

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Architettura
Costruzione Città



**Analisi delle nuove tecnologie (BIM, IoT, Digital
Twin) e applicazione nel caso studio dell'Ospedale
di Alessandria**

Relatore:

Prof. Riccardo POLLO

Candidato:

Christian LA TONA

Anno Accademico 2019/2020

"Il mondo dove sono nato non m'è mai piaciuto e l'ho ridisegnato"

Dicembre 2020

Ringraziamenti

E' difficile decidere chi devo ringraziare per questo percorso unico e irripetibile che mi ha portato a crescere come persona. Però da qualcuno devo cominciare e voglio partire ringraziando tutta la mia famiglia, ma proprio tutta, che con grandi sacrifici, soprattutto nell'ultimo periodo, mi hanno permesso di vivere una vita fantastica.

Un ringraziamento speciale è d'obbligo anche per la mia seconda famiglia, i miei amici, che ci sono sempre stati e tra mille risate e, a volte, qualche litigata, mi hanno fatto passare attimi stupendi.

Inoltre voglio ringraziare i miei compagni dell'università con cui ho condiviso gli after pre-consegna, gli scleri, i bigliettini e le gioie universitarie.

Infine mi sento in dovere di ringraziare me stesso per essermi tolto questa soddisfazione e per aver vissuto questa esperienza con serenità e senza mai farmi mancare nulla.

Indice

Introduzione	8
1 Il BIM e la trasformazione digitale delle costruzioni	11
1.1 Dal CAD al BIM	13
1.2 Il BIM	15
1.2.1 I livelli di dettaglio (LOD)	17
1.2.2 Le dimensioni del BIM	19
1.2.3 I vantaggi del BIM	20
1.3 A chi e a cosa serve il BIM	21
1.3.1 Il BIM per i progettisti	21
1.3.2 Il BIM per le imprese	22
1.3.3 Il BIM per i produttori	22
1.3.4 Il BIM per i gestori immobiliari	23
1.4 Interoperabilità, standard e condivisione dati	23
1.4.1 Il common data environment	25
1.5 Le figure professionali del BIM	26
1.5.1 Il BIM Coordinator	26
1.5.2 Il BIM Specialist	27
1.5.3 Il BIM Manager	27
1.5.4 Il BIM Expert	28
1.6 BIM e Facility Management	29
1.6.1 L'analisi del ciclo di vita dell'edificio	29
1.6.2 Riprogettare l'esistente	30
1.7 BIM, Big Data e Internet Of Things	31

1.7.1	IoT, BIM e cantiere	31
1.8	Le piattaforme BIM	32
1.8.1	Revit	33
1.8.2	ArchiCad	35
1.8.3	Vectorworks	36
1.8.4	Edificius	38
1.9	BIM e Realtà Aumentata	39
1.9.1	L'interoperabilità tra BIM e AR: l'AR BIM da tavolo	40
1.9.2	L'interoperabilità tra BIM e AR: l'AR BIM portatile	42
1.9.3	L'interoperabilità tra BIM e AR: l'AR BIM remoto	43
1.10	BIM e Realtà Virtuale	44
1.10.1	Walkthrough	45
1.10.2	Walkthrough: Samsung Gear VR	47
1.10.3	Walkthrough: Oculus Rift	47
1.10.4	Walkthrough: Enscape Revit/SketchUp	48
1.10.5	Walkthrough: Smart Reality	49
1.10.6	Walkthrough: Visidraft	50
1.10.7	Walkthrough: PrioVR	51
1.10.8	VR e consultazione dei dati	52
1.10.9	Consultazione dei dati: Autodesk 360	53
1.10.10	Consultazione dei dati: Plugin di Revit	53
1.10.11	Consultazione dei dati: Enscape	54
1.10.12	Consultazione dei dati: Augment	55
1.10.13	Consultazione dei dati: Autodesk Stingray	56
1.10.14	Consultazione dei dati: Covise	56
1.11	BIM e normativa in Italia	57
2	L'Internet Of Things	59
2.1	Le tecnologie abilitanti per l'Internet Of Things	62
2.1.1	Caratteristiche	63
2.2	L'architettura dell'IoT	65

2.3	Aspetti funzionali dell'Internet Of Things	67
2.4	L'interoperabilità nell'IoT	69
2.5	Sfide future per l'Internet Of Things	73
2.6	Aree di applicazione	75
2.6.1	IoSL (Internet of Smart Living)	76
2.6.2	IoSC (Internet of Smart Cities)	76
2.6.3	IoSE (Internet of Smart Environment)	77
2.6.4	IoSI (Internet of Smart Industry)	78
2.6.5	IoSH (Internet of Smart Health)	78
2.6.6	IoSE (Internet of Smart Energy)	79
2.6.7	IoSA (Internet of Smart Agriculture)	79
3	La tecnologia del futuro: il Digital Twin	80
3.1	La nascita del Digital Twin	83
3.2	Il Digital Twin al giorno d'oggi	84
3.3	La trasformazione digitale guidata da un mondo connesso	85
3.3.1	Big Data	86
3.3.2	Intelligenza artificiale	86
3.3.3	Internet Of Things	87
3.3.4	Accesso basato sul Cloud	87
3.3.5	Digital Twin	87
3.4	La struttura di un Digital Twin	88
3.4.1	La creazione di un Digital Twin	91
3.4.2	L'architettura concettuale del Digital Twin	92
3.5	I vantaggi per le aziende	95
3.6	Il Digital Twin per il ciclo di vita dell'edificio	97
3.6.1	Product Twin	98
3.6.2	Construction Twin	98
3.6.3	Performance Twin	99
3.7	Gli edifici del futuro	99
3.7.1	Persone	100

3.7.2	Spazi	100
3.7.3	Servizi	101
3.8	Le piattaforme per il Digital Twin	101
3.8.1	Piattaforma Ge Predix	103
3.8.2	Piattaforma SAP IoT Application Eneblament	106
3.8.3	Piattaforma AWS IoT	108
3.9	Digital Twin in ambito sanitario	111
3.9.1	Come realizzare un modello digitale	112
3.9.2	Rappresentazione dei pazienti e delle attrezzature mediche	112
3.9.3	Rappresentazione del personale medico	114
3.9.4	Rappresentazione delle stanze	115
3.9.5	Rappresentazione delle aree di degenza	115
3.10	Altri ambiti di utilizzo del Digital Twin	116
3.10.1	Simulazione di scenari di emergenza	116
3.10.2	Utilizzo ottimizzato dello spazio	117
4	L’Ospedale Universitario di Odense in Danimarca	119
4.1	Il progetto	121
4.2	L’organizzazione del processo BIM	125
4.3	I software utilizzati	125
4.4	Logistica di servizio	127
5	Caso studio: l’Ospedale SS. Antonio, Biagio e Cesare Arrigo di Alessandria	129
5.1	Storia	130
5.1.1	L’Ospedale di Alessandria tra il 1565 e il 1789	130
5.1.2	L’Ospedale di Alessandria tra il 1790 e il 1964	133
5.1.3	L’Ospedale di Alessandria oggi	138
5.2	Nozioni generali sulla progettazione ospedaliera	140
5.2.1	Principi generali di progettazione di una struttura sanitaria	140
5.3	Analisi delle giornate tipo degli utenti dell’ospedale	146
5.3.1	Giornata tipo di un infermiere	147
5.3.2	Giornata tipo di un medico	148

5.3.3	Giornata tipo di un paziente	
5.4	Metodologia adottata	
5.4.1	Realizzazione del modello 3D/BIM	
5.5	Individuazione degli scenari	
5.5.1	Scenario 1: Paziente con frattura	
5.5.2	Scenario 2: Paziente in gravidanza	
5.5.3	Scenario 3: Paziente che arriva in ambulanza e necessita di terapia	
5.5.4	Scenario 4: Medico che fa il giro visite	
5.5.5	Scenario 5: Infermiere che porta le medicine al paziente	
5.5.6	Scenario 6: Visitatore	
5.6	Risultati ottenuti dall'analisi degli scenari	

Conclusioni

Elenco delle figure

1.1	<i>Dal CAD al BIM</i>	15
1.2	<i>Cos'è il BIM?</i>	16
1.3	<i>Quadro riassuntivo dei Level of Detail (LOD)</i>	18
1.4	<i>BIM come elemento unificante dell'intero processo progettuale</i>	20
1.5	<i>Formato IFC come standard internazionale</i>	25
1.6	<i>Gestione tramite BIM per il Facility Management</i>	30
1.7	<i>Prodotto SmartReality di Hoar Construction</i>	41
1.8	<i>Daqri Smart Helmet di Mortenson</i>	43
1.9	<i>Realtà aumentata tramite video realizzati da drone</i>	44
1.10	<i>Tour con realtà virtuale all'interno e all'esterno di un modello BIM</i>	46
1.11	<i>Utilizzo di visori BIM per il miglioramento del lavoro</i>	47
1.12	<i>La metà sinistra e la metà destra dello schermo corrispondono ad un occhio</i>	48
1.13	<i>Walkthrough con il plugin Enscape Revit</i>	49
1.14	<i>Applicazione di Smart reality</i>	50
1.15	<i>Visualizzazione, in un dispositivo mobile, di un modello 3D con l'applicazione Visidraft</i>	50
1.16	<i>Sistema di cattura PrioVR applicato nella costruzione</i>	51
1.17	<i>L'interfaccia del plugin per la visualizzazione in Revit</i>	54
1.18	<i>Plugin Enscape per Revit</i>	55
1.19	<i>Software VR Augment</i>	55
1.20	<i>Software VR Autodesk Stingray</i>	56
2.1	<i>Internet of Things</i>	59
2.2	<i>Connessione tramite IoT</i>	62

2.3	<i>Dimensione dell'interoperabilità dell'IoT</i>	71
2.4	<i>Internet of Things NON interoperabile</i>	72
2.5	<i>Internet of Things interoperabile</i>	72
2.6	<i>Requisiti di sicurezza e privacy richiesti ai diversi livelli dell'Internet of Things</i>	74
3.1	<i>Cambiamento dei bisogni degli utenti</i>	81
3.2	<i>Una copia digitale della realtà che permette di simulare e ottenere risposte in un ambiente sicuro e privo di rischi</i>	84
3.3	<i>I quattro elementi chiave che guidano la trasformazione digitale negli edifici</i>	86
3.4	<i>Processo di produzione del Digital Twin</i>	90
3.5	<i>Architettura concettuale del Digital Twin</i>	95
3.6	<i>Composizione Digital Twin</i>	98
3.7	<i>Piattaforma Ge Predix</i>	103
3.8	<i>Predix Edge to Edge</i>	106
3.9	<i>Piattaforma SAP IoT Application Enablement</i>	106
3.10	<i>Piattaforma AWS IoT</i>	109
3.11	<i>Ottimizzazione del flusso dei pazienti e dell'efficienza del personale</i>	111
3.12	<i>Tracciamento del paziente grazie al Digital Twin</i>	114
3.13	<i>Simulazione stato di emergenza con Digital Twin</i>	117
3.14	<i>Modifiche alla disposizione dei piani grazie all'analisi dei dati</i>	118
4.1	<i>L'Ospedale Universitario di Odense in Danimarca</i>	121
4.2	<i>Concept design Ospedale Universitario di Odense</i>	122
5.1	<i>Pianta del Piano terreno "dello Spedal Grande dei SS. Antonio e Biagio" nel 1700</i>	132
5.2	<i>Facciata dell'Ospedale in una cartolina dell'inizio del 1900</i>	136
5.3	<i>Pianta del piano terreno dell'Ospedale di Alessandria nel 2020</i>	138
5.4	<i>I tre domini che formano il prodotto ospedale</i>	143
5.5	<i>I tre domini che formano il prodotto ospedale</i>	151
5.6	<i>Modello dei primi due piani dell'ospedale di Alessandria</i>	156
5.7	<i>Scenario 1 e relative viste</i>	157
5.8	<i>Scenario 2 e relative viste</i>	159

5.9	<i>Scenario 3 e relative viste</i>	161
5.10	<i>Scenario 4 e relative viste</i>	163
5.11	<i>Scenario 5 e relative viste</i>	165
5.12	<i>Scenario 6 e relative viste</i>	167
5.13	<i>Interferenze dettate dalla sovrapposizione dei diversi scenari</i>	170

Introduzione

Nel corso degli anni si è assistito ad un continuo sviluppo tecnologico che ha portato anche l'industria delle costruzioni ad evolversi. Tutto ciò è avvenuto dapprima grazie alla nascita della metodologia del Building Information Modeling (BIM) che, per merito del worksharing e dell'interoperabilità tra le diverse piattaforme, ha permesso di ridurre i tempi, i costi e gli eventuali errori, sia in fase di progetto che di costruzione dell'edificio. Si è passati quindi da una progettazione tradizionale 2D ad una parametrica in 3D dove ad ogni elemento modellato sono associate delle informazioni che permettono di eseguire analisi sull'edificio in tutte le fasi del processo edilizio e semplificano tutto l'iter progettuale.

La naturale evoluzione del Building Information Modeling (BIM) è il Digital Twin che, grazie alla rapida diffusione di elementi intelligenti come i sensori e gli attuatori e grazie a una sempre più costante presenza di Internet nelle nostre vite, che ha portato alla creazione dell'Internet of Things, permette la realizzazione all'interno del mondo digitale di elementi già presenti in quello reale consentendo così di fare previsioni su comportamenti futuri o su possibili problematiche che potrebbero colpirli.

Lo scopo principale di questo elaborato sarà quindi quello di studiare nel dettaglio queste due metodologie, applicandole nello specifico in una struttura complessa come quella ospedaliera.

Il seguente documento di articola in 5 capitoli.

Il primo tratterà il tema del BIM e della trasformazione digitale delle costruzioni

a partire dalla sua storia, passando per l'analisi delle piattaforme e delle visualizzazioni finali ottenute dalla modellazione parametrica fino ad arrivare alla normativa italiana.

Il secondo capitolo può essere definito come un discorso propedeutico per la spiegazione del Digital Twin, infatti si parlerà dell'Internet of Things e di tutte le sue applicazioni.

Il terzo capitolo tratterà il tema del Digital Twin cercando di comprenderne la struttura e i vantaggi ed, in seguito, verrà mostrato come può essere utilizzato in ambito sanitario.

Nel quarto capitolo analizzeremo l'Ospedale Universitario di Odense in Danimarca, simbolo dell'applicazione delle nuove tecnologie digitali.

Nell'ultimo capitolo verranno applicate le tecnologie studiate in precedenza al caso studio dell'Azienda Ospedaliera Nazionale SS. Antonio e Biagio e Cesare Arrigo di Alessandria tramite la definizione di scenari che identificheranno dei percorsi che verranno studiati per comprendere come si possa intervenire architettonicamente.

Capitolo 1

Il BIM e la trasformazione digitale delle costruzioni

Smart Building, Digitalizzazione, Industria 4.0, Realtà Virtuale, sono vocaboli che stanno acquisendo sempre più valore nell'industria delle costruzioni. In questo periodo, essa è soggetta ad una rivoluzione di metodologie di gestione e progettazione che fa riferimento ad un emergente protagonista tecnologico, il BIM o Building Information Modeling. Il BIM può essere definito "*...a platform for keeping an accurate and interoperable record of building information to enhance planning, construction, and maintenance over the life cycle of a facility*" (Khajavi et al., 2019) ed è stato sviluppato per incorporare nei modelli tridimensionali di Computer Aided Design (CAD) dati relativi alle prestazioni dei componenti, stime dei costi, programmi di manutenzione ecc.

Il BIM costituisce una svolta evolutiva che ha trasformato in parte il modo di progettare nel settore delle costruzioni dal punto di vista impiantistico, architettonico, ingegneristico, gestionale. L'impiego di questo strumento ha cambiato il modo di ideare l'opera in ogni sua fase, dal concept fino alla successiva gestione, in quanto non è soltanto un insieme di strumenti utili per il lavoro, ma mira ad una visione completa degli elementi edilizi che guarda all'intero Life Cycle, dalla progettazione alla dismissione. Lo sviluppo del BIM si basa sull'esigenza di coordinare ogni informazione riguardante l'iter progettuale, dalla realizzazione del disegno dei singoli

elementi al computo, dalla gestione temporale a quella finanziaria (AssoBIM, 2018) [1].

Quindi, il Building Information Modeling, tiene conto sia delle proprietà geometriche dell'opera che dei suoi componenti, sia di tutti i dati riguardanti i materiali, le tempistiche e le risorse economiche utili alla realizzazione dell'edificio. Tutto ciò gli consente, anche grazie ad una solida base legislativa, di rappresentare il futuro dell'industria delle costruzioni.

Il dialogo digitale tra i vari membri di uno stesso team di progetto, le imprese e i fornitori, permette la creazione di un coordinamento efficiente. Tutto questo avviene grazie alla metodologia BIM che migliora l'organizzazione e quindi la produttività limitando la possibilità di incorrere in errori grazie all'aggiornamento in tempo reale di tutte le tavole e i documenti di progetto, che possono essere visionate in ogni momento dagli altri membri del team. Inoltre, un altro aspetto molto importante è la notevole integrazione tra la fase esecutiva e quella progettuale dove i software BIM riescono a produrre scenari di analisi interattivi tra i modelli 3D e la programmazione temporale dei lavori, permettendo quindi di verificare lo stato di avanzamento della realizzazione dell'edificio. A livello economico questa innovazione tecnologica, permette di analizzare tempi e costi e quindi di realizzare tabelle per ottimizzare il budget di cantiere. Anche la gestione dell'opera realizzata può essere analizzata attraverso l'approccio BIM in quanto, grazie al modello completo realizzato nelle precedenti fasi progettuali, possediamo dati sufficienti per consentire una spiccata efficienza nel campo del Facility Management (AssoBIM, 2018) [1].

Tutto ciò, rispetto ai metodi tradizionali, avviene in maniera rapida, economica e con errori ridotti al minimo. Il BIM, pur nascendo nell'ambito del disegno assistito dal computer, costituisce, più che un modello geometrico tridimensionale, un sistema di "dati" di progetto il cui impiego e verifica in tutte le fasi del processo edilizio rappresenta la maggiore novità e potenzialità.

1.1 Dal CAD al BIM

La modellazione 3D nasce per la prima volta nel 1973, grazie ad un gruppo di ricercatori universitari di prestigiosi atenei come Cambridge, Stanford e Rochester, con il nome di “Modellazione Solida”.

In quel periodo si sviluppano due forme di “Modellazione Solida” (Berwald, 2008) [2]:

- Boundary Representation (B-REP): le forme venivano rappresentate come un insieme di superfici delimitate da contorni che permettevano di generare elementi complessi. È la metodologia più semplice e diretta per l’interazione geometrica, il rendering e l’animazione;
- Constructive Solid Geometry (CSG): definizione di poliedri primitivi che consentivano la costruzione di geometrie solide attraverso l’utilizzo di funzioni che vengono poi combinate in espressioni algebriche per realizzare elementi complessi. Questa tipologia è più complessa e richiede un maggiore tempo di calcolo per la modifica degli elementi.

Il conflitto tra queste due metodologie terminò nel momento in cui si comprese che per ottenere un prodotto completo era necessario prendere il meglio da entrambe. Venne sviluppata una metodologia unica che affidava alla Boundary Representation la parte della visualizzazione, della verifica ed interferenza geometrica e alla Constructive Solid Geometry la parte di modifica ed aggiornamento degli elementi (Berwald, 2008) [2].

Numerosi ricercatori nel campo dell’ingegneria aerospaziale, della progettazione edilizia e dei componenti elettrici, nella seconda metà degli anni ’90, si unirono per integrare la modellazione con i concetti di analisi e simulazione. Tutto ciò non passò inosservato tanto che molte industrie decisero di investire nelle software-house per potenziare i sistemi CAD. Il settore delle costruzioni, peraltro poco propenso

all'innovazione, trovava questa metodologia ancora acerba e troppo dispendiosa economicamente, per questo motivo investì su programmi CAD più sicuri e testati come AutoCad che gli permettevano di realizzare documenti digitali in 2D (Pekala, 2014) [3].

Man mano che si avvicinavano gli anni 2000, il disegno 2D lasciava sempre più posto alla modellazione parametrica che permetteva di ottenere in modo più economico risultati più fedeli alla realtà delle costruzioni.

Una novità molto importante fu quella dell'interconnessione tra i diversi elementi di uno stesso modello: se il progettista avesse disegnato un muro in un ambiente parametrico, esso sarebbe stato vincolato al soffitto e alla pavimentazione e se egli avesse fatto delle modifiche a quel muro, anche gli elementi ad esso connessi sarebbero stati modificati. Tutto questo porta anche ad aggiornamenti del programma di modellazione stesso che inizia a modificare in automatico tutti quegli elementi "legati" a quelli che subiscono una variazione (Figura 1.1).

Queste innovazioni costituirono il preludio per l'avvento dell'attuale metodologia del Building Information Modeling (BIM) che verrà sviluppato da software house come:

- AutoDesk;
- Bentley;
- Nemetschek;
- Graphisoft.

Ogni casa programmatrice realizza in questi anni il proprio software e ognuno di essi possiede delle caratteristiche specifiche pur essendo tutti accomunati da un solo obiettivo: la modellazione parametrica (Berwald, 2008) [2].

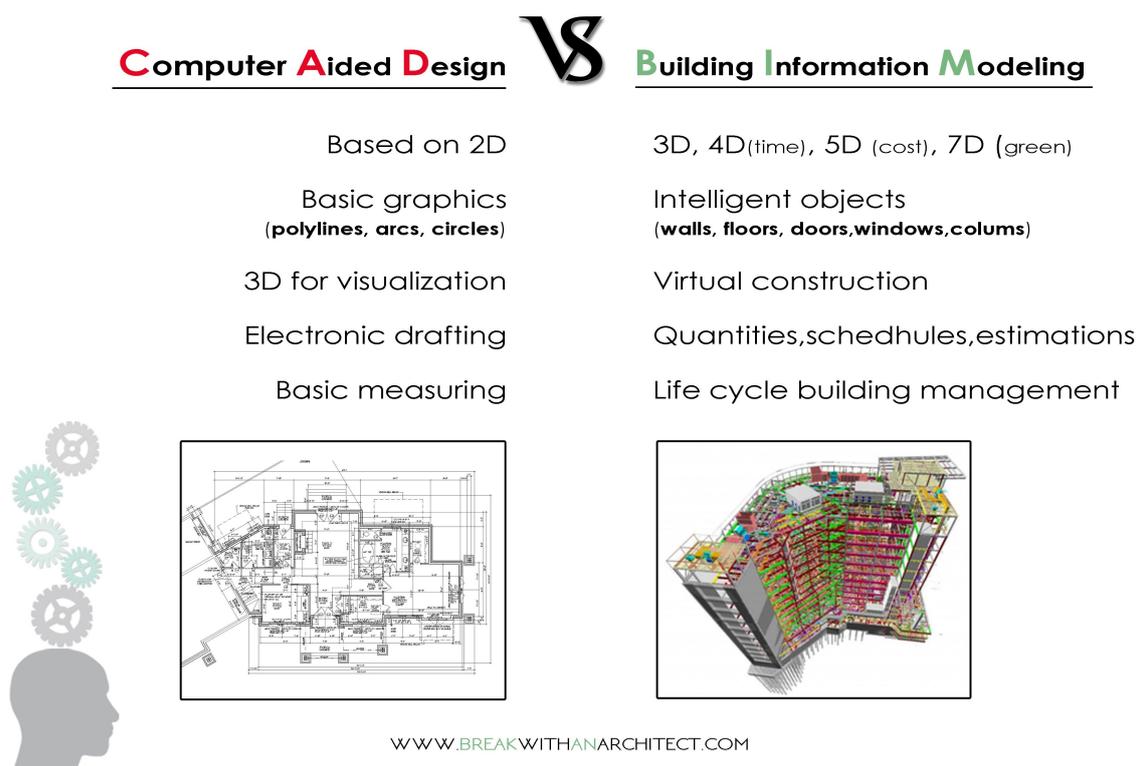


Figura 1.1: Dal CAD al BIM

1.2 Il BIM

Come è accaduto in passato durante il passaggio dalla progettazione tradizionale a quella assistita dalle tecnologie informatiche, il termine BIM sta cominciando a prendere piede nella quotidianità dell'industria delle costruzioni e tutto ciò sta portando ad una rivoluzione a livello di approcci e di strumenti di progettazione dell'opera in tutte le sue fasi.

Il BIM è una rappresentazione digitale completa di un'opera costruita con una grande profondità di informazioni. Esso include la geometria tridimensionale dei componenti dell'edificio ad un livello di dettaglio definito. Gli oggetti sono associati ad un insieme ben definito di informazioni semantiche, come il tipo di componente, i materiali, le proprietà tecniche o i costi, così come le relazioni tra i componenti e altre entità fisiche o logiche. Il termine Building Information Modeling descrive di conseguenza sia il processo di creazione di tali modelli digitali di costruzione, sia il

processo di manutenzione, utilizzo e scambio di dati e informazioni per tutto il ciclo di vita dell'opera costruita (Figura 1.2) (AssoBIM, 2018) [1].



Figura 1.2: Cos'è il BIM?

Lo US National Building Information Modeling Standard definisce il BIM come segue (NIBS, 2015): *“Il Building Information Modeling (BIM) è una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un edificio. Un BIM è una risorsa di conoscenza condivisa per le informazioni di un edificio che costituisce una base affidabile per le decisioni durante il suo ciclo di vita; definito come esistente dalla prima concezione alla demolizione. Una premessa fondamentale del BIM è la collaborazione di diverse parti interessate nelle diverse fasi del ciclo di vita di un edificio per inserire, estrarre, aggiornare o modificare le informazioni nel BIM al fine di sostenere e riflettere i ruoli delle parti interessate..”*

Gli aspetti fondamentali che differenziano il BIM da un semplice strumento di disegno sono quindi la sua natura assimilabile a un database e la natura intrinsecamente collaborativa, legata sia alla eterogeneità tecnologica delle parti della costruzione sia

alle molteplici discipline coinvolte nel processo, nella costruzione e nella gestione di un edificio.

Le prime ricerche sulla creazione e l'impiego di modelli di edifici virtuali sono state pubblicate negli anni '70 (Eastman, 1974) [4]. Il termine Building Information Modeling è stato usato per la prima volta nel 1992 dai ricercatori Van Nederveen e Tolman. L'ampia diffusione del termine è stata avviata dalla società di software Autodesk che lo ha utilizzato per la prima volta in un White Paper pubblicato nel 2003. Negli ultimi anni, una vasta gamma di prodotti software con potenti funzionalità BIM è stata pubblicata da molti fornitori diversi, e il concetto che ha avuto origine dalla ricerca accademica è ora diventato una pratica industriale consolidata. Il BIM viene sviluppato, quindi, da aziende produttrici di software per la progettazione (Autodesk, 2003) [5].

1.2.1 I livelli di dettaglio (LOD)

Nella tecnologia BIM, i Level of Detail o LOD, hanno un ruolo molto importante, ovvero quello di definire il livello di approfondimento delle informazioni che deve fornire il modello. Garantiscono a tutti i membri del team di progetto di realizzare un modello BIM con un notevole grado di attendibilità e di chiarezza dei suoi contenuti. Il protocollo standard BIM della AIA, "G202-2013, Building Information Modeling Protocol", definisce i Level of Detail secondo 5 tipologie diverse, chiamate livelli (Latiffi, 2015) [6]:

- LOD 100 - Rappresentazione concettuale: utilizzo di simboli o di altre rappresentazioni generiche. Altri dati possono essere ottenuti dal confronto con modelli simili;
- LOD 200 - Modelli generici e indicazione qualità: componenti del modello vengono rappresentati come elementi generici ai quali si assegnano informazioni vaghe relative a geometria, dimensione, posizione e orientamento;
- LOD 300/350 - Progettazione esecutiva: componenti del modello rappresentati come elementi specifici ai quali assegno informazioni definite relative a

geometria, dimensione, posizione e orientamento. Posso assegnare a questi elementi delle informazioni non grafiche. Grazie a questo LOD si possono effettuare diverse simulazioni;

- LOD 400 – Progettazione costruttiva: componenti del modello rappresentati come elementi specifici ai quali assegno informazioni definite relative a geometria, dimensione, posizione e orientamento. Inoltre, vi sono dati riguardanti i dettagli costruttivi, l’assemblaggio e l’installazione;
- LOD 500 – As Built (come realizzato): viene rappresentato ciò che è stato costruito sia per quanto riguarda la geometria e le dimensioni, sia per quanto riguarda la posizione e l’orientamento. Questo LOD è usato per la gestione e per la manutenzione dell’opera.

