventi di telemetria, comandi, componenti e relazioni.

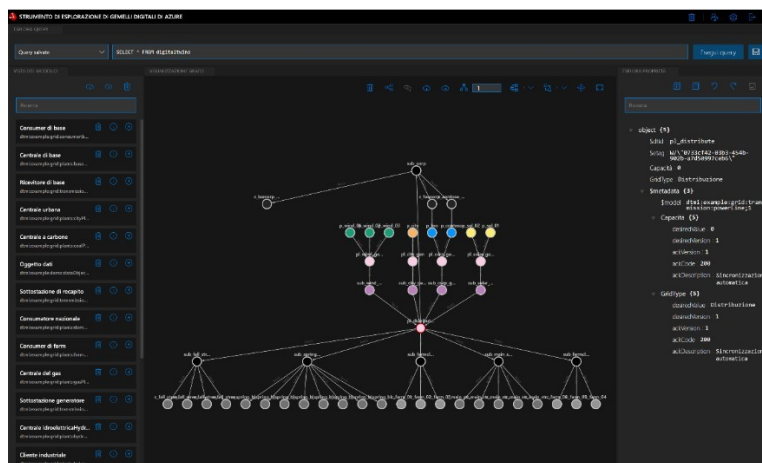
- I modelli definiscono le relazioni semantiche tra le entità in modo da potere connettere i gemelli in un grafo della conoscenza che riflette le loro interazioni. È possibile pensare ai modelli come a dei sostantivi in una descrizione del mondo e alle relazioni come a dei verbi.
- È anche possibile specializzare i gemelli usando l'ereditarietà del modello. Un modello può ereditare da un altro.

DTDL viene usato per i modelli di dati in tutti gli altri servizi IoT di Azure, tra cui *Plug and Play (PnP) IoT* e *Time Series Insights (TSI)*. In questo modo è possibile garantire la connessione e la compatibilità della soluzione Gemelli digitali di Azure con altre parti dell'ecosistema di Azure.

Ambiente di esecuzione live. I modelli digitali in Gemelli digitali di Azure sono rappresentazioni live aggiornate del mondo reale. Usando le relazioni nei modelli DTDL personalizzati, è possibile connettere i gemelli in un grafo live che rappresenta l'ambiente.

È possibile aprire una visualizzazione del grafo di Gemelli digitali di Azure tramite un'applicazione di esempio, *Azure Digital Twins explorer*.

Ecco un esempio di questa visualizzazione:



Gemelli digitali di Azure fornisce un sistema di eventi completo per mantenere aggiornato il grafo con l'elaborazione dati e la logica di business. È possibile connettere risorse di calcolo esterne, ad esempio Funzioni di Azure, per gestire l'elaborazione dati in modo flessibile e personalizzato.

È anche possibile estrarre informazioni dettagliate dall'ambiente di esecuzione live usando l'API di query avanzata di Gemelli digitali di Azure. L'API consente di eseguire query con condizioni di ricerca avanzate, inclusi i valori delle proprietà, le relazioni, le proprietà delle relazioni, le informazioni sul modello e altro ancora. È anche possibile combinare le query, raccogliendo un'ampia gamma di informazioni dettagliate sull'ambiente e rispondendo a domande personalizzate che sono importanti per l'utente.

Input da sistemi IoT e aziendali. Per mantenere aggiornato l'ambiente di esecuzione live di Gemelli digitali di Azure con il mondo reale, è possibile usare l'hub IoT per connettere la soluzione ai dispositivi IoT e IoT Edge. Questi dispositivi gestiti dall'hub sono rappresentati come parte del grafo dei gemelli e forniscono i dati che controllano il modello.

A questo scopo è possibile creare un nuovo hub IoT con Gemelli digitali di Azure oppure connettere un hub IoT esistente insieme ai dispositivi già gestiti.

È anche possibile gestire Gemelli digitali di Azure da altre origini dati, usando le API REST o i connettori ad altri servizi come App per la logica.

Output in TSI, archiviazione e analisi. I dati nel modello Gemelli digitali di Azure possono essere instradati ai servizi di Azure downstream per ulteriore analisi o archiviazione. Questa operazione viene fornita tramite route di eventi, che usano l'hub eventi, la griglia di eventi o il bus di servizio per gestire i flussi di dati desiderati.

Alcune operazioni che è possibile eseguire con le route di eventi includono:

- Archiviazione dei dati di Gemelli digitali di Azure in *Azure Data Lake*
- Analisi dei dati di Gemelli digitali di Azure con *Azure Synapse Analytics* o altri strumenti di analisi dei dati Microsoft

- Integrazione di flussi di lavoro di dimensioni maggiori con App per la logica
- Connessione di Gemelli digitali di Azure a Time Series Insights per tenere traccia della cronologia delle serie temporali di ogni gemello
- Allineamento di un modello serie temporale in Time Series Insights con un'origine in Gemelli digitali di Azure

Si tratta di un altro modo in cui Gemelli digitali di Azure può connettersi a una soluzione più ampia e supportare le esigenze personalizzate per continuare a lavorare con queste informazioni.

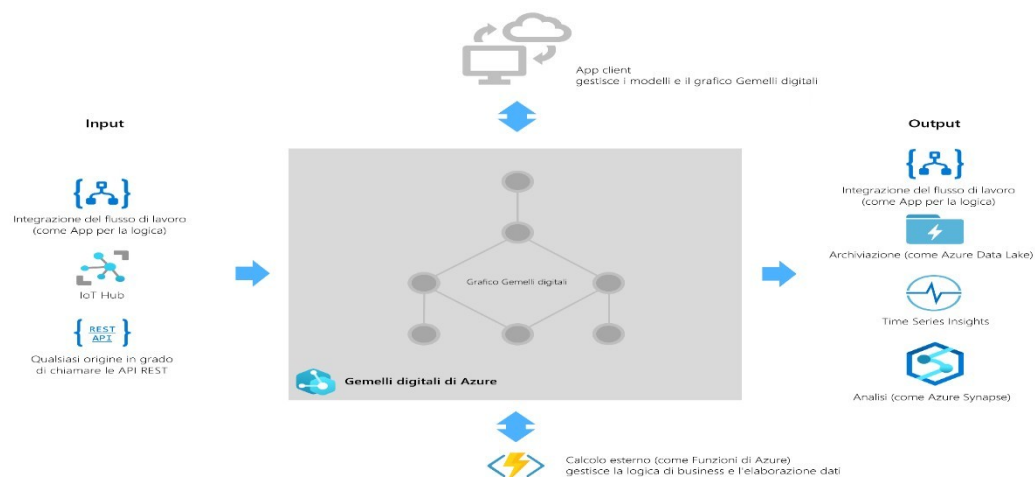
7.2.2 Gemelli Digitali di Azure in un contesto della soluzione

Gemelli Digitali di Azure viene comunemente usato in combinazione con altri servizi di Azure come parte di una soluzione IoT più ampia.

Una soluzione completa che usa Gemelli digitali di Azure può contenere le parti seguenti:

- Istanza del servizio Gemelli digitali di Azure che consente di archiviare i modelli di gemelli e il grafo dei gemelli con il relativo stato e orchestrare l'elaborazione degli eventi.
- Una o più app client che gestiscono l'istanza di Gemelli digitali di Azure configurando modelli, creando topologie ed estraendo informazioni approfondite dal grafico dei gemelli.
- Una o più risorse di calcolo esterne per elaborare gli eventi generati da Gemelli digitali di Azure o da origini dati connesse, ad esempio i dispositivi. Un modo comune per fornire le risorse di calcolo è tramite Funzioni di Azure.
- Un hub IoT per fornire funzionalità di gestione dei dispositivi e flusso dei dati IoT.
- Servizi downstream per gestire attività quali l'integrazione del flusso di lavoro, ad esempio App per la logica, archiviazione offline sicura, integrazione di serie temporali o analisi.

Il diagramma seguente illustra il punto in cui si trova Gemelli digitali di Azure nel contesto di una soluzione Azure IoT più grande.



7.2.3 Limiti del servizio

Di seguito vengono riportate le tabelle relative ai limiti di velocità delle API e ai limiti funzionali dei dispositivi.

API	Funzionalità	Limite predefinito	Regolabile?
API modelli	Numero di richieste al secondo	100	Sì
API gemelli digitali	Numero di richieste al secondo	2.000	Sì
API gemelli digitali	Numero di operazioni di creazione/eliminazione al secondo in tutti i dispositivi gemelli relazioni	50	Sì

API	Funzionalità	Limite predefinito	Regolabile?
API gemelli digitali	Numero di operazioni di creazione/aggiornamento/eliminazione al secondo in un singolo gemello o nelle relative relazioni	10	No
API di query	Numero di richieste al secondo	500	Sì
API di query	Unità di query al secondo	4.000	Sì
API route di eventi	Numero di richieste al secondo	100	Sì

Area	Funzionalità	Limite predefinito	Regolabile?
Risorsa di Azure	Numero di istanze di dispositivi gemelli digitali di Azure in un'area per sottoscrizione	10	Sì
Gemelli digitali	Numero di gemelli in un'istanza di dispositivi gemelli digitali Azure	100.000	Sì
Gemelli digitali	Numero di relazioni in ingresso per un singolo gemello	5.000	No
Gemelli digitali	Numero di relazioni in uscita da un singolo gemello	5.000	No
Gemelli digitali	Dimensione massima di un singolo gemello	32 KB	No
Gemelli digitali	Dimensioni massime payload richiesta	32 KB	No
Routing.	Numero di endpoint per una singola istanza di Azure Digital Twins	6	No
Routing.	Numero di route per una singola istanza di Azure Digital Twins	6	Sì
Modelli	Numero di modelli all'interno di una singola istanza di Azure Digital Twins	10.000	Sì
Modelli	Numero di modelli che possono essere caricati in una singola chiamata API	250	No
Modelli	Numero di elementi restituiti in una singola pagina	100	No
Query	Numero di elementi restituiti in una singola pagina	100	No
Query	Numero di AND / OR espressioni in una query	50	Sì
Query	Numero di elementi di matrice in una IN / NOT IN clausola	50	Sì
Query	Numero di caratteri in una query	8.000	Sì
Query	Numero di JOINS in una query	5	Sì

Altri limiti sono relativi alle tipologie di dati e i campi nei documenti di DTDL per i modelli di dispositivi gemelli. [29]

7.3 Prerequisiti per lo svolgimento delle esercitazioni

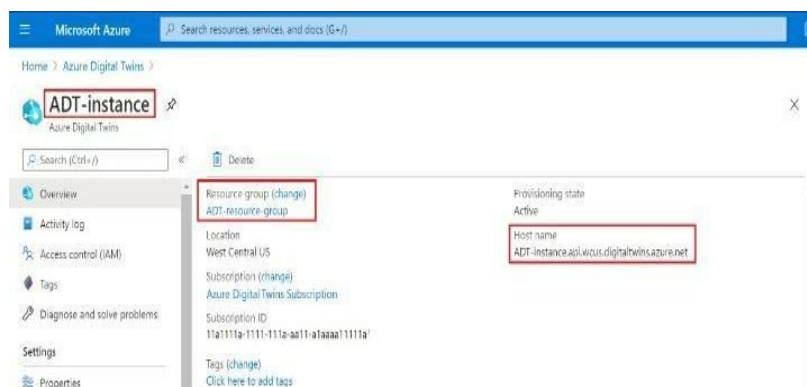
Di seguito verranno riportati i prerequisiti per lo svolgimento delle esercitazioni:

- Un account Azure (in questo caso è stata effettuata una sottoscrizione studenti gratuita);
- .NET Core 3.1 nel computer di sviluppo;
- L'editor di codice *Visual Studio 2019*, versione 16.5 o successiva;
- Progetto di esempio di una soluzione end-to-end in file ZIP reperibile nel sito da estrarre dopo la decompressione della cartella.