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Modello contenente i requisiti di prestazione e le specifiche del sito. Modello concettuale di massa utile allo studio di tutto l'edificio inclusi area di base e volume, orientamento, stima costi iniziale. Progetto preliminare.	Modello contenente i sistemi generalizzati con quantità, dimensioni, forme, posizione ed orientamento approssimati. Progetto definitivo.	Modello di produzione o pre-costruzione, e per gli "intenti progettuali". Modello accurato e coordinato, utile per una stima più accurata dei costi. Progetto Esecutivo.	Modello accurato con i requisiti di costruzione e gli elementi costruttivi specifici.	Modello "as built" dell'edificio che mostra il progetto così come è stato realizzato.

Figura 1.3: Quadro riassuntivo dei Level of Detail (LOD)

1.2.2 Le dimensioni del BIM

Uno dei ragionamenti effettuati in seguito alla comparsa del BIM è stato quello sulla cosiddetta “dimensione” del progetto. Infatti, secondo la definizione citata nella pagina precedente del National Institute of Building Sciences (NIBS), il BIM non è solo pensato per la modellazione 3D, ma anche per capire i tempi di costruzione (detto 4D), la gestione delle spese di costruzione (detto 5D), la sostenibilità ambientale del progetto (detto 6D) e, infine, il facility management (detto 7D).

Di seguito riportiamo una sintetica descrizione delle diverse “dimensioni” del Building Information Modeling in funzione degli specifici obiettivi di ciascuna (Sampio, 2018) [7]:

- DIMENSIONE 3D: consente la realizzazione di elementi parametrici intelligenti che permettono la modifica immediata del progetto;
- DIMENSIONE 4D: permette la gestione dei tempi di esecuzione in ogni fase progettuale, dal concept a quella esecutiva di cantiere;
- DIMENSIONE 5D: permette di controllare i costi dell’opera. Grazie a programmi di modellazione, si possono ottenere tabelle e abachi che contengono informazioni relative ai computi metrici e ciò permette una migliore gestione delle risorse economiche;
- DIMENSIONE 6D: viene definita la dimensione della sostenibilità. I vari programmi permettono di effettuare analisi energetiche e forniscono suggerimenti per migliorare le prestazioni dell’edificio;
- DIMENSIONE 7D: permette l’analisi del modello e di usufruire delle informazioni che contiene per garantire una corretta gestione nel tempo, sia a livello amministrativo che manutentivo.

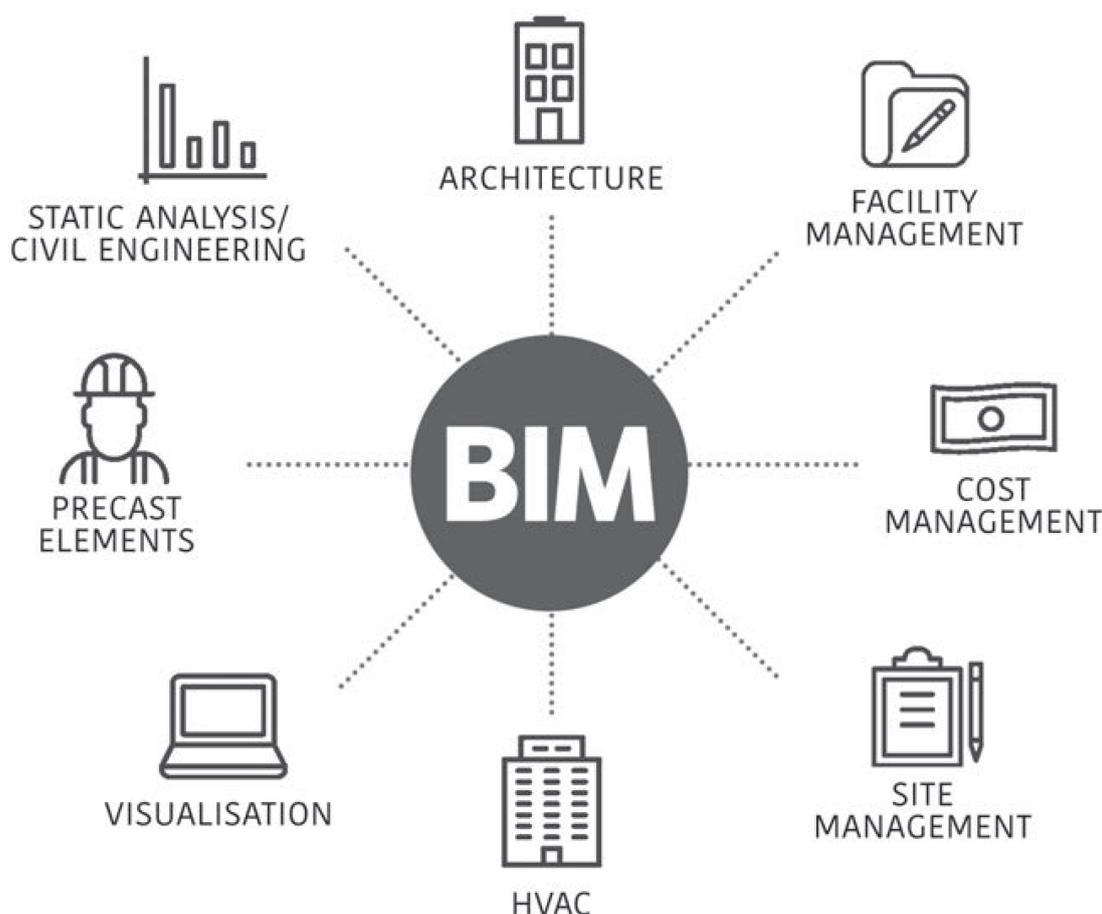


Figura 1.4: BIM come elemento unificante dell'intero processo progettuale

1.2.3 I vantaggi del BIM

Già dalla prima fase progettuale, l'utilizzo della metodologia BIM comporta numerosi vantaggi rispetto ai metodi più tradizionali, sia a livello organizzativo che produttivo. Tutto ciò avviene in quanto la notevole mole di informazioni che il modello contiene al proprio interno permette l'abbattimento dei costi e dei tempi e riduce gli errori e le "interferenze" grazie all'aggiornamento immediato di tutti i disegni di progetto (Dalla Mora, 2014) [8].

Durante la fase di progettazione, il Building Information Modeling permette la realizzazione di modelli virtuali che affinano la gestione e la qualità dei dati, consentendo ai diversi membri del team di lavorare secondo un approccio collaborativo e con

tempi di individuazione e correzione delle incongruenze di progetto notevolmente ridotti. Inoltre, permette di svolgere operazioni di conteggio dei materiali mediante l'utilizzo, come dicevamo in precedenza, di tabelle e abachi che permettono di eseguire calcoli riguardanti le diverse caratteristiche del sistema progettato.

Durante la fase esecutiva, il BIM permette di avere totale controllo sulla gestione degli approvvigionamenti, sulla cantierizzazione dell'opera o ancora sullo stato avanzamento dei lavori. In termini molto più pratici e semplificati, questa nuova tecnologia può essere definita come un elemento che aumenta il fattore di competitività sul mercato dei vari studi di progettazione tecnica, dei committenti e delle imprese edili (Eastman, 2016) [9].

1.3 A chi e a cosa serve il BIM

Chi utilizza il Building Information Modeling (BIM) ne comprende i vantaggi fin da subito. La perfetta combinazione delle diverse informazioni all'interno di un modello virtuale permette il dialogo continuo tra più discipline in contemporanea quali l'architettura, l'impiantistica e lo studio strutturale. Questo porta ad uno sviluppo coordinato del progetto privo di errori e interferenze, in quanto essi possono essere tempestivamente rilevati e corretti prima della fase esecutiva (AssoBIM, 2018) [1]

1.3.1 Il BIM per i progettisti

I processi di sviluppo dei vari progetti sono influenzati in modo rilevante dal BIM. Esso permette infatti di progettare modelli virtuali ricchi di informazioni che aiutano la progettazione collaborativa e, come detto in precedenza, consentono di ottenere elaborati progettuali, gestionali, temporali e manutentivi più accurati e controllati.

Ogni disegno o documento redatto è generato in base al livello di dettaglio o LOD e viene aggiornato automaticamente ogni volta che vengono effettuate modifiche

sull'elaborato principale. I modelli virtuali, inoltre, permettono di effettuare delle simulazioni o dei computi dei materiali e questo porta alla creazione di elenchi dei componenti utilizzati che servono al progettista per tenere sotto controllo i costi dell'opera. Vi è anche la possibilità di svolgere simulazioni che permettano, a partire dal modello geometrico e dai dati associati alle istanze, di valutare prestazioni quali il coefficiente di illuminazione naturale dei vari ambienti, il fabbisogno energetico o i livelli di rumorosità.

Inoltre, esistono diversi software per la modellazione BIM e gran parte di essi possiede un motore di rendering che permette di creare viste 3D o video animati senza utilizzare programmi di terze parti (AssoBIM, 2018) [1].

1.3.2 Il BIM per le imprese

La metodologia BIM ha molta influenza anche sull'operatività delle imprese, specialmente nella fase esecutiva dell'opera edilizia. L'utilizzo di un modello virtuale ricco di informazioni dettagliate aiuta l'impresa nel processo di preventivazione. Ciò permette di ottenere, in modo semplice e veloce, preventivi corretti e puntuali che consentono di comprendere come gestire le spese e quali sono i margini di guadagno. Inoltre, l'impresa ha a disposizione le misure metriche dell'opera sempre aggiornate in tempo reale e questo porta alla riduzione di errori e di incomprensioni. Anche il cronoprogramma può essere redatto in modo più preciso in quanto si ha già una visione completa del progetto: gli esecutori sanno già quali sono le lavorazioni da effettuare in ogni parte del cantiere (Eastman, 2016) [9].

1.3.3 Il BIM per i produttori

Anche chi produce i componenti e i materiali che serviranno per la realizzazione dell'opera edilizia è coinvolto nella metodologia BIM. Se un modello virtuale parametrico deve contenere tutte le informazioni relative ad ogni elemento e materiale, i produttori dovranno fornire schede tecniche "standard", che possano essere condivise, contenenti tutti i dati dettagliati. I dati da fornire saranno quelli riguardanti

le specifiche del prodotto sia in fase di acquisto che di posa e quelli riguardanti la manutenzione (Eastman, 2016) [9].

1.3.4 Il BIM per i gestori immobiliari

Nell'ambito del Facility Management, i vantaggi del Building Information Modeling sono evidenti. I patrimoni immobiliari vengono generalmente gestiti sulla base della conservazione, raccolta, aggiornamento e produzione di una notevole mole di documenti eterogenei generati con sistemi CAD, wordprocessor o fogli elettronici. In genere, il passaggio dall'Impresa al gestore dell'immobile comporta una perdita notevole di informazioni che devono essere ricostruite. Con il modello BIM il trasferimento delle informazioni è notevolmente agevolato e i compiti base del gestore come: la produzione di documenti, lo svolgimento di rilievi, l'individuazione di criticità dei manufatti sono più semplici. Quindi, questa nuova tecnologia, può far risultare più efficienti ed economici anche i processi del Facility Management (AssoBIM, 2018) [1].

1.4 Interoperabilità, standard e condivisione dati

La nuova tecnologia del Building Information Modeling o BIM è fortemente legata al concetto di interoperabilità che può essere definita come (AssoBIM, 2018) [1]: *“la capacità di un sistema di scambiare dati e informazioni con altri sistemi o programmi, permettendo un dialogo tra software e applicativi differenti caratterizzato da un'elevata affidabilità e dalla riduzione al minimo di errori”*. Nella pratica, permette lo scambio delle informazioni contenute all'interno dei vari modelli virtuali tra diverse piattaforme software.

L'interoperabilità può essere di due diverse categorie (Ferrara, 2019) [10]:

- **ORIZZONTALE**: scambio delle informazioni del modello virtuale tra software dello stesso tipo ma di produttori diversi;

- VERTICALE: scambio delle informazioni del modello virtuale tra software complementari tra loro, come ad esempio i programmi CAD e quelli utili al calcolo strutturale.

Le informazioni possono essere scambiate tra un software e l'altro principalmente in quattro modi:

- Con link diretto: utilizzo di link presenti all'interno del software BIM;
- Con formati nativi della casa madre del software BIM: scambiano dati relativi principalmente alla geometria;
- Con formati basati sull'XML;
- Con formati standard: file IFC.

Il formato IFC, Industry Foundation Classes, è la chiave dell'interoperabilità. Esso è un formato di esportazione standard sviluppato da Building SMART che consente di creare file con la minore perdita possibile delle informazioni assegnate al modello virtuale, cosa che non accadrebbe se si esportasse un semplice file .dwg o .rvt (si perderebbero tutti i dati assegnati). Esso permette l'esportazione sia della geometria del modello, sia dei dati che esso contiene. L'obiettivo è quello di facilitare il lavoro tra i diversi membri del team che avranno a disposizione sempre un documento ricco di dati che utilizzeranno nei propri applicativi e che fungerà da base per lo studio energetico, strutturale, gestionale, manutentivo ecc... (Ferrara, 2019) [10]

Building SMART è un'associazione no-profit di aziende e di enti governativi attivi nel campo del BIM che opera per la diffusione e standardizzazione dei processi di digitalizzazione della progettazione e gestione degli edifici.

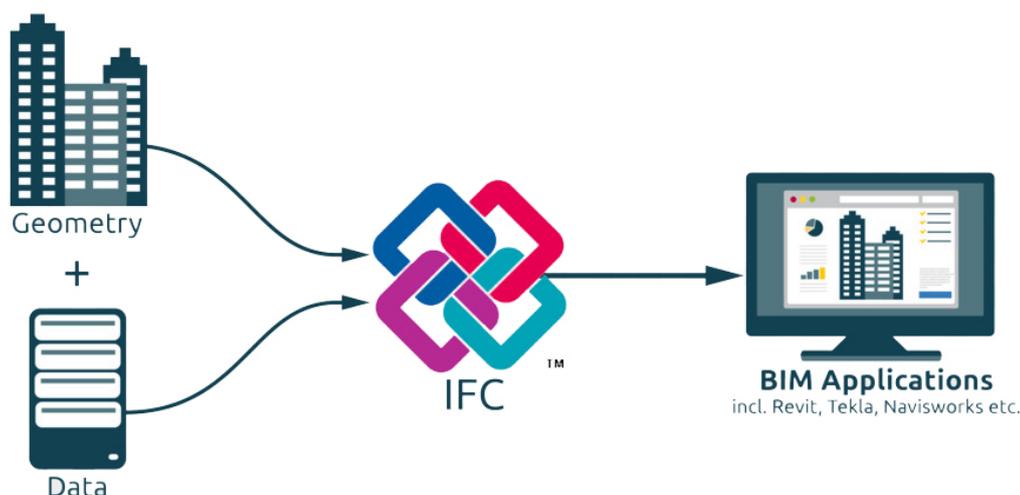


Figura 1.5: *Formato IFC come standard internazionale*

1.4.1 Il common data environment

L'elemento complementare all'approccio "BIM oriented" è l'Ambiente di Condivisione Dati, denominato ACDat nella norma UNI 11337-5 o CDE, acronimo di Common Data Environment, nelle norme BS PAS 1192 inglesi. Il CDE è esplicitamente citato nel recente Decreto BIM italiano come piattaforma deputata all'archiviazione, condivisione e gestione dei dati di progetto, e rappresenta uno degli elementi centrali del processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni (AssoBIM, 2018) [1].

Il CDE è composto da 4 aree:

- Work in Progress;
- Shared;
- Published Documentation;
- Archive.

All'interno di queste quattro aree hanno luogo i vari processi di controllo, condivisione e revisione dei dati che avvengono tra i diversi membri del team partecipanti

al progetto. Nella UNI 11337-5 vengono spiegate tutte le caratteristiche del Common Data Environment e si identifica l'Ambiente di Condivisione Dati come un archivio ricco di informazioni al quale ogni partecipante al progetto può attingere, grazie anche alle diverse tipologie di file di esportazione. Qui ogni modello viene verificato e condiviso e si ha l'obiettivo di ottenere un flusso di operazioni che risulti completamente sincronizzato secondo regole specifiche. Quest'ultime sono fondamentali per il processo progettuale in quanto forniscono una linea guida da seguire in modo tale da soddisfare le richieste dei committenti (AssoBIM, 2018) [1].

1.5 Le figure professionali del BIM

L'avvento del Building Information Modeling ha portato alla creazione di nuove figure professionali all'interno del team di progetto, ognuna con competenze specifiche.

Queste nuove figure sono:

- BIM Coordinator: ruolo di gestore e coordinatore del team di progetto;
- BIM Specialist: ruolo di modellatore per l'intero ciclo di vita del progetto;
- BIM Manager: ruolo di gestore dei diversi team di progetto e implementatore dei software BIM su tutte le apparecchiature;
- BIM Expert: ruolo di gestore dell'interoperabilità dei diversi software e delle librerie (Bertella, 2019) [11].

Di seguito approfondiremo questi ruoli.

1.5.1 Il BIM Coordinator

Il BIM Coordinator è colui che si occupa principalmente del coordinamento, attraverso determinati software, dei BIM Specialist che stanno partecipando al progetto. Tutto questo serve a garantire l'applicazione degli standard e dei processi prefissati.

Questa figura può partecipare alla realizzazione del BIM Execution Plan collaborando con il BIM Manager e può curare la formazione dei ruoli operativi, occupandosi anche delle problematiche di condivisione e aggregazione dei contenuti informativi, nonché trasmettendo al BIM Manager ogni dettaglio dello sviluppo del progetto favorendo il processo informativo.

Tra i compiti del BIM Coordinator è incluso:

- L'implementazione della libreria BIM aziendale;
- Il rispetto degli standard BIM sul progetto di riferimento (Mollica, 2017) [12].

1.5.2 Il BIM Specialist

Il BIM Specialist è colui che si occupa principalmente di redigere il modello virtuale attraverso l'utilizzo di programmi BIM. Il suo ruolo è quello di modificare, anche in corso d'opera, i vari elementi grafici modellati in precedenza e le librerie a loro correlate. Inoltre, ha il compito di ricavare i dati del progetto.

Tra i compiti del BIM Specialist è incluso:

- Attività di analisi tecnica utilizzando la documentazione aziendale per la produzione di elaborati e modelli;
- Utilizzo di programmi per la progettazione e la modellazione di opere di vario genere (Bertella, 2019) [11].

1.5.3 Il BIM Manager

Il BIM Manager ha un ruolo fondamentale e centrale nella metodologia del Building Information Modeling. Egli deve coordinare ogni figura coinvolta nel processo progettuale i quali dovranno gestire e aggiornare i vari modelli virtuali.

Tra le sue responsabilità rientrano:

- Il coordinamento dei server per la condivisione dei file di concerto con il personale IT;
- La scelta e gestione delle licenze dei software e della libreria BIM aziendale;
- L'elaborazione del BIM Information Requirements per i committenti di appalti;
- La definizione, in collaborazione con il responsabile dei sistemi informativi, del Common Data;
- Environment (CDE) utilizzato per lo sviluppo del progetto e le sue regole di gestione (Bertella, 2019) [11].

1.5.4 Il BIM Expert

Il BIM Expert è la figura professionale meno diffusa nel nostro paese. I suoi compiti si posizionano a un livello leggermente più basso di quelli del BIM Manager. Egli si occupa della gestione e dell'interoperabilità dei diversi software BIM.

Tra i compiti e le conoscenze del BIM Expert rientrano:

- Sviluppo di modelli digitali e della relativa documentazione;
- Collaborative Working; interoperabilità in ambito 4D, 5D, 6D e 7D;
- Sviluppo di oggetti BIM;
- Gestione di librerie BIM;
- Creazione di linee guida per progetti BIM;
- Gestione di sistemi IT (Mollica, 2017) [12].

1.6 BIM e Facility Management

La gestione tecnica dei patrimoni immobiliari possiede un'elevata importanza nell'ambito del Facility Management nel mondo del Building Information Modeling. Essa si occupa di tutta la parte di documentazione e amministrazione che consiste nella realizzazione, conservazione, ottenimento e aggiornamento dei diversi documenti.

Quindi il BIM risulta essenziale perché:

- Semplifica tutte le attività elencate in precedenza;
- Fornisce dati più dettagliati riguardanti l'opera;
- Facilita il ritrovamento di interferenze;
- Supporta efficacemente i processi decisionali;
- Supporta efficacemente le analisi;
- Semplifica le fasi del Facility Management (Parsanezhad, 2013) [13].

1.6.1 L'analisi del ciclo di vita dell'edificio

Sono principalmente 4 le fasi del ciclo di vita di un edificio:

- Progettazione;
- Costruzione;
- Gestione (maggior impatto sui costi dell'immobile);
- Manutenzione.

Essendo la gestione la fase economicamente più dispendiosa, effettuare un'analisi approfondita economica diventa essenziale per l'investimento. Risulta quindi palese che, per ottenere un risultato il più preciso possibile, occorrono una grande quantità di dati attendibili e, soprattutto, si avrà bisogno di creare un metodo organizzativo che doni ordine a queste informazioni. Ed è qui che entra in gioco la

tecnologia BIM in quanto i modelli di progetto contengono i diversi dati relativi alla geometria, alla gestione e alla manutenzione delle strutture edilizie che possono essere sfruttati per ridurre i tempi e i costi ma, soprattutto per ridurre al minimo gli errori rispettando gli obiettivi posti in precedenza dal team (AssoBIM, 2018) [1].

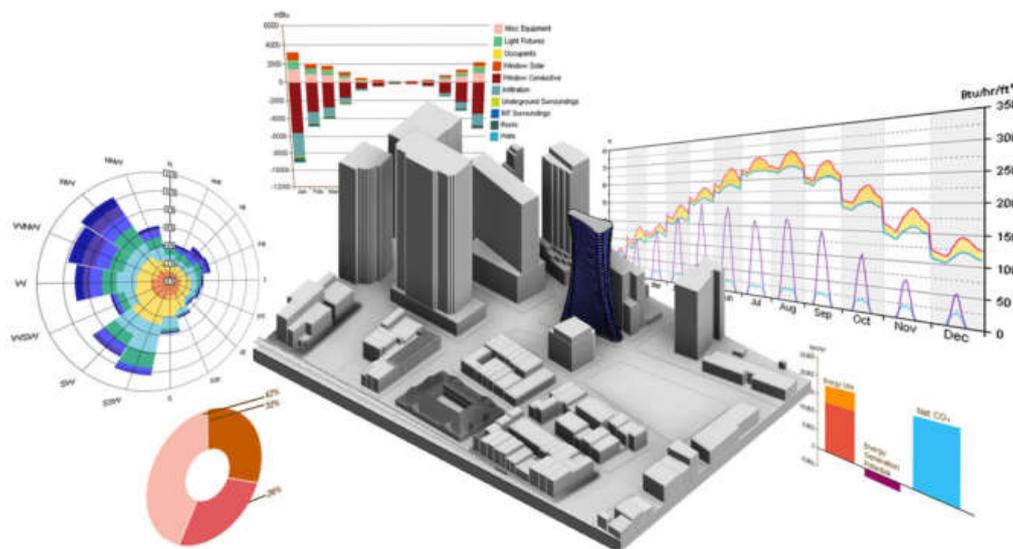


Figura 1.6: Gestione tramite BIM per il Facility Management

1.6.2 Riprogettare l'esistente

La metodologia del Building Information Modeling risulta utile anche per la valorizzazione economica di edifici già esistenti in quanto, una volta creato il modello digitale sui programmi di modellazione, essa permette di identificare informazioni relative alle diverse destinazioni d'uso che, una volta corrette, forniranno un aumento di valore all'immobile.

In questo caso possiamo iniziare a parlare di "gemello digitale" del manufatto fisico che ci fornisce i dati riguardanti:

- I volumi da climatizzare;
- Le superfici da pulire;
- Gli spazi da illuminare;

- Gli impianti che necessitano di manutenzione;
- Altro.

In questo ambito risultano importantissimi i programmi di simulazione che ipotizzano i diversi scenari che possono avvenire all'interno dell'edificio in virtù di trasformazioni degli spazi e delle strutture o di usi diversi e ciò permette al progettista di pensare e valutare strategie che valorizzino l'opera (AssoBIM, 2018) [1].

1.7 BIM, Big Data e Internet Of Things

L'Internet of Things o Internet delle Cose (ne parleremo più approfonditamente nel prossimo capitolo) è uno degli elementi più avanzati dell'Industria 4.0 ed anch'esso trova nel Building Information Modeling un ideale approccio metodologico e concettuale.

Questo approccio può anche essere definito "BIM Connesso" ovvero l'aggiornamento del progetto, delle informazioni che contiene, in tempo reale, allo scopo di affrontare le criticità esecutive e gestionali e, più in generale, di ottimizzare il processo edilizio nella fase di sviluppo in cui si trova sulla base dei dati rilevati nel sito di intervento, all'interno del cantiere o nell'edificio che si gestisce e/o trasforma (AssoBIM, 2018) [1].

1.7.1 IoT, BIM e cantiere

L'integrazione tra BIM e IoT è particolarmente evidente per la fase di costruzione in opera. L'utilizzo dell'Internet of Things nei cantieri può fornire enormi vantaggi come quello di ottenere sempre dati aggiornati che supportino ogni fase decisionale e gestionale del processo costruttivo.

I vari sensori, ad esempio, permetterebbero di raccogliere diverse informazioni riguardanti:

- La posizione in cantiere di ogni operaio;

- Il lavoro assegnato ad ogni operaio;
- Evitare sovrapposizioni di personale nello stesso spazio di lavoro;
- Aggiornamenti sull'avanzamento dei lavori;
- Verifica della correttezza delle opere eseguite;
- Individuazione di macchinari nel cantiere;
- Individuazione dei materiali;
- Eventuali guasti ai macchinari;
- Eventuali infortuni (AssoBIM, 2018) [1].

Tutte queste informazioni sono facilmente accessibili da parte di tutto il team di progetto grazie all'utilizzo del Cloud, archivio virtuale online che permette il deposito e la condivisione di file.

1.8 Le piattaforme BIM

Il mercato delle nuove tecnologie vede la presenza di molteplici programmi BIM che vengono definiti software di "authoring" ovvero applicativi che consentono la riproduzione di comunicazioni multimediali sul proprio PC. Essi vengono utilizzati per la modellazione parametrica in diversi ambiti e per eseguire analisi e simulazioni delle opere. Molto spesso, tutte queste categorie progettuali, possono essere gestite da un singolo software tuttavia, ci sono programmi più specializzati in determinati settori di altri. Per questo motivo il progettista sceglierà l'applicativo che soddisfi le sue necessità e gli permetta di svolgere al meglio il proprio lavoro e che soprattutto gli garantirà i requisiti di interoperabilità necessari per una progettazione collaborativa. Inoltre, è essenziale controllare le versioni dei vari software altrimenti si può incorrere in problemi di "dialogo" tra i programmi (Dalla Mora, 2014) [8].

Si possono valutare le capacità di un programma secondo alcuni fattori (Dalla Mora, 2014) [8]:

- Strumenti di disegno;
- Velocità di processamento;
- Capacità di renderizzazione;
- Interfaccia;
- Facilità di creazione di elementi parametrici;
- Modellazione di superfici complesse;
- Altro.

Di seguito analizzeremo i principali e i più famosi software BIM presenti sul mercato.

1.8.1 Revit

Revit è il programma più utilizzato e più noto in questo momento nel mondo. Nel 2002 è stato introdotto nel mercato dalla Autodesk e permette di realizzare progetti decidendo il template di partenza, in modo tale da poter avere un'interfaccia personalizzata in base ai bisogni di ogni progettista (Garagnani, 2011) [14].

I template selezionabili sono 3:

- Architettonico;
- Strutturale;
- Impiantistico (MEP).

La strutturazione interna dell'applicativo lo differenzia totalmente dai CAD, e in particolare da Autodesk AutoCad, inoltre è possibile importare ed esportare file IFC i quali consentono il passaggio, quasi totale, di informazioni riguardanti il modello,

tra un programma e l'altro (supporta file standard IFC4).

La sua semplicità dovuta all'interfaccia semplificata è un notevole punto a favore che gli ha consentito di avere la supremazia sul mercato. Inoltre, possiede una grande quantità di "famiglie", ovvero di elementi già modellati e utilizzabili, che velocizzano l'iter progettuale e ne forniscono le informazioni necessarie per realizzare un modello parametrico. Vi è anche la possibilità di creare noi stessi delle famiglie, modellandole da zero e fornendo loro le informazioni necessarie (Garagnani, 2011) [14].

Revit, oltre ai file IFC, supporta altri tipi di formati come:

- DWG;
- DOF;
- DGN;
- SAT;
- DWF/DWFO;
- OSA;
- GbXML;
- ODBC.

Questo programma è anche uno dei più interoperabili sul mercato. Eccone alcuni esempi:

- Interoperabilità strutturale: Revit Structure;
- Interoperabilità energetica: Revit MEP, Ecotect, Energy Plus, IES.

Inoltre, dialoga egregiamente con programmi di visualizzazione come:

- Mental Ray;
- 3D Max;

- Piranesi.

Consente anche il Facility Management grazie a:

- Autodesk FMDesktop;
- Archibus.

Uno dei punti a suo sfavore è il rallentamento eccessivo quando i file iniziano a diventare pesanti e questo provoca, a volte, il “crash” del software oppure obbliga il progettista a riavviare il programma.

1.8.2 ArchiCad

ArchiCad è un’applicazione che nasce dalla casa produttrice Graphisoft nel 1980, prima azienda ad aver prodotto applicativi BIM e che ha anche realizzato anche Rhinoceros. Il suo utilizzo risulta molto facile grazie anche all’interfaccia semplificata e possiede una vasta gamma di oggetti parametrici pre-modellati (Valdambrini, 2019) [15].

Essi sono organizzati in sistemi:

- Elementi prefabbricati in CLS;
- Elementi elettrici;
- Muratura;
- Metallo;
- Legno;
- Impianti;
- Isolanti.

Esso è fornito anche di una vasta gamma di applicazioni di supporto alla progettazione, per il Facility Management e per i sistemi di costruzione e risulta essere un programma altamente interoperabile infatti possiede:

- Interoperabilità strutturale: Revit Structure, Tekla;
- Interoperabilità energetica: Graphisoft EcoDesigner, Riusca.

Inoltre, dialoga agevolmente con programmi di visualizzazione come:

- Artlantis;
- Maxon Cinema 4D;
- Lightwork Design.

Consente anche il Facility Management grazie a:

- One Tools;
- ArchiFM.

Tutte queste esportazioni verso altri programmi avvengono grazie a diversi formati di file tra i quali ricordiamo il formato IFC.

Purtroppo, possiede dei difetti come la scarsa capacità di creare elementi parametrici personalizzati e, con progetti di grandi dimensioni, crea problemi di scala (Dalla Mora, 2014) [8].

1.8.3 Vectorworks

Vectorworks, Inc. è una società interamente controllata dall'azienda europea del software Nemetschek Group. Leader globale nelle tecnologie di progettazione, Vectorworks sviluppa dal 1985 software di progettazione assistita da computer (CAD) per l'architettura, l'ingegneria, l'edilizia, l'intrattenimento e la progettazione del paesaggio.

La famiglia di software Vectorworks comprende:

- Vectorworks Designer (progettazione di interni);
- Architect (utilizzato in architettura);
- Landmark (strumento per il paesaggio);
- Spotlight (simulazione dell'illuminazione);
- Renderworks (motore di renderizzazione).

Fin dai suoi inizi a metà degli anni '80, l'azienda ha svolto un ruolo fondativo nell'industria del CAD, ridefinendo il mercato con la definizione di uno standard elevato per i suoi prodotti e testandoli e perfezionandoli continuamente per superare le aspettative degli utenti. Nel processo, è diventata un leader a livello internazionale sia nel CAD che nella tecnologia BIM (Building Information Modeling). L'azienda ha creato uno dei primi programmi CAD, uno dei primi programmi software di modellazione 3D e la prima applicazione CAD multiplatforma. Vectorworks è stato anche uno dei primi a introdurre le funzionalità BIM, prima che il BIM diventasse una parola d'ordine del settore.

Il suo obiettivo è quello di aiutare gli utenti nella progettazione nei diversi mercati di design che variano dalla scenografia dei teatri all'illuminazione degli ambienti per proseguire fino alla costruzione navale. L'applicazione usa un'interfaccia semplificata e intuitiva aiutando lo sviluppo del lavoro degli utenti (Dalla Mora, 2014) [8].

Inoltre, permette di inviare il proprio lavoro ad un cloud in cui viene gestito e in cui viene realizzata una visione 3D stereoscopica del progetto. Fornisce anche la possibilità di realizzare stampe tridimensionali (Valdambrini, 2019) [15].

Anch'esso supporta l'importazione e l'esportazione dei file in formato IFC e risulta essere altamente interoperabile, infatti possiede:

- Interoperabilità strutturale: Revit Structure, Tekla;
- Interoperabilità energetica: IES VE e la sua suite di strumenti;

Inoltre, dialoga egregiamente con programmi di visualizzazione come:

- Artlantis;
- Maxon Cinema 4D.

Vectorworks, oltre ai file IFC, supporta altri tipi di formati di scambio come:

- DWG/DXF;
- IGS;
- STL;
- SAT;
- 3DS.

1.8.4 Edificius

Edificius è un programma della software house italiana Acca. Grazie ad esso è possibile realizzare renderizzazioni immediate e permette all'utente di realizzare progetti rimanendo sempre aggiornato sulle normative.

Permette di effettuare operazioni come:

- Progettazione architettonica 2D e 3D;
- Realtà Virtuale;
- Fotoinserimenti;
- Rendering;

- Condivisione dei modelli nel Cloud;
- Progettare gli impianti.

Questo programma si integra con Google Sketchup, infatti è possibile realizzare modelli 3D che variano dalla forma più semplice a quella più complessa che poi saranno importati in Edificius e saranno sottoposti a tutte le verifiche e a renderizzazione.

Un grande punto a favore per questo software è l'aderenza alla normativa italiana del settore delle costruzioni. Infatti, le direttive sono perfettamente integrate e aiutano l'utente a progettare rispettando le regole vigenti e riducendo al minimo gli errori e garantendo un processo progettuale più efficiente (Valdambrini, 2019) [15].

1.9 BIM e Realtà Aumentata

Il modello BIM può essere utilmente impiegato in tutte le professioni multidisciplinari e utilizzato a scopo illustrativo e di documentazione durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, dalla fase iniziale e di progettazione fino a quella operativa e di manutenzione. Tuttavia, l'attuale contributo del Building Information Modelling nelle attività sul campo (il sito di progetto, il cantiere) è ancora molto limitato a causa del limitato livello di interazione tra mondo virtuale e reale. La maggior parte del BIM esistente è modellato su dispositivi che non si accompagnano a nessuna delle componenti sensoriali, con il risultato di un'interazione nulla tra il modello e la situazione fisica. Di conseguenza, il BIM può servire solo come strumento di visualizzazione. Così, l'introduzione di un'altra tecnologia informatica, denominata Realtà Aumentata nel sistema BIM esistente, può aiutare a superare il problema, ponendo un ponte tra il modello BIM e il mondo reale. La Realtà Aumentata genera un ambiente in cui l'oggetto virtuale o l'informazione dal computer si sovrappone alla scena del mondo reale, dando luogo a un mondo misto (Zhang et al, 2013; Kang et al, 2013). Le tecnologie attuali hanno permesso la creazione del mondo misto quando gli utenti osservano un oggetto attraverso un'apparecchiatura speciale montata sul capo o con un dispositivo mobile. Il display dell'apparecchiatura indossata sul viso

dovrebbe essere costituito da materiale trasparente, che permette all'utente di osservare contemporaneamente la situazione del mondo reale mentre guarda il display. Nel caso di un dispositivo mobile, l'oggetto virtuale viene mostrato insieme all'immagine in tempo reale catturata attraverso la telecamera del dispositivo, formando una visione dell'ambiente mista. Si può quindi fare un confronto tra il mondo reale e quello virtuale, identificando le differenze con un semplice sguardo (Chai, 2019) [16].

L'integrazione del BIM con l'AR è una delle idee più popolari per migliorare l'usabilità e l'applicabilità del BIM nei lavori sul campo. Esistono fondamentalmente tre modi principali di integrare l'AR con il BIM proposti dagli studiosi e ne parleremo di seguito.

1.9.1 L'interoperabilità tra BIM e AR: l'AR BIM da tavolo

L'AR-BIM da tavolo è il modo più facile per integrare le due tecnologie. Il concetto di tecnologia AR è semplice, si tratta solo di registrare e tracciare i marcatori. Nella tecnologia ARBIM da tavolo, qualsiasi piano ingegneristico potrebbe servire come marcatore, mentre il modello 3D BIM prodotto da qualsiasi software BIM verrebbe utilizzato come contenuto digitale da mostrare in questi marcatori. Qualora si montassero gli apparecchi AR sopra il piano di ingegnerizzazione, il corrispondente modello 3D BIM verrebbe visualizzato sugli apparecchi. Inoltre, l'AR-BIM da tavolo utilizza la tecnologia di tracking del movimento in cui l'orientamento del modello BIM cambia di conseguenza quando gli utenti si muovono intorno al piano e ciò permette di avere una migliore visualizzazione sul modello (Chai, 2019) [16].

L'AR-BIM da tavolo è rimasto un'idea fino all'introduzione delle applicazioni mobili SmartReality da parte di JBKnowledge nel 2013 durante l'Associated General Contractors (AGC) di Chicago dell'American IT Forum (Prweb, 2017). L'applicazione mobile SmartReality ha permesso agli utenti di sovrapporre un corrispondente modello 3D BIM alla planimetria dell'edificio utilizzando qualsiasi dispositivo mobile come iPad e smartphone. Gli utenti possono manipolare il modello sia con lo zoom

avanti e indietro sia rimuovendo i livelli, come il rivestimento dell'oggetto, utilizzando l'applicazione mobile. SmartReality è molto semplice da usare in quanto gli utenti devono solo caricare i loro disegni 2D e modelli 3D sul portale web di SmartReality, e SmartReality eseguirà il lavoro di abbinamento per gli utenti. Una volta completati i lavori di abbinamento, gli utenti potranno utilizzare i servizi "montando" le applicazioni sopra i disegni tecnici stampati (Jones, 2014). Attualmente, ci sono stati pochi esempi di successo di utilizzo di applicazioni SmartReality nella costruzione e JBKnowledge ha mostrato due casi di studio sul suo sito ufficiale: l'utilizzo dell'applicazione per la visualizzazione di complicati dettagli del parapetto da parte di Hoar Construction e per la visualizzazione di marketing da parte di TURIS Systems come mostrato nella Figura 1.7 (Chai, 2019) [16].

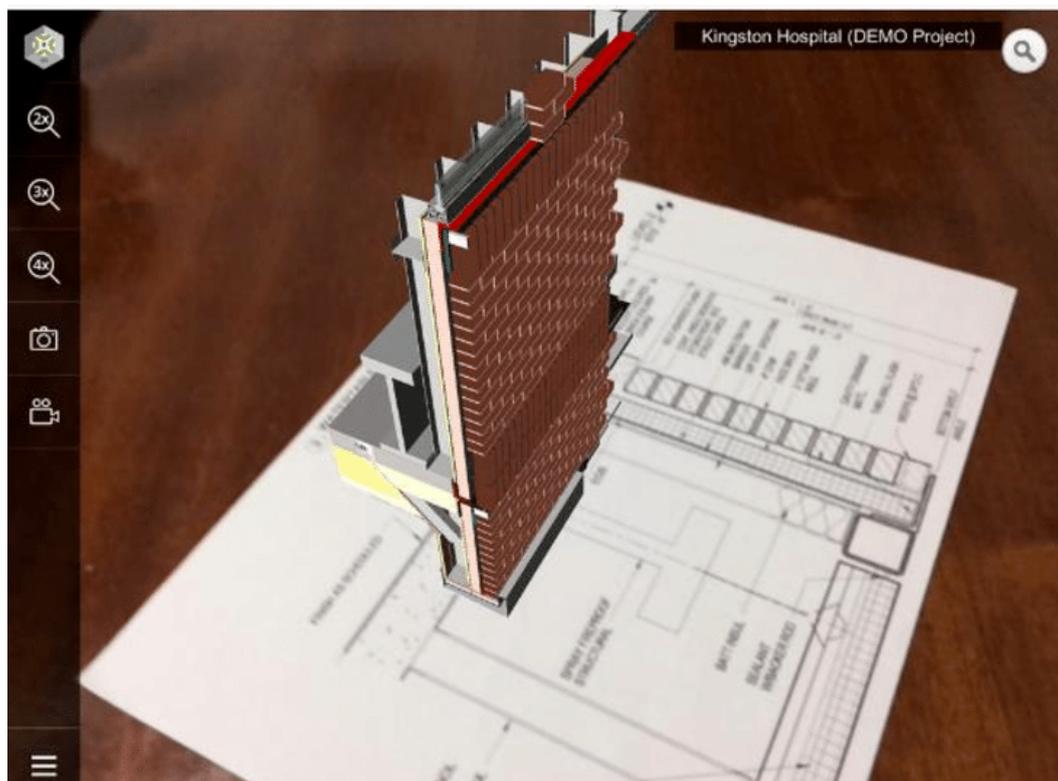


Figura 1.7: Prodotto SmartReality di Hoar Construction

1.9.2 L'interoperabilità tra BIM e AR: l'AR BIM portatile

L'AR-BIM portatile: è qualcosa di simile al sistema AR-BIM da tavolo. Tuttavia, invece di tracciare i marcatori sui disegni, l'AR-BIM portatile traccia particolari caratteristiche della scena catturata. Ad esempio, ci mostra le informazioni di una particolare parete quando viene inquadrata attraverso il sistema AR-BIM portatile. Inoltre, invece di mostrare l'intero modello BIM, il sistema AR-BIM portatile ingrandisce solo la parte corrispondente del modello di cui vogliamo sapere le caratteristiche. L'AR-BIM portatile è qualcosa di simile al VR dove i movimenti degli utenti sono tracciati dal sistema e i contenuti digitali visualizzati cambiano di conseguenza con questi movimenti. L'AR-BIM portatile è molto adatto all'uso in cantiere, in quanto non influenza la visione della situazione reale da parte dell'utente.

L'idea del sistema portatile AR-BIM è stata realizzata dal Daqri Smart Helmet nel 2016. L'uso dello Smart Helmet nel settore delle costruzioni è stato presentato alla fine del 2016, come risultato della collaborazione tra Daqri Smart Helmet, l'impresa di costruzioni americana Mortenson e Autodesk (Daqri, 2013). La dimostrazione è stata condotta nel novembre 2016 all'interno del Centro di Specializzazione per la costruzione dell'HCMC, Hennepin Healthcare Clinic di Minneapolis. Nella demo, i dipendenti di Mortenson hanno potuto vedere i dettagli di ogni elemento modellato in Autodesk BIM360 attraverso Daqri Smart Helmet. Quando ci si sposta, i contenuti digitali mostrati cambiano di conseguenza. Le informazioni fornite dal modello BIM sovrapposto non solo permettono agli utenti di visualizzare lo sviluppo futuro, ma lo rendono anche un promettente strumento di monitoraggio nei cantieri (Chai, 2019) [16].



Figura 1.8: *Daqri Smart Helmet di Mortenson*

1.9.3 L'interoperabilità tra BIM e AR: l'AR BIM remoto

L'AR-BIM remoto: è diverso rispetto ai precedenti tipi di ARBIM. Gli utenti registrano di tanto in tanto i video sulla situazione del sito e tutte le parti registrate vengono inviate in ufficio attraverso internet. Il sistema aggiungerà poi uno "strato" di modello BIM alla situazione reale. Si può quindi facilmente distinguere la differenza tra la situazione del mondo reale e il modello.

Questa aggiunta permette anche di capire lo sviluppo futuro della struttura. A differenza dell'AR-BIM da tavolo e portatile, che richiedeva agli utenti di essere in cantiere per capire la situazione del sito, il monitoraggio a distanza ARBIM permette agli utenti di monitorare la situazione del sito restando in ufficio (Chai, 2019) [16].



Figura 1.9: Realtà aumentata tramite video realizzati da drone

Ci sono ancora ampi margini di miglioramento, poiché ogni piattaforma ha i suoi vantaggi e i suoi limiti. Per ora, l'AR-BIM da tavolo sembra essere lo strumento più promettente tra i tre, mentre l'AR-BIM portatile è molto vantaggioso per gli appaltatori e il monitoraggio remoto AR-BIM è molto adatto ad essere utilizzato dagli sviluppatori.

1.10 BIM e Realtà Virtuale

La tecnologia della realtà virtuale (VR) può portare ad una comunicazione migliore per i principali attori del settore edile, basata su una maggiore visualizzazione del design, contribuendo a una migliore comprensione del progetto. La conoscenza del diverso tipo di dati che possono essere associati all'insieme dei parametri che identificano ogni oggetto parametrico, base del processo di modellazione BIM, è di grande importanza quando i membri del team vogliono analizzare i problemi e discutere soluzioni alternative. Interagire con il modello BIM, al fine di visualizzare la geometria degli elementi e di consultare i dati parametrici, contribuisce ad un miglioramento nello sviluppo di un progetto collaborativo (Sampaio, 2018) [7].

L'accettazione dell'uso di VR nell'edilizia è in crescita. La VR consente all'utente di immergersi completamente in un modello 3D/BIM in scala 1:1 che può essere manipolato, fornendo un accurato senso di presenza in uno spazio ancora da costruire. I professionisti dell'architettura, dell'ingegneria e della gestione delle costruzioni riconoscono che le applicazioni VR rendono più facile per i clienti visualizzare i progetti in anticipo, riducendo i costi dei materiali e riducendo il numero di lavoratori necessari per i progetti. Ad esempio, un tour VR può essere applicato su un modello BIM per verificare, dal punto di vista del facility management, il piano di manutenzione (modello 7D/BIM), o dal punto di vista del team di progetto, la revisione della realizzabilità (4D/BIM modello), a sostegno del processo decisionale. La tecnologia VR può migliorare la metodologia BIM, in quanto permette l'interazione con i modelli 3D/BIM in due modi essenziali (Sampaio, 2018) [7]:

- Il Walkthrough o passeggiata: è il più popolare in quanto l'utente può visualizzare il modello 3D in un ambiente virtuale in tempo reale da molteplici prospettive dell'edificio, dall'interno o dall'esterno;
- La consultazione dei dati: riguarda la possibilità di recuperare informazioni centralizzate in un modello BIM, ovvero i dati associati ai parametri che compongono gli oggetti parametrici utilizzati nel processo di modellazione.

1.10.1 Walkthrough

La realtà virtuale può migliorare lo sviluppo e l'analisi di qualsiasi dettaglio del progetto, lungo fasi di progettazione distinte, in quanto coinvolge facilmente tutto il team e può essere elaborata una decisione giustificabile in merito a soluzioni alternative o alla risoluzione dei problemi. La fattibilità di un edificio può essere testata attraverso modelli digitali in scala e il giudizio dei soggetti coinvolti, ma questi modelli non possono simulare completamente i fattori ambientali a cui è sottoposto un edificio e le valutazioni umane possono essere imprecise. Le possibilità di VR sono più realistiche in quanto il modello può essere reso in 3D e il membro del team può sperimentare ed esplorare lo spazio quasi come uno spazio reale.

La tecnologia VR permette all'utente di osservare l'ambiente costruito, camminando all'esterno e all'interno e di vedere tutto ciò che lo circonda, ma anche di toccare gli oggetti in tempo reale. Per creare un ambiente VR immersivo sono necessarie una tecnologia di computer grafica per ambienti immersivi e un'attrezzatura selettiva con capacità di visualizzazione e interazione avanzate. Il mondo virtuale 3D utilizzato per supportare i diversi aspetti dell'attività di costruzione è in costante crescita al giorno d'oggi. La prospettiva attuale, riportata nei lavori di ricerca e nei siti web commerciali, è l'uso di VR applicato sul modello BIM, come contributo positivo e innovativo, per migliorare l'efficienza dell'industria delle costruzioni. La tecnologia VR ha visto sviluppi negli ultimi anni ed è stata applicata nel campo dell'architettura, dell'ingegneria e dell'edilizia.

Attualmente architetti, ingegneri e altri specialisti della costruzione stanno già esplorando in molti modi la tecnologia congiunta della VR e del BIM (Figura 1.10). Ci sono quasi cinquanta strumenti software e hardware VR disponibili in questo momento che possono ridefinire il modo in cui il BIM è implementato ed interpretato in questo contesto (Sampaio, 2018) [7].



Figura 1.10: *Tour con realtà virtuale all'interno e all'esterno di un modello BIM*

I contenuti VR possono essere non immersivi, utilizzando solo un desktop o un tablet PC, o immersivi, utilizzando un display montato sul capo (HMD) come Gear VR o Oculus Rift. I display VR montati sul viso hanno la capacità di migliorare il modo in cui i progettisti comunicano prima della costruzione degli edifici. Il dispositivo HMD permette all'utente di essere immerso nel progetto mediante un modello di supporto per comprendere e valutare i nuovi concetti di progettazione e le

alternative create con strumenti di modellazione BIM. Attualmente, ci sono varie applicazioni di strumenti di realtà virtuale che possono essere applicate nell'attività di costruzione come aiuto agli ingegneri e agli architetti lavoro e ne parleremo di seguito (Sampaio, 2018) [7].

1.10.2 Walkthrough: Samsung Gear VR

Samsung Gear VR è un dispositivo di realtà virtuale che permette di esplorare mondi virtuali in cantiere o durante le riunioni (Figura 1.11). Per realizzare la realtà virtuale utilizzando Gear VR durante la gestione degli impianti, è necessario un modello BIM e sono necessarie anche le immagini del cantiere per seguire le fasi di costruzione. L'utente dovrebbe avere familiarità con i software BIM, come Revit per la visualizzazione, e 3ds Max per il rendering. Per navigare all'interno e all'esterno del modello BIM in un mondo virtuale, è necessario l'uso di motori di calcolo utilizzati nei videogiochi come Unity3D con Android Studio e, per quanto riguarda l'esplorazione di immagini panoramiche, sono necessari anche attrezzature per fotografie panoramiche e strumenti di editing che aiutino a convertirle in immagini 3D (Sampaio, 2018) [7];



Figura 1.11: Utilizzo di visori BIM per il miglioramento del lavoro

1.10.3 Walkthrough: Oculus Rift

Oculus Rift è un'applicazione di visualizzazione in tempo reale con capacità interattive, sviluppato dalla Oculus Company, e può essere implementato come plugin in Revit. Con il giusto know-how tecnico, Oculus può essere utilizzato per rappresen-

tare un intero edificio e dare una prospettiva migliore della scala reale del progetto, cosa che non è consentita in modo così realistico utilizzando solo i tradizionali sistemi a monitor. Esso offre un ampio angolo di visione, fino a 110°. Questi occhiali VR sono in grado di visualizzare e sperimentare il modello 3D, l'immagine panoramica a 360° e il mock-up virtuale sulla base di un modello BIM. Per Oculus Rift, i requisiti minimi di interattività sono più elevati, poiché l'interazione fisica e l'aggiornamento del display diventano molto più integrati. Il dispositivo fornisce una vista 3D stereoscopica e comprende un giroscopio, un accelerometro e un magnetometro per determinare l'orientamento della testa dell'utente nel mondo reale. Nel caso del Rift, la vista 3D stereoscopica viene implementata mediante il rendering a schermo diviso (Figura 1.12) (Sampaio, 2018) [7];



Figura 1.12: La metà sinistra e la metà destra dello schermo corrispondono ad un occhio

1.10.4 Walkthrough: Enscape Revit/SketchUp

Con il plugin Enscape Revit, l'utente è in grado di esplorare rapidamente le diverse opzioni di progettazione e di presentare i progetti ai clienti. Un walkthrough che utilizza Enscape di solito gira a fianco di Revit o SketchUp, rilasciando tutte le prospettive, i dettagli geometrici e gli eventuali aggiustamenti del progetto. Inoltre, in un rendering in tempo reale in SketchUp, disponibile da Enscape, può essere programmato un walkthrough, che permette la creazione di una serie di filmati, che possono essere esportati come un eseguibile stand-alone da distribuire a clienti o colleghi. L'utilizzo di Enscape per la visualizzazione e il rendering in tempo reale consente al team di progetto di comunicare accuratamente con la progettazione ingegneristica, i clienti e le parti interessate, migliorando la progettazione collaborativa. La capacità

di camminare all'interno dei modelli BIM e di rigenerare le modifiche di progetto senza lasciare Revit è di grande importanza e fa risparmiare tempo. Quindi Enscape aggiunge un valore significativo alla comunicazione all'interno di un team, in quanto un walkthrough reso in tempo reale è in grado di essere generato direttamente dai modelli Revit. In questo modo immersivo e altamente realistico, i consulenti o i progettisti comprendono meglio il progetto, in quanto possono giudicare non solo l'aspetto tecnico ma anche l'impatto visivo realistico (Figura 1.13) (Caso, 2017) [17].



Figura 1.13: Walkthrough con il plugin Enscape Revit

1.10.5 Walkthrough: Smart Reality

L'applicazione Smart Reality apporta un innovativo realismo agli strumenti di interazione tra clienti, ingegneri, appaltatori e altri professionisti del settore edile. L'utente è istantaneamente immerso in un vero ambiente 3D che dà un senso di scala, profondità e consapevolezza spaziale aggiungendo una prospettiva più realistica del modello e del suo ambiente. L'applicazione mobile VR è stata sviluppata per i costruttori e combina piante 2D e modelli di progetto 3D per una migliore visualizzazione mobile dei progetti di costruzione. La capacità VR di questa app sta cominciando a introdurre un nuovo livello di consapevolezza anche nel processo di progettazione e costruzione, aiutando le parti interessate ad avere un'esperienza più completa del modello BIM (Figura 1.14). La Smart Reality può essere utilizzata per aiutare il proprietario o l'architetto ad avere una visione migliore e più realistica del prodotto prima dell'inizio della costruzione. L'applicazione Smart Reality può essere scaricata per iOS e Android e utilizzata per controllare e analizzare aspetti

distinti del progetto in qualsiasi luogo e con qualsiasi membro del team, in modo semplice e in modo collaborativo. L'esperienza può essere ulteriormente migliorata utilizzando le cuffie VR come Oculus Rift e gli occhiali intelligenti Moverio BT-200 di Epson (Sampaio, 2018) [7];



Figura 1.14: Applicazione di Smart reality

1.10.6 Walkthrough: Visidraft

L'applicazione Visidraft costruisce in realtà un mondo 3D intorno all'utente. Visidraft converte istantaneamente anche le elevazioni 2D e le planimetrie, in proiezioni 3D corrispondenti (se visualizzate attraverso una telecamera mobile). Quando l'utente posiziona oggetti virtuali nell'ambiente, l'app calcola automaticamente le distanze relative di tutti gli oggetti presenti in quella stanza permettendo all'utente di camminare fisicamente nella stanza con il dispositivo e di visualizzare e ri-organizzare gli oggetti comodamente (Figura 1.15). L'app nasce come plugin di Revit, ArchiCAD e Nemetschek Vectorworks (Advenser, 2016) [18];



Figura 1.15: Visualizzazione, in un dispositivo mobile, di un modello 3D con l'applicazione Visidraft

1.10.7 Walkthrough: PrioVR

PrioVR è un sistema di motion capture in tempo reale per la realtà virtuale che può essere utilizzato anche nelle costruzioni (Figura 1.16). Il dispositivo di motion capture PrioVR aiuta l'utente a sperimentare una VR nell'ambiente attraverso movimenti naturali del corpo invece di usare una tastiera e un mouse. PrioVR può essere usato per aprire virtualmente le porte, accendere le luci e riposizionare gli oggetti, per cambiare materiali come la carta da parati e per sperimentare tutti i tipi di elementi ambientali come l'illuminazione, il tempo atmosferico e l'ambiente circostante in tempo reale. Il dispositivo funziona tramite sensori corporei che trasmettono informazioni sui movimenti del corpo al software VR. L'utente è dotato di una tuta completa per il corpo, che ha 12 sensori interni ad essa collegati, o semplicemente di un corpetto, che traccia con 8 sensori. Per creare un ambiente VR di un luogo di costruzione e per consentire un'utile interazione con i componenti di progettazione, i sensori PrioVR devono essere adeguatamente calibrati. Questa regolazione permette all'utente di catturare con precisione i movimenti e gli oggetti modellati nel mondo VR. Permette un angolo di visione a 360° intorno al luogo virtuale (Advenser, 2016) [18];



Figura 1.16: Sistema di cattura PrioVR applicato nella costruzione

1.10.8 VR e consultazione dei dati

Una volta che il modello si trova all'interno dell'ambiente VR, vengono aggiunti elementi come i materiali, l'illuminazione, l'arredamento e altri piccoli dettagli che fanno sembrare reale l'esperienza VR. Questo è il concetto di walkthrough, ma la caratteristica del BIM è quella di contenere dati ed è conveniente poterli ottenere mentre si cammina all'interno di un modello virtuale. Il VR può svolgere un ruolo importante in tutte le fasi del processo di progettazione e costruzione, dalla valutazione delle opzioni di progettazione alla presentazione delle proposte, dalla progettazione degli errori alla soluzione dei problemi di costruzione e di manutenzione prima di iniziare a lavorare sul posto. Il software VR completamente interattivo ha esigenze di prestazioni estremamente elevate, ma sono necessarie capacità tecnologiche aggiuntive per quanto riguarda il recupero dei dati dei modelli quando si trasferiscono i dati BIM in un ambiente VR.