7.4 Configurare un'Istanza e un'Autenticazione di Azure Digital Twin

Il primo passaggio, fondamentale per tutte e tre le esercitazioni, è stato quello di creare un'*istanza di Azure Digital Twin* e configurarla in relazione alle varie autorizzazioni. Per poter completare la configurazione, è stato necessario disporre di un ruolo nelle sottoscrizioni con le seguenti autorizzazioni:

- Creare e gestire le risorse di Azure
- Gestire l'accesso utente alle risorse di Azure (incluse le autorizzazioni di concessione e delega)
- Assegnare il ruolo (proprietario)



Una volta eseguite tali autorizzazioni è stato necessario tenere a mente i dati fondamentali dell'istanza appena creata:

- **Nome dell'istanza**
- **Host Name** dell'istanza
- **ID applicazione** (che nelle esercitazioni verrà chiamato «**client**»)
- **ID directory** (che nelle esercitazioni sarà il «**tenant**»)

7.5 Prima Esercitazione: Scrivere il codice di un'App Client

L'utilità di questa esercitazione era legata alla possibilità di codificare un'app che potesse interagire con l'istanza. In seguito alla creazione dell'istanza, dunque, i passaggi da seguire sono stati:

- **Configurazione del progetto tramite il prompt dei comandi:** (creazione di una project directory, creazione di un progetto C# minimo e aggiungere le dependencies - libreria client e strumenti per l'autenticazione-)
- **Scrittura del codice del progetto**, che a sua volta si suddivide in 7 passaggi fondamentali:
 - I. **Apertura del file Program.cs** creato nella directory dopo aver eseguito il comando «dotnet new console», in cui verrà scritta la maggior parte del codice
 - II. **Autenticazione per il servizio Azure's Digital Twin** per accedere alle funzioni dell'SDK, per la quale sono stati necessari: tenant, client ID e

Host name dell'istanza (informazioni reperibili dall'Azure Portal o direttamente dall'Azure Cloud Shell)

- III. **Definizione di un modello in un file DTDL:** questo passaggio serve a fornire dei modelli definiti dall'utente per i gemelli digitali che saranno poi seguiti e usati per creare istanze. Il linguaggio in cui sono scritti è appunto DTDL (Digital Twin Definition Language).
- IV. **Rilevamento errori:** fondamentale per evitare l'arresto anomalo del programma. Per fare ciò si esegue il wrapping della chiamata client in un gestore try/catch



```
Microsoft Visual Studio Debug Console
Hello World!
Service client created - ready to go

Upload a model
Load model: 409:Service request failed.
Status: 409 (Conflict)

Content:
{"error":{"code":"ModelIdAlreadyExists","message":"Some of the model ids already exist: dtm1:com:contoso:SampleModel;1. Use Model_list API to view models that already exist. See the Swagger example (http://aka.ms/ModelListSwSmp1)."}}

Headers:
Strict-Transport-Security: REDACTED
Date: Mon, 02 Nov 2020 16:12:59 GMT
Content-Length: 233
Content-Type: application/json; charset=utf-8

dtm1:com:contoso:SampleModel
```

- V. **Creazione del Gemello Digitale:** una volta caricato il modello, i Gemelli Digitali altro non sono che delle istanze del modello stesso (entità all'interno dell'ambiente, come ad esempio dei sensori)
- VI. **Creazione di relazioni:** a questo punto è stato necessario connettere i gemelli digitali in un grafo, per poter rappresentare l'intero ambiente
- VII. **Elencazione delle relazioni:** è stato infine necessario aggiungere una stringa di codice per visualizzare l'elenco delle relazioni.

Come ultimo passaggio è stato necessario aggiungere una sezione di codice che eseguisse una **query** sull'istanza, la quale restituiva tutti i gemelli digitali dell'istanza stessa.

```
} catch (RequestFailedException rex) {
    Console.WriteLine($"Load model: {rex.Status}:{rex.Message}");
}
// Read a list of models back from the service
AsyncPageable<ModelData> modelDataList = client.GetModelsAsync();
await foreach (ModelData md in modelDataList)
{
    Console.WriteLine($"Type name: {md.DisplayName}: {md.Id}");
}
// Initialize twin data
BasicDigitalTwin twinData = new BasicDigitalTwin();
twinData.Metadata.ModelId = "dtm1:com:contoso:SampleModel;1";
twinData.CustomProperties.Add("data", $"Hello World!");

string prefix="sampleTwin-";
for(int i=0; i<3; i++) {
    try {
        twinData.Id = $"{prefix}{i}";
        await client.CreateDigitalTwinAsync($"{prefix}{i}", JsonSerializer.Serialize(twinData))
        Console.WriteLine($"Created twin: {prefix}{i}");
    } catch (RequestFailedException rex)
        Console.WriteLine($"Create twin error: {rex.Status}:{rex.Message}");
}
```

7.6 Seconda Esercitazione: Esplorare i Digital Twin di Azure con un'App Client di esempio

Questa esercitazione è stata utile per imparare ad eseguire azioni essenziali come: caricare modelli, creare e modificare gemelli digitali, creare relazioni, acquisire informazioni sulle API.

Come nella precedente esercitazione, tutto parte dalla configurazione dell'istanza, che ovviamente rimane la stessa, e dal raccoglimento del nome dell'istanza, host name, client ID e tenant ID.

- Il primo passaggio è stato quello di scaricare una cartella ZIP denominata *Azure_Digital_Twins_samples.zip* dove era presente un progetto di esempio scritto in C#.
- Dopo aver decompresso la cartella ed estratto i file è stato necessario **configurare il progetto**. Partendo da *AdtE2ESample.sln* aperto in Visual Studio, si è dovuto inserire tenant ID, client ID e instance Url nel file *serviceConfig.json* opportunamente rinominato, dopodichè è stato possibile configurare il file per copiarlo nella directory di output.

A questo punto è stato usato il progetto ed il codice di esempio per creare ed esplorare una soluzione di base di Gemelli Digitali di Azure.

- **Modellazione dell'ambiente fisico con DTDL:** in questa fase è stato necessario definire i modelli gemelli per l'ambiente. A questo scopo è stata effettuata la modifica del file *Room.json* (aggiornando il numero di versione, modificando la proprietà «*Humidity*» in «*Humidity Level*», aggiungendo una proprietà ed una relazione attraverso opportune stringhe di codice).

```

Room.json
Schema: <No Schema Selected>
1 {
2   "@id": "dtmi:example:Room;2",
3   "@type": "Interface",
4   "displayName": "Room",
5   "contents": [
6     {
7       "@type": "Property",
8       "name": "Temperature",
9       "schema": "double"
10    },
11    {
12      "@type": "Property",
13      "name": "HumidityLevel",
14      "schema": "double"
15    },
16    {
17      "@type": "Property",
18      "name": "RoomName",
19      "schema": "string"
20    },
21    {
22      "@type": "Relationship",
23      "name": "contains"
24    }
25  ],
26  "@context": "dtmi:dtdl:context;2"
27 }

```

- **Introduzione all'app da riga di comando:** a questo punto è stato necessario eseguire il progetto per effettuare l'autenticazione.
- **Caricamento di modelli:** una volta progettati, i modelli sono stati caricati nell'istanza, e, successivamente, sono state create istanze di gemelli che li usano.
- **Errors:** questo passaggio si occupava di gestire gli errori di servizio.
- **Creazione e modifica dei gemelli digitali:** in questo passaggio, usando il comando *CreateDigitalTwin*, è stato possibile creare i gemelli digitali in base alle definizioni dei modelli. L'output del comando indicava che i gemelli erano creati correttamente. Una volta creato il gemello è stato possibile anche modificarlo, cambiandone le proprietà. Quindi l'output indicava il corretto avvenimento della modifica.

```

C:\_digital-twins-samples-master\AdtSampleApp\SampleClientApp\bin\Debug\netcoreapp3.1\SampleClientApp.exe
Please enter a command or 'help'. Commands are not case sensitive
CreateDigitalTwin dtmi:example:Room;2 room0 RoomName string Room0 Temperature double 70 HumidityLevel double 30
Preparing...
Submitting...
Twin 'room0' created successfully!

Please enter a command or 'help'. Commands are not case sensitive
CreateDigitalTwin dtmi:example:Room;2 room1 RoomName string Room1 Temperature double 80 HumidityLevel double 60
Preparing...
Submitting...
Twin 'room1' created successfully!

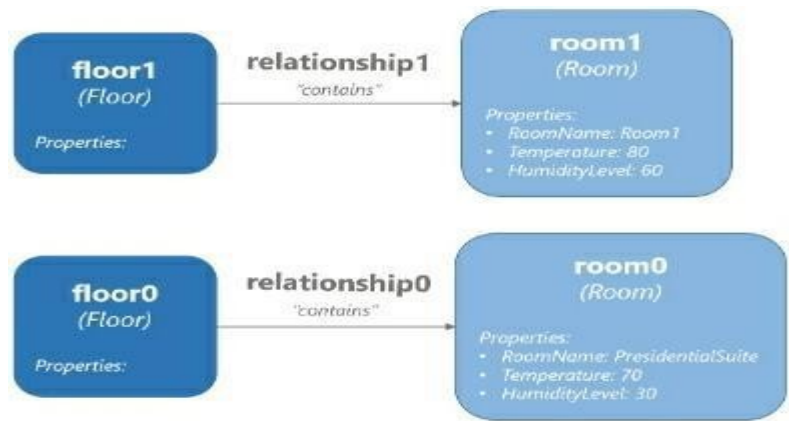
Please enter a command or 'help'. Commands are not case sensitive
CreateDigitalTwin dtmi:example:Floor;1 floor0
Preparing...
Submitting...
Twin 'floor0' created successfully!

Please enter a command or 'help'. Commands are not case sensitive
CreateDigitalTwin dtmi:example:Floor;1 floor1
Preparing...
Submitting...
Twin 'floor1' created successfully!

Please enter a command or 'help'. Commands are not case sensitive

```

- **Creazione di relazioni:** arrivati a questa fase è stato possibile creare relazioni tra i gemelli digitali stessi, connettendoli con dei grafi, attraverso il comando *CreateRelationship*.



- **Esecuzione query:** la possibilità di eseguire *query* sul *grafo* è fondamentale per trovare risposte alle domande sull'ambiente di programmazione.

```

C:\_digital-twins-samples-master\AdtSampleApp\SampleClientApp\bin\Debug\netcoreapp3.1\SampleClientApp.exe
Please enter a command or 'help'. Commands are not case sensitive
Query SELECT room FROM DIGITALTWINS floor JOIN room RELATED floor.contains where floor.$dtId = 'floor0' AND IS_OF_MODEL(room, 'dtmi:example:Room;2') AND room.Temperature > 75
Submitting query: SELECT room FROM DIGITALTWINS floor JOIN room RELATED floor.contains where floor.$dtId = 'floor0' AND IS_OF_MODEL(room, 'dtmi:example:Room;2') AND room.Temperature > 75 ...
End Query
Please enter a command or 'help'. Commands are not case sensitive

```

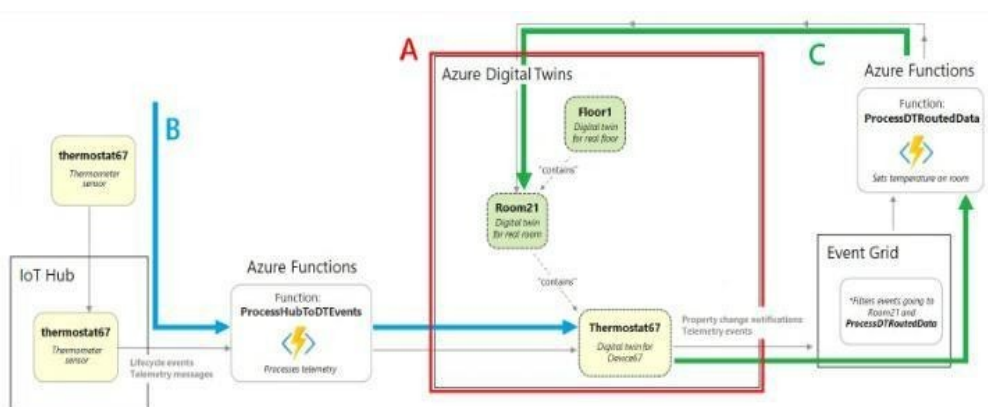
7.7 Terza Esercitazione: Creare una Soluzione End-to-End

Questa esercitazione è stata fondamentale per capire come creare una soluzione end-to-end basata su dati in tempo reale.

Come nell'esercitazione precedente è stato necessario raccogliere i dati dell'istanza e servirsi di un progetto di esempio scritto in C#, presente in una cartella ZIP da scaricare e decomprimere.

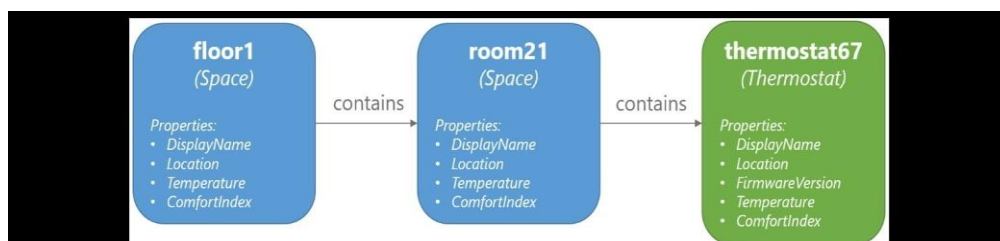
Inoltre, per questa esercitazione è stato fondamentale l'uso di *Azure Cloud Shell* usando in particolare *Power Shell* (una piattaforma progettata per la gestione e l'amministrazione delle risorse di Azure dalla riga di comando), per poter eseguire il codice.

- I. Inizialmente è stata **configurata una sessione di Cloud Shell**, inserendo una serie di comandi per visualizzare le estensioni già installate ed installarne altre se necessario.
- II. Dopodichè, analogamente all'esercitazione precedente, è stata effettuata la **configurazione del progetto di esempio**.
- III. Vi è stato quindi il passaggio alla rappresentazione dello **scenario edilizio** tramite Digital Twin.



- IV. Dopo aver definito il grafo dei gemelli si è utilizzata la soluzione *AdtSampleApp* per creare il componente dello scenario end to end.
- V. A questo punto è stato necessario **configurare un'app di funzioni** per elaborare i dati.

- VI. **Aggiornamento dipendenze:** questo passaggio è stato utile per assicurarsi di avere la versione più recente di tutti i pacchetti inclusi, ed eventualmente aggiornarli se necessario.