La collaborazione per gli strumenti BIM è progettata per aiutare i team di progetto a superare le barriere aziendali e della localizzazione fisica, consentendo l'accesso centralizzato ai modelli BIM. I diversi membri del team sono in grado di accedere ai modelli centrali ospitati dal cloud e di lavorarci. L'accesso ai dati del progetto è basato sui permessi, ed è accessibile al team di progetto ovunque. Così, quando i progetti collaborativi sono discussi tra le diverse figure professionali, consultano i dati BIM nei modelli ospitati su cloud. Inoltre, la capacità di consultare i dati può essere migliorata con i dispositivi VR applicati direttamente sul modello stesso.

Combinando i dispositivi VR applicati sul modello BIM e l'ispezione reale sul posto, si ottiene una nuova prospettiva per i professionisti del facility management. Il VR ha la capacità di migliorare il modo in cui i manager e i lavoratori edili accedono alle informazioni virtuali del progetto stabilito. Tutte le informazioni virtuali ricche di dati sono disponibili nel modello BIM e possono essere recuperate, consultate e analizzate durante l'ispezione reale sul sito. I problemi di costruzione possono essere affrontati in tempo reale risparmiando tempo e risorse (Sampaio, 2018) [7].

Diversi plugin o visualizzatori BIM permettono di consultare i dati del modello 3D, di seguito ne citiamo qualcuno.

1.10.9 Consultazione dei dati: Autodesk 360

Autodesk 360 consente l'integrazione del team in progetti collaborativi, poiché ogni modifica in un modello BIM viene visualizzata in una timeline che tutti possono vedere. Autodesk produce una soluzione completa basata sul web per la revisione dei contenuti BIM. Per lavorare con essa, tutti i membri di Autodesk 360 coinvolti devono essere invitati al progetto e quindi ogni membro sarà in grado di vedere e scaricare i contenuti caricati nell'ambito della propria disciplina. Oltre a mostrare il modello 3D, Autodesk 360 visualizza ogni foglio incorporato nel modello Revit caricato. Il visualizzatore 3D consente agli utenti di isolare gli elementi per categorie e di visualizzare ogni loro proprietà. Così tutti i dati possono essere consultati, analizzati e modificati, reindirizzando il progetto in un ambiente collaborativo (Autodesk 360, 2017) [19];

1.10.10 Consultazione dei dati: Plugin di Revit

Per supportare un ambiente di progettazione integrato, Autodesk Revit consente l'utilizzo di plugin per la visualizzazione. In Revit l'utente inizializza la scheda "Moduli aggiuntivi" e i risultati della visualizzazione 3D sono visibili in una nuova finestra (Figura 1.17). L'utente può navigare sul modello, recuperando i dati desiderati in un desktop utilizzando mouse e tastiera, o migliorando l'esperienza di VR collegandosi con un dispositivo Oculus HMD. L'immersione nel modello espone l'utente all'intero database BIM sottostante inizializzando un processo di consultazione dei dati. Il modello viene visualizzato in una finestra sovrapposta, dove l'utente può interagire come utente VR, e inoltre, con l'apertura di Revit l'utente può consultare il database del modello o l'oggetto parametrico utilizzato nel processo di modellazione. Ogni volta che si incontra una rappresentazione geometrica unica per la prima volta, tutti i suoi dati possono essere recuperati.

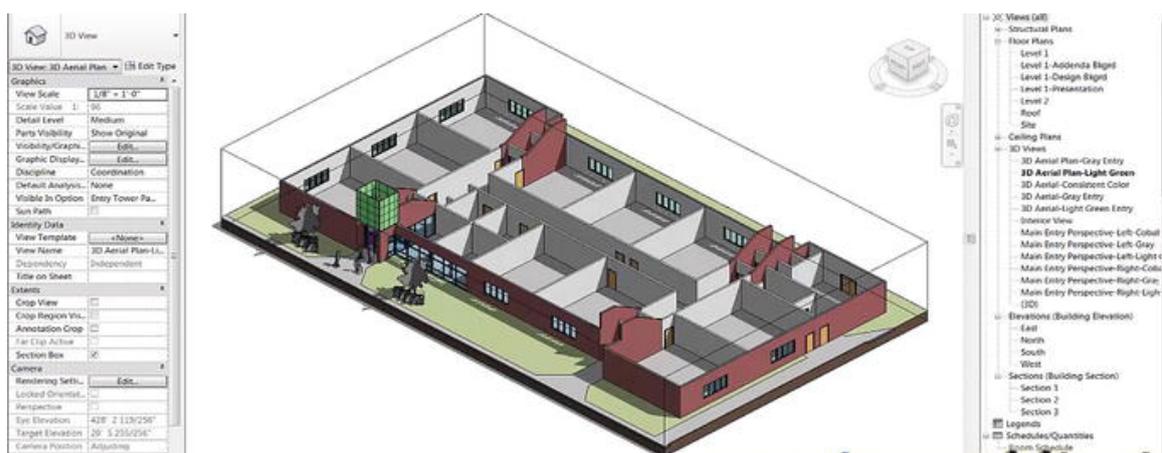


Figura 1.17: L'interfaccia del plugin per la visualizzazione in Revit

1.10.11 Consultazione dei dati: Enscape

Una visualizzazione accessibile di alto livello e la realtà virtuale di un modello BIM si ottengono utilizzando il plugin VR di Revit: Enscape. In precedenza, era stata menzionata solo la capacità di walkthrough, ma Enscape permette anche, insieme a Revit, di consultare i dati (Figura 1.18). Quindi, tutti i cambiamenti nel software Autodesk sono immediatamente disponibili per la valutazione nel plugin. Poiché Revit permette all'utente di lavorare sul modello, è possibile recuperare le informazioni legate ad ogni oggetto parametrico utilizzato nel modello BIM. In un dominio 7D/BIM, un tour virtuale insieme ad Enscape permette al Facility Manager di guardarsi intorno e di controllare le condizioni delle apparecchiature e di ottenere informazioni rilevanti dal modello BIM, utilizzando l'interfaccia Revit. Per esempio, la visualizzazione del modello BIM di un sistema MEP in un tour virtuale e l'utilizzo di un tablet PC, aiuta il facility manager a capire cosa può essere stato installato dietro il pannello di un soffitto. Quindi l'aspetto di collegare la capacità di consulenza e la capacità VR di andare in giro è un miglioramento molto importante nell'uso della metodologia BIM. Per migliorare l'esperienza VR, Enscape può anche essere utilizzato insieme a Oculus Rift. Con esso, l'utente è in grado di esplorare rapidamente diverse opzioni di progettazione a supporto di un team di progetto collaborativo. Questo plugin mostrerà immediatamente le soluzioni alternative o le modifiche al design, che il progettista fa nel progetto, utilizzando Revit (Enscape, 2017) [20];



Figura 1.18: *Plugin Enscape per Revit*

1.10.12 Consultazione dei dati: Augment

Augment è un software di realtà aumentata (AR) che permette all'utente di visualizzare il modello 3D/BIM in un ambiente realistico e può essere scaricato su uno smartphone o su un tablet. Le tecnologie AR plus BIM consentono un tour in tempo reale all'interno dell'edificio e anche di consultare i vari dati assegnati al modello. Augment permette la visualizzazione di uno spazio di costruzione 3D a partire da un insieme di disegni 2D del progetto (Figura 1.19). Il team di progettazione può caricare il disegno 2D sul sito web dell'applicazione Augment e il cliente può visualizzare il disegno 2D in 3D, migliorando la comprensione dei dettagli del progetto. Inoltre, AutoCAD, Revit e SolidWorks sono compatibili con l'applicazione Augment. In Revit, l'utente può consultare i dati e in Augment l'utente può interagire in un ambiente VR (Augment, 2017) [21].



Figura 1.19: *Software VR Augment*

1.10.13 Consultazione dei dati: Autodesk Stingray

Autodesk Stingray consente all'utente, facendo clic sugli oggetti di un modello Revit, di visualizzare le diverse informazioni. Il dispositivo VR consente all'utente di creare stime e pianificazioni interattive di alta qualità in VR collegando fonti di dati BIM esterne al motore interattivo di Autodesk Stingray. Per questo i dati BIM vengono esportati dal software Revit in una fonte di dati esterna, per essere organizzati e ordinati, e poi queste informazioni vengono utilizzate in Stingray in varie configurazioni per creare ambienti interattivi e immersivi (Figura 1.20). Così, i clienti possono visualizzare diverse opzioni di progettazione, costo e programmazione in VR. Il team di progetto sarà in grado di visualizzare i piani logistici del sito 4D e i preventivi 5D, e quindi, di scegliere tra varie opzioni di design e materiali e vedere i costi ad essi associati. I vantaggi della stima e della programmazione in VR includono la visualizzazione realistica del progetto e la decisione in tempo reale (Sampaio, 2018) [7].



Figura 1.20: Software VR Autodesk Stingray

1.10.14 Consultazione dei dati: Covise

Poiché il software BIM viene normalmente eseguito su singole postazioni di lavoro, il potenziale di collaborazione diretta è in qualche modo limitato. L'obiettivo della ricerca condotta da Kieferle e Woessner è stato quello di fornire una piattaforma per lo sviluppo e l'ottimizzazione combinando BIM e VR, basata sul collegamento tra Revit e Covise, software VR. Essi sono stati in grado di implementare una serie

di interazioni, ma hanno comunque rilevato qualche limitazione nel processo. Il modello 3D del progetto e i dati associati possono essere visualizzati e consultati utilizzando Covise, migliorando la collaborazione anche in situazioni di conferenze di team a distanza. Quando vengono apportate modifiche in Revit, esse vengono rilasciate direttamente nel software Covise e viceversa. Rispetto ad altri software questo può essere considerato un progresso nella tecnologia VR + BIM (Sampaio, 2018) [7].

1.11 BIM e normativa in Italia

La normativa nella metodologia del Building Information Modeling è fondamentale. Infatti, con il passare del tempo, essa si è evoluta contribuendo alla formazione di una serie di standard e pratiche.

In ambito europeo, risulta di fondamentale importanza la “European Union Procurement Directive” 2014/24 del 26 Febbraio 2014, dove venivano invitati gli stati membri dell’Unione Europea a “incoraggiare, specificare o imporre” entro il 2016, l’adozione del BIM come standard di riferimento per l’esecuzione di lavori a finanziamento pubblico (AssoBIM, 2018) [1].

In Italia, un primo avvicinamento alla normativa sul BIM si è avuta con la riforma degli appalti pubblici nel giugno del 2014, quando fu fondato un gruppo di azione che stipulò un documento articolato in 5 capitoli:

- Assetto normativo e istituzionale;
- Capacità amministrativa;
- Apertura alla concorrenza delle gare pubbliche;
- Nuovo sistema delle concessioni;
- Sistema dei controlli.

Nel 2016 vengono introdotte nuove normative in ambito edilizio.

Possiamo ricordare:

- Legge N.11 del Gennaio 2016: il Governo viene incaricato di attuare le direttive europee per quanto riguarda l'assegnazione dei contratti di concessione;
- Decreto Legislativo N.50 del 18 Aprile 2016: viene ufficializzato il Nuovo Codice dei Contratti Pubblici.

Due pubblicazioni molto importanti vedono come data di creazione Luglio 2017. Le citiamo di seguito:

- Schema del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT): si parla degli strumenti e dei metodi di modellazione obbligatori secondo l'articolo 23 del comma 13, del Decreto Legislativo N.50/2016;
- Il BIM Handbook: "Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth", promosso dalla Commissione Europea e redatto da un comitato tecnico internazionale. L'Italia era rappresentata dai membri dell'Italian BIM Commission and Ministry of Infrastructure and Transport, Pietro Baratono e Angelo Ciribini.

Entrambe queste pubblicazioni mostravano delle chiare regole che servivano per facilitare agli utenti implementazione della metodologia del Building Information Modeling.

L'obbligatorietà progressiva dell'utilizzo del BIM negli appalti pubblici venne poi confermata con la stesura definitiva del Decreto Ministeriale N.560/2017 (AssoBIM, 2018) [1].

le fasi di gestione, manutenzione e dismissione, le reti di sensori ci forniscono i dati sul comportamento effettivo dei sistemi, del loro utilizzo, della loro efficienza. Tali reti sono riconducibili all'ambito del cosiddetto Internet delle Cose o IoT.

Il concetto di Internet of Things è stato coniato da un membro della comunità di sviluppo del Radio Frequency Identification (RFID), ovvero dell'identificazione con radio frequenze, nel 1999 e recentemente è diventato molto importante nel mondo grazie alla crescita dei dispositivi mobili e delle nuove tecnologie. Immaginate un mondo in cui miliardi di oggetti possano percepire, comunicare e condividere informazioni, tutti interconnessi su reti IP (Internet Protocol) pubbliche o private. Questi oggetti interconnessi hanno dati regolarmente raccolti, analizzati e utilizzati per avviare un'azione, fornendo una ricchezza di informazioni per la pianificazione, la gestione e il processo decisionale. Questo è il mondo dell'Internet delle cose (IoT) (Patel, 2016) [22].

L'Internet Of Things (IoT) viene definito come una rete di oggetti fisici. Internet non è solo una rete di computer, ma si è evoluto in una rete di dispositivi di ogni tipo e dimensione: veicoli, smartphone, elettrodomestici, giocattoli, macchine fotografiche, strumenti medici e sistemi industriali, animali, persone, edifici.

Tutti gli oggetti sono collegati, tutti comunicano e condividono informazioni sulla base di protocolli stabiliti al fine di ottenere:

- Riorganizzazioni intelligenti;
- Posizionamento, tracciamento, sicurezza, controllo e il monitoraggio personale in tempo reale;
- L'aggiornamento online;
- Il controllo dei processi e dell'amministrazione (Patel, 2016) [22]. Definiamo l'IoT in tre categorie come segue:
- Da persone a persone;

- Da persone a cose;
- Da cose a cose.

L'Internet of Things (IoT) è un concetto e un paradigma che considera la presenza pervasiva nell'ambiente di una varietà di oggetti che attraverso connessioni wireless e cablate e schemi di indirizzamento unici sono in grado di interagire tra loro e cooperare con altri oggetti per creare nuove applicazioni/servizi e raggiungere obiettivi comuni. In questo contesto le sfide della ricerca e dello sviluppo per creare un mondo intelligente sono enormi. Un mondo dove il reale, il digitale e il virtuale stanno convergendo per creare ambienti intelligenti che rendono più intelligenti l'energia, i trasporti, le città e molti altri settori.

L'Internet of Things si riferisce all'idea generale di cose, soprattutto oggetti di uso quotidiano, che sono leggibili, riconoscibili, localizzabili, indirizzabili attraverso un dispositivo di rilevamento delle informazioni e/o controllabili via Internet, indipendentemente dal mezzo di comunicazione (sia tramite RFID, LAN senza fili, reti ad ampio raggio o altri mezzi). Gli oggetti di uso quotidiano comprendono non solo i dispositivi elettronici che vediamo o i prodotti di maggiore sviluppo tecnologico come i veicoli e le attrezzature, ma anche cose che normalmente non pensiamo affatto come elettroniche - come cibo, vestiti, sedie, animali, alberi, acqua, ecc... L'Internet delle cose è una nuova rivoluzione di Internet. Gli oggetti si rendono riconoscibili e incorporano intelligenza prendendo o autorizzando decisioni relative al contesto grazie al fatto che possono comunicare informazioni su se stessi. Possono accedere a informazioni che sono state raccolte da altre cose, oppure possono essere componenti di servizi complessi. Questa trasformazione è concomitante con l'emergere delle capacità di cloud computing e la transizione di Internet verso l'IPv6 con una capacità di indirizzamento quasi illimitata. L'obiettivo dell'Internet delle cose è quello di permettere agli oggetti di essere connesse in qualsiasi momento, in qualsiasi luogo, con qualsiasi cosa e chiunque utilizzando idealmente qualsiasi percorso/rete e qualsiasi servizio (Patel, 2016) [22].

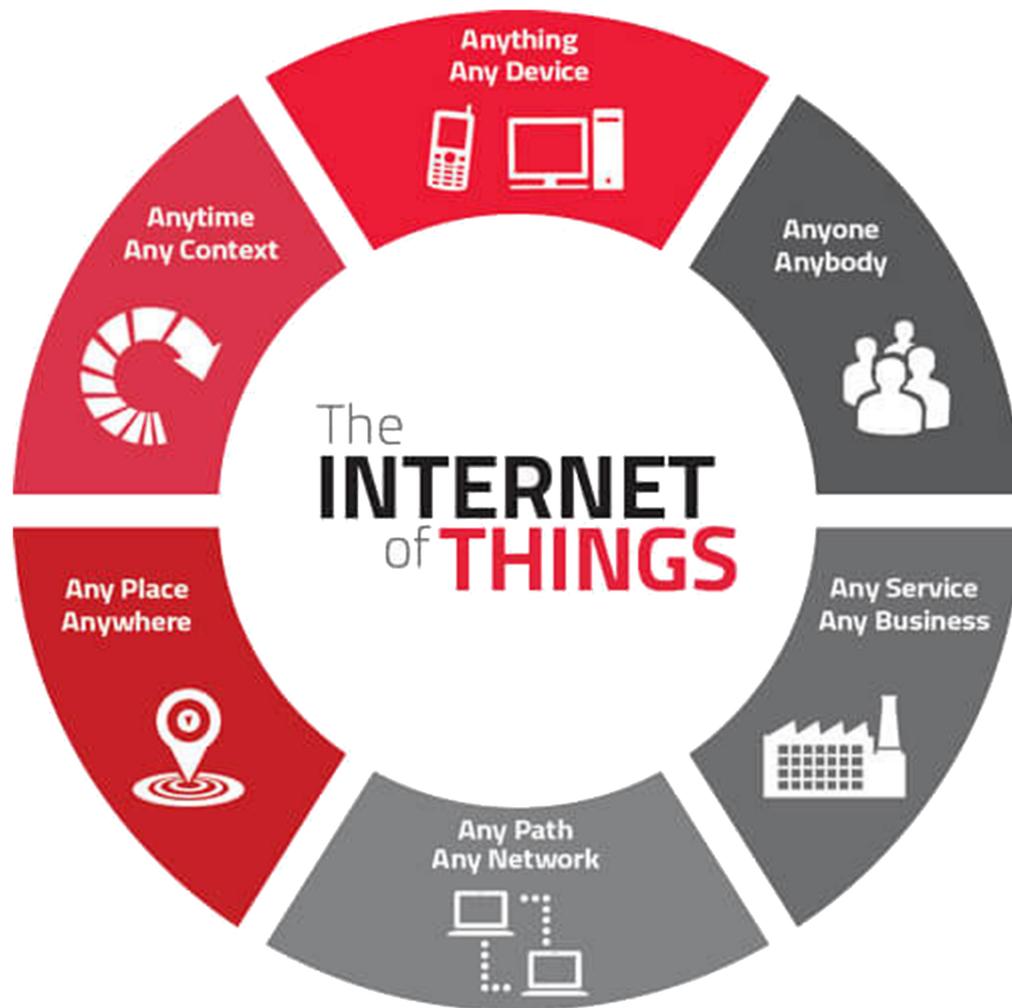


Figura 2.2: Connessione tramite IoT

2.1 Le tecnologie abilitanti per l'Internet Of Things

L'Internet delle Cose (Internet of Things - IoT) è un'infrastruttura globale per la società dell'informazione, che consente servizi avanzati mediante l'interconnessione (fisica e virtuale) di oggetti basati sulle tecnologie dell'informazione e della comunicazione interoperabili esistenti e in evoluzione. Con esso, la comunicazione si estende via Internet a tutte le cose che ci circondano. L'Internet delle Cose è molto più di una comunicazione da macchina a macchina. Le reti di sensori, il 2G/3G/4G, il GSM, il GPRS, il RFID, il WI-FI, il GPS, il microcontrollore, il microprocessore sono considerate le tecnologie abilitanti che rendono possibili le applicazioni "dell'Inter-

net of Things" (TutorialsPoint, 2016) [23].

Le tecnologie abilitanti possono essere raggruppate in tre categorie:

- Tecnologie che permettono alle "cose" di acquisire informazioni contestuali;
- Tecnologie che permettono alle "cose" di elaborare informazioni contestuali;
- Tecnologie che migliorano la sicurezza e la privacy.

Le prime due categorie possono essere intese congiuntamente come blocchi funzionali che richiedono la costruzione di "intelligenza" in "cose", che sono in effetti le caratteristiche che differenziano l'Internet degli oggetti dalla consueta Internet. La terza categoria non è un requisito funzionale, ma piuttosto un requisito di fatto, senza il quale la penetrazione dell'Internet of Things sarebbe fortemente ridotta.

L'Internet delle cose non è una tecnologia unica, ma è l'unione di diverse tecnologie hardware e software. L'Internet degli oggetti fornisce soluzioni basate sull'integrazione della tecnologia dell'informazione, che si riferisce all'hardware e al software utilizzato per memorizzare, recuperare ed elaborare dati e alla tecnologia di comunicazione che comprende i sistemi elettronici utilizzati per la comunicazione tra individui o gruppi. Esiste un mix eterogeneo di tecnologie di comunicazione, che devono essere adattate per rispondere alle esigenze delle applicazioni dell'Internet degli oggetti, come l'efficienza energetica, la velocità, la sicurezza e l'affidabilità. In questo contesto, è possibile che il livello di diversità sia scalabile fino a un certo numero di tecnologie di connettività gestibili che rispondono alle esigenze delle applicazioni dell'Internet delle Cose. Tra gli esempi standard in queste categorie vi sono quelli cablati e tecnologie wireless come Ethernet, WI-FI, Bluetooth, ZigBee, GSM e GPRS (TutorialsPoint, 2016) [23].

2.1.1 Caratteristiche

Le caratteristiche fondamentali dell'Internet delle Cose sono le seguenti (Patel, 2016) [22]:

- **Interconnettività:** per quanto riguarda l'Internet degli oggetti, tutto può essere interconnesso con l'infrastruttura globale di informazione e comunicazione;
- **Servizi relativi alle cose:** l'Internet degli oggetti è in grado di fornire servizi relativi alle cose entro i limiti delle cose, come la protezione della privacy e la coerenza semantica tra le cose fisiche e le cose virtuali ad esse associate. Per fornire servizi legati alle cose entro i limiti delle cose, sia le tecnologie del mondo fisico che quelle del mondo dell'informazione sono destinate a cambiare;
- **Eterogeneità:** i dispositivi dell'Internet degli oggetti sono eterogenei in quanto basati su diverse piattaforme hardware e reti. Possono interagire con altri dispositivi o piattaforme di servizio attraverso reti diverse;
- **Cambiamenti dinamici:** lo stato dei dispositivi cambia dinamicamente, ad esempio il collegamento e/o lo scollegamento, così come il contesto dei dispositivi, inclusi la posizione e la velocità. Inoltre, il numero di dispositivi può cambiare dinamicamente;
- **Scala enorme:** il numero di dispositivi che devono essere gestiti e che comunicano tra loro sarà almeno di un ordine di grandezza superiore a quello dei dispositivi collegati a Internet. Ancora più critica sarà la gestione dei dati generati e la loro interpretazione a fini applicativi. Ciò riguarda la semantica dei dati, nonché l'efficiente loro gestione;
- **Sicurezza:** man mano che otteniamo benefici dall'Internet of Things, non dobbiamo dimenticare la sicurezza. Come creatori e destinatari dell'IoT, dobbiamo progettare per la sicurezza. Ciò include la salvaguardia dei nostri dati personali e del nostro benessere fisico. Proteggere gli endpoint, le reti e i dati che si muovono in tutto questo significa creare un paradigma di sicurezza alle diverse scale;
- **Connettività:** la connettività consente l'accessibilità e la compatibilità della rete. Accessibilità è entrare in rete mentre la compatibilità fornisce la comune capacità di consumare e produrre dati.

2.2 L'architettura dell'IoT

L'architettura dell'Internet of Things è costituita da diversi strati di tecnologie a proprio supporto. Serve a illustrare come le varie tecnologie si relazionano tra loro e a comunicare la scalabilità, la modularità e la configurazione delle implementazioni IOT in diversi scenari.

La funzionalità di ogni strato è descritta di seguito (Cherchi, 2015) [24]:

- Dispositivo intelligente/Strato del sensore: lo strato più basso è costituito da oggetti intelligenti integrati con sensori. I sensori consentono l'interconnessione del mondo fisico e digitale permettendo la raccolta e l'elaborazione di informazioni in tempo reale. Esistono vari tipi di sensori per diversi scopi. I sensori hanno la capacità di effettuare misurazioni di grandezze quali la temperatura, la qualità dell'aria, la velocità, l'umidità, la pressione, il flusso, il movimento e l'elettricità, ecc. In alcuni casi, essi possono anche avere un certo grado di memoria, che permette loro di registrare un certo numero di misurazioni. Un sensore può misurare la proprietà fisica e convertirla in un segnale che può essere compreso da uno strumento. I sensori sono raggruppati secondo il loro scopo unico, come i sensori ambientali, i sensori del corpo, i sensori degli elettrodomestici e i sensori telematici dei veicoli ecc.. La maggior parte dei sensori richiede la connettività ai portali dei sensori. Questo può essere fatto sotto forma di Local Area Network (LAN) come connessioni Ethernet e Wi-Fi o Personal Area Network (PAN) come ZigBee, Bluetooth e Ultra Wideband (UWB). Per i sensori che non richiedono la connettività agli aggregatori di sensori, la loro connettività ai server/applicazioni backend può essere fornita utilizzando la Wide Area Network (WAN) come GSM, GPRS e LTE. I sensori che utilizzano una connettività a bassa potenza e a bassa velocità di trasmissione dati, tipicamente formano reti comunemente note come reti di sensori wireless (WSN). Le WSN stanno guadagnando popolarità in quanto possono ospitare un numero molto maggiore di nodi di sensori, pur mantenendo un'adeguata durata della batteria e coprendo ampie aree;

- Portali e reti: questi minuscoli sensori produrranno un enorme volume di dati e ciò richiede un'infrastruttura di rete cablata o wireless robusta e ad alte prestazioni come mezzo di trasporto. Le reti attuali, spesso legate con protocolli molto diversi, sono state utilizzate per supportare le reti machine-to-machine (M2M) e le loro applicazioni. Con la domanda necessaria per servire una più ampia gamma di servizi e applicazioni IOT come servizi transazionali ad alta velocità, sono necessarie reti multiple con varie tecnologie e protocolli di accesso per lavorare tra loro in una configurazione eterogenea. Queste reti possono essere in forma di modelli privati, pubblici o ibridi e sono costruite per supportare i requisiti di comunicazione per la latenza, la larghezza di banda o la sicurezza;
- Strato di gestione: il servizio di gestione rende possibile l'elaborazione delle informazioni attraverso l'analisi, i controlli di sicurezza, la modellazione dei processi e la gestione dei dispositivi. Una delle caratteristiche importanti del livello di servizio di gestione è il sistema di regole di business e di processo. L'IOT riunisce la connessione e l'interazione di oggetti e sistemi fornendo informazioni sotto forma di eventi o dati contestuali come la temperatura delle merci, la posizione corrente e i dati sul traffico. Alcuni di questi eventi richiedono il filtraggio o l'instradamento verso sistemi di post-elaborazione come l'acquisizione di dati sensoriali periodici, mentre altri richiedono la risposta alle situazioni immediate come la reazione alle emergenze sulle condizioni di salute del paziente. I sistemi di regole supportano la formulazione di logiche decisionali e innescano processi interattivi e automatizzati per permettere di avere uno o più sistemi IOT reattivi. Nell'ambito dell'analitica, diversi strumenti di analisi vengono utilizzati per estrarre informazioni rilevanti da una quantità massiccia di dati grezzi e per essere elaborati ad un ritmo molto più veloce. L'analitica, l'in-memory analytics, consente di memorizzare grandi volumi di dati nella memoria ad accesso randomica (RAM) piuttosto che in dischi fisici. L'analisi in-memory riduce il tempo di interrogazione dei dati e aumenta la velocità del processo decisionale. Essa è un'altra forma di analitica in cui l'analisi dei dati, considerati come dati in movimento, deve essere ef-

fettuata in tempo reale in modo che le decisioni possano essere prese in pochi secondi. di gestire il flusso di informazioni sui dati. Con la gestione dei dati nel livello del servizio di gestione, le informazioni possono essere accessibili, integrate e controllate. Le applicazioni del livello superiore possono essere schermate dalla necessità di elaborare dati non necessari e ridurre il rischio di divulgazione della privacy della fonte dei dati stessi. Le tecniche di filtraggio dei dati, come l'anonimizzazione, l'integrazione e la sincronizzazione, sono utilizzate per nascondere i dettagli delle informazioni, fornendo solo quelle essenziali utilizzabili per le relative applicazioni. Con l'uso dell'astrazione dei dati, le informazioni possono essere estratte per fornire una visione comune del business per ottenere una maggiore agilità e un riutilizzo tra i domini. La sicurezza deve essere applicata in tutta la dimensione dell'architettura IOT, dal livello degli oggetti intelligenti fino al livello delle applicazioni. La sicurezza del sistema impedisce l'hacking dello stesso, riducendo così la possibilità di rischi;

- Strato applicativo: l'applicazione dell'IoT attraverso l'elaborazione dell'informazione copre ambienti/spazi "intelligenti" in settori come ad esempio: Trasporti, Edilizia, Città, Stile di vita, Vendita al dettaglio, Agricoltura, Fabbrica, Filiera, Emergenza, Sanità, Interazione con l'utente, Cultura e turismo, Ambiente ed Energia. L'ambito di maggiore interesse per gli architetti è quello dello Smart Building che copre l'ottimizzazione dell'uso degli spazi, il comfort e l'uso dell'energia, gli aspetti della sicurezza, la manutenzione.

2.3 Aspetti funzionali dell'Internet Of Things

Il concetto di Internet degli oggetti si riferisce a cose identificabili in modo univoco con le loro rappresentazioni virtuali in una struttura simile a quella di Internet e a soluzioni di Internet degli oggetti che comprendono una serie di componenti quali (Patel, 2016) [22]:

- Modulo per l'interazione con i dispositivi locali: questo modulo è responsabile dell'acquisizione delle osservazioni e del loro inoltro ai server remoti per l'analisi e la memorizzazione permanente;
- Modulo per l'analisi locale e l'elaborazione delle osservazioni acquisite dal dispositivo IoT;
- Modulo per l'interazione con dispositivi IoT remoti, direttamente su Internet: questo modulo è responsabile dell'acquisizione delle osservazioni e del loro inoltro ai server remoti per l'analisi e la memorizzazione permanente;
- Modulo per l'analisi e l'elaborazione di dati specifici per l'applicazione: questo modulo è in esecuzione su un server applicativo al servizio di tutti i client. Prende le richieste dei client mobile e web e le relative osservazioni dell'internet degli oggetti come input, esegue gli algoritmi di elaborazione dei dati appropriati e genera l'output in termini di conoscenza che viene poi presentato agli utenti;
- Modulo per l'analisi e l'elaborazione di dati specifici per l'applicazione;
- Interfaccia utente (WEB o mobile): rappresentazione visiva delle misure in un determinato contesto (ad esempio su una mappa) e interazione con l'utente, cioè definizione delle richieste dell'utente.

Mentre l'IOT è architettato a strati, le tecnologie sono categorizzate in tre gruppi (Patel, 2016) [22]:

1. Il primo gruppo di tecnologie ha un impatto sui dispositivi, i chip a microprocessore:
 - Sensori a bassa potenza per la sostenibilità energetica;
 - Intelligenza dei sensori sul campo;
 - Miniaturizzazione dei chipset;
 - Rete di sensori senza fili per la connettività dei sensori.

2. Il secondo gruppo comprende le tecnologie che supportano la condivisione della rete e affrontano i problemi di capacità e latenza:
 - Tecnologie di condivisione di rete, come le radio, definite da software e da reti cognitive;
 - Tecnologie di rete che affrontano problemi di portata e latenza come l'LTE e l'LTE-A.

3. Il terzo gruppo ha un impatto sui servizi di gestione che supportano le applicazioni IOT:
 - Tecnologie decisionali intelligenti come l'analisi predittiva, l'elaborazione di eventi complessi e l'analisi comportamentale;
 - Velocità delle tecnologie di elaborazione dei dati come l'analisi in-memory e lo streaming.

2.4 L'interoperabilità nell'IoT

L'Internet delle Cose mira a integrare il mondo fisico con il mondo virtuale utilizzando Internet come mezzo di comunicazione e di scambio di informazioni. Tuttavia, l'eterogeneità dei dispositivi e delle tecnologie di comunicazione sottostanti e l'interoperabilità in diversi livelli, dalla comunicazione e l'integrazione dei dispositivi all'interoperabilità dei dati generati dalle risorse dell'Internet degli oggetti, rappresenta una sfida per l'espansione delle soluzioni generiche dell'IoT su scala globale. Di conseguenza, aumenterà il rischio di non interoperabilità.

L'interoperabilità è una sfida fondamentale nel campo dell'Internet degli oggetti (IoT). Ciò è dovuto al suo tessuto intrinseco che può essere (Patel, 2016) [22]:

- Ad alta dimensione, con la coesistenza di molti sistemi (dispositivi, sensori, apparecchiature, ecc.) nell'ambiente che hanno bisogno di comunicare e scambiare informazioni;

- Altamente eterogeneo, dove questi vasti sistemi sono concepiti da molti produttori e sono progettati per scopi molto diversi e destinati a diversi domini applicativi, rendendo estremamente difficile raggiungere accordi globali e specifiche ampiamente accettate;
- Dinamico e non lineare, dove nuove "Cose" (che non erano nemmeno considerate all'inizio) entrano (ed escono) dall'ambiente in continuazione e che supportano nuovi formati e protocolli impreveduti ma che hanno bisogno di comunicare e condividere dati nell'IoT;
- Difficile da descrivere a causa dell'esistenza di molti formati di dati, descritti in lingue molto diverse, che possono condividere (o meno) gli stessi principi di modellazione, e che possono essere interconnessi in molti modi tra loro. Questo qualifica l'interoperabilità nell'internet degli oggetti come un problema di natura complessa.

L'interoperabilità viene definita come: *"la capacità di due o più sistemi o componenti di scambiare dati e utilizzare informazioni"*.

Questa definizione è interessante in quanto fornisce indicazioni su come farlo ovvero (Patel, 2016) [22]:

- Ottenendo informazioni;
- Scambiando i dati;
- Utilizzando le informazioni per comprenderle ed essere in grado di elaborarle.

Inoltre, esistono diverse tipologie di interoperabilità (Patel, 2016) [22]:

- Interoperabilità tecnica;
- Interoperabilità sintattica;
- Interoperabilità semantica;

- Interoperabilità organizzativa. Una semplice rappresentazione dell'interoperabilità è mostrata nella figura 2.3.

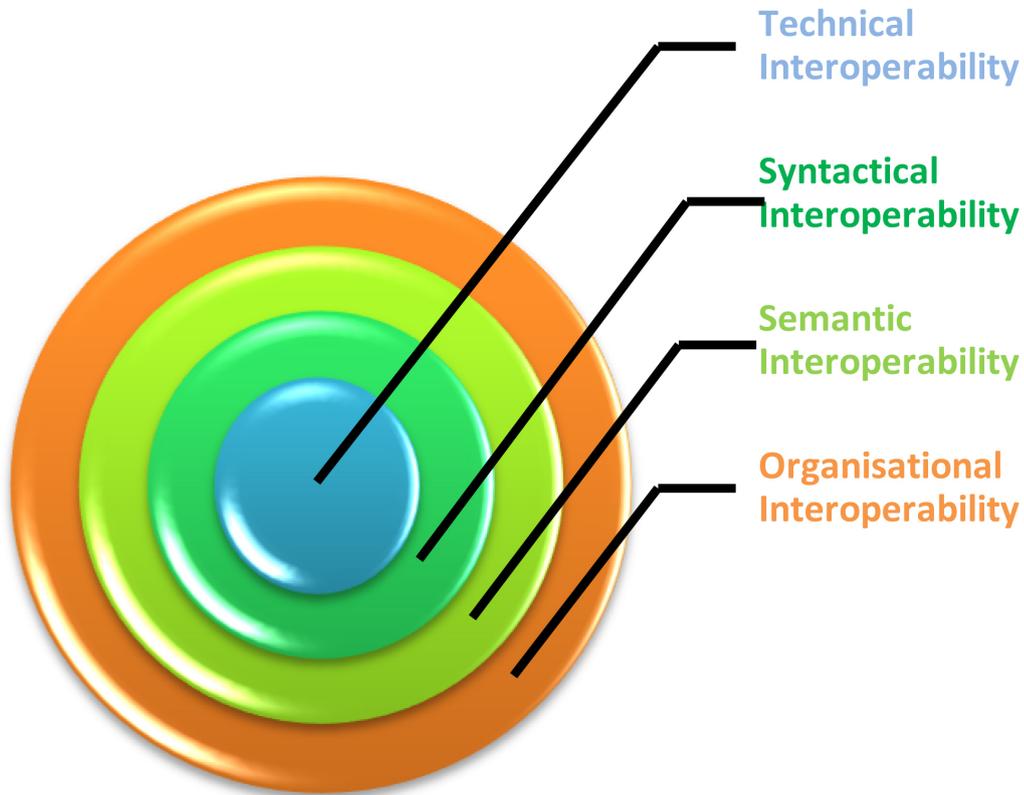


Figura 2.3: Dimensione dell'interoperabilità dell'IoT

Spieghiamo più nel dettaglio i vari "livelli" dell'interoperabilità:

- L'interoperabilità tecnica: è solitamente associata a componenti hardware/software, sistemi e piattaforme che consentono la comunicazione da macchina a macchina. Questo tipo di interoperabilità è spesso incentrata sui protocolli (di comunicazione) e sull'infrastruttura necessaria per il loro funzionamento;
- L'interoperabilità sintattica: è solitamente associata ai datai formats. Certamente, i messaggi trasferiti dai protocolli di comunicazione devono avere una sintassi ed una codifica ben definite, anche se solo sotto forma di tabelle di bit. Tuttavia, molti protocolli trasportano dati o contenuti, e questo può essere rappresentato utilizzando sintassi di trasferimento di alto livello come HTML, XML o ASN.1.

- L'interoperabilità semantica: è di solito associata al significato del contenuto e riguarda l'interpretazione umana piuttosto che meccanica del contenuto.
- L'interoperabilità organizzativa: come suggerisce il nome, è la capacità delle organizzazioni di comunicare e trasferire efficacemente dati (informazioni) significativi, anche se possono utilizzare una varietà di sistemi informativi diversi su infrastrutture molto diverse, possibilmente tra regioni geografiche e culture diverse. L'interoperabilità organizzativa dipende dal successo dell'interoperabilità tecnica, sintattica e semantica (Patel, 2016) [22].

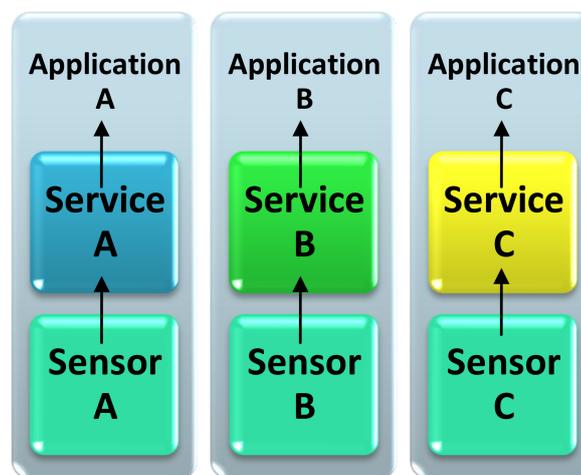


Figura 2.4: *Internet of Things NON interoperabile*

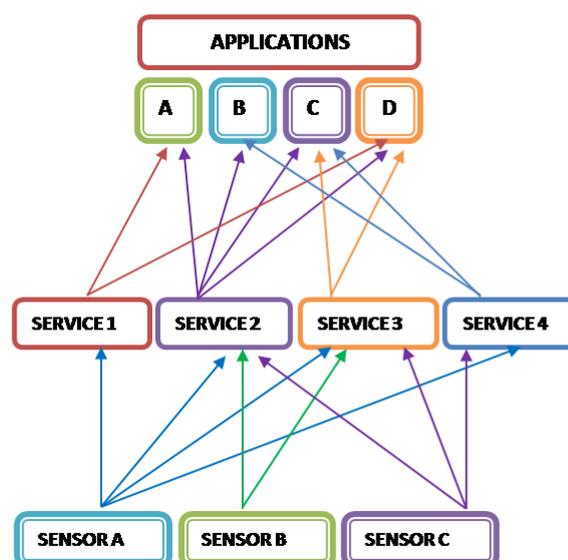


Figura 2.5: *Internet of Things interoperabile*

Le figure 2.4 e 2.5 mostrano la differenza tra l'Internet of Things interoperabile e quello non interoperabile.

L'interoperabilità tecnica garantisce solo la corretta trasmissione dei bit, ma non dice nulla sul significato di questi bit e su ciò che rappresentano, nemmeno se si tratta di voce, video o dati. Questo è il compito degli standard sul livello sintattico, che definiscono la sintassi di particolari servizi. Mentre gli standard per l'interoperabilità tecnica e sintattica prevedono uno scambio di dati indipendente dal contenuto, l'interoperabilità semantica è altamente specifica per l'applicazione e quindi dipende dal contenuto specifico del servizio. Come l'interoperabilità semantica, l'interoperabilità organizzativa è specifica dell'applicazione o del servizio. La figura sottostante mostra il ruolo dell'interoperabilità a diversi livelli IoT (Patel, 2016) [22].

In un ambiente completamente interoperabile, qualsiasi dispositivo IoT sarebbe in grado di connettersi a qualsiasi altro dispositivo o sistema e di scambiare informazioni come desiderato. In pratica, l'interoperabilità è più complessa. Interoperabilità tra dispositivi e sistemi IoT avviene in gradi diversi a diversi strati all'interno del stack di protocollo di comunicazione tra i dispositivi:

- L'interoperabilità tecnica garantisce la connettività di base;
- L'interoperabilità di rete garantisce lo scambio di dati tra più sistemi attraverso una varietà di reti;
- L'interoperabilità sintattica garantisce la comprensione della struttura dei dati scambiati tra i sistemi;
- L'interoperabilità semantica garantisce la comprensione del concetto contenuto nella struttura dei dati.

2.5 Sfide future per l'Internet Of Things

Ci sono sfide e implicazioni chiave che oggi devono essere affrontate prima che avvenga l'adozione di massa dell'IOT:

- Privacy e sicurezza: poiché l'Internet delle Cose sarà un elemento chiave dell'Internet del futuro, l'uso dell'IoT per sistemi su larga scala crea la necessità di affrontare adeguatamente le funzioni di fiducia e sicurezza. Le nuove sfide identificate per la privacy, la fiducia e l'affidabilità sono: fornire fiducia e qualità delle informazioni in modelli di informazioni condivise per consentire il riutilizzo in molte applicazioni; Fornire uno scambio sicuro di dati tra i dispositivi IoT e i consumatori delle loro informazioni; Fornire meccanismi di protezione per i dispositivi vulnerabili. La figura 2.6 mostra i vari requisiti di sicurezza e privacy richiesti ai diversi livelli dell'Internet of Things (Wortmann, 2015) [25].

IOT LAYER	SECUREITY REQUIREMENTS
Application	<ul style="list-style-type: none"> • Application-specific Data Minimization • Privacy Protection and Policy Management • Authentication • Authorization, Assurance • Application specific encryption, cryptography.
Services support	<ul style="list-style-type: none"> • Protected Data Management and Handling (Search, Aggregation, Correlation, Computation) • Cryptographic Data Storage • Secure Computation, In-network Data Processing, Data aggregation, Cloud Computing
Network layer	<ul style="list-style-type: none"> • Secure Sensor/Cloud Interaction; • Cross-domain Data Security Handling • Communication & Connectivity Security
Smart object/sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Access Control to Nodes • Lightweight Encryption • Data Format and Structures • Trust Anchors and Attestation

Figura 2.6: Requisiti di sicurezza e privacy richiesti ai diversi livelli dell'Internet of Things

- **Costo e usabilità:** Internet of Things utilizza la tecnologia per collegare oggetti fisici a Internet. Affinché l'adozione dell'IOT possa crescere, il costo dei componenti necessari per supportare capacità come i meccanismi di rilevamento, tracciamento e controllo deve essere relativamente economico nei prossimi anni (Wortmann, 2015)[25];
- **Interoperabilità:** Nell'Internet tradizionale, l'interoperabilità è il valore fondamentale; il primo requisito della connettività Internet è che i sistemi "connessi" siano in grado di "parlare lo stesso linguaggio" dei protocolli e delle codifiche. Industrie diverse oggi utilizzano standard diversi per supportare le loro applicazioni. Con numerose fonti di dati e dispositivi eterogenei, l'uso di interfacce standard, tra queste diverse entità, diventa importante (Wortmann, 2015) [25];
- **Gestione dei dati:** La gestione dei dati è un aspetto cruciale nell'Internet delle cose. Quando si considera un mondo di oggetti interconnessi e che scambiano costantemente ogni tipo di informazione, il volume dei dati generati e i processi coinvolti nella gestione di questi dati diventano critici (Wortmann, 2015) [25];
- **Problemi energetici a livello dispositivo:** Una delle sfide essenziali dell'Internet degli oggetti è come interconnettere le "cose" in modo interoperabile, tenendo conto dei vincoli energetici, sapendo che la comunicazione è il compito che consuma più energia sui dispositivi (Wortmann, 2015) [25].

2.6 Aree di applicazione

Le potenziali applicazioni dell'Internet degli oggetti sono numerose e diversificate e si estendono praticamente a tutti i settori della vita quotidiana degli individui, delle imprese e della società nel suo complesso. L'applicazione dell'Internet degli oggetti riguarda "spazi smart" in domini come: trasporti, edilizia, città, stile di vita, vendita al dettaglio, agricoltura, fabbrica, filiera, emergenza, sanità, interazione con gli utenti, cultura e turismo, ambiente ed energia. Di seguito sono riportate alcune delle applicazioni IOT.

2.6.1 IoSL (Internet of Smart Living)

- Apparecchi di controllo remoto: Accensione e spegnimento a distanza degli apparecchi per evitare incidenti e risparmiare energia;
- Meteo: Mostra le condizioni atmosferiche esterne come umidità, temperatura, pressione, velocità del vento e livelli di pioggia con la possibilità di trasmettere dati su lunghe distanze;
- Elettrodomestici intelligenti: Frigoriferi con uno schermo LCD che dice cosa c'è all'interno, dice il cibo che sta per scadere, gli ingredienti da acquistare e tutte le informazioni sono disponibili su un'applicazione per Smartphone; Lavatrici che permettono di monitorare la lavanderia a distanza, e cucine che, grazie ad un'applicazione, permettono di regolare la temperatura del forno e l'autopulizia;
- Monitoraggio della sicurezza: telecamere e sistemi di allarme per la casa che fanno sentire le persone al sicuro nella loro vita quotidiana a casa;
- Sistemi di rilevamento delle intrusioni: Rilevazione di aperture e violazioni di porte e finestre per prevenire intrusioni;
- Uso dell'energia e dell'acqua: Monitoraggio del consumo di energia e di acqua per ottenere consigli su come risparmiare (Patel, 2016) [22].

2.6.2 IoSC (Internet of Smart Cities)

- Salute strutturale: Monitoraggio delle vibrazioni e delle condizioni dei materiali in edifici, ponti e monumenti storici;
- Illuminazione: Illuminazione intelligente e adattabile alle condizioni atmosferiche nei lampioni stradali;
- Sicurezza: Monitoraggio video digitale, gestione del controllo degli incendi, sistemi di annuncio al pubblico;

- Trasporti: Strade intelligenti e autostrade intelligenti con messaggi di avvertimento e deviazioni in base alle condizioni climatiche e ad eventi imprevisti come incidenti o ingorghi stradali;
- Parcheggio intelligente: Monitoraggio in tempo reale della disponibilità di posti auto in città, rendendo i residenti in grado di individuare e prenotare i posti disponibili più vicini;
- Gestione rifiuti: Rilevamento dei livelli di rifiuti nei contenitori per ottimizzare i percorsi di raccolta. I bidoni della spazzatura e i cestini con tag RFID consentono al personale addetto alla nettezza urbana di vedere quando i rifiuti sono stati smaltiti. Altri sensori comunicano i livelli di riempimento dei contenitori di raccolta (Vermesan, 2014) [26].

2.6.3 IoSE (Internet of Smart Environment)

- Monitoraggio dell'inquinamento dell'aria: Controllo delle emissioni di CO₂, dell'inquinamento emesso dalle automobili e dei gas tossici generati nelle fabbriche;
- Rilevazione incendi boschivi: Monitoraggio dei gas di combustione e delle condizioni preventive dell'incendio per definire le zone di allarme;
- Monitoraggio del tempo: monitoraggio delle condizioni meteorologiche come umidità, temperatura, pressione, velocità del vento e pioggia, rilevamento anticipato dei terremoti;
- Qualità dell'acqua: Studio dell'idoneità dell'acqua nei fiumi e nel mare per l'idoneità all'uso potabile;
- Alluvioni del fiume: Monitoraggio delle variazioni del livello dell'acqua nei fiumi, nelle dighe e nei bacini idrici durante i giorni di pioggia;
- Proteggere la fauna selvatica: Collari di localizzazione che utilizzano moduli GPS/GSM per localizzare e seguire gli animali selvatici e comunicare le loro coordinate via SMS (TutorialsPoint, 2016) [23].

2.6.4 IoSI (Internet of Smart Industry)

- Gas esplosivi e pericolosi: Rilevamento dei livelli di gas e delle perdite in ambienti industriali, nei dintorni di fabbriche chimiche e all'interno di miniere, monitoraggio dei livelli di gas tossici e di ossigeno all'interno di impianti chimici per garantire la sicurezza dei lavoratori e delle merci, monitoraggio dei livelli di acqua, petrolio e gas nei serbatoi di stoccaggio e nelle cisterne;
- Manutenzione e riparazione: Le previsioni precoci sui malfunzionamenti delle apparecchiature e la manutenzione di assistenza possono essere programmate automaticamente in anticipo rispetto ad un effettivo guasto delle parti installando sensori all'interno delle apparecchiature per monitorare e inviare rapporti (GSMA, 2014) [27].

2.6.5 IoSH (Internet of Smart Health)

- Sorveglianza dei pazienti: Monitoraggio delle condizioni dei pazienti all'interno degli ospedali e nelle case di riposo;
- Frigoriferi medici: Controllo delle condizioni all'interno dei congelatori che conservano vaccini, medicinali ed elementi organici;
- Rilevamento delle cadute: Assistenza per anziani o disabili che vivono in modo indipendente;
- Dentale: lo spazzolino connesso via Bluetooth con l'applicazione Smartphone analizza gli usi dello spazzolino e fornisce informazioni sulle abitudini di spazzolamento sullo Smartphone per informazioni private o per mostrare le statistiche al dentista;
- Monitoraggio dell'attività fisica: Sensori wireless posizionati sul materasso che rilevano piccoli movimenti, come la respirazione e la frequenza cardiaca e grandi movimenti causati dal lancio e dal giro durante il sonno, fornendo dati disponibili attraverso un'applicazione sullo Smartphone (GSMA, 2014) [27].

2.6.6 IoSE (Internet of Smart Energy)

- Smart Grid: Monitoraggio dei consumi energetici e gestione;
- Turbine eoliche/abitazioni: Monitoraggio e analisi del flusso di energia dalle turbine eoliche e dalla centrale elettrica, e comunicazione bidirezionale con i contatori intelligenti dei consumatori per analizzare i modelli di consumo;
- Controllori di alimentazione: Controllore per alimentatori AC-DC che determina l'energia necessaria e migliora l'efficienza energetica con meno sprechi di energia per alimentatori relativi a computer, telecomunicazioni e applicazioni di elettronica di consumo;
- Impianti fotovoltaici: Monitoraggio e ottimizzazione delle prestazioni negli impianti ad energia solare (TutorialsPoint, 2016) [23].

2.6.7 IoSA (Internet of Smart Agriculture)

- Greenhouses: Controllare le condizioni microclimatiche per massimizzare la produzione di frutta e verdura e la sua qualità;
- Compost: Controllo dei livelli di umidità e temperatura nel compostaggio per prevenire funghi e altri contaminanti microbici;
- Allevamento/tracking di animali: Localizzazione e identificazione degli animali che pascolano in pascoli aperti o in grandi stalle, Studio della ventilazione e della qualità dell'aria nelle fattorie e rilevamento dei gas nocivi provenienti dagli escrementi;
- Cura della prole: Controllo delle condizioni di crescita della prole negli allevamenti per garantirne la sopravvivenza e la salute;
- Monitoraggio del campo: Riduzione del deterioramento e degli scarti delle colture con un migliore monitoraggio, un accurato ottenimento di dati continui e una gestione dei campi agricoli, compreso un migliore controllo dei fertilizzanti, dell'elettricità e dell'irrigazione (Patel, 2016) [22].

Capitolo 3

La tecnologia del futuro: il Digital Twin

Il concetto di Digital Twin integra le tradizionali tecniche di simulazione e modellazione che sono alla base del progetto dei sistemi con reti di sensori installate negli edifici capaci di raccogliere dati ed elaborare informazioni per l'uso, la gestione, manutenzione e la dismissione. In questo ambito il BIM rappresenta un sistema di dati elaborati nel percorso progettuale dalla definizione dei requisiti ambientali e tecnologici a progetto del sistema tecnologico e costituisce un modello virtuale dell'edificio. Su questo modello nella fase di gestione del sistema si basa il Digital Twin i cui benefici si esplicano attraverso la raccolta, elaborazione e visualizzazione dei parametri ambientali degli edifici, l'analisi dei dati anomali e la ottimizzazione delle prestazioni fornite (Khajavi, 2019).

La digitalizzazione sta cambiando radicalmente il modo in cui gli edifici saranno progettati, costruiti, utilizzati e, in ultima analisi, gestiti. Questa trasformazione sta portando le strutture a nuovi livelli di efficienza, sicurezza e comfort. Grazie ai sensori installati in tutto il complesso e all'analisi completa dei dati raccolti, gli edifici possono rispondere in modo intelligente ai loro ambienti e sfruttare i loro vantaggi a lungo termine in combinazione con altri edifici e infrastrutture.

In passato, la progettazione è sempre stata affrontata in modo separato da ogni

membro del team di progetto. Ognuno possedeva le proprie tavole di disegno e la progettazione collaborativa era molto limitata. Questa mancanza di coordinamento si traduceva spesso in gravi problemi durante la fase di costruzione. Il Building Information Modeling (BIM) si concentra sullo sviluppo dell'intero edificio con tutte le sue discipline prima su un computer e poi simulando, testando e, se necessario, correggendolo in un modello virtuale. Il BIM è usato per simulare virtualmente un edificio fisico utilizzando quello che viene chiamato il suo "gemello digitale" (Digital Twin) (Siemens, 2018) [28].

In questo modo è facile eliminare eventuali errori o incongruenze. Un gemello digitale può anche essere utilizzato per analizzare la risposta dinamica dell'edificio ai cambiamenti nell'occupazione o nell'uso degli spazi o nella fornitura di energia e può anche indicare la necessità di manutenzione o di aggiornamenti dell'edificio. Tra le altre cose, questa pianificazione porta ad un'efficienza energetica ottimale, al risparmio dei costi, ad una maggiore sostenibilità e sicurezza. Essa soddisfa anche l'esigenza dei proprietari e degli operatori di utilizzare i dati generati durante durante l'iter progettuale nelle fasi di utilizzo dell'edificio (Siemens, 2018) [28].