- VII. Dopodiché è stato possibile **pubblicare l'app**, utilizzando Azure come destinazione e creando un'istanza di funzioni.
- VIII. **Elaborazione di dati di telemetria simulati da un dispositivo hub IoT:** in questa esercitazione sono stati utilizzati i dati generati da un termostato simulato. In particolare, per configurare la connessione del dispositivo, è stato necessario:
- I. *Creare un hub IoT per gestire il dispositivo simulato*
 - II. *Connettere l'hub IoT alla funzione di Azure configurando una sottoscrizione di eventi*
 - III. *Registrare il dispositivo simulato nell'hub IoT*
 - IV. *Eseguire il dispositivo simulato e generare dati di telemetria raccolti tramite il servizio Griglia di Eventi*

```
C:\...digital-twins-samples-master\DeviceSimulator\DeviceSimulator\bin\Debug\DeviceSimulator.exe
Press CTRL+C to exit
4/15/2020 9:45:08 AM > Sending message: {"Temperature":67.886922544281433}
4/15/2020 9:45:14 AM > Sending message: {"Temperature":67.936410166759231}
4/15/2020 9:45:19 AM > Sending message: {"Temperature":69.683283747492027}
4/15/2020 9:45:24 AM > Sending message: {"Temperature":70.700456119934316}
Message received. Partition: 3 Data: '{"Temperature":70.700456119934316}'
4/15/2020 9:45:29 AM > Sending message: {"Temperature":68.984631882041981}
Message received. Partition: 3 Data: '{"Temperature":68.984631882041981}'
4/15/2020 9:45:35 AM > Sending message: {"Temperature":68.278117525055123}
Message received. Partition: 3 Data: '{"Temperature":68.278117525055123}'
```

- V. *Eseguire query su Gemelli Digitali di Azure per visualizzare dati in tempo reale.*


```
Please enter a command or 'help'. Commands are not case sensitive
ObserveProperties thermostat67 Temperature room21 Temperature
Starting observation...
Press any key to end observation
$dtId: thermostat67, Temperature: 69.08803278546036
$dtId: room21, Temperature: 69.08803278546036
$dtId: thermostat67, Temperature: 70.76785118680813
$dtId: room21, Temperature: 70.76785118680813
$dtId: thermostat67, Temperature: 70.88801443944126
$dtId: room21, Temperature: 70.88801443944126
$dtId: thermostat67, Temperature: 69.71395549490767
$dtId: room21, Temperature: 69.71395549490767
```

8. Digital Twin e Cloud Computing: Compatibilità e Sviluppi Futuri

Nel seguente capitolo verrà offerta un'accurata panoramica di quelle che sono le caratteristiche e potenzialità dell'architettura Digital Twin applicata a servizi Cloud, muovendosi dall'Ingegneria delle Infrastrutture, fino ai paradigmi C2PS (Cloud-Based Cyber-Physical Systems).

8.1 Servizi Cloud di Digital Twin per l'Ingegneria delle Infrastrutture

I Digital Twin consentono di visualizzare le risorse dell'infrastruttura per l'intero ciclo di vita, tenere traccia delle modifiche ed eseguire analisi per ottimizzare le prestazioni.

I Digital Twin infrastrutturali combinano dunque dati tecnici, realistici e dati IoT per una visione olistica dell'infrastruttura sotterranea o di superficie.

La visualizzazione immersiva, unita ad analisi accurate, consentono di ottenere una comprensione più approfondita delle risorse infrastrutturali, in modo da prendere decisioni più vicine alle informazioni registrate ed ottenere risultati migliori.

8.1.1 Un esempio di piattaforma per le infrastrutture: Bentley

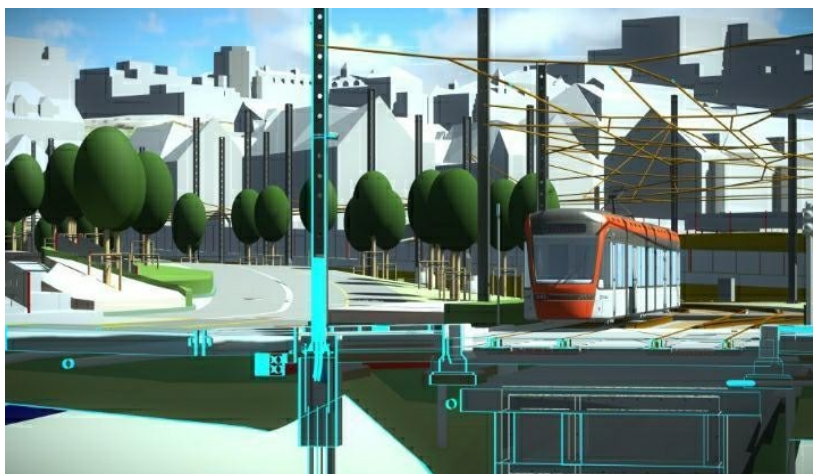
I moderni progetti per infrastrutture richiedono soluzioni integrate per soddisfare le esigenze dei team pluridisciplinari, attivamente impegnati nelle fasi di pianificazione, progettazione, costruzione e gestione operativa. Bentley offre una gamma completa di software di fama mondiale, concepiti per soddisfare i requisiti unici dei professionisti delle infrastrutture.

Ogni soluzione si basa su applicazioni software incluse nell'ampio portafoglio offerto da Bentley. I playbook della soluzione e le playlist basate sul tipo di professione sono fondamentali per trovare i software ideali per i vari progetti.

Queste soluzioni si basano su una piattaforma comune che consente di collaborare e condividere dati più efficacemente tra tutti i partecipanti al progetto.

Una delle principali infrastrutture realizzate attraverso l'utilizzo dei software Bentley è la **Ferrovia Leggera di Bergen (Norvegia)**. Di seguito ne vengono riportate le caratteristiche principali.

- **Progetto.** Bergen, città in espansione della Norvegia e punto di accesso ai fiordi, sta ampliando il proprio sistema di ferrovia leggera di Bybanen per offrire un'ottima soluzione di trasporto pubblico in grado di semplificare lo sviluppo urbano. La nuova linea ferroviaria integrata da 6,2 miliardi di NOK, lunga 9 chilometri, offre 8 nuove fermate, inclusi un punto di sosta e un deposito sotterraneo, oltre a due nuove gallerie. Sweco Nederland (Sweco NL) ha progettato una ferrovia che si collega all'infrastruttura urbana esistente. Trovandosi di fronte a terreno montuoso, ingombro limitato e sfide di coordinamento e integrazione, Sweco NL ha richiesto una soluzione digitale aperta per semplificare i flussi di lavoro e soddisfare il programma accelerato.



- **Soluzione.** Il team di progetto ha creato un ambiente interconnesso di dati aperto per consentire la condivisione e la gestione delle informazioni tra 18 diverse discipline di progettazione dislocate in 5 Paesi. Il team di progetto ha riconosciuto la vasta scala del progetto e le complessità date da

integrazione di dati, allineamento, gestione dei cambiamenti, collaborazione e comunicazione richieste dal nuovo approccio digitale. Il team del progetto ha sperimentato i servizi iTwin di Bentley per creare e visualizzare un digital twin 4D della ferrovia leggera di Bergen.

- **Risultato.** Sweco NL ha sperimentato la soluzione aperta digital twin di Bentley per consentire una progettazione corretta al primo tentativo. Questa operazione ha consentito di ridurre i tempi del progetto del 15% e i costi associati a potenziali errori di costruzione del 25%. L'integrazione di dati provenienti da fonti diverse in un ambiente Digital Twin ha semplificato la collaborazione, con un risparmio stimato di 300 ore alla settimana. Sviluppando comandi per automatizzare e standardizzare la progettazione, il team ha risparmiato circa 500 ore di impiego delle risorse, o una stima di 500.000 NOK. L'implementazione di un ambiente interconnesso di dati ha consentito di condividere e coordinare oltre 60.000 documenti e oltre 450 modelli. L'utilizzo delle applicazioni di modellazione digitale di Bentley in un ambiente interconnesso di dati ha fornito dati affidabili e ha facilitato l'integrazione perfetta di più discipline e fornitori in diverse sedi, consentendo una consegna tempestiva dei progetti.
- **Software.** In qualità di primo utilizzatore di iTwin Design Review di Bentley, Sweco NL ha integrato efficacemente i dati provenienti da più origini e ottimizzato la gestione, il coordinamento e la comunicazione delle modifiche in 24 diversi contratti attraverso la visualizzazione 3D e 4D del suo Digital Twin. OpenRail Designer ha risparmiato tempo creando oltre 30 diversi modelli intelligenti per allineamenti, piani e profili

delle tracce. Il team ha sfruttato gli allineamenti delle tracce in OpenBuildings Designer, creando comandi che hanno consentito di automatizzare il posizionamento di apparecchiature su tutta la linea, incluse traversine e scatole di drenaggio. Lavorare nell'ambiente interconnesso di dati basato su ProjectWise ha fornito un accesso tempestivo a dati accurati e affidabili in un team di progetto diversificato e distribuito.[30]

8.2 Digital Enterprise: Fusione di Digital Twin ed Edge computing

Una *Digital Enterprise*, fondamentalmente, è un'azienda nella quale l'*IT (Information Technology)* assume un ruolo determinante nella definizione della strategia di business. Diventare “digital” è ormai imperativo anche per l'industria manifatturiera, sia per far fronte alla competitività globale, sia per rispondere efficacemente a situazioni contingenti di crisi.

Per aumentare la propria competitività nel mercato globale, la digitalizzazione rappresenta oggi una imprescindibile necessità anche per le aziende manifatturiere. La raccolta dei dati lungo tutta la catena del valore, e la creazione della Digital Enterprise, richiede, secondo Siemens, un approccio olistico che passa attraverso la creazione del Digital twin, l'adozione di piattaforme in Cloud, l'implementazione di un vero e proprio ecosistema di partner e clienti e l'impiego opportuno di tecnologie di Edge Computing, che nel prossimo futuro verranno potenziate dall'introduzione del 5G.

Pensando, ad esempio, a cosa può significare in termini di continuità produttiva, che un programmatore disponga di un simulatore di macchina utensile e possa non solo operare da remoto, ma anche testare quanto programmato, senza dover fermare la produzione si comprende quanto la digitalizzazione industriale risulti ormai fondamentale.

Il concetto di Digital Enterprise va oltre il reparto di produzione: la trasformazione digitale coinvolge infatti tanto l'intera catena del valore quanto l'organizzazione dei

processi interni, il modo in cui si sviluppa un prodotto e il rapporto con tutti gli attori di filiera.

Le aziende manifatturiere si trovano oggi di fronte a numerose sfide: dalla necessità di ridurre il time-to-market, a quella di aumentare la flessibilità, per rendere disponibile una sempre maggiore personalizzazione dei prodotti; dal miglioramento della qualità, ad una maggiore attenzione per la sostenibilità ambientale, fino alla protezione della proprietà intellettuale.

La digitalizzazione, utilizzando i dati dell'Internet of Things (IoT), generati da miliardi di dispositivi intelligenti connessi in rete, può oggi consentire di dare una risposta a tutte queste esigenze. Saper raccogliere, organizzare ed analizzare la gran mole di dati disponibili permette infatti di sviluppare nuovi modelli di business, creando, attraverso questi flussi di dati, connessioni dirette dall'ambiente di progettazione a tutti i processi di produzione e viceversa, con un meccanismo di feedback che permette di identificare rapidamente ogni nuovo potenziale di incremento o miglioramento produttivo. Le cifre, in termini di risultato conseguente, parlano chiaro: in uno stabilimento tedesco di motori elettrici, questo tipo di implementazione ha permesso di ridurre del 20% lo sforzo di progettazione e documentazione dei componenti meccanici, e di ridurre del 60% il tempo di messa in produzione di nuovi macchinari.

Un altro esempio è quello di Bausch-Ströbel, azienda costruttrice di macchinari per l'industria farmaceutica che si trova quindi a dover rispettare elevatissimi requisiti di sicurezza, affidabilità e qualità per soddisfare i quali, si avvale oggi di ambienti di simulazione e test Digital Twins che, integrando anche dati provenienti delle macchine in produzione presso i clienti, sono di supporto nella rapida correzione dei problemi riscontrati. Bausch-Ströbel stima che, la possibilità di disporre di un gemello digitale di ogni macchina prodotta, oltre a consentire l'erogazione di un servizio clienti evoluto, che rappresenta un vero e proprio vantaggio competitivo, porterà ad un incremento, in termini di efficienza, di almeno il 30%.

Analizzando, tuttavia, il processo di "smartification" nelle PMI, si evince che la fabbrica media italiana è ancora "poco smart". Ci sono molti progetti pilota volti a rendere Industria4.0 una parte dell'azienda, ma serve un cambio culturale e

organizzativo, ad esempio per fare prototipazione in digitale o magari trasferirla a terze parti fisicamente anche lontane. Ancora troppe richieste di iper-ammortamento si limitano ai requisiti minimi di implementazione, trascurando il vero valore dell'Industria 4.0, cioè la maggiore efficienza dell'impianto data da un hardware che sia ben gestito a livello software.