Figura 3.1: *Cambiamento dei bisogni degli utenti*

La pianificazione tra le varie discipline allo stesso tempo consente di creare una soluzione multidisciplinare coordinata in cui vi è la verifica precoce delle scelte progettuali dettagliate per ottimizzare le prestazioni dell'edificio. Questo approccio congiunto può mostrare se una porta o una finestra aggiuntiva, ad esempio, influirà

sui futuri scenari di evacuazione, sul comfort o sui costi di riscaldamento, in una sorta di analisi What-if. Il risultato è un processo di progettazione e costruzione dell'edificio più conveniente, semplice e sostenibile che si traduce in un fabbricato più sicuro ed efficiente. I proprietari degli edifici si stanno concentrando sempre più sulla digitalizzazione della costruzione e del funzionamento dell'edificio per soddisfare le richieste del mercato. Esso si sta spostando dall'essere centrato sulle strutture all'essere centrato sugli inquilini infatti viene data maggiore enfasi alle mutevoli esigenze degli occupanti dell'edificio (Siemens, 2018) [28].

I Millennials costituiranno i 3/4 della forza lavoro negli edifici per uffici entro il 2025 (BSRIA, Workplaces of the future, 2016). Una tendenza simile è prevista in altri tipi di edifici, tra cui ospedali, aeroporti, alberghi, ecc. I Millennials sono esperti di tecnologia e quasi la loro totalità ha i propri smartphone sempre pronti per l'uso (Mitek/Zogby Analytic). Anche il mercato e la domanda stanno cambiando, poiché i clienti cercano un nuovo livello di funzionalità degli edifici (Siemens, 2018) [28]:

- Maggiore flessibilità nella progettazione e nell'utilizzo degli asset e dello spazio (maggiore versatilità);
- Costruire funzionalità progettate per migliorare la produttività dell'utente;
- Tempi di risposta più rapidi per identificare e risolvere i problemi;
- Mitigazione del rischio di costruzione senza compromettere la qualità, rispettando i tempi di consegna e il budget.

La sfida rimane, tuttavia, quella di mettere in atto le fasi appropriate del processo per riunire i numerosi e frammentati stakeholder con i loro diversi interessi, comprese le aziende e le persone che lavorano sui singoli processi o discipline all'interno di un edificio. Altri ostacoli alla completa ottimizzazione della progettazione degli edifici con il BIM includono i costi di acquisto relativamente elevati di strumenti software adeguati e le capacità di utilizzo di tali strumenti, la mancanza di standard e interfacce e il numero limitato di produttori che, ad oggi, sono stati in grado di fornire dati compatibili con il BIM per i loro componenti. Inoltre, la pianificazione

e la simulazione "digitale" non sono in genere né preventivate né rispecchiate nei piani tariffari del progetto (Siemens, 2018) [28].

3.1 La nascita del Digital Twin

Il termine Digital Twin fu utilizzato per la prima volta nel 2002 quando Michael Grieves, professore dell'Università del Michigan, illustrò un sistema in grado di replicare ogni condizione e ogni caratteristica di un oggetto in maniera digitale; tutto ciò venne sviluppato grazie all'avanzamento tecnologico che ne permise l'applicazione. Il Digital Twin è un modello virtuale digitale di un sistema, nel nostro caso l'edificio, che raccoglie informazioni del mondo reale sulla struttura tramite sensori, droni e altre tecnologie wireless. Il "gemello" impara continuamente da molteplici fonti, tra cui l'analisi avanzata, gli algoritmi di apprendimento automatico, il machine learning, e l'intelligenza artificiale (AI) per ottenere preziose informazioni sulle prestazioni, il funzionamento o la redditività di un progetto, sia esso costruito o in corso di realizzazione. Questa metodologia è utilizzata principalmente nell'ambito industriale dove ha l'obiettivo di migliorare le performance e di ridurre i costi aziendali. Però, in principio, era stata pensata per qualcosa di diverso.

Anche se si pensa che la definizione di Digital Twin sia stata utilizzata per la prima volta nel 2002, molti anni prima la NASA, con il lancio nello spazio dell'Apollo 13 che, a causa di un mancato allunaggio subì gravi danni, fu la prima a utilizzare il concetto. In quel caso la creazione di un gemello digitale, e in quel caso anche fisico, consentiva di replicare sulla terra le condizioni che c'erano nello spazio e quindi permetteva agli ingegneri di aiutare gli astronauti nelle decisioni pericolose e critiche di quella missione. La simulazione era quindi l'aspetto fondamentale su cui si concentrava l'ideazione del Digital Twin (Quinglin, 2019) [29].

In seguito, si decise di collegare alla versione fisica del prodotto aerospaziale, la copia digitale cercando di mantenerla sempre aggiornata con i dati del prodotto fisico (Figura 3.2). Questo permetteva di rilevare immediatamente le anomalie rispetto

alla previsione del gemello digitale. Quindi, il Digital Twin è rappresentabile da 3 elementi principali:

- Il mondo reale;
- Il mondo digitale;
- Le informazioni trasmesse dal mondo reale a quello digitale.

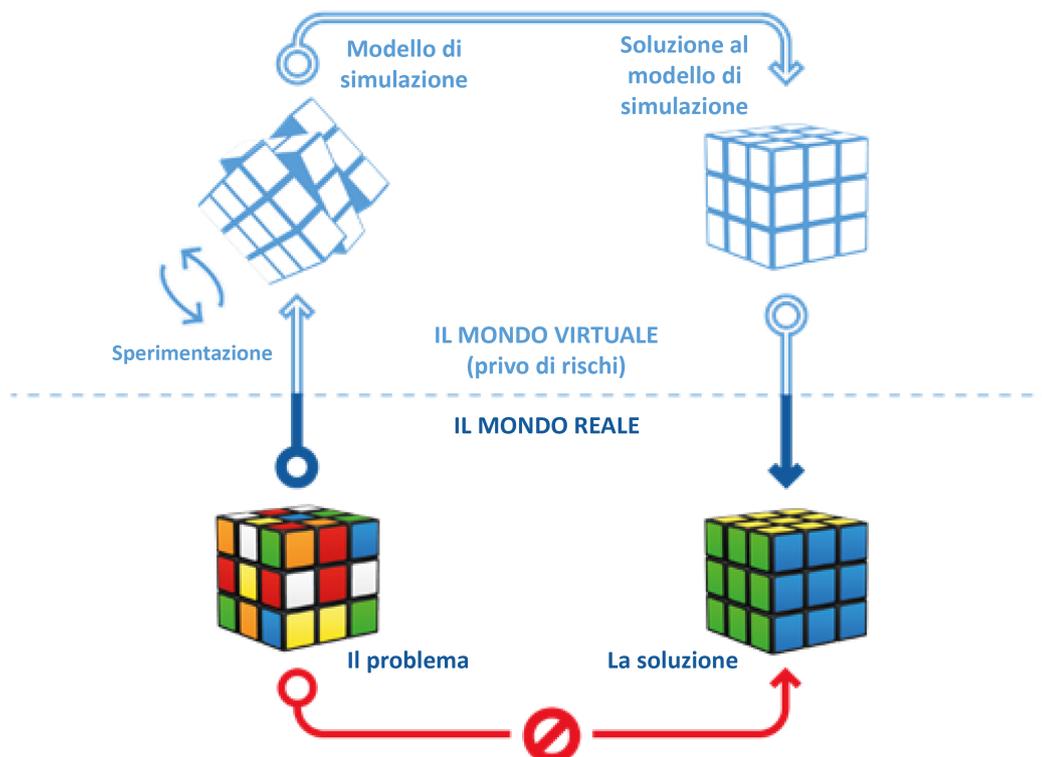


Figura 3.2: Una copia digitale della realtà che permette di simulare e ottenere risposte in un ambiente sicuro e privo di rischi

3.2 Il Digital Twin al giorno d'oggi

Le aziende di oggi, hanno capito l'importanza di alcune caratteristiche del Digital Twin e quindi lo hanno fatto proprio e hanno iniziato ad usare quelle caratteristiche nei propri progetti e nelle proprie attività. Un esempio può essere l'utilizzo di questa nuova tecnologia per raccogliere i dati analizzati e realizzare previsioni future che permettano una riduzione dei costi aziendali. Tutto ciò è avvenuto anche grazie

allo sviluppo dell'industria 4.0 e dell'internet delle cose (IoT) che, grazie all'ausilio di diversi sensori, permettono di immagazzinare dati e di inviarli ad una centrale in cui vengono elaborati e analizzati.

A causa dell'elevata mole di dati, essi sono divisi in due gruppi (Grandinetti, 2018) [30]:

- Dati inerenti alla produzione come: la resistenza a determinati sforzi del prodotto, la velocità di produzione ecc;
- Dati inerenti all'ambiente in cui il prodotto viene realizzato come: umidità, temperatura, quantità di luce ecc.

Ogni informazione ottenuta risulta utile a migliorare il processo produttivo in quanto tutti i dati ricevuti sono continuamente analizzati e, nel caso ci fossero risultati che porterebbero vantaggi al di fuori del mondo digitale, viene segnalato direttamente all'azienda, in modo tale che essa possa prendere in considerazione l'idea di applicarlo.

Alcuni dei vantaggi riguardano (Grandinetti, 2018) [30]:

- La parte produttiva: i dati vengono analizzati e viene trovata la soluzione che possa migliorare le varie tecniche di produzione;
- La parte del cliente: i dati vengono analizzati, anche in base ai problemi rilevati dai clienti durante l'utilizzo del prodotto, e ciò porta alla modifica del progetto del prodotto stesso.

3.3 La trasformazione digitale guidata da un mondo connesso

Lo sviluppo tecnologico e del mercato sta guidando il mondo verso la digitalizzazione. Le tecnologie di base che consentono al nostro pianeta di avviarsi verso la

digitalizzazione sono relativamente simili tra i vari settori industriali. I sensori integrati, le soluzioni mobili, il cloud computing, il machine learning e l'analisi avanzata dei dati sono campi tecnologici influenti che consentono un grande potenziale di trasformazione per la digitalizzazione. Sebbene l'applicazione di queste tecnologie sia diversa, molti dei fattori tecnologici sottostanti sono correlati (Siemens, 2018) [28].

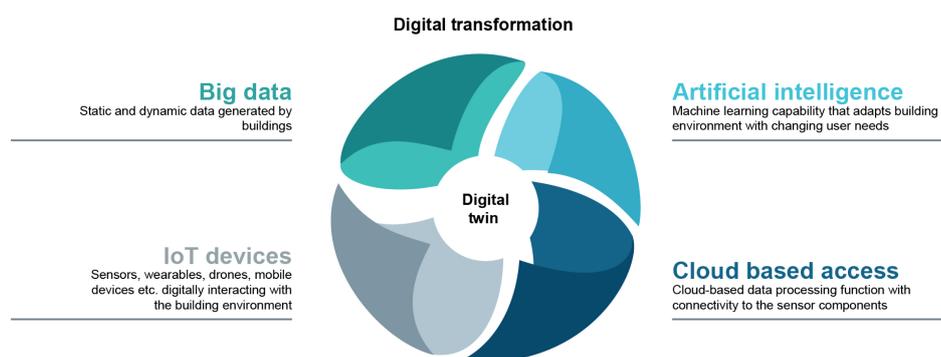


Figura 3.3: I quattro elementi chiave che guidano la trasformazione digitale negli edifici

3.3.1 Big Data

Gli edifici intelligenti generano molte data che possono divenire informazioni. Questi Big Data, tuttavia, richiedono una valutazione e un'analisi intelligente per produrre indicazioni operative ed economiche significative e per comprendere le tendenze e i modelli di comportamento o di consumo degli utenti. I dati provenienti da tutti i sistemi dell'edificio (gestione dell'energia elettrica, riscaldamento, ventilazione e condizionamento, impianti e controlli, sistemi di accesso e di sicurezza), i diversi tipi di energia (rinnovabile, petrolio, gas, elettricità), le varie parti interessate (progettisti, appaltatori generali, facility manager, proprietari, utenti) così come i componenti hardware e software (energia, infrastrutture e sistemi di gestione aziendale ERP) sono ancora una risorsa nascosta che offre un grande potenziale per migliorare il business esistente o creare nuove opportunità (Siemens, 2018) [28].

3.3.2 Intelligenza artificiale

Con i giusti strumenti di analisi, l'apporto di competenze umane e, in futuro, di strategie di apprendimento automatico, l'ottimizzazione continua degli edifici può

essere ottenuta con l'intelligenza artificiale (Siemens, 2018) [28].

3.3.3 Internet Of Things

Il collegamento di macchine, dispositivi, componenti, sensori, attuatori e altri oggetti è un altro importante tassello per la digitalizzazione. La convergenza tra mondo reale e digitale è la base per offrire nuove applicazioni centrate sull'utente e per creare nuovi servizi digitali (Siemens, 2018) [28].

3.3.4 Accesso basato sul Cloud

La trasformazione digitale sta fornendo una maggiore disponibilità di applicazioni come servizio (SaaS). L'accesso basato sul cloud permette ai clienti di accedere al sistema da remoto tramite un browser o un'applicazione. In un edificio, le soluzioni di servizio remoto consentono di rilevare e correggere i problemi dei componenti in modo rapido ed efficiente da qualsiasi luogo. Con i dispositivi che comunicano il loro stato e la loro salute, è possibile implementare nuovi concetti per la manutenzione preventiva per ridurre al minimo i tempi di inattività e mantenere la continuità operativa (Siemens, 2018) [28].

3.3.5 Digital Twin

Questi quattro elementi chiave (Big Data, IoT, AI, Cloud) che guidano la trasformazione digitale sono gli elementi chiave del gemello digitale. Questo prepara il terreno per un'automazione digitalmente potenziata che porti a edifici autonomi, che si controllano e si ottimizzano sulla base dell'intelligenza artificiale. Questi edifici intelligenti comunicheranno con gli occupanti e si prevede che funzioneranno anche con i dati esterni generati dalle reti elettriche e dalle condizioni ambientali (Siemens, 2018) [28].

3.4 La struttura di un Digital Twin

I gemelli digitali sono progettati per modellare beni o processi complessi che interagiscono in molti modi con i loro ambienti e per i quali è difficile prevedere i risultati/prestazioni su un intero ciclo di vita del prodotto. Infatti, i gemelli digitali possono essere creati in un'ampia varietà di contesti per servire diversi obiettivi. Ad esempio, i gemelli digitali sono talvolta utilizzati per simulare specifici asset complessi, come i motori a reazione e i grandi camion per l'industria mineraria, al fine di monitorare e valutare l'usura e i tipi specifici di stress cui sono sottoposti, man mano che l'asset viene utilizzato sul campo. Tali gemelli digitali possono fornire importanti indicazioni che possono aiutare nella progettazione di asset futuri. Ad esempio, un Digital Twin di un parco eolico può segnalare inefficienze operative. Per quanto possa essere intuitivo, il gemello digitale del processo di produzione sembra offrire un'applicazione particolarmente potente e convincente (Grandinetti, 2018) [30].

La figura 3.4 rappresenta un modello di un processo di produzione nel mondo fisico e il suo gemello nel mondo digitale. Il gemello digitale serve come replica virtuale di ciò che sta realmente accadendo all'interno della fabbrica in tempo quasi reale. Migliaia di sensori distribuiti nel corso del processo fisico di produzione catturano collettivamente i dati: dalle caratteristiche comportamentali dei macchinari produttivi (spessori, qualità del colore, durezza, coppia, velocità e così via) alle condizioni ambientali all'interno della fabbrica stessa (temperatura, umidità ecc.). Questi dati vengono continuamente comunicati e aggregati dall'applicazione digitale gemella. Il Digital Twin analizza continuamente i flussi di dati in entrata (Deloitte, 2017) [31].

Nel corso di un periodo di tempo, le analisi possono scoprire tendenze inaccettabili nelle prestazioni effettive del processo di produzione in una particolare dimensione se confrontate con una gamma ideale di prestazioni tollerabili. Tale analisi comparativa potrebbe innescare un'indagine e un potenziale cambiamento di alcuni aspetti del processo di produzione nel mondo fisico. Questo è il viaggio dell'interattività tra

il mondo fisico e quello digitale, che la figura 3.4 cerca di trasmettere. Un tale viaggio sottolinea il profondo potenziale del gemello digitale: migliaia di sensori che effettuano misurazioni continue e non banali che vengono trasmesse ad una piattaforma digitale che, a sua volta, esegue analisi quasi in tempo reale per ottimizzare un processo di business in modo trasparente (Deloitte, 2017) [31].

Nel modello della figura 3.4 vengono rappresentate le cinque componenti abilitanti del Digital Twin:

- **Sensori:** i sensori distribuiti lungo tutto il processo di produzione creano segnali che consentono al gemello di catturare i dati operativi e ambientali relativi al processo fisico nel mondo reale;
- **Dati:** i dati operativi e ambientali dei sensori sono aggregati e combinati con i dati dell'azienda. Possono contenere anche altri elementi, come disegni tecnici, collegamenti a flussi di dati esterni e registri dei reclami dei clienti;
- **Integrazione:** i sensori di integrazione comunicano i dati al mondo digitale attraverso la tecnologia di integrazione (che include interfacce di comunicazione e sicurezza) tra il mondo fisico e il mondo digitale e viceversa;
- **Analisi:** le tecniche analitiche sono utilizzate per trattare i dati attraverso simulazioni algoritmiche e routine di visualizzazione che vengono utilizzate dal gemello digitale per produrre approfondimenti;
- **Gemello digitale:** il lato "digitale" della figura 3.4 è il Digital Twin in sé. È un'applicazione che combina i componenti di cui sopra in un modello digitale quasi in tempo reale del mondo fisico e del processo. L'obiettivo di un gemello digitale è quello di identificare deviazioni intollerabili dalle condizioni ottimali lungo una qualsiasi delle varie dimensioni;
- **Attuatori:** se un'azione deve essere garantita nel mondo reale, il gemello digitale produce l'azione per mezzo di attuatori, soggetti all'intervento di controllo umano, che innescano il processo fisico.

Chiaramente, il mondo di un processo fisico (o di un oggetto) e il suo gemello analogico digitale sono molto più complessi di quanto un singolo modello o quadro possa rappresentare. E, naturalmente, il modello della figura 3.4 è solo una configurazione gemella digitale che si concentra sulla parte di produzione del ciclo di vita del prodotto. Ma ciò che il modello in figura 3.4 mira a mostrare è la qualità integrata, olistica e iterativa dell'accoppiamento tra mondo fisico e mondo digitale. È attraverso quel prisma che si può iniziare il processo vero e proprio che serve a creare un gemello digitale (Deloitte, 2017) [31].

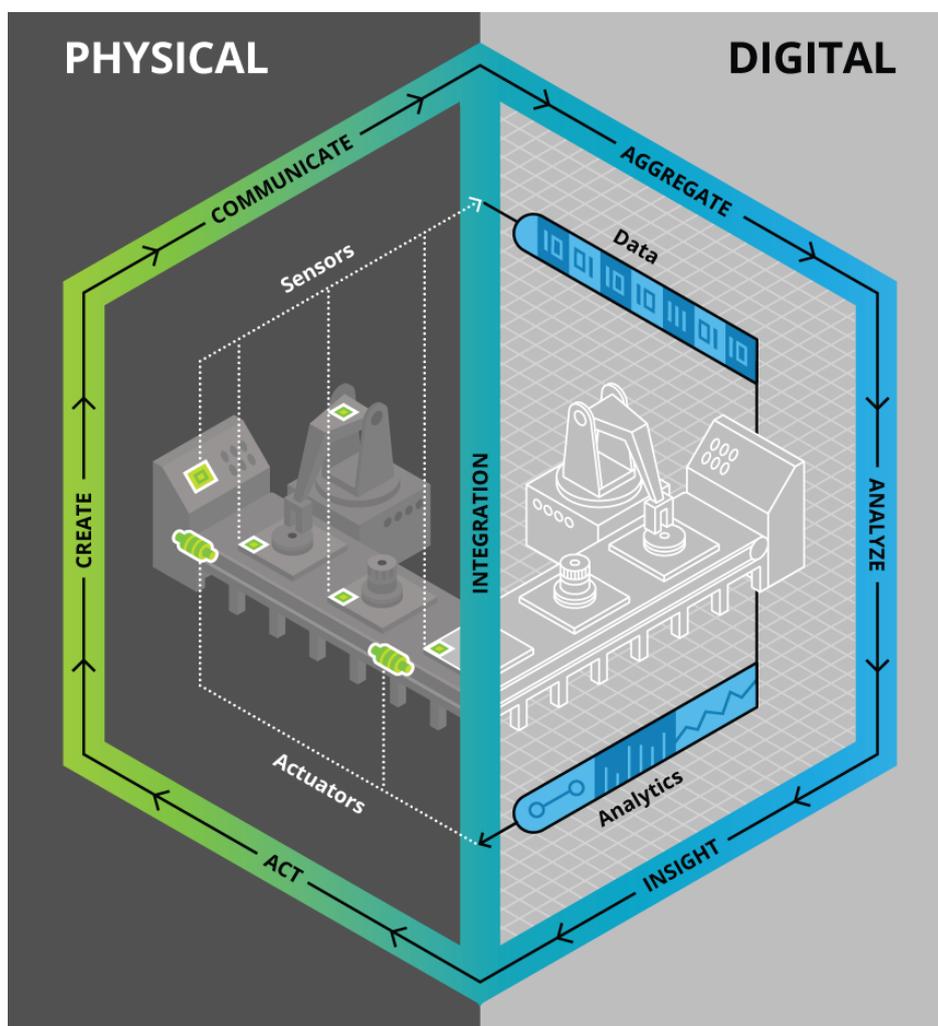


Figura 3.4: Processo di produzione del Digital Twin

3.4.1 La creazione di un Digital Twin

In generale, la creazione del gemello digitale comprende due aree di interesse principali (Grandinetti, 2018) [30]:

- La progettazione dei processi di Digital Twin e dei requisiti informativi nel ciclo di vita del prodotto, dalla progettazione dell'asset all'utilizzo sul campo e alla manutenzione dell'asset nel mondo reale;
- La creazione della tecnologia abilitante per integrare l'asset fisico e il suo gemello digitale per il flusso in tempo reale dei dati dei sensori e delle informazioni operative e transazionali dai sistemi principali dell'azienda, come espresso in un'architettura concettuale.

La creazione del modello digitale inizia con la progettazione del processo. Quali sono i processi e i punti di integrazione per i quali il gemello sarà modellato? Le tecniche standard di progettazione dei processi dovrebbero essere utilizzate per mostrare come i processi aziendali, le persone che abilitano i processi, le applicazioni aziendali, le informazioni e le risorse fisiche interagiscono. Vengono creati diagrammi che collegano il flusso di processo alle applicazioni, alle esigenze di dati e ai tipi di informazioni dei sensori necessari per creare il gemello digitale. Il design del processo viene incrementato con attributi in cui il costo, il tempo o l'efficienza degli asset possono essere migliorati. Questi tipicamente formano le ipotesi di base da cui dovrebbero partire i miglioramenti del gemello digitale.

La chiave per la creazione del gemello digitale è la definizione del tipo di informazioni che saranno richieste durante il ciclo di vita del bene in esame. Spesso è importante strutturare le informazioni in modo riutilizzabile. A tal fine, la creazione di un modello di dati canonico può essere importante. Un modello di dati canonico è una struttura di dati comune, standard per le imprese. Esso consente a diversi sistemi e applicazioni di collegare e scambiare informazioni aziendali. Una struttura canonica può permettere ai vari sistemi che si integrano con il gemello digitale di comunicare in un semplice formato concordato. Questo, a sua volta, può ridurre la quantità di informazioni che devono essere memorizzate al di fuori dei

sistemi di registrazione, può eliminare la necessità di gestire grandi strutture di dati master, e può consentire a un'azienda di utilizzare il gemello digitale in molteplici modi con una maggiore flessibilità per aggiornare continuamente il gemello digitale in quanto integrato con l'impresa, ma non appesantito da esso (Grandinetti, 2018) [30].

3.4.2 L'architettura concettuale del Digital Twin

L'architettura concettuale del gemello digitale (figura 3.5) può essere pensata come uno sguardo espansivo o "sotto il cofano" ai componenti abilitanti che compongono il modello di processo di fabbricazione del gemello digitale, anche se gli stessi principi di base possono probabilmente essere applicati in qualsiasi configurazione del gemello digitale.

L'architettura concettuale può essere meglio intesa come una sequenza di sei fasi, come segue (Deloitte, 2017) [31]:

- **Creare:** La fase di creazione comprende l'equipaggiamento del processo fisico con una miriade di sensori che misurano gli input critici del processo fisico e dell'ambiente circostante. Le misurazioni effettuate dai sensori possono essere ampiamente classificate in due categorie: (1) misurazioni operative relative ai criteri di prestazione fisica del bene produttivo (inclusi i lavori multipli in corso), come la resistenza alla trazione, lo spostamento, la coppia e l'uniformità del colore; (2) dati ambientali o esterni che influenzano le operazioni di un bene fisico, come la temperatura ambiente, la pressione barometrica e il livello di umidità. Le misure possono essere trasformate in messaggi digitali sicuri e poi trasmesse al gemello digitale. I segnali dei sensori possono essere integrati con informazioni di processo provenienti da sistemi come i sistemi di esecuzione della produzione, i sistemi di pianificazione delle risorse aziendali, i modelli BIM e CAD e i sistemi delle catene di fornitura. Ciò fornirebbe al gemello digitale una vasta gamma di dati in continuo aggiornamento da utilizzare come input per la sua analisi;

- **Comunicare:** La fase di comunicazione aiuta l'integrazione/connettività bidirezionale senza soluzione di continuità, in tempo reale, tra il processo fisico e la piattaforma digitale. La comunicazione in rete è uno dei cambiamenti radicali che hanno reso possibile il gemello digitale; essa comprende tre componenti primarie: (A) **Elaborazione dei bordi:** L'interfaccia collega i sensori e gli storici di processo, elabora i segnali e i dati da essi provenienti vicino alla sorgente e trasmette i dati alla piattaforma. Ciò serve a tradurre i protocolli proprietari in formati di dati più facilmente comprensibili e a ridurre la comunicazione di rete. I grandi progressi in questo settore hanno eliminato molti colli di bottiglia che in passato hanno limitato la fattibilità di un gemello digitale; (B) **Interfacce di comunicazione:** Le interfacce di comunicazione aiutano a trasferire le informazioni dalla funzione del sensore alla funzione di integrazione. In questo settore sono necessarie molte opzioni, dato che il sensore che produce le informazioni può, in teoria, essere collocato in quasi tutti i luoghi, a seconda della configurazione del Digital Twin in esame: all'interno di una fabbrica, in una casa, in un'attività mineraria, o in un parcheggio, tra una miriade di altri luoghi; (C) **Sicurezza:** Le nuove capacità di sensori e di comunicazione hanno creato nuovi problemi di sicurezza, che sono ancora in fase di sviluppo. Gli approcci di sicurezza più comuni sono l'uso di firewall, chiavi di applicazione, crittografia e certificati dei dispositivi;
- **Aggregazione ed elaborazione dei dati:** può avvenire sia sul posto che nel cloud. I domini tecnologici che alimentano l'aggregazione e l'elaborazione dei dati si sono evoluti enormemente negli ultimi anni in modi che consentono ai progettisti di creare architetture massicciamente scalabili con maggiore agilità;
- **Analizzare:** Nella fase di analisi, i dati vengono analizzati e visualizzati. Gli analisti possono utilizzare piattaforme e tecnologie di analisi avanzate per sviluppare modelli iterativi che generano intuizioni e raccomandazioni e guidano il processo decisionale;
- **Comprendere:** Nella fase di comprensione, gli spunti dell'analisi vengono presentati attraverso dashboard con visualizzazioni, evidenziando differenze

inaccettabili nelle prestazioni del modello digitale gemello e del mondo fisico analogico in una o più dimensioni, indicando le aree che potenzialmente necessitano di indagine e cambiamento;

- **Agire:** La fase dell'azione è quella in cui le intuizioni realizzabili delle fasi precedenti possono essere ricondotte all'asset fisico e al processo digitale per ottenere l'impatto del gemello digitale. Le intuizioni passano attraverso i decodificatori e sono poi alimentate negli attuatori del processo dell'asset, che sono responsabili dei meccanismi di movimento o di controllo, o sono aggiornate in sistemi di back-end che controllano le catene di fornitura e il comportamento degli ordini, tutti soggetti all'intervento umano. Questa interazione completa la connessione a circuito chiuso tra il mondo fisico e il gemello digitale.

L'applicazione gemella digitale è di solito scritta nel linguaggio di sistema primario dell'impresa, che utilizza i passaggi di cui sopra per modellare l'asset fisico e i processi. Inoltre, durante tutto il processo, possono essere applicati standard e misure di sicurezza ai fini della gestione dei dati e della connettività interoperabile. La potenza di calcolo dei grandi dataset, la versatilità delle tecnologie di analisi, le possibilità di archiviazione massiccia e flessibile dell'area di aggregazione e l'integrazione con i dati canonici permettono al gemello digitale di modellare un ambiente molto più ricco e meno isolato che mai. A sua volta, tali sviluppi possono portare ad un modello più sofisticato e realistico, il tutto attuabile mediante software e hardware potenzialmente a basso costo. È importante notare che l'architettura concettuale dovrebbe essere progettata per la flessibilità e la scalabilità in termini di analisi, elaborazione, numero di sensori ecc. Ciò può consentire all'architettura di evolvere rapidamente con i continui cambiamenti del mercato (Deloitte, 2017) [31].