Il valore aggiunto di una fabbrica "smart" è anche e soprattutto quello di poter trasformare in modo "smart" tutta una serie di attività che spesso vengono svolte in loco. Ad esempio, per un programmatore, poter disporre di un simulatore per la macchina utensile consente di fare il proprio lavoro a casa, da remoto, senza essere fisicamente in azienda e fermare la produzione per testare quanto programmato.

Ma quali sono stati fino ad ora gli impedimenti alla digitalizzazione?

Nella sostanza mancano tempo e risorse, durante la normale attività produttiva le aziende non sono molto disponibili a trovare il tempo per introdurre innovazioni che diminuirebbero il rendimento nel periodo iniziale. Spesso ci si nasconde dietro alla scusa di "non essere pronti" o di "non avere l'organizzazione giusta", trascurando il fatto che, per risultare efficace, l'innovazione tecnologica spesso deve essere come un'onda d'urto per l'intera azienda, "processi nuovi hanno bisogno di strumenti nuovi". Se non si introducono tecnologie nuove è difficilissimo cambiare i processi.

Per consentire alle aziende di ottenere il massimo dalla digitalizzazione, Siemens ha sviluppato, in particolare, Digital Enterprise - un portfolio omnicomprensivo di software e soluzioni di automazione.

Come già detto, grazie a tecnologie come l'IoT, la Big Data Analytics e il Cloud (o *Edge*) Computing, raccogliere, organizzare e analizzare la gran mole di dati disponibili permette di sviluppare nuovi modelli di business, creando connessioni dirette che vanno dall'ambiente di progettazione a tutti i processi di produzione e viceversa, e l'instaurarsi di un meccanismo di feedback, in logica data-driven, volto costantemente all'ottimizzazione.

La Digital Enterprise suite si integra in tutte le fasi di processo produttivo creando, per ciascuna di queste fasi, un Gemello Digitale (Digital Twin) virtualmente simile al

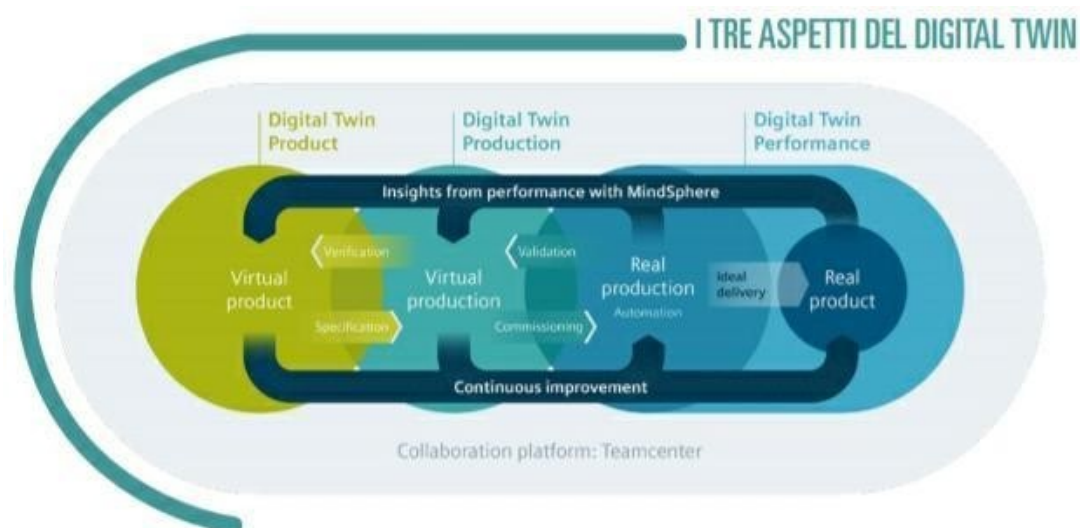
processo fisico. Questa capacità di creare Gemelli Digitali per ogni fase permette alle aziende di iniziare a digitalizzare partendo da qualunque stadio del proprio processo produttivo, dalla progettazione al service, della value chain, e di estendere poi gradualmente, l'implementazione di queste tecnologie, secondo le proprie necessità.

Nello specifico, aziende come Siemens sono in grado di fornire il proprio supporto alla digitalizzazione della fabbrica lungo tutto il processo produttivo, identificato da cinque fasi principali:

- Fase di concept: il Mechatronics Concept Designer integrato nel CAD consente di valutare la produttività di una macchina fin dall'inizio della sua concezione, a livello meccanico, elettronico e di automazione, potendo valutare come influiscono sulle singole parti le modifiche apportate
- Fase di ingegnerizzazione della macchina: controller, periferiche, azionamenti, pannelli operatori, funzioni di sicurezza e controllo del movimento, consumo energetico, possono essere gestiti attraverso un unico framework ingegneristico
- Fase di messa in opera virtuale: la simulazione e la messa in servizio della macchina in ambiente virtuale permette di evitare eventuali problemi che possono presentarsi nell'ambiente di produzione reale, grazie alla possibilità di valutare in virtuale, le interazioni con gli altri componenti della linea di produzione
- Fase operativa: il sistema di automazione integrata supporta, con standard universali e interfacce uniformi, l'ottimizzazione continua della produttività di interi stabilimenti e impianti in ogni parte del mondo. Questo tipo di gestione globale è volto anche alla riduzione dei rischi di cyber attacco
- Fase di servizio: i dati sono prodotti e raccolti lungo l'intero ciclo di vita del macchinario e del prodotto, consentendo di apportare miglioramenti, identificare azioni di manutenzione preventiva e proteggere da rischi in ambito cybersecurity.

La Digital Enterprise permette alle aziende di ogni settore di adattarsi ai repentini cambiamenti del nostro tempo, integrando e digitalizzando i propri processi, dalla

progettazione di prodotti, alla pianificazione della produzione, dalla progettazione di processi e impianti, all'ingegnerizzazione della produzione e della messa in servizio. È inoltre possibile includere anche automazione, produzione, funzionamento, servizi, fornitori e logistica.



Cuore di una Digital Enterprise è, dunque, il Digital Twin, sintetizzato in un modello virtuale olistico della catena del valore: dalla prototipazione veloce ed economica, fino alla manutenzione predittiva, il Digital Twin consente di simulare la singola macchina come l'intero impianto produttivo e il suo utilizzo si traduce in una maggiore flessibilità, in tempi di commercializzazione più brevi e in una maggiore efficienza, grazie anche alla riduzione dei fermi macchina non programmati.

Nell'idea del Digital Twin, il sistema reale viene dotato di una serie di sensori in grado di valutare determinati parametri durante il funzionamento del sistema stesso. Dopodiché il modello numerico viene costruito per riuscire a simulare quegli stessi parametri; una volta ottenuta una buona coerenza tra la stima numerica e la realtà, è possibile far "lavorare" i due sistemi in coppia. In questo modo si ha anche la possibilità di rendere sempre più accurato il modello numerico rispetto alla realtà, avendo dei parametri di riferimento che devono essere rispettati.

Vanno infine menzionati alcuni altri degli ambiti più promettenti per l'utilizzo del Digital Twin:

- Eliminazione dei tempi di inattività non pianificati: questi tempi di fermo influiscono su tutto il processo di produzione, con impatti negativi su produttività, efficienza e sul servizio clienti. I dati raccolti grazie al Gemello Digitale consentono di adottare in modo proattivo misure preventive e predittive per evitare danni ad un prodotto, processo o sistema
- Riduzione dei costi di manutenzione, che è possibile pianificare in via preventiva
- Regolamentazione dei rapporti fra i diversi reparti in ottica di condivisione e collaborazione, abilitando logiche di “azienda estesa” o “supply chain collaborativa” per offrire massima trasparenza in fase di progettazione e realizzazione. Un’azienda può consegnare il suo modello ad un’altra, che lo integrerà con il proprio fino ad arrivare, lungo la supply chain, all’azienda che dovrà assemblare tutti i componenti e potrà simulare questa operazione utilizzando tutti i diversi modelli ricevuti.

Di seguito si riporta un esempio dei dati generati dalle macchine a controllo numerico (CNC) a differente velocità di ciclo.

Source of process data	Data cycle rate	Volume of data/sec
Machine assemblies, peripherals (→ PLC cycle time)	~ 0.1 - 10 sec	→ ~ 5 KB
Tool path guidance (→ interpolator cycle)	~ 1 - 10 ms	→ ~ 0.1 MB
Machine axis control (→ position control cycle)	~ 1 - 2 ms	→ ~ 1 - 2 MB

La simulazione numerica è dunque uno strumento molto potente non solo perché è in grado di stimare la condizione attuale del sistema sotto analisi, ma soprattutto perché risulta essere in grado di prevedere il comportamento futuro del sistema stesso.

Il sistema lavora sotto determinate condizioni, e i diversi parametri di funzionamento, nonché la risposta del sistema, vengono misurati e trasmessi al computer centrale. Questi dati vengono letti e inseriti nel modello virtuale, viene avviata una simulazione numerica stimando il comportamento completo del sistema. Da questo punto, rilevate

le eventuali criticità sorte sotto queste determinate condizioni, è possibile prevedere cosa succederà e anche in quanto tempo potrebbe accadere qualcosa.

Così facendo è possibile raggiungere un duplice obiettivo: il primo consiste nel poter introdurre nel sistema di gestione aziendale un programma di intervento sul prodotto basato sul concetto di manutenzione preventiva, ovvero capace di stimare i guasti prima che accadano. La manutenzione predittiva è stata riconosciuta come ottimo

strumento per limitare sia il danno che il costo subito dall'azienda a causa di un guasto. Il secondo, ma non meno importante, obiettivo consiste nella possibilità per i progettisti di comprendere a fondo gli elementi critici del sistema, guidando così la progettazione dei futuri modelli verso un miglioramento continuo. Entrambi gli obiettivi hanno il vantaggio di generare un valore aggiunto per l'azienda.

Vi sono tuttavia ambiti operativi nei quali anche pochi millisecondi di latenza sono inaccettabili: è ad esempio il caso delle transazioni finanziarie o della smart city, con i suoi sensori, i droni e i veicoli a guida autonoma. Questo vale sempre più anche in ambito industriale: nell'Industrial IoT (IIoT), infatti, è spesso vitale accelerare al massimo il passaggio azione-retroazione tra oggetti e macchinari che interagiscono, ad esempio nella generazione di allarmi o nell'innescio di azioni istantanee di manutenzione predittiva degli stessi oggetti IoT.

In tutti questi casi, entra in gioco l'Edge Computing, tecnologia che consente l'elaborazione dei dati, in tempo reale, laddove essi vengono acquisiti, abilitando nuovi scenari di video processing, real-time analytics e automation e permettendo così di ottimizzare il ciclo produttivo.

Secondo il rapporto "*Edge Computing Market by Application – Global Forecast to 2027*", pubblicato da *Meticulous Research*, il mercato dell'Edge Computing crescerà con un tasso del 39,4%, arrivando a valere 28,07 miliardi di dollari entro il 2027. L'Edge Computing è incluso da Gartner fra i dieci trend che saranno strategici nel 2022 ed è visto come "un fattore dominante praticamente per ogni settore e use-case man mano che l'Edge verrà potenziato con nuove e più sofisticate risorse di calcolo e di archiviazione".

Per i dispositivi nativamente IIoT, come una fotocamera smart, l'Edge è nel processore all'interno della fotocamera, mentre, per le apparecchiature non connesse, l'Edge si trova all'interno del dispositivo *Smart Edge* collegato all'apparecchiatura e preposto all'acquisizione e all'elaborazione dei dati: in questo modo l'Edge viene portato anche ai macchinari legacy delle officine industriali.

Di seguito verranno riportati alcuni tra i principali **vantaggi** relativi all'utilizzo dell'Edge Computing.

Oltre a ridurre la latenza, l'Edge Computing offre anche vantaggi in termini di diminuzione dei costi e della necessità di banda verso il cloud: è infatti conveniente elaborare i dati in locale e poi spostare in cloud solo la quantità di dati rilevanti per applicazioni di advance analytics o per il backup. In questo senso, Edge Computing e Cloud sono due tecnologie complementari ed entrambe concorrono a quella "data continuity" che è abilitatore fondamentale dell'Industria 4.0.

Infine, occorre menzionare anche il vantaggio che l'Edge Computing offre in termini di gestione delle lacune di sicurezza negli ecosistemi IT, in cui l'introduzione dei dispositivi IIoT genera multipli punti di accesso vulnerabili. L'Edge Computing riduce queste vulnerabilità, perché, grazie ad esso, ogni dispositivo dell'IIoT funziona in modo indipendente l'uno dall'altro (si parla a tal proposito di *micro-data center*, in contrasto con i datacenter centralizzati) e difficilmente accade che un attacco interessi tutti i nodi della rete. Inoltre, sempre con riguardo alla sicurezza, la manipolazione dei dati sensibili può avvenire a livello locale, riducendo notevolmente la possibilità di fughe di informazioni importanti.

Tuttavia, anche il cloud presenta dei problemi: dagli elevati costi di banda legati ai volumi massivi di dati, ai vincoli regolatori fino ai problemi di latenza, cruciali soprattutto in caso di analisi in tempo reale, che secondo una ricerca IDC cresceranno del 30% entro il 2022.