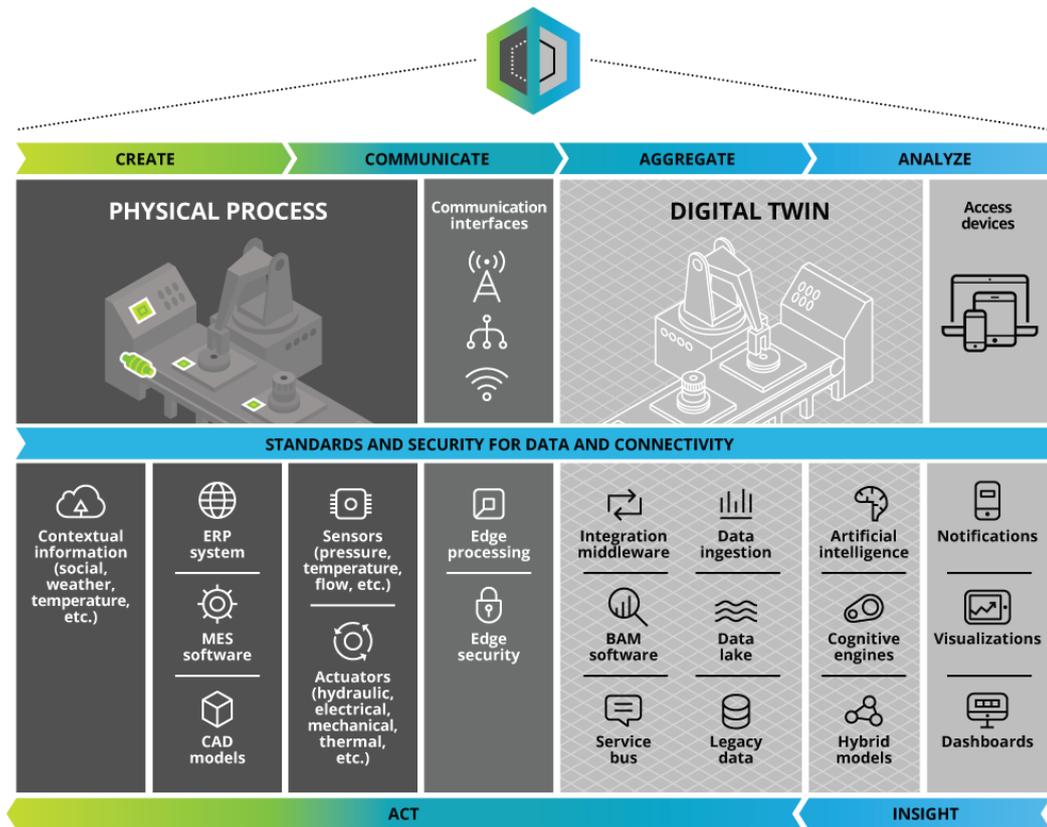


Figura 3.5: Architettura concettuale del Digital Twin

3.5 I vantaggi per le aziende

Una preoccupazione pressante per qualsiasi azienda, o ente proprietario di asset, che inizi il percorso verso la digitalizzazione potrebbe essere la chiara capacità di mostrare i vantaggi e realizzare il valore del proprio investimento nella creazione di un gemello digitale. Come potrebbe questo nuovo approccio aiutare un'azienda o un'ente a cambiare il suo modo di operare per raggiungere un valore di business/prestazione misurabile? Con l'emergere di costi di storage e di calcolo sempre più favorevoli, il numero di casi d'uso e le possibilità di abilitare un gemello digitale si sono notevolmente ampliati, a sua volta creando valore.

Un altro elemento importante che determina il valore economico conseguibile attraverso il con Digital Twin è la sua scalabilità. I dati del gemello digitale possono essere utilizzati per nuove applicazioni con uno sforzo/costo limitato. Ad esempio, i

dati dinamici dei sensori HVAC (Heat Ventilation Air Conditioning) possono essere utilizzati anche per rilevare in un edificio l'occupazione dei locali o l'uso del connettivo e quindi consentire al gemello digitale di analizzare l'utilizzo dello spazio e le sue trasformazioni. Questi dati possono anche aiutare a raggiungere l'efficienza energetica nella stanza spegnendo l'HVAC o passando alla modalità di attenuazione quando la stanza non è occupata (Manca, 2019) [32].

Ecco alcuni vantaggi dovuti al Digital Twin per le aziende e per gli enti (Manca, 2019) [32]:

- Analizzare i dati in arrivo dai sistemi dell'edificio in tempo reale, consentendo il monitoraggio e l'ottimizzazione delle loro prestazioni e la risoluzione dei problemi prima che si verifichino;
- Analizzare il modo in cui gli spazi vengono utilizzati in tutta la struttura;
- Tracciare le posizioni dinamiche delle persone e delle attrezzature in tutta la struttura;
- Identificare più rapidamente le minacce alla sicurezza o i problemi di responsabilità;
- Gestire attivamente i sistemi tecnici con una tempestiva manutenzione predittiva e preventiva;

Il gemello digitale può anche essere utilizzato per simulare scenari "what-if", che consentono ai gestori degli edifici di testare in anticipo gli scenari e di prendere decisioni sull'uso e sulle trasformazioni delle loro strutture (cosa che ipotizziamo nella parte progettuale), come ad esempio (Deloitte, 2017) [31]:

- Simulare le possibilità di evacuazione con grandi folle per determinare in anticipo la capacità dell'impianto di rispondere adeguatamente e quindi potenzialmente migliorare il progetto;
- Testare idee per ampliamenti o ristrutturazioni per determinare il grado di miglioramento del funzionamento e della funzionalità;

- Sfruttare i dati relativi alle strutture esistenti per migliorarne la progettazione di nuovi.

3.6 Il Digital Twin per il ciclo di vita dell'edificio

Il BIM, come detto nei precedenti capitoli, segue l'intero ciclo di vita dell'edificio, a partire dalla programmazione, dall'analisi dei requisiti e dal concept fino alla messa in funzione. Inoltre, copre il processo di produzione, compresa la determinazione della quantità, e la programmazione, nonché tutto ciò che riguarda la gestione del sito e le previsioni sul funzionamento degli impianti.. Idealmente, il gemello digitale prosegue questo percorso seguendo tutte le modifiche dell'edificio reale e riadattandosi dinamicamente in caso di scostamento tra le prestazioni previste e quelle registrate nella realtà grazie al sistema di sensori, alla elaborazione delle informazioni e ai meccanismi di attuazione.

Un gemello digitale è una copia digitale dell'edificio fisico, che include un modello 3D di un impianto combinato con dati dinamici per consentire una facile comprensione della visualizzazione e dell'analisi.

Il Digital Twin di un edificio può essere composto da tre distinti "gemelli", lungo il ciclo di vita di un edificio (Siemens, 2018) [28]:

- Product Twin: Il gemello digitale dei componenti di un edificio;
- Construction Twin: Il gemello digitale dei componenti strutturali di un edificio (planimetrie, ubicazione dei beni, ecc.);
- Performance Twin: Il gemello digitale dei dati dinamici di un edificio (dati sulle prestazioni, dati sulle serie temporali).

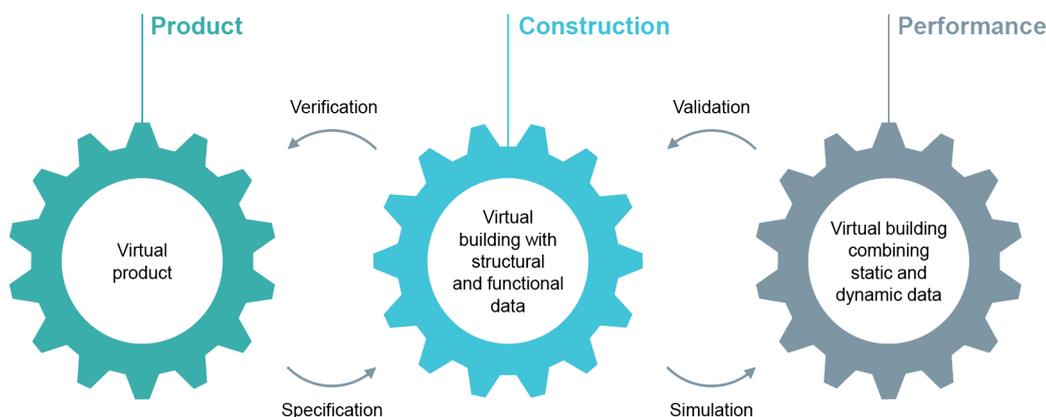


Figura 3.6: *Composizione Digital Twin*

3.6.1 Product Twin

Il Product Twin viene utilizzato principalmente per descrivere le dimensioni, i livelli, le pareti e i cablaggi utilizzati per la simulazione di prodotti conformemente al BIM. Gli oggetti BIM sono i blocchi di costruzione che completano la base di dati statici del gemello digitale.

Ogni asset all'interno dell'edificio fisico ha un oggetto corrispondente, dalle finestre e porte ai componenti del sistema e ai mobili. Questi oggetti BIM non solo forniscono una rappresentazione geometrica dell'asset, ma contengono anche tutte le informazioni di prodotto associate necessarie compresi: dati tecnici, materiali di fabbricazione, informazioni operative e funzionali (Siemens, 2018) [28].

3.6.2 Construction Twin

Il Construction Twin è una rappresentazione statica di tutti i beni installati nell'edificio, come i generatori di calore, le unità di trattamento aria, ecc. Esso migliora l'efficienza nel progetto ingegneristico del controllo del comfort e viene utilizzato per la visualizzazione, l'ingegnerizzazione, la messa in servizio, la simulazione del comportamento del sistema e l'apprendimento grazie all'intelligenza artificiale (Siemens, 2018) [28].

3.6.3 Performance Twin

Il Performance Twin viene utilizzato per migliorare l'efficienza operativa, la manutenzione predittiva e la simulazione dinamica. Questo gemello agisce come una sorta di "corteccia digitale" dell'edificio, in quanto ha la capacità di combinare i dati statici con i dati dinamici prodotti per tutta la vita operativa dell'edificio. Questa "corteccia digitale" è in grado di imparare costantemente dalle mutevoli esigenze degli utenti e dell'ambiente utilizzando l'intelligenza artificiale. I dati dinamici sono essenzialmente prodotti dai vari sistemi installati nell'edificio e dalle interfacce utente. Questi sistemi includono tipicamente rivelatori di incendio, illuminazione, apparecchiature HVAC, apparecchiature di sicurezza, contatori di energia, sistemi di posizionamento interno, sensori di qualità dell'ambiente interno e dati esterni, compresi quelli meteorologici, luce naturale, ecc. (Siemens, 2018) [28].

3.7 Gli edifici del futuro

L'edificio non è solo un'entità che ospita un'attività economica o di servizio, ma diventa parte integrante dell'identità aziendale o dell'ente.

La digitalizzazione dell'industria edilizia può fornire gli strumenti per non solo far vivere l'edificio, ma permettere agli utenti di interagire con esso in modi più produttivi ed efficienti non considerati in precedenza.

In futuro, gli edifici saranno sempre più concepiti su:

- Persone;
- Spazi;
- Servizi.

3.7.1 Persone

Nell'ambito degli edifici per uffici e per servizi è sicuramente prevedibile che questi avranno un decisivo impatto sul modo in cui le persone lavoreranno insieme, sulla qualità dei loro rapporti sociali e, come sottolineano le società di consulenza, sulla loro produttività e benessere. In queste visioni le future generazioni si concentreranno sempre più intensamente sull'equilibrio tra lavoro e vita privata, sulla salute e sul benessere, sui risultati e sul riconoscimento, ecc. Un sondaggio esclusivo condotto da Dodge Data Analytics per conto di Siemens Building Technologies per analizzare i casi della sperimentazione di un gemello digitale in un ospedale e in una struttura aeroportuale ha portato alla conclusione che il miglioramento dell'esperienza dei pazienti in una struttura ospedaliera e il miglioramento dell'esperienza dei passeggeri in un aeroporto sono uno dei risultati chiave che gli intervistati (dirigenti e responsabili delle decisioni) stanno cominciando ad ottenere. Lo studio ha anche dimostrato che, negli ospedali, la capacità di fornire informazioni in tempo reale sulla posizione dei pazienti e del personale secondo gli orari e le restrizioni, contribuisce notevolmente alla produttività del personale ospedaliero (Siemens, 2018) [28].

3.7.2 Spazi

L'interesse per una maggiore indipendenza spaziale e temporale è estremamente influente. Molti dipendenti possono svolgere il loro lavoro praticamente da qualsiasi luogo e in tempi sempre più flessibili tramite computer portatili e altri dispositivi mobili. Secondo uno studio condotto da CBRE, una grande società internazionale di Real Estate, l'utilizzo medio globale dei posti assegnati in immobile per uffici (esclusi i posti vacanti) raggiunge il 60 per cento e l'utilizzo medio globale delle sale riunioni raggiunge il 30 per cento. Di conseguenza, la crescente adozione dell'ingegneria digitale nei futuri edifici sarà notevolmente mirata a misurare e ottimizzare lo spazio dell'edificio (Siemens, 2018) [28].

3.7.3 Servizi

Gli edifici si concentreranno sempre più sulla performance dei singoli beni al loro interno. Metodi intelligenti come il rilevamento e la diagnostica dei guasti e l'apprendimento automatico supporteranno notevolmente la fornitura di informazioni in tempo reale sull'infrastruttura di un edificio, compresi i singoli dispositivi e sistemi. Tali applicazioni facilitano una manutenzione intelligente, di tipo predittivo, degli asset, consentendo all'operatore di rilevare e prevenire i guasti prima che si verifichino. Il gemello digitale permetterà agli operatori dell'edificio di migliorare l'efficienza, misurata da un incremento della disponibilità, e di simulare come la risposta avrà un impatto sulle prestazioni complessive. Insieme, questo si tradurrà in asset che funzioneranno come previsto per un periodo più lungo, programmi di manutenzione che danno priorità ai problemi che contano di più, e di conseguire spese operative, le cosiddette OPEX notevolmente migliori per gli operatori del Real Estate rispetto agli edifici tradizionali (Siemens, 2018) [28].

3.8 Le piattaforme per il Digital Twin

Come detto in precedenza, il Digital Twin sta acquisendo notevole importanza. Questo ha portato diverse aziende a voler investire su questa nuova tecnologia.

Tra queste realtà possiamo ricordare:

- Amazon;
- Microsoft;
- General Electric.

Queste società hanno deciso di investire sulla creazione dei gemelli digitali in quanto possiedono già una base solida formata da framework organizzativi sviluppati coerenti con la tecnologia dell'Internet of Things. Uno dei loro primi obiettivi è stato quello di semplificare e velocizzare lo sviluppo dei modelli digitali, in qualsiasi campo essi si vadano ad inserire (Grandinetti, 2018) [30].

Quindi, partendo da un'ottima base, possono beneficiare di tutti i vantaggi che l'IoT comporta (Grandinetti, 2018) [30]:

- Determinazione della qualità di rete al quale è "agganciato" il dispositivo. Si può capire se la connettività è assente o discontinua;
- Riavvio in remoto dei dispositivi;
- Ereditarietà, in senso informatico, di un supporto a tutti i protocolli Internet of Things in grado di generare automaticamente API (Application Programming Interface) per connettersi a ciascun dispositivo;

Esistono diverse piattaforme già sviluppate per gestire e realizzare i Digital Twin.

Le più importanti sono:

- AWS IoT (Amazon);
- IBM Watson IoT;
- Ge Predix (General Electric);
- Microsoft Azure Service Fabric (Microsoft);
- Thingworx (PTC);
- SAP IoT Application Enablement.

I software di Amazon rientrano nel mondo dei dispositivi interconnessi, mentre quelli della SAP (azienda leader nel campo dei software di gestione aziendale e produttiva) della Microsoft e della General Electric rientrano nel mondo dell'Internet of Things (Grandinetti, 2018) [30].

3.8.1 Piattaforma Ge Predix

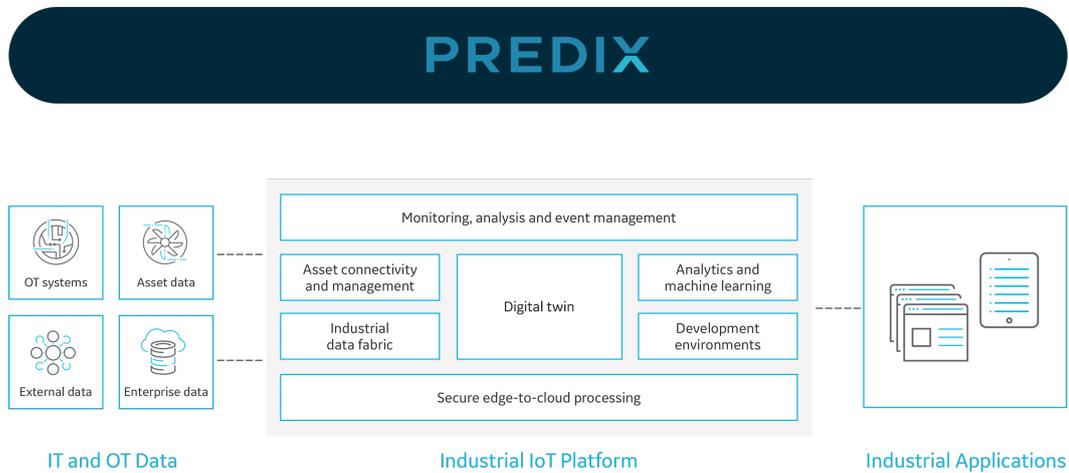


Figura 3.7: Piattaforma Ge Predix

Predix è un programma pensato e realizzato dalla General Electric. Esso ha l'obiettivo di prevedere e riportare risultati che portino vantaggi all'azienda in ogni tipologia di mercato (General Electric, 2018).

Alcune delle caratteristiche di questa piattaforma sono (General Electric, 2018) [33]:

- Si basa sul Digital Twin che è l'elemento fondamentale per effettuare le analisi predittive;
- I costi delle operazioni sono ottimizzati grazie all'architettura "edge to cloud";
- Consente l'esecuzione di applicazioni come Predix Asset Performance Management per aumentare l'affidabilità e la disponibilità di risorse.

Predix è composto da altre sotto-piattaforme che lo rendono completo.

Vengono mostrate di seguito.

Dispositivi Edge

Predix Edge è una piattaforma informatica IIoT posizionata all'intersezione tra i sistemi di controllo industriale e gestione dell'impresa.

Con Predix Edge è possibile (General Electric, 2018):

- Raccogliere dati da asset e fonti IT/OT;
- Applicare l'analisi di machine learning locale;
- Inoltrare in modo sicuro e affidabile dei dati a Predix Cloud;
- Affidarsi ad uno stack (elemento del programma che consente una agevole catalogazione degli oggetti) sicuro con sistema operativo integrato;
- Configurare e gestire facilmente i dispositivi edge (quali i sensori posizionati in ambiente o sulle macchine) e i carichi di lavoro;

Grazie alle capacità di connettività e gestione Predix Edge semplifica la raccolta dei dati e supporta le esigenze di Edge Computing dal dispositivo al data center.

Tutto questo ha come risultato l'aumento dei tempi di utilizzo, una riduzione dei costi, operazioni ottimizzate e indicazioni che portano a un vantaggio strategico. Predix Edge è un abilitatore chiave di questi vantaggi, sia che funzioni da solo che in combinazione con Predix Cloud e grazie a ciò è in grado di rilevare autonomamente le anomalie e di correggerle.

Una delle caratteristiche principali di questa piattaforma è che riesce ad attribuire una posizione ad ogni oggetto in modo tale da rintracciarlo sempre (General Electric, 2018) [33].

Cloud

Predix Private Cloud fornisce il nucleo centrale dei servizi Predix Cloud come soluzione software progettata per essere implementata direttamente nel data center di un cliente. Predix Private Cloud soddisfa i requisiti dei clienti in materia di sicurezza, conformità alle normative e sovranità dei dati, offrendo al contempo le funzionalità chiave, il supporto applicativo e analitico e la scalabilità di Predix Cloud. Esso è raggiungibile da tutti gli utenti che partecipano all'iter progettuale e facilita il lavoro collaborativo.

Predix Cloud permette l'elaborazione scalabile dei grandi dati, una ricca analisi e una gamma completa di servizi applicativi che supportano le soluzioni industriali più esigenti. Sia che si utilizzi la console utente integrata per il monitoraggio e la gestione degli eventi, che si sviluppino e si eseguano le analisi e le applicazioni come GE Digital-built, Predix Cloud fornisce la base per la trasformazione digitale delle aziende.

Una sua peculiarità è il fatto di riuscire ad eseguire test di moduli completi o parziali di un programma senza andare offline ed evitando la perdita di dati. Al centro della piattaforma si ha il modello delle risorse: con queste è possibile ricavare i dati, collezionarli e organizzarli per analisi future o per semplici operazioni di monitoraggio. E' per questo motivo che il Digital Twin risulta essenziale: viene considerato l'unica fonte di "verità", sia del passato dell'opera che del presente. Inoltre, i gemelli digitali possono dialogare tra loro, in modo tale da avere una quantità di informazioni sempre maggiore e precisa e che soprattutto, aiutino le previsioni future.

Il Cloud è in grado di suddividere questa enorme mole di dati ottenuti dal Digital Twin in diversi flussi di informazioni ai quali viene assegnata una definita caratteristica e che quindi possono essere estratti indipendentemente a seconda delle esigenze di chi ne sta usufruendo (General Electric, 2018) [33].

Comunicazione tra dispositivi Edge e Cloud

Molte volte, le aziende, per comunicare le informazioni in maniera sicura ed evitare malfunzionamenti o manomissioni, posizionano i sensori della rete internet in luoghi difficili da raggiungere e quindi scomodi. Tutto questo però, grazie alla piattaforma Pedix, viene evitato in quanto, tramite i dispositivi edge, lavora direttamente sui dati senza richiedere l'aiuto per effettuare le previsioni al Cloud e quindi evitando problemi di connessione (General Electric, 2018) [33].

Inoltre, questo non affidarsi al Cloud, permette la gestione di informazioni che non potrebbero essere liberamente in circolazione e riduce notevolmente i costi delle analisi (Figura 3.8).

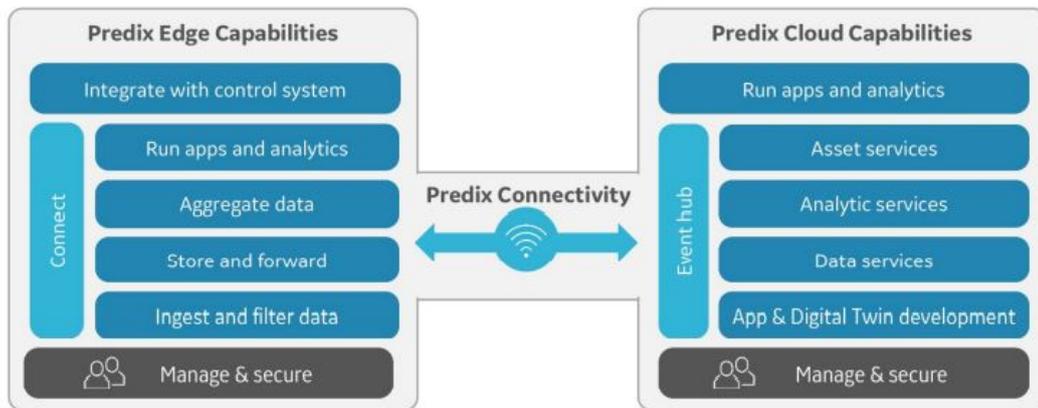


Figura 3.8: *Predix Edge to Edge*

Applicazioni industriali

Grazie allo sviluppo tecnologico, il numero di possessori di dispositivi mobili in un'azienda è aumentato notevolmente. Per questo i lavoratori stanno iniziando ad essere chiamati "Digital Worker" ovvero dipendenti connessi che riescono a ridurre i costi aziendali e ad aumentare la soddisfazione del cliente migliorando la propria efficienza. Tutto ciò avviene mediante piattaforme che permettono di effettuare analisi sulla gestione e su molti altri parametri direttamente sul proprio dispositivo mobile. In questo caso si parla di Predix che, comunicando con il Cloud, porta tutti i vantaggi descritti in questo paragrafo (General Electric, 2018) [33].

3.8.2 Piattaforma SAP IoT Application Enablement

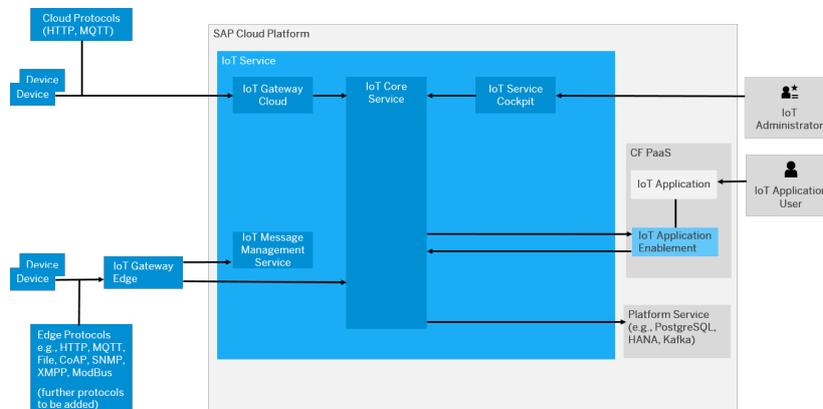


Figura 3.9: *Piattaforma SAP IoT Application Enablement*

I servizi SAP Internet of Things (IoT) Application Enablement rappresentano una rete di oggetti fisici che vengono utilizzati per la raccolta e lo scambio di dati. Aiuta a creare un modello di “cose”, aziende e personale di servizio e le loro relazioni. Fornisce anche una raccolta di servizi basati su REST (un modo di configurare la comunicazione nel WEB) e OData (protocollo per lo scambio di dati) per memorizzare e recuperare dati in modo efficiente (SAP Help Portal, 2020) [34].

Una “cosa” è qualsiasi oggetto fisico (ad esempio un’automobile, un robot o qualsiasi suo componente o parte, indipendentemente dalle dimensioni o dalla complessità) che sia rilevante dal punto di vista dell’utente o dell’applicazione.

Ecco un elenco dei più importanti gruppi di servizi disponibili nello spazio SAP IoT Application Enablement (SAP Help Portal, 2020) [34]:

- Business Partner;
- Individuazione della posizione di "cose" e persone;
- "Cosa".

Il servizio Business Partner e il servizio “Cosa”, combinati insieme, costituiscono una rappresentazione digitale sia delle cose del mondo reale (oggetti fisici come macchine o prodotti di ogni tipo) sia delle persone e delle organizzazioni che sono interessate a produrre, monitorare, controllare o distribuire questi oggetti. In questa impostazione, ogni tipo di scenario che ha a che fare con l’Internet of Things non può esistere senza questi due servizi. Pertanto, SAP combina queste entità essenziali in un unico livello di software come base per il riutilizzo e come un approccio unificato e neutrale di tipo cross-business rispetto a questi elementi centrali (SAP Help Portal, 2020) [34].

Ma quali sono gli oggetti a cui posso accedere e come si possono proteggere gli oggetti da un accesso non autorizzato da parte di terzi? E il sistema come garantisce che non accedo accidentalmente agli oggetti al di fuori della mia area di competenza?

A tal fine, SAP IoT Application Enablement introduce il concetto di Tenant che serve come contenitore che ospita tutti gli oggetti che appartengono a un particolare utente della piattaforma Cloud. I membri del team di progetto possono accedere agli oggetti contenuti nel Tenant a cui sono stati assegnati e possono accedere soltanto a quello. Gli oggetti contenuti in altri locatari non sono accessibili ai consumatori della piattaforma cloud. Questa rigida separazione può essere superata solo dagli amministratori di sistema che gestiscono la piattaforma per il fornitore della piattaforma Cloud (SAP Help Portal, 2020) [34].