Gartner stima che gli oggetti connessi a fine 2020 saranno più di 20 miliardi, con conseguente generazioni di enormi moli di dati: impensabile quindi mandarli "avanti e indietro" nel cloud, meglio elaborarli in loco, subito e inviare successivamente in cloud solo le informazioni che ha senso spostare, risparmiando sui costi di trasporto e

ovviando a tutte quelle situazioni in cui non è possibile disporre di una connettività ultraveloce verso il cloud, come le piattaforme petrolifere, le navi da crociera o i mezzi di trasporto che attraversino aree a bassa copertura

La via più efficace è allora data dalla combinazione di data processing direttamente in ambito produttivo per quei dati che richiedano risposte in tempo reale e di data processing in cloud per quei dati per i quali questa modalità possibile ed anzi conveniente.

In parole semplici, Edge Computing significa proprio decentralizzare l'analisi dei dati laddove vengono acquisiti, cioè ai "bordi" della rete, del tutto o limitatamente ad un primo processamento, inviando successivamente i dati in cloud, ad esempio per allenare algoritmi di intelligenza artificiale. I risultati di queste analisi possono poi essere nuovamente scaricati a livello di Edge per fornire parametri di ottimizzazione all'intera infrastruttura. [31]

8.2.1 MINDSPHERE: Una Piattaforma ed un Ecosistema per Abilitare la Digital Enterprise

La soluzione *MindSphere* di Siemens, che ad oggi conta più di un milione di dispositivi connessi, è un sistema "cloud-based open IoT" che permette di raccogliere i dati relativi alle prestazioni degli impianti produttivi e dei prodotti, restituendoli in modo retroattivo a tutta la catena del valore.

Il confronto continuo fra i dati reali, associati a modelli statistici, e il modello analitico del Digital Twin, consente una continua ottimizzazione dell'intera catena del valore.

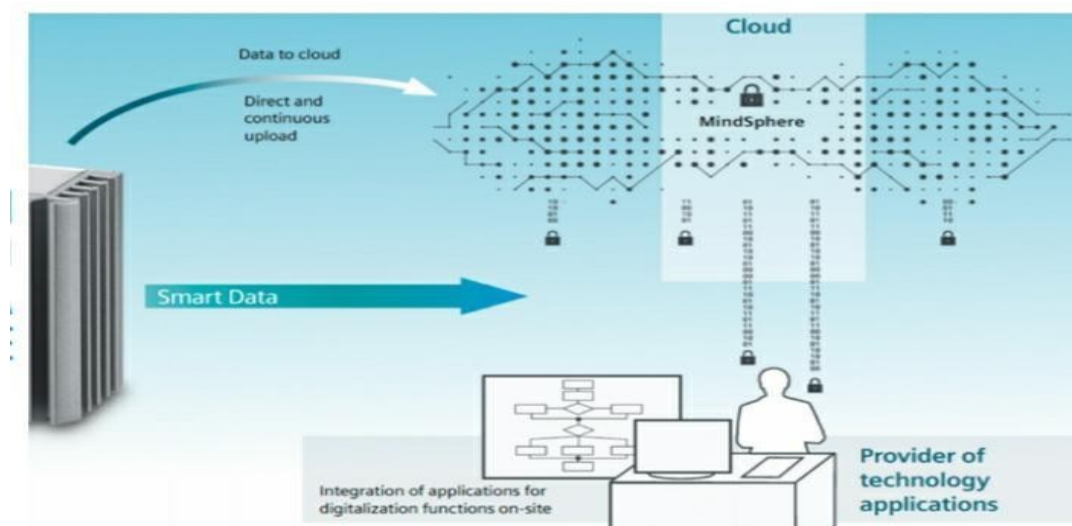
MindSphere è dunque un sistema operativo per l'Internet of Things (IoT), costruito come soluzione end-to-end industriale scalabile e sicura, in grado di abilitare la connettività di prodotti, impianti, sistemi e macchine e di trasformare i dati disponibili in risultati tangibili di produttività del business.

MindSphere è anche una soluzione di Platform-as-a-service (PaaS), aperta e con accessibilità nativa al cloud, in grado di collegare in modo sicuro dispositivi, componenti industriali e database di archiviazione dati, offrendo inoltre capacità avanzate di Data Analytics ed elevata scalabilità globale.

Essa abilita anche lo sviluppo di applicazioni customizzate in un contesto di sicurezza allineato ai principi delle norme di settore (IEC 62443, ISO/IEC 27001) e alle normative nazionali per la gestione dei dati negli ambienti cloud (GDPR).

La digitalizzazione e la trasformazione dei dati IoT in risultati reali di business sono gli obiettivi principali della piattaforma: per integrare in modo fluido i dati operativi all'interno della catena del valore, vengono connessi i Digital Twins di prestazioni, produzione e prodotto.

Di seguito viene riportato uno schema di funzionamento della piattaforma in esame:



Questo aiuta non solo a dare impulso all'efficienza operativa, ma anche a confrontare la simulazione e i risultati dei test con le osservazioni del mondo reale: i clienti sono così in grado di ottimizzare l'intera catena del valore, dalla progettazione, alla produzione, fino alle prestazioni.

Come parte dell'offerta MindSphere, Siemens propone:

- MindAccess IoT Value Plan, per la connessione plug-an-play a MindSphere di asset Siemens e praticamente di qualunque altro produttore. L'API MindConnect permette la programmazione di agenti di connettività specifici per il caso d'uso del cliente, interagendo con le API standardizzate MindSphere ma offre anche una modalità di connessione di sistemi database, inclusi database storici, di pianificazione delle risorse aziendali (ERP), di sistemi di

esecuzione della produzione (MES) e di sistemi di acquisizione dati e controlli di supervisione (SCADA). Usando strumenti di configurazione grafica, l'utente può integrare in modo flessibile in MindSphere i sistemi aziendali, siano essi in cloud oppure on-premise.

- MindAccess DevOps Plan, un ambiente completo per lo sviluppo delle applicazioni e la gestione del loro ciclo di vita, incluso il deploying delle applicazioni negli ambienti produttivi. Con API altamente efficienti e standard aperti, MindSphere permette infatti agli sviluppatori di costruire applicazioni, in collaborazione con Siemens e AWS o Azure, che si adattano a un'ampia gamma di requisiti di business e per la connessione e lo scambio di dati con i più diversi prodotti, con sforzi minimi. Inoltre, queste applicazioni possono essere distribuite e offerte all'intera community di MindSphere.
- MindApps, applicazioni industriali altamente efficienti e servizi digitali per la trasparenza sugli asset e per ottenere insight analitici.

MindSphere fornisce anche servizi di formazione per gli sviluppatori e gli utenti delle aziende con la MindSphere Academy, mentre MindSphere Professional Services offre supporto in tutto il ciclo di vita della soluzione IoT, dallo sviluppo delle nuove applicazioni all'implementazione della soluzione completa IoT MindSphere.

L'ecosistema globale composto dai partner di prim'ordine di MindSphere, basato su principi di collaboration e condivisione del valore, costituisce un punto di forza nell'offerta dei servizi e delle soluzioni IoT, contribuendo sia alla soddisfazione delle necessità dei clienti che alla possibilità, per i partner, di partecipare alla trasformazione delle aziende, a prescindere dal loro settore o dalle dimensioni.

Ogni azienda può giocare un ruolo rilevante nell'ecosistema MindSphere contribuendo allo sviluppo, realizzazione e vendita di applicazioni, dispositivi connessi, macchine "MindSphere ready" o servizi correlati.

Nel 2018, un gruppo di aziende leaders mondiali ha fondato l'associazione MindSphere World (www.mindsphereworld.it) per creare cultura sull'utilizzo del cloud nell'industria, guidare l'evoluzione dell'ecosistema MindSphere, sperimentare

nuove tecnologie IoT e Cloud e regolamentare processi come la garanzia delle proprietà dei propri dati o la condivisione delle informazioni.

8.2.2 Alcuni casi concreti

Vengono infine presentati tre casi concreti, fra i tantissimi disponibili, di digitalizzazione della fabbrica in ottica di smart factory:

- **Caso 1: Costruzione di una nuova ed efficiente linea di produzione nello stabilimento Siemens di Amberg (Germania).** Lo stabilimento di Amberg produce i controllori *SIMATIC* dal 1989. Questo impianto ha dovuto aumentare la sua estensione per poter inserire delle nuove e particolarmente efficienti linee di produzione, oltre a migliorare le esistenti, al fine di aumentare la produttività. Il primo passo del progetto è stata un'analisi completa dell'attuale situazione rispetto ai requisiti dell'impianto. Il Digital Twin della nuova linea è stato utilizzato per simulare il processo di produzione e identificare le possibili aree critiche, al fine di per il raggiungere degli obiettivi prefissati. Analizzando in MindSphere i dati provenienti dalle macchine è stato possibile sviluppare un algoritmo per le linee esistenti, in modo da definire la programmazione delle manutenzioni ed evitare fermi inattesi. Per aumentare il volume della produzione è stato inoltre sviluppato un modello predittivo in grado di ridurre il numero di schede elettroniche (PCB) da sottoporre a lunghi test della qualità.
- **Caso 2: Pama.** In Pama, azienda trentina leader mondiale nella produzione di alesatrici e fresatrici, la combinazione integrata di hardware e software permette di ridurre fino al 30% i tempi di sviluppo delle macchine, con un conseguente vantaggio competitivo in termini di produttività. Per ottenere questi risultati, Pama si avvale del supporto di un partner come Siemens, che fornisce non solo macchine a controllo numerico ad altissima precisione, ma anche software specifici, fra i quali un ruolo cruciale è svolto dal *Virtual Commissioning*. Esso consente di simulare i comportamenti di una macchina in un ambiente virtuale prima che la stessa venga realizzata, accorciando il time-to-market, grazie alla possibilità di svolgere in parallelo alcune fasi

ingegneristiche, come la progettazione meccanica, elettronica e l'automazione, e permettendo di identificare gli errori durante esse, quando porvi rimedio può costare un millesimo della riparazione dello stesso errore in fase di produzione. Inoltre, quale utilizzatore, a tendere, della piattaforma MindSphere e già membro di MindSphere World Italia, Pama ha l'obiettivo di rendere disponibili alle altre aziende proprie applicazioni compatibili all'interno dell'ecosistema MindSphere, trasformandosi sempre più in una software company in grado di fornire sia servizi specifici alla clientela industriale che macchine nativamente integrabili nella rete informatica aziendale.

- **Caso 3: Sistemi di difesa di Leonardo.** Nell'officina meccanica spezzina della divisione *Sistemi di Difesa di Leonardo*, che ospita un centinaio di macchine a controllo numerico, si è avviato un progetto pilota con l'obiettivo di avere un set di informazioni oggettive (comprendenti anche i dati sulle micro-fermate e quelli sulla conduzione da parte degli operatori) per individuare le criticità sulle quali intervenire prontamente, evitando o comprimendo fermi macchina e anticipando alcune operazioni, mediante un piano di manutenzione preventiva. Le macchine sono così state collegate alla piattaforma Sinumerik di Siemens e monitorate da remoto. Non vi è stata necessità di customizzare il software, ma solo di impostare opportuni parametri di configurazione: fondamentale la sinergia fra la profonda conoscenza delle macchine del personale di Leonardo e quella dei sistemi di automazione da parte di Siemens. La piattaforma, che usa protocolli di trasmissione crittografati, è in grado di acquisire in modo automatico tutti i dati possibili, e di dedurre quelli non direttamente misurabili: all'operatore è richiesto solo di inserire, in modo facilitato, pochi dati, come quelli legati al materiale di lavorazione o causali di fermi macchina esterni. Il collegamento con le funzioni base di Sinumerik è possibile anche per macchine con più di 10 anni di vita e per quelle più recenti si sono attivate funzioni evolute come la tracciatura e la gestione dell'utilizzo degli utensili.

Da quanto detto dunque, si evince che ottimizzare la produzione, ridurre i fermi improvvisi, pianificare al meglio gli interventi manutentivi, ridurre i costi di prototipazione, migliorare la qualità dei prodotti e personalizzare le loro caratteristiche, gestire da remoto le attività qualora questo risulti più conveniente o persino indispensabile, in situazione di emergenza, sono alcuni dei motivi sottesi alla spinta verso la digitalizzazione dell'industria manifatturiera.

Il paradigma dell'Industria 4.0 rappresenta oggi una sfida imprescindibile da cogliere per restare competitivi sul mercato, accogliendo l'innovazione tecnologica di realtà industriali affermate, che già da tempo operano in tal senso, come Siemens, e creando un ecosistema virtuoso con i partner di filiera. [31]

8.3 Modellazione di Cloud-Based Digital Twins per la Smart Manufacturing

Generalmente la modellazione di un Digital Twin, come più volte riportato in precedenza, si serve di un *information model* per rappresentare un sistema fisico. L'integrazione del Digital Twin in sistemi produttivi attinenti alla Cyber-Physical Cloud Manufacturing (CPCM) potrebbe essere un'ottima soluzione per quello che riguarda la grande richiesta di risparmio energetico e riduzione dei cosiddetti overhead costs.

Di seguito verrà dunque riportato un breve studio riguardante alcuni possibili metodi per la creazione di Cloud-Based Digital Twins (CBDT), adattabili a piattaforme CPCM, con l'obiettivo di ridurre il quantitativo di risorse computazionali nei cosiddetti *informating processing centers* per garantire un'efficiente interazione uomo-macchina.

A tal fine verranno introdotti *knowledge resource centers (KRC)* progettati su server cloud per big data applications.

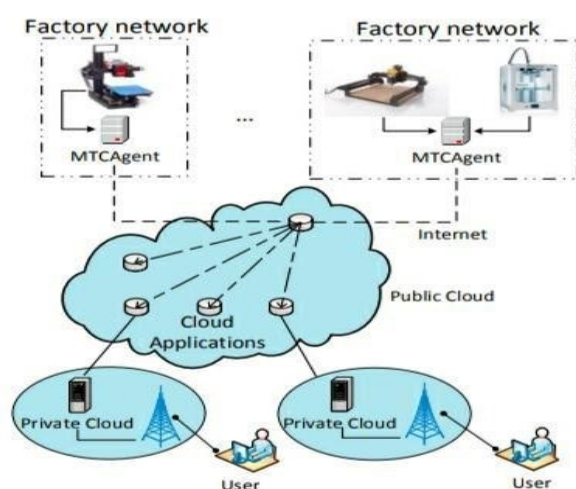
Inoltre, l'esempio che verrà presentato di seguito è stato eseguito con l'aiuto della piattaforma MTConnect, dove vengono condivise risorse basate sull'integrazione di protocolli. In particolare, in questo caso il protocollo MTConnect è stato riadattato

sulla base delle aziende manifatturiere per far fronte alle differenti metodologie di acquisizione dei dati, in quanto qui essi vengono direttamente comunicati ai sistemi CPCM attraverso l'utilizzo di sensori. Questo riduce sensibilmente la quantità di dati inutili acquisita e minimizza il *delay time* nella comunicazione degli stessi.

8.3.1 CPCM System Concept e MTConnect

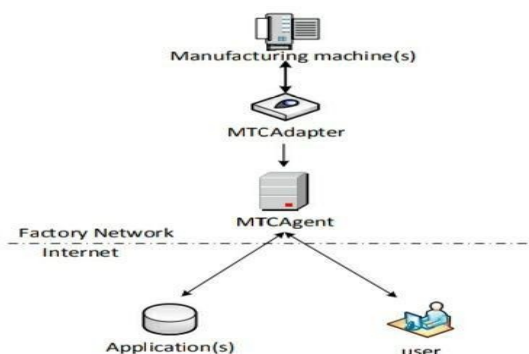
Il monitoraggio e l'attività di diagnosi delle macchine manifatturiere è una delle principali sfide dell'industria moderna. Lo scopo dell'applicazione dei sistemi CPCM è attualmente particolarmente incentivato dallo sviluppo dell'Industria 4.0 e dei suoi annessi.

Un sistema CPCM è creato per fornire servizi di manifattura intelligente e di monitoraggio delle macchine, operando direttamente da piattaforme cloud. Come mostrato in figura, tramite un sistema CPCM è possibile gestire l'attività di *remote manufacturing*.



Un *web-browser gateway* per utenti ha accesso alle applicazioni cloud per controllare una determinata macchina e pianificarne le operazioni da remoto durante i processi produttivi. Alla richiesta di accesso da parte degli utenti, avviene un collegamento al cloud privato, il quale può essere reindirizzato verso altre zone e quindi coordinato. Infine, vi è una stazione principale che connette tra di loro tutti i cloud privati.

Il protocollo MTConnect ha la funzione di fornire il KRC con i dati provenienti dalle macchine, come visibile in figura:



Il termine MTConnect sta per “Manufacturing Technology Connect”, ed il protocollo ad esso relativo è stato progettato per rafforzare la trasmissione di dati tra le varie stazioni e applicazioni produttive. Nell figura precedente è possibile vedere come opera un protocollo MTConnect: MTCAgent aggrega le informazioni delle macchine dal MTCAdapter inserito nel Network aziendale.

Un’ulteriore funzione di MTConnect è quella di fornire servizi produttivi a interfacce REST, ossia REpresentational State Transfer, le quali permettono l’ottenimento di dati senza attuare sequenze logon/logoff o particolari sessioni.

MTConnect offre dunque un ponte tra le macchine e il cloud, non solo per effettuare l’intermediazione di dati tra il manufacturing network e l’Internet, ma anche per assistere i CPMC nel raggiungimento delle risorse produttive locali. Inoltre, MTConnect usa il protocollo XML per descrivere la struttura dei dati ricevuti e lo stato delle macchine, andando a ridurre l’utilizzo di risorse relative al cloud.

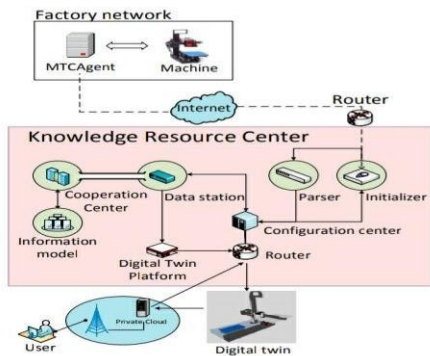
Tornando ai sistemi CPCM, essi possono essere visti come sistemi ibridi nei quali varie aziende sono connesse ad uno stesso server cloud, nel quale vengono registrati e sviluppati numerosi macchinari. Ogni interazione con le macchine parte sempre dal cloud. Il limite dei sistemi CPCM risiede nella gestione di sovraccarichi di dati nei cosiddetti *inner cores*, dove risiedono, ad esempio, HTTP (Hypertext Transfer Protocol), TCP (Trasmission Control Protocol) e UDP (User Datagram Protocol).

Questi sovraccarichi hanno, come conseguenza principale, l'impossibilità da parte dell'utente di servirsi del cloud anche per funzioni indipendenti dall'area in affanno.

Per superare questa ed altre tipologie di problematiche è stata proposta, tra le altre cose, la progettazione di un nuovo framework che unisce i sistemi CPCM con il paradigma Digital Twin, chiamato Cloud-Based Digital Twin (CBDT). A tal fine è necessario introdurre un KRC (Knowledge Resource Center) al fine di ridefinire la struttura delle macchine e coordinare il flusso di dati durante il periodo di costruzione del Digital Twin. L'introduzione del KRC è inoltre fondamentale per ridurre i costi generali dei processi, attraverso le risorse condivise.

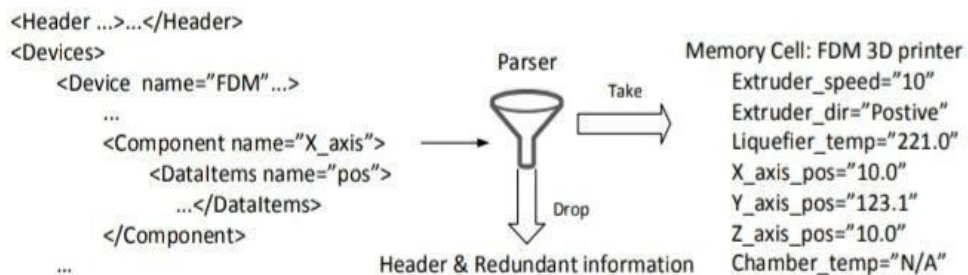
Analizzando più a fondo il framework KRC, si evince che esso è progettato sulla base di sei moduli principali, e le interazioni tra questi moduli sono connesse e gestite tramite un sistema di configurazione centrale.

Mentre i metodi tradizionali usano connessioni manuali per fornire dati utili alla creazione del Digital Twin, consumando molte risorse e rischiando di far fallire l'intero processo, soprattutto nel caso in cui vi sono più Digital Twin sviluppati sulla base di diversi macchinari, in questo caso tutti i dati sono gestiti e reindirizzati dal sistema MTCConnect in collaborazione con il KRC, e tutto risulta in un certo senso automatizzato. Nella seguente figura è possibile comprendere come ogni richiesta dell'utilizzatore viene coordinata dal cloud privato e reindirizzata al centro configurativo relativo al KRC. Una volta ricevuta la richiesta, il centro di configurazione attiva l'inizializzatore per dare il via al processo di realizzazione del Digital Twin. L'inizializzatore lavora come una sorta di collante che unisce il KRC alle macchine fisiche nel canale aziendale, attraverso l'Internet.



Questo processo di connessione è suddiviso in due passaggi fondamentali:

- Nel primo passaggio, dato che il KRC ha la necessità di creare un progetto pilota che richiede componenti virtuali, l'inizializzatore invia richieste per accumulare dati descrittivi relativi ai macchinari, al fine di permettere al KRC la determinazione dei componenti virtuali che dovranno essere inclusi nel progetto pilota. Tutti i dati provenienti dai macchinari sono quindi aggregati ad un file XML. Le richieste inviate sono quindi rielaborate attraverso il *Probe command*. Esso fornisce un meccanismo per estrarre le informazioni riguardanti la struttura di una macchina a partire dal sistema fisico della macchina stessa. Queste informazioni sono dunque usate per creare una struttura dati per il corrispondente file XML.
- Nel secondo passaggio, il KRC richiede informazioni aggiornate dei componenti delle macchine fisiche, come la posizione, rotazioni e velocità in relazione alle controparti digitali. In questo passaggio tutte le comunicazioni tra l'inizializzatore e l'MTCAgent sono gestite e trasportate dall' Hypertext Transfer Protocol. Durante questa fase MTCAgent di fatto lavora come un server http e supporta entrambi i tipi di command , ossia il Probe e il Current, mentre l'inizializzatore lavora come un connettore tra il KRC e i sistemi fisici rappresentanti i macchinari. Nella figura seguente è mostrato come l'inizializzatore riceve le informazioni dalle strutture delle macchine, dopo aver inviato il Probe command all' MTCAgent.



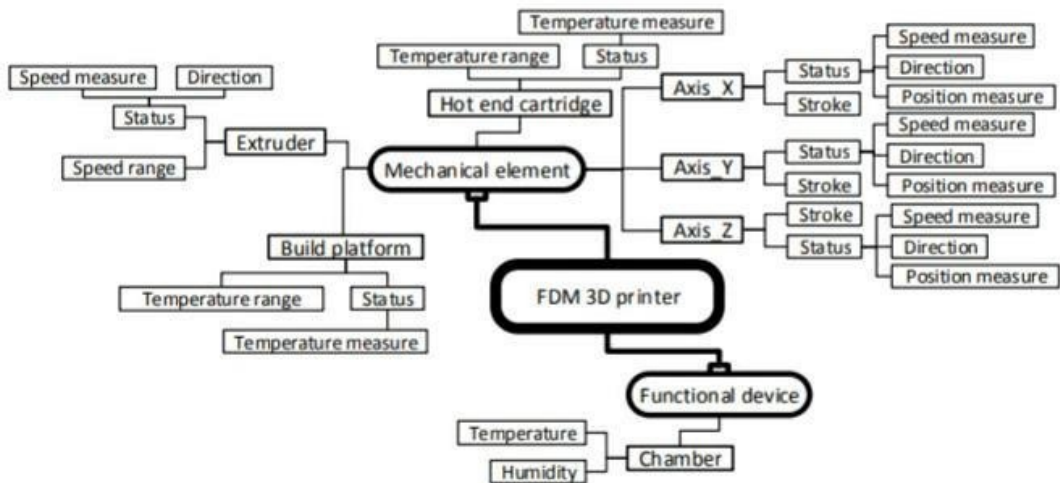
Il problema fondamentale di questo processo è la difficoltà da parte del KRC di “digerire” l’enorme flusso di dati processati al suo interno, i quali vengono compressi in strutture XML e crittografati attraverso gli standard del protocollo http. Per ovviare a tale problematica viene un *Parser* per l’analisi sintattica. Il suo compito è, fondamentalmente, quello di fornire uno speciale meccanismo per alleggerire il carico di dati dall’inizializzatore al KRC, in quanto nel XML i dati sono organizzati attraverso un’architettura cosiddetta “floor network level”, e pertanto devono essere processati sequenzialmente per poi essere reindirizzati a tutte le porzioni informatiche di competenza.

Un altro importante aspetto in questa struttura, è quello della gestione delle stazioni dati, che intervengono nelle fasi finali del processo, dove vi è un’accurata gestione delle comunicazioni tra il parser e le stazioni dati stesse. Le stazioni dati sono progettate con un set di celle di memoria per lo storage dei dati processati dal parser negli stadi precedenti. Esse lavorano inoltre come stazioni di transito per fornire dati relativi all’*information model*, includendo ad esempio lo stato corrente delle macchine, la posizione dei componenti e la temperatura. Queste informazioni sono archiviate nelle celle di memoria e gestite dal configuration center.

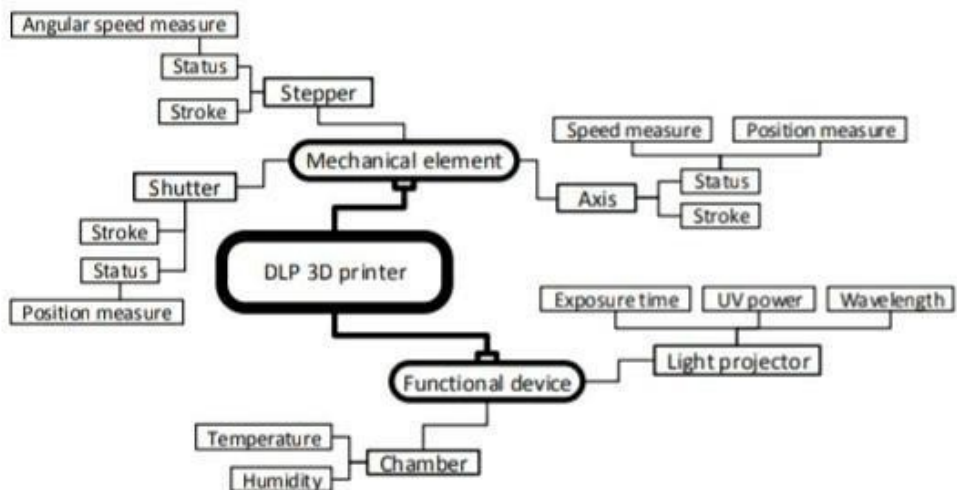
Attraverso la collaborazione degli information models, le stazioni dati creano un working loop dove l’information model fornisce informazioni necessarie per il Digital Twin e la stazione dati genera i parametri utili a rappresentare le condizioni dei macchinari fisici.

Infine, è necessario creare un modello 3D dei sistemi fisici. In questo caso è stato utilizzata una stampante 3D della tipologia *FDM (Fused Deposition Model)*. Questa tipologia di stampante utilizza gli assi X/Y/Z per muovere le cartucce hot-end attraverso l’intero workspace ed estrude filamenti plastici fusi su vari strati per la produzione della parte in questione. Vi è tuttavia un’ulteriore tipologia di stampante 3D, ossia la tipologia *DLP (Digital Light Processing)*, la quale utilizza un proiettore di luce digitale per convergere la fotopolimerizzazione di una particolare resina in un solido 3D, risparmiando tempo rispetto al processo FDM. Di seguito vengono riportate graficamente le principali differenze.

FDM:



DLP:



In conclusion, entrambi i metodi risultano validi al fine dello sviluppo di un Digital Twin in un sistema CPCM utilizzando il protocollo MTConnect. Attraverso l'utilizzo del KRC un Digital Twin Cloud-Based riduce sensibilmente gli overhead di sistema (sia a livello di costi, sia a livello di tempistiche) e fornisce un'effettiva applicazione delle strutture CPCM. [32]

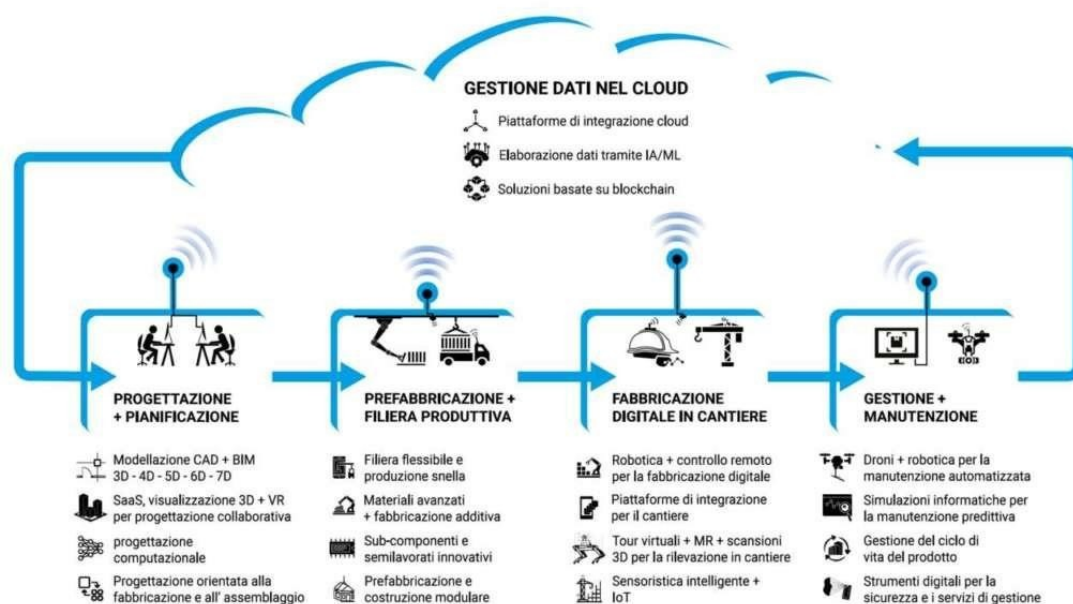
8.4 Costruzioni 4.0: Dal Cloud all'Industria Immobiliare

Negli ultimi anni l'industria delle **costruzioni** ha dovuto affrontare una serie di sfide, dai cambiamenti climatici alla sostenibilità, dai ritardi nella produttività alla pressione finanziaria.

Gli operatori del settore edile hanno proposto singoli interventi o spunti di riflessione, ma sono ancora alla ricerca di una risposta compiuta a queste tendenze.

Nel frattempo, per far fronte alle criticità, università, centri di ricerca, start-up e aziende all'avanguardia hanno proposto diverse soluzioni che potrebbero generare enormi opportunità di business per l'industria delle costruzioni.

I progetti proposti concorrono a definire i nuovi paradigmi delle costruzioni in digitale, attraverso la realizzazione di prototipi che promuovono soluzioni cloud based di progettazione architettonica integrata (BIM), processi di prefabbricazione (Off Site), monitoraggio e manutenzione degli edifici, in ottica di industria 4.0 (Digital Twin).



La gestione dei dati nel cloud prevede l'utilizzo di soluzioni basate su "cloud" per la raccolta e la condivisione di informazioni; processi digitali di verifica e validazione; analisi e gestione dati mediante algoritmi di intelligenza artificiale e processi di "machine learning", con implementazione della tecnologia blockchain per la gestione dei pagamenti, attraverso la tracciabilità degli eventi e la contrattualistica smart.

Le attività di progettazione e pianificazione sono basate su software e metodologie per la progettazione multidimensionale, dalla modellazione tridimensionale parametrica, alla pianificazione; tecnologie di realtà virtuale e aumentata per nuovi sistemi di progettazione e rappresentazione; metodologie di progettazione computazionale per l'ottimizzazione del prodotto nel contesto di processi produttivi avanzati.

La prefabbricazione e la filiera produttiva riguardano sistemi di fabbricazione digitale "off-site" e soluzioni innovative per una gestione flessibile della catena di distribuzione.

Si richiedono dunque sistemi snelli di produzione: dalle materie prime ai materiali compositi, dai semilavorati ai sub-componenti ad alto contenuto tecnologico; sistemi di prefabbricazione modulare, assemblaggio automatizzato, stampa additiva, lavorazioni robotizzate.



La fabbricazione digitale in cantiere viene fatta con prototipi di soluzioni costruttive innovative ad alto contenuto tecnologico e prestazionale: sistemi per il supporto delle operazioni di cantiere, dalla pianificazione per l'installazione di componenti edilizi, al montaggio degli stessi; dal monitoraggio delle attività di cantiere, alla verifica dello stato avanzamento lavori mediante sistemi di "mixed reality", robot, droni e piattaforme digitali per l'interazione da remoto.

Le attività di gestione e manutenzione prevedono l'utilizzo di soluzioni tecnologiche per la manutenzione automatizzata degli edifici, da cable-robot per la pulizia delle facciate, a robot di servizio per la manutenzione e gestione degli spazi interni, soluzioni per l'analisi del ciclo di vita dei prodotti, strumenti digitali per la sicurezza e per la gestione operativa degli edifici, al servizio degli utenti. [33]

8.5 Un modello Digital Twin di riferimento per i Cloud-Based Cyber-Physical Systems

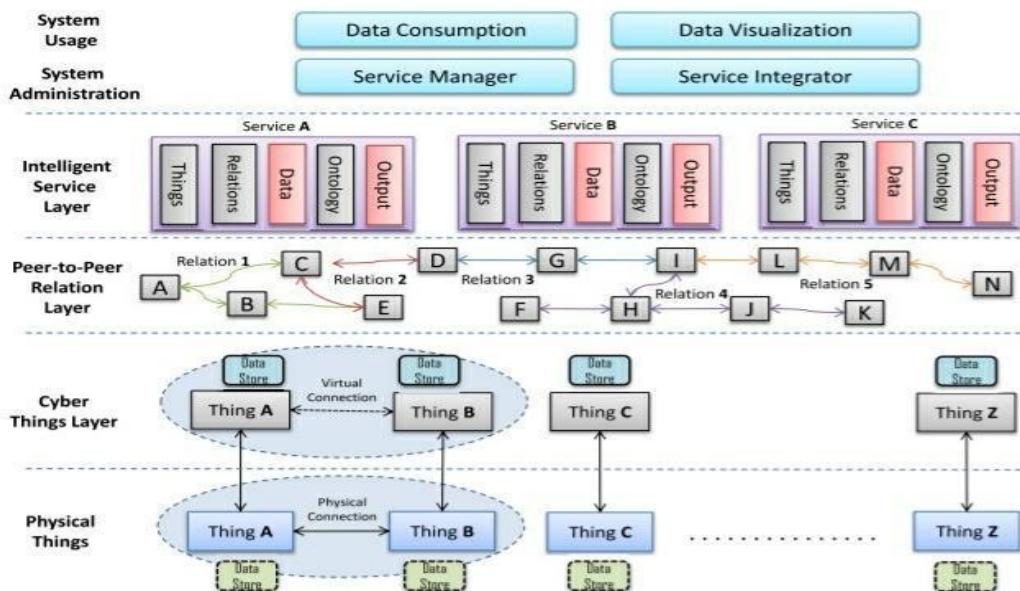
Gli sforzi di urbanizzazione degli ultimi decenni hanno contribuito fortemente alla crescita della popolazione all'interno delle grandi città. Uno studio statunitense prevede che dal 2050, circa il 60% della popolazione mondiale vivrà in metropoli capaci di ospitare oltre 2,5 miliardi di persone nell'area urbana. Proprio in questo contesto è necessario introdurre un concetto fondamentale per sostenere la continua ed esponenziale crescita demografica, ossia quello delle *Smart Cities*. La definizione di Smart City è alquanto controversa, e viene spesso presentata con nomi differenti, come Digital City, Knowledge City, Intelligent City, Sustainable City, etc. In generale, tuttavia, una città può essere definita Smart nel momento in cui essa migliora la vita degli abitanti, permettendo una sinergia tra tradizionali e moderne infrastrutture comunicative, information technology ed efficientamento energetico soprattutto attraverso l'uso di risorse naturali rinnovabili ed ecosostenibili.

Questo fenomeno è però appellato spesso con il termine Cyber-Physical System (CPS). Il funzionamento dei CPS ha inizio fondamentalmente dalla raccolta di dati provenienti da sensori posizionati su tutta la città. Una volta raccolti, questi dati

vengono inviati ad un modulo computazionale Digital Twin situato in un'infrastruttura comunicativa vasta ed altamente sviluppata. Come più volte detto, il modulo Digital Twin, una volta ricevuti i dati, può generare notifiche riguardanti il contenuto dei rilevamenti, effettuare cambiamenti sul mondo reale stesso, come riparazioni, o effettuare cambiamenti di parametri se necessario.

Per accrescere l'efficienza di un sistema del genere, è necessario introdurre un paradigma che migliori la cosiddetta *machine-to-machine communication* (M2M), al fine di velocizzare i processi e ridurre al minimo gli errori.

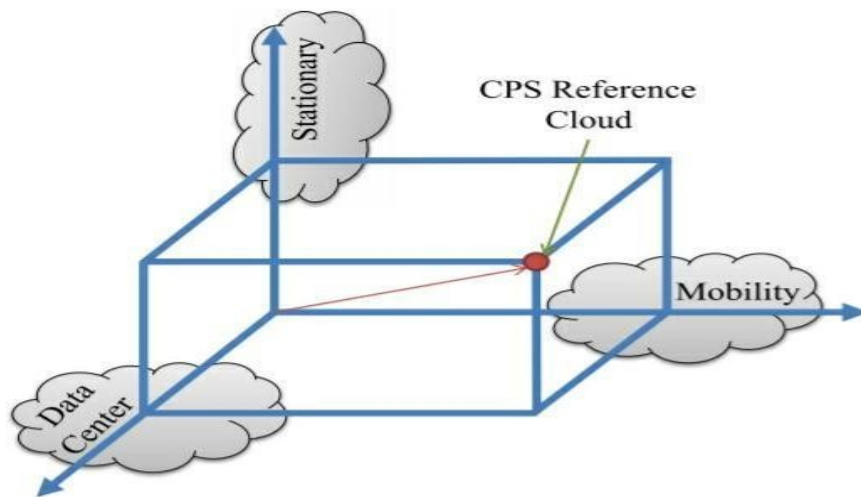
L'intersezione tecnologica di CPS basati su Digital Twin, social networks M2M e tecnologia Cloud potrebbe rappresentare, dunque, la giusta configurazione per lo sviluppo di una Smart City funzionante in ogni suo aspetto. Si genererebbero dunque dei sistemi cosiddetti *C2PS*, ossia Cloud-Based Cyber-Physical Systems, dove ad ogni entità fisica è associato un componente virtuale ospitato nel Cloud. A tal fine deve essere stabilito un *Peer-to-Peer (P2P) social networking*, al fine di velocizzare l'interscambio di dati tra le macchine e il cloud, garantendo una comunicazione real-time tra modello fisico e modello virtuale.



La figura riporta lo schema di un'architettura C2PS. È importante sottolineare come ogni gruppo di comunicazione sia identificato da un Relation ID. Questo garantisce

che solo i possessori dei sensori abbiano la possibilità di controllare le politiche sulla privacy riguardanti i sensori stessi, abilitando all'accesso solamente gli addetti.

Di seguito viene invece riportata una struttura Cloud tridimensionale per un'architettura CP2S.



[34]

9. Conclusioni

La trasformazione digitale, iniziata con l'avvento dell'IoT e dell'industria 4.0, ha raccolto sotto il suo cappello tutta una serie di tecnologie abilitanti capaci di innovare e digitalizzare processi, oggetti e risorse. Così oggi, mentre le imprese di tutto il mondo rincorrono la quarta rivoluzione industriale, emerge un nuovo paradigma (Digital Twin) che si pone come uno strumento per governare le Smart Factory o le Smart Cities.

La ricerca scientifica degli ultimi anni ha messo in evidenza ombre e luci sul Digital Twin. Uno dei principali problemi è l'assenza di uno standard di sviluppo, comunicazione ed implementazione. Le caratteristiche di modularità del Digital Twin, ad oggi non trovano applicazione reale, a causa della frammentazione dei protocolli di comunicazione. La realizzazione di un Digital Twin è demandata all'impresa che vuole implementarlo e che deve sostenere tutti i costi di sviluppo. Tuttavia, sarebbe sicuramente molto più semplice, se esistesse uno standard comune e se ogni produttore creasse il rispettivo modulo Digital Twin, da vendere o fornire all'impresa acquirente. Per i produttori significherebbe innovare il proprio modello di business e aumentare i flussi di ricavi, mentre gli acquirenti implementerebbero un nuovo strumento, in modo semplice, grazie al concetto "Plug and Simulate".

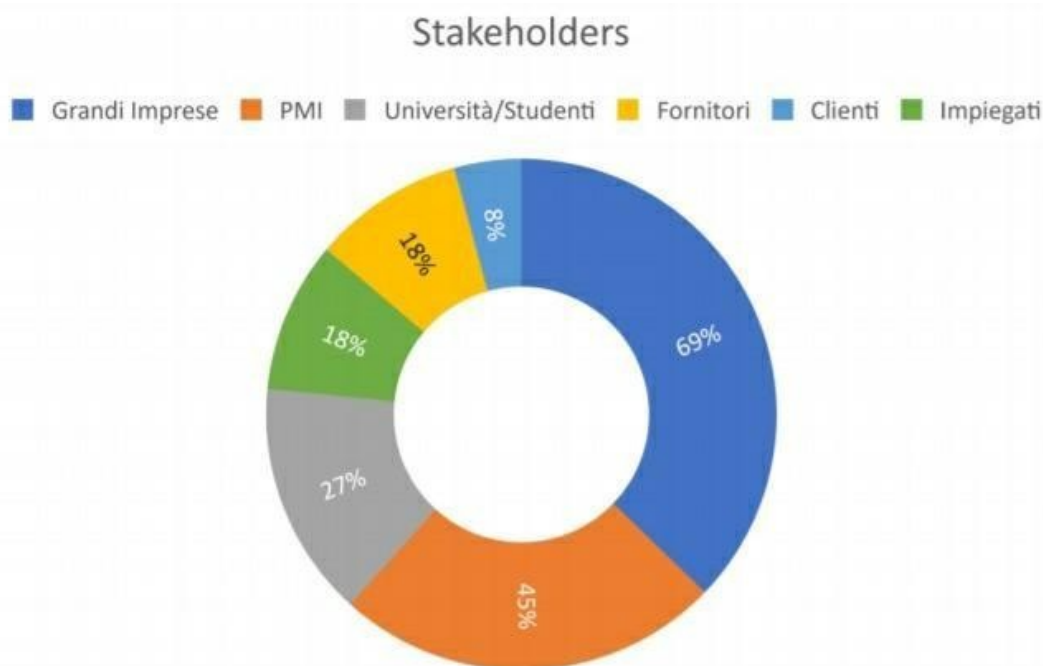
Il beneficio principale del DT è la possibilità di prendere decisioni immediate basandosi su indicazioni o dati ottenuti in tempo reale. Non solo, la numerosità dei dati raccolti e le analisi Big Data su di essi, uniti all'applicazione di AI e ML, garantiscono una scelta mirata ed efficace. L'obiettivo è demandare al Digital Twin la proposta di soluzioni di sintesi, basate sull'inferenza di numerosi parametri, spesso non individuabili in tempo breve dal decisore umano.

Dall'analisi della letteratura scientifica, sul paradigma Digital Twin, è emerso che le tecnologie necessarie per lo sviluppo di questo sono, Big Data Analytics, IoT, CPS e Cloud. In particolare, un accurato sviluppo di questi ultimi due potrebbe, in periodo relativamente breve, rappresentare un primo approccio concreto ad un'architettura digitale comprensiva del Gemello Digitale. Più nello specifico, il CPS è attualmente considerata la nuova generazione dell'Internet of Things, dove attività computazionali,

comunicative e di controllo dati convergono nella costruzione di un modello virtuale della realtà che garantirebbe il continuo monitoraggio e controllo delle entità in esame. Per garantire ciò è tuttavia vitale lo sviluppo di un'infrastruttura basata su Cloud che riduca al minimo i costi e i tempi di rielaborazione, analisi e storage delle enormi quantità di dati registrati.

Ultima ma non meno importante è, infine, la necessità di sviluppare un linguaggio di programmazione comune che permetta lo sviluppo di infrastrutture con le stesse fondamenta, comprensibili e utilizzabili allo stesso modo in ogni ambito, dalla Smart Factory alla Smart City, passando per l'essere umano stesso.

Di seguito viene riportato un grafico rappresentante l'analisi degli Stakeholders, ossia i portatori di interesse (e quindi coloro che, almeno in un primo momento, apporteranno i maggiori contributi sul suo sviluppo), riguardo l'argomento Digital Twin.



La Grande impresa è sicuramente l'attore principale (69%) in quanto ha la possibilità di implementare a pieno la tecnologia DT. Segue la PMI che per determinate applicazioni, non estremamente complesse, potrebbe avvantaggiarsi dell'impiego dei gemelli digitali (45%). Università e Studenti sono stati considerati stakeholder solo nei casi di ricerche prettamente teoriche e poco applicative, motivo per cui totalizza il 27%

delle citazioni. Fornitori, Clienti e Impiegati, si posizionano come ultimi con una percentuale al di sotto del 20%. [35]

Bibliografia

- [1] M.Grieves, J.Vickers, "Digital Twin:Mitigating Unpredictable,Undesirable Emergent Behaviour in Complex Systems".
- [2] NASA,2010.
- [3] A. El Saddik, "Digital Twins:The Convergence of Multimedial Technologies",in JEEE Multi Media,vol. 25 n.2,April 2018,pp. 87-92.
- [4] Mohan Barwal Chhetri,Shouali Krishnaswamy,Sauy Wai Loke, "Smart Virtuale Counterparts for Learning Communities",WISE 2004 Workshops,"Lecture Notes in Computer Science",vol. 3307,Springer Berlin Heidelberg,2004,pp. 125-134.
- [5] Gianluca Bacchiega, "Creating an Embedded Digital Twin: Monitor undetstand and Predict Device Healt Failure", in Inn4mech-Mechatronics and Industry 4.0 Conference Presentation-2018.
- [6] ELSEVIER.
- [7] Guido Perboli, Mariangela Rosano,Giulia Mattia Accardo, "Il valore dell'Industria 4.0 e del Digital Twin nelle PMI manifatturiere italiane",6 dicembre 2019.
- [8] Alterna (2019),"Smart Factory Monitoraggio Intelligente ed in tempo reale grazie all'intelligenza artificiale", Sito web: <https://www.alternanet.it/smart-factoty/>. Ultimo accesso 15/05/2020.
- [9] Predix Platform Brief, Predix,2018.
- [10] Alessandro Ricci, Francesco Salvatore Grandinetti, "Studio dell'applicazione dei Digital Twin in ambito ospedaliero",2018.
- [11] Roberto Saracco, "Industry 4.0, come il modello Digital Twin migliora sviluppo e prodotti", Sito web: <https://www.agendadigitale.eu/industry-4-0/industry-4-0-modello-digital-twin-migliora-sviluppo-prodotti/>. Ultimo accesso 16/05/2020.
- [12] Andrea Ballocchi, "Digital Twin: cos'è, come funziona e perchè è utile agli Smart Building", Sito web: <https://www.lumi4innovation.it/digital-twin-cose-come-funziona-e-perche-e-utile-agli-smart-building/>. Ultimo accesso 16/05/2020.

- [13] Yorozu Y., Hirano M., Oka K., Tagawa Y., "Electron Spectroscopy Studies on magneto-optical media and plastic substrate interface", JEEE, transl. J. Magn., Japan, 2, p 740-44.
- [14] "Cloud L'archivio tra le nuvole rende più facile la vita in terra". Corriere della sera
- [15] "Glossario degli anglicismi: Cloud computing-Nuvola informatica". Glossario degli anglicismi.
- [16] "Jobs presenta iCloud, la nuvola musicale". Corriere delle comunicazioni),
- [17] Peter Mell, Timothy Grance, "The NIST Definition of Cloud Computing". NIST, Special Publication 800-145, Novembre 2020.
- [18] "Gartner Says Cloud Computing Will Be As Influential As E-business"
- [19] "Cloud computing is a trap", warns GNU founder Richard Stallman, The Guardian, di Bobbie Johnson, 10/11/2020
- [20] Richard Stallman, "Quel server in realtà a chi serve?" ,su GNU, 2013. URL consultato il 18/11/2020.
- [21] Frédéric Magoulès, "Fundamentals of Grid Computing: Theory, Algorithms and Technologies".
- [22] Mantelero, "Processi di outsourcing informatico e cloud computing: la gestione dei dati personali ed aziendali", in Dir. informaz. Informatica, 2010, p. 673-696 7/10/2020.
- [23] "Le nuvole non sono più in cielo: i nostri dati li vediamo solo noi?" 7/11/2020
- [24] "Gmail down, il mondo sopravvive" 2/11/2020.
- [25] Sidekick, "Cloud computing, quanto valgono i dati perduti?" 13/11/2020.
- [26] "BEPLAN: il primo software in cloud per la gestione della produzione su commessa nelle PMI-Focus Industria 4.0", <https://www.focusindustria40.com/beplan-produzione-su-commessa/>. Ultimo accesso 20/11/2020.

- [27] “Cloud Computing: la settima tecnologia abilitante dell’industria 4.0-Focus Industria 4.0”, <https://www.focusindustria40.com/cloud-computing/>. Ultimo accesso 20/11/2020.
- [28] “Panoramica di C#-Microsoft”, <https://docs.microsoft.com/it-it/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>. Ultimo accesso 10/11/2020.
- [29] “Cos’è il servizio Gemelli Digitali di Azure?”-Azure Digital Twins, <https://docs.microsoft.com/it-it/azure/digital-twins/overview>. Ultimo accesso 15/11/2020.
- [30] “Ferrovia leggera di Bergen”, Norvegia, <https://www.bentley.com/it/project-profiles/2019/sweco-nederland-bergen-light-rail>. Ultimo accesso 3/11/2020.
- [31] Marco Restani, Andrea Gozzi, “Verso la Digital Enterprise”, Gruppo Editoriale Tecniche Nuove S.p.A, Siemens S.p.A
- [32] Liwen Hu, Ngoc-Tu Nguyen, Wenjin Tao, Ming C. Leu, Xiaoqing Frank Liu, Md Rakib Shahriar, S M Nahian Al Sunny, “Modeling of Cloud-Based Digital Twin for Smart Manufacturing with MTConnect”, ELSEVIER, ScienceDirect, Procedia Manufacturing, 46th SME North American Manufacturing Research Conference, NAMRC 46, Texas, USA, 2018.
- [33] New Business Media Srl., “Costruzioni 4.0: dal cloud al cantiere, come funziona il digitale”, <https://www.01building.it/costruzioni/costruzioni-4-0-cloud-cantiere-come-funziona-digitale/amp/>. Ultimo accesso 23/11/2020.
- [34] Kazi Masudul Alam, Abdulmotaleb El Saddik, Fellow, IEEE, Multimedia Computin Research Laboratory, University of Ottawa, “C2PS: A Digital Twin Architecture Reference Model for the Cloud-Based Cyber-Physical Systems”, 23/01/2017, 13/03/2020, Ottawa.
- [35] C. Weber, J. Konigsberger, L. Kassner e B. Mitschhang, “M2DDM-A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing”, Procedia CIRP, 2017.