La piattaforma SAP IoT Application Enablement viene fornita con un concetto di autorizzazione bidimensionale, ovvero (SAP Help Portal, 2020) [34]:

- Con le autorizzazioni basate sull'istanza dell'oggetto: è possibile impostare le relazioni tra i membri della propria organizzazione e gli oggetti a cui ciascun membro può accedere. Il numero massimo di oggetti accessibili è il numero di oggetti esistenti all'interno del Tenant a cui il team di progetto è assegnato. Finché tali relazioni non sono state stabilite, l'utente non ha la possibilità di vedere se ci sono oggetti all'interno del Tenant;
- Con le autorizzazioni funzionali: è possibile controllare il tipo di accesso a cui un utente ha diritto rispetto agli oggetti a cui può accedere.

3.8.3 Piattaforma AWS IoT

Amazon è un'azienda che aveva già realizzato diversi prodotti riguardanti l'Internet delle Cose e, per la realizzazione della piattaforma AWS IoT, ha deciso di riunire questi vecchi progetti (Figura 3.10).

Esistono diverse tipologie di questo software e ne parleremo di seguito.

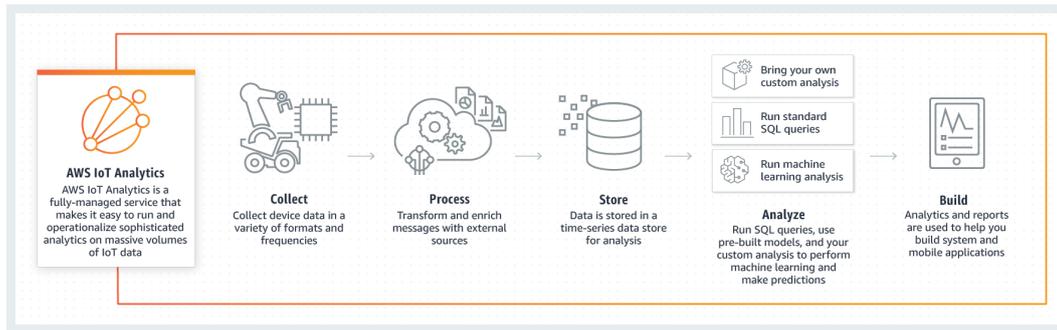


Figura 3.10: Piattaforma AWS IoT

AWS Greengrass

E' una piattaforma che funziona anche in caso di connessione intermittente. Essa consente il collegamento in modo sicuro tra i dispositivi Edge e il Cloud.

Le informazioni verranno risincronizzate ogni volta che si farà l'accesso al Cloud, e possono viaggiare nella rete in modo sicuro grazie alla crittografia. Inoltre, solo i dispositivi registrati nel Cloud possono effettuare l'accesso (Amazon Web Service, 2020) [35].

AWS IoT Core

E' un software molto potente che riesce a mantenere la connessione con un'enorme quantità di dispositivi Edge e di gestire e indirizzare in modo sicuro grandi moli di messaggi agli endpoint AWS e ad altri dispositivi.

Vi è la possibilità di creare protocolli personalizzati che non precludono la possibilità di dialogare con dispositivi che ne hanno di differenti (Amazon Web Service, 2020) [35].

Ne esistono alcune tipologie standard e sono :

- Http;
- Wsockets;
- Mqtt.

Questo applicativo collabora anche con AWS Greengrass il che facilita l'interazione con gli altri dispositivi Edge.

AWS Core, può quindi essere definito il "cuore pulsante" di tutta la piattaforma.

AWS IoT Analytics

E' un software che serve per risolvere un rilevante problema: la difficoltà ad effettuare analisi con strumenti analitici già presenti nell'informatica, dovuta al fatto che i dispositivi IoT non comunicano lo stesso tipo di informazioni. La soluzione che ha trovato Amazon è stata quindi quella di creare un applicativo che riesce a gestire grandi quantità di dati e a filtrarli in modo tale da avere risultati più precisi e prendere decisioni migliori. In caso di errori, l'utente viene informato immediatamente grazie ad una notifica (Amazon Web Service, 2020) [35].

Amazon Quicksight

E' la piattaforma per la visualizzazione, l'esecuzione di analisi ad hoc e la raccolta di informazioni strategiche dai dati (Amazon Web Service, 2020) [35].

Amazon Sagemaker

Ricava modelli di machine learning grazie ai quali riesce a ricavare informazioni che permettono di effettuare previsioni sulla possibilità di incorrere in errori (Amazon Web Service, 2020) [35].

AWS Greengrass ML Inference

I modelli creati dall'Amazon Sagemaker vengono utilizzati per installare nei dispositivi connessi alla rete una sorta di "intelligenza artificiale" che eseguirà determinate azioni in determinati casi, anche avvisando l'utente (Amazon Web Service, 2020) [35].

3.9 Digital Twin in ambito sanitario

Come accennato in precedenza l'ospedale e le strutture sanitarie costituiscono uno dei campi più attuali di applicazione del concetto e dei sistemi di Digital Twin. La complessità della struttura, ma soprattutto delle funzioni di cura in essa ospitate, della loro delicatezza delle attività e degli elevati livelli di sicurezza richiesti, impone la necessità di gestire con l'utilizzo delle più avanzate tecnologie anche l'infrastruttura edilizia, gli spazi e il sistema tecnologico-impiantistico. Le applicazioni che verranno illustrate si riferiscono perlopiù all'uso delle apparecchiature biomedicali e di alcune funzioni quali la logistica dei materiali, di supporto e biologici (come nel caso dei campioni organici da analizzare).

Tuttavia, anche l'uso dei locali, la divisione dei percorsi, tema posto in evidenza anche dalla gestione del rischio infettivo derivante dalla pandemia del COVID 19, possono essere campi interessanti di sperimentazione del Digital Twin.

Nella gestione quotidiana di un ospedale è facile perdere una visione d'insieme di tutte le attività, le attrezzature e dei beni. Questo porta a processi inefficienti e a tempi di ricerca non necessari. Inoltre, i dipendenti sono meno produttivi quando devono cercare i materiali. In media, il personale ospedaliero ha bisogno di un'ora sulle otto ore di un turno per cercare le attrezzature (Siemens, 2018) [28].

Per questo motivo il Digital Twin può costituire uno strumento per migliorare la gestione e il controllo di un ospedale (Figura 3.11).

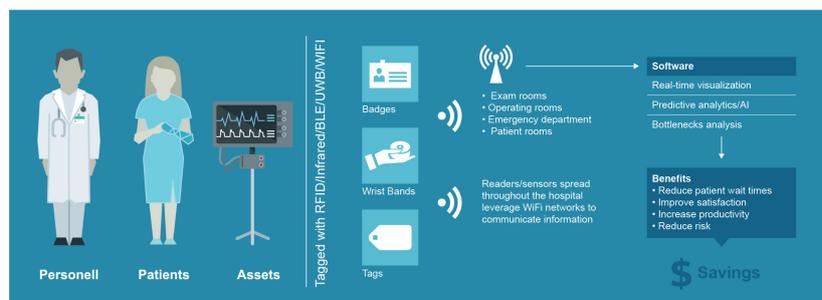


Figura 3.11: Ottimizzazione del flusso dei pazienti e dell'efficienza del personale

3.9.1 Come realizzare un modello digitale

Nelle pagine seguenti faremo riferimento essenzialmente agli schemi proposti dalla Siemens, leader e pioniere dell'applicazione del Digital Twin in ambito ospedaliero, utilizzando le denominazioni commerciali dei suoi prodotti.

Il primo requisito di un Digital Twin Ospedaliero è quello di mantenere lo stesso rapporto tra oggetti digitali e oggetti reali. Quindi il gemello digitale deve avere le stesse relazioni con ciò che lo circonda sia nel mondo virtuale che nel mondo reale.

Una volta capito questo concetto, per realizzare una rappresentazione digitale si dovrà (Grandinetti, 2018) [30]:

- Creare dei Digital Twin di tutti i servizi (unità operative o reparti) che vengono messi in relazione tra loro così come è l'ospedale nella realtà;
- Assegnare agli operatori, sanitari e della logistica all'interno di ogni servizio un gemello digitale e effettuare la stessa cosa per tutte le stanze;
- Assegnare ai pazienti e alle attrezzature all'interno di ogni stanza un Digital Twin.

3.9.2 Rappresentazione dei pazienti e delle attrezzature mediche

Il PatientDt creerà la copia digitale di ogni paziente all'interno della struttura ospedaliera. Esso, sfruttando l'enorme potenzialità del Digital Twin, crea una cartella medica digitale che raccoglie i propri dati attraverso l'utilizzo di sensori posizionati sul paziente stesso. Così si riesce a ricreare un quadro clinico che informa i medici delle condizioni passate e presenti dell'individuo ricoverato (Grandinetti, 2018) [30].

Alcuni esempi delle potenzialità del PatientDt sono (Grandinetti, 2018)[30]:

- Riuscire a capire se il recupero post-operatorio di un soggetto sottoposto ad intervento procede in modo corretto e senza intoppi;
- Capire se una terapia assegnata ad un paziente sia adatta a lui;

- Monitorare le condizioni dei pazienti in modo tale da intervenire tempestivamente in caso di imprevisti. Tutto ciò avviene grazie ad un allarme che scatta direttamente sui dispositivi dei medici e degli infermieri.

Ogni Digital Twin dei pazienti è riconosciuto grazie all'utilizzo del loro nome reale ed inoltre, il paziente stesso può essere rintracciato continuamente grazie al rilevamento della sua posizione. Non solo i pazienti possiedono il loro gemello digitale, ma anche le diverse apparecchiature mediche. Questo per poter monitorare in ogni luogo e in ogni momento il loro corretto funzionamento. Tutto ciò è possibile grazie EquipmentDt. Esso indica anche la posizione degli strumenti di lavoro e delle apparecchiature facilitando il loro rinvenimento e utilizzo. I tag di localizzazione vengono utilizzati con successo da molte organizzazioni sanitarie per etichettare una varietà di dispositivi mobili, tra cui pompe per infusione, driver per siringhe, attrezzature per l'alimentazione, scanner, monitor, sedie a rotelle, materassi e letti.

Questa funzionalità permette anche di aggiornare la cartella clinica del paziente in caso di utilizzo di attrezzatura per la diagnostica. Questo avviene perché tutti i Digital Twin all'interno dell'ospedale sono interconnessi e quindi il macchinario gestito con EquipmentDt dialogherà con il gemello digitale del paziente gestito dal PatientDt (Grandinetti, 2018) [30]

Inoltre, tutte le informazioni rilevate durante la diagnostica del paziente sono inviate in automatico alla sua stanza in modo tale che siano subito disponibili e consultabili.

Come nel caso precedente, anche i macchinari sono riconosciuti nel mondo digitale dalla definizione della loro posizione e del loro nome.

I vantaggi sul rintracciamento dei pazienti e dell'attrezzatura sono (Grandinetti, 2018) [30]:

- Ridurre le responsabilità e migliorare la sicurezza: l'obiettivo è tenere le persone, visitatori, appaltatori fuori dalle aree riservate; gli allarmi indicano quando

le persone lasciano le stanze; fornisce dati sul fatto che il personale ha risposto agli allarmi;

- Ridurre i costi operativi: monitora il flusso di persone per vedere come rendere più efficiente ogni ambiente, come ad esempio l'assegnazione dei servizi di supporto in base al tasso di utilizzo degli spazi;
- Valore aggiunto per il paziente attraverso un migliore utilizzo delle sale d'attesa: una migliore comunicazione con i pazienti potrebbero contribuire a ridurre/eliminare spazi come le sale d'attesa;
- Migliorare l'esperienza del paziente;
- Analisi e pianificazione: comprendere la pianificazione della mole di lavoro per le strutture future.

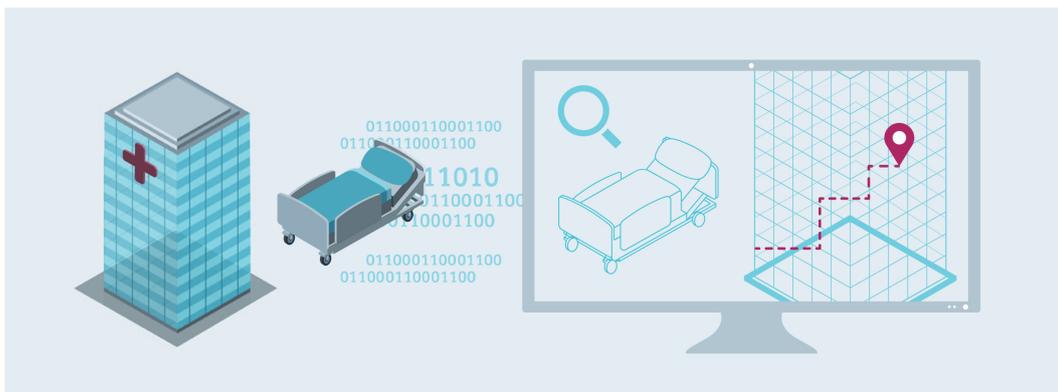


Figura 3.12: Tracciamento del paziente grazie al Digital Twin

3.9.3 Rappresentazione del personale medico

La rappresentazione di tutti i dipendenti all'interno di una struttura ospedaliera è data dall'utilizzo di EmployerDt. In questo modo i Digital Twin dello stesso tipo potranno dialogare, tanto che, ad esempio, un medico può interagire con il gemello digitale di un paziente per (Grandinetti, 2018) [30]:

- Capire le sue condizioni;
- Capire il suo passato clinico;

- Aggiornare la cartella clinica dopo una visita.

Inoltre, il medico potrà dare istruzioni ai reparti in cui si trovano i pazienti e ottenere informazioni generali sulle condizioni dell'ospedale.

Ogni Digital Twin del personale medico è riconosciuto grazie all'utilizzo del loro nome reale ed inoltre, viene rintracciato continuamente grazie al rilevamento della posizione.

3.9.4 Rappresentazione delle stanze

I Digital Twin delle stanze all'interno di unità operative (reparti, servizi ecc.) di un ospedale sono generati con RoomDt. Ogni stanza sarà fornita di sensori che acquisiscono informazioni continuamente che possono riguardare lo stato attuale della camera o le condizioni dei pazienti che la occupano. Questi dati sono ottenuti anche dalle attrezzature mediche ma, se così non fosse, il gemello digitale della stanza sopperirà alla mancanza interagendo con i Digital Twin dei pazienti che la vivono (Grandinetti, 2018) [30].

Inoltre, queste stanze digitali possono comunicare con il personale medico e con i vari reparti.

3.9.5 Rappresentazione delle aree di degenza

Ogni aree di degenza necessita di di una buona organizzazione. Bisogna pensare alla logistica e alle varie tempistiche. Tutto ciò avviene in maniera ottimale grazie a WardDt che crea il Digital Twin delle aree di degenza (unità operative, reparti) e gli permette di dialogare con i gemelli digitali delle stanze e delle attrezzature mediche e di analizzare tutte le vecchie informazioni derivanti da tutto ciò che è all'interno del suo stesso reparto (Grandinetti, 2018) [30].

Quindi il Digital Twin rappresentato con WardDt potrà (Grandinetti, 2018) [30]:

- Interagire con altre unità (reparti, servizi);

- Interagire con le stanze all'interno del proprio reparto;
- Interagire con i pazienti (crea nuovi Digital Twin di pazienti non ancora registrati);
- Dialogare con il personale medico;
- Aggiornare le proprie informazioni interne.

Vi è anche la possibilità di creare un “reparto tipo” che sia composto dalle parti che tutti i reparti hanno in comune.

3.10 Altri ambiti di utilizzo del Digital Twin

Il Digital Twin ha molti altri casi di applicazione.

3.10.1 Simulazione di scenari di emergenza

La progettazione delle vie di evacuazione di emergenza è tipicamente basata su norme e regolamenti definiti nelle leggi edilizie pertinenti. Tuttavia, non essendo possibile testare un progetto simulando una reale condizione di emergenza, è difficile confermare se questo progetto garantirà un'evacuazione veramente efficiente.

Un gemello digitale consente la simulazione di scenari di risposta alle emergenze che sfrutta i dati sul flusso di persone raccolti per simulare scenari di risposta alle emergenze in vari momenti del giorno/anno. Vengono analizzati sia i dati statici (strutturali e funzionali) sia i dati dinamici di un edificio. Sono possibili diversi scenari, ad esempio per l'uso standard dell'edificio o per gli usi di picco.

Gli scenari possono anche valutare diversi tipi di eventi straordinari, ad esempio un incendio in un locale specifico o in altri luoghi, e simulare il reale processo di evacuazione. Il gemello digitale è in grado di simulare l'evacuazione completa o parziale (piano per piano) dell'edificio al momento di un'emergenza senza perturbare l'attività in corso. Sulla base della simulazione, è possibile realizzare un progetto e un

piano di evacuazione efficiente. Nell'illustrazione sopra riportata, la simulazione conclude che la porta lungo il percorso di evacuazione dovrebbe essere più ampia per evitare un collo di bottiglia in quel punto durante un'emergenza (Siemens, 2018) [28].

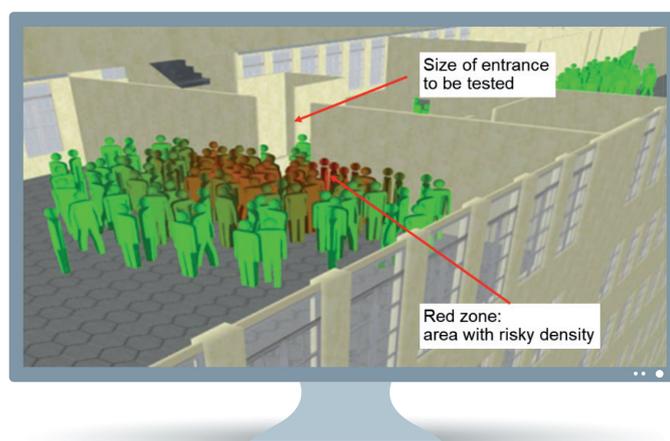


Figura 3.13: Simulazione stato di emergenza con Digital Twin

Un gemello digitale consente tali simulazioni già durante la fase di progettazione di un progetto, il che aiuta molto i progettisti ad essere in grado di fornire un progetto con il più efficiente e testato piano di evacuazione.

3.10.2 Utilizzo ottimizzato dello spazio

Le organizzazioni attualmente ottimizzano il loro spazio disegnando manualmente le opzioni di progettazione, che possono richiedere molto tempo e non essere ottimali. Il gemello digitale è in grado di misurare l'utilizzo dello spazio in tempo reale e, sulla base di ciò, il layout può essere ottimizzato per riflettere le esigenze delle persone. I sistemi di posizionamento all'interno tracciano l'utilizzo di tutte le aree di un edificio.

Tali informazioni vengono utilizzate non solo per gestire l'illuminazione di un locale o per ottimizzare il riscaldamento o la climatizzazione, ma anche per identificare le aree che vengono utilizzate pesantemente o le aree sottoutilizzate. Questo può essere visualizzato nelle cosiddette mappe di calore, che mostrano l'utilizzo dello

spazio. Il beneficio diretto non è solo per chi ne usufruisce, ma anche per i proprietari dell'edificio, che possono massimizzare gli spazi in affitto e quindi incidere direttamente sulle entrate (Siemens, 2018) [28].



Figura 3.14: Modifiche alla disposizione dei piani grazie all'analisi dei dati

Capitolo 4

L'Ospedale Universitario di Odense in Danimarca

In questo paragrafo analizzeremo brevemente un esempio di ospedale in corso di ultimazione che ha visto l'applicazione dei principi del BIM e del Digital Twin in un processo collaborativo particolarmente interessante tra progettisti, imprese e sistema sanitario danese.

I sistemi sanitari di tutto il mondo sono messi a dura prova da un aumento della percentuale di cittadini anziani e di malati cronici, nonché dai costi sempre crescenti delle prestazioni sanitarie. Questi fattori stanno provocando un notevole e critico aumento della domanda in termini di esigenze di trattamento e di aspettative, che accentuano la necessità dei sistemi sanitari di lavorare in modo più intelligente a tutti i livelli. Pertanto, gli ospedali devono considerare dei nuovi strumenti per aumentare l'efficienza e la produttività al fine di poter curare più pazienti senza aumentare i costi in misura insostenibile.

Da oltre un decennio, gli ospedali e le aziende danesi lavorano insieme per migliorare la logistica negli ospedali. L'obiettivo generale è stato quello di creare soluzioni just-in-time per ottimizzare il coordinamento e l'efficienza e ridurre la durata della degenza dei pazienti (Henriksen, 2017) [36].

La riforma strutturale del settore pubblico del 2007 in Danimarca ha posto le basi per una nuova struttura ospedaliera e una nuova divisione del lavoro tra l'assisten-

za sanitaria di base e gli ospedali. Composto da 16 progetti di costruzione di poli sanitari, il programma Super Hospital è una pietra miliare della nuova struttura ospedaliera danese, dove un certo numero di piccoli ospedali si sono fusi per crearne di più grandi e più specializzati (Henriksen, 2017) [36].

Affinché quest'ultimi riescano a migliorare costantemente la produttività, sono necessari nuovi processi e nuove tecnologie per consentire la fornitura di servizi e attrezzature in tempo reale e il coordinamento tra tutte le specialità, le migliaia di pazienti e il personale. Gli ospedali danesi sono molto attenti allo sviluppo organizzativo e tecnologico, e la combinazione di questi cambiamenti offre una notevole opportunità di innovazione radicale nel campo della logistica ospedaliera (Henriksen, 2017) [36].

Lo scopo principale del programma Super Hospital è la creazione di ospedali più grandi e tecnologicamente aggiornati a sostegno di un trattamento accelerato. La logistica just-in-time è un fattore chiave per il trattamento accelerato, in quanto consente al personale sanitario di concentrarsi sul proprio compito principale ottimizzando le proprie attività e riducendo il tempo sprecato nel cercare colleghi o apparecchiature (Henriksen, 2017) [36].

Gli obiettivi del programma Super Hospital sono:

- Gestione rapida dei campioni per le analisi;
- Fornitura di servizi puntuali e senza errori;
- Consegna "Just in time" delle apparecchiature.

Gli obiettivi sono ottenuti con l'uso di:

- Conoscenza dell'ubicazione delle apparecchiature, del personale e dei pazienti;
- Gestione trasparente dei compiti in tutto l'ospedale.

Uno dei casi più rilevanti per l'applicazione della metodologia del Building Information Modeling ed in seguito del Digital Twin è l'Ospedale Universitario di Odense in Danimarca. Esso è una struttura progettata da ATI Project in collaborazione con CMB e Itinera, due importanti imprese di costruzioni italiane con molteplici attività di progettazione e realizzazione in Italia e all'estero, e si sviluppa per una superficie di circa 250000 m² suddivisi in oltre 10000 locali per un investimento totale stimato di 600 milioni di euro (Boati, 2019) [37].

Essendo le strutture sanitarie degli edifici complessi, il BIM è stato di grande aiuto in quanto sia le imprese che il team di progetto hanno potuto gestire e condividere la grande mole di informazioni in tempo reale tra di loro e con la committenza.



Figura 4.1: *L'Ospedale Universitario di Odense in Danimarca*

4.1 Il progetto

I lavori per questo ospedale sono iniziati nel 2019. La progettazione dei primi due lotti, uno di 160000 m² e l'altro di 90000 m², è stata assegnata allo studio di progettazione italiano ATI Project. All'impresa CMB è stata affidata la costruzione. Questi due "blocchi", si estendono rispettivamente per 4 e 5 piani fuori terra e tra i due vi è la presenza di un corpo centrale che funge da "spina dorsale" dell'intero fabbricato.

A loro volta, questi due “blocchi”, sono stati divisi in 6 sotto progetti (Boati, 2019) [37].

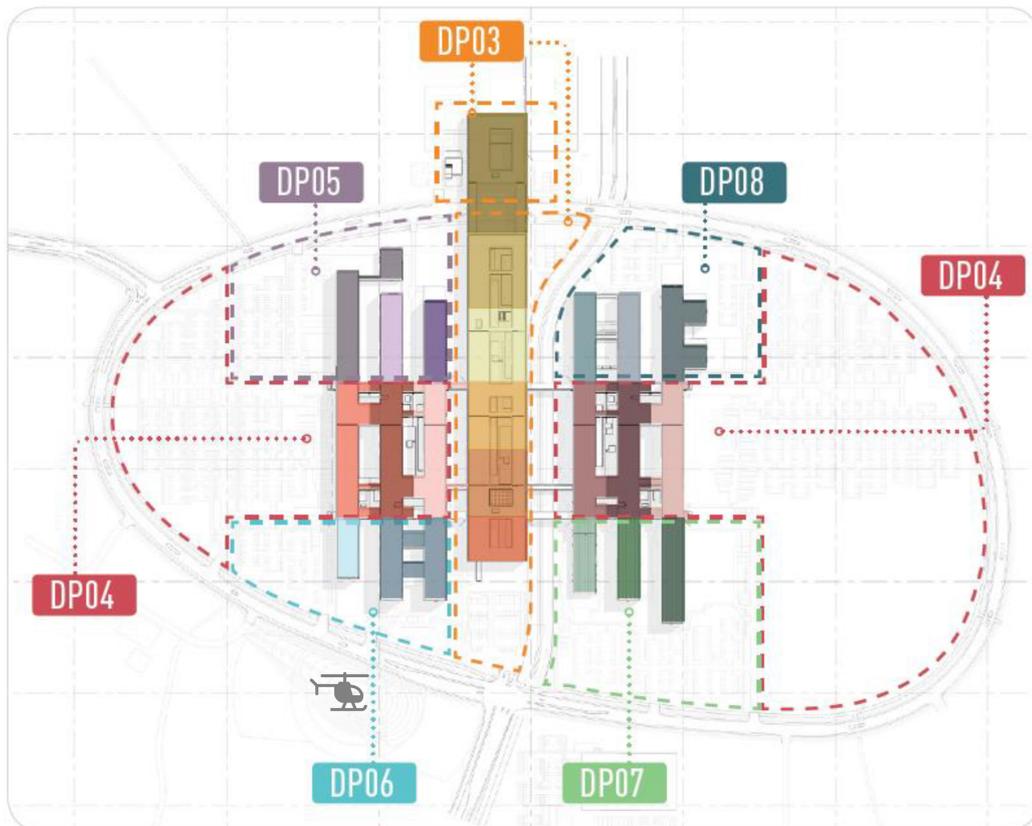


Figura 4.2: *Concept design Ospedale Universitario di Odense*

DP03: è la spina dorsale dell'Ospedale ed è chiamato “Asse della Conoscenza”. Ha un'area di 60900 m² e si estende per 4 piani fuori terra. Esso collega l'ingresso principale con l'Università della Danimarca meridionale (Boati, 2019) [37].

Al suo interno vi sono:

- La chiesa;
- Il reparto di terapia intensiva;
- Il reparto dialisi;
- I laboratori specialistici.

DP04: questo secondo sotto progetto ha un'area di 98900 m² e si estende per 5 piani fuori terra ed è disposto parallelamente al corpo centrale. La sua particolarità è la presenza di percorsi molto semplici e brevi (Boati, 2019) [37].

Esso è composto da:

- Day Hospital;
- L'endoscopia;
- Le sale operatorie;
- Le camere di degenza.

DP05-DP06-DP07-DP08: la superficie totale di questi fabbricati è 91000 m² e si estendono per 4 piani fuori terra. Essi hanno il ruolo di supporto ai corpi principali (Boati, 2019) [37].

Al loro interno vi è:

- Reparto psichiatrico infantile;
- Pronto soccorso;
- Cardiologia;
- Medicina polmonare;
- Chirurgia ortopedica;
- Geriatria;
- Medicina infettiva;
- Chirurgia plastica;
- Otorino;
- Oculistica;

- Ematologia;
- Oncologia;
- Radioterapia;
- Farmacia.

L'ospedale è realizzato con blocchi prefabbricati rivestiti con acciaio Corten e l'illuminazione è garantita dalla presenza di ampie vetrate.

A livello impiantistico, si è deciso di usare dei sistemi di trigenerazione con sistemi a tutt'aria e radianti mentre, nelle camere di degenza, si è deciso di adottare una soluzione a travi fredde per garantire maggior comfort termico ai pazienti e ridurre i rumori (BIM Portale, 2018) [38].

La sfida principale di ATI Project è stata quella di sviluppare un processo di ottimizzazione progettuale, a partire da un progetto preliminare che permettesse la realizzazione delle opere in oggetto nel pieno rispetto del budget previsto dal committente e dei requisiti funzionali e prestazionali prefissati (BIM Portale, 2018) [38].

La condivisione totale delle informazioni tra la committenza, il team di progetto e l'impresa, è stata la più importante novità di questo progetto che, grazie al BIM, ha visto la creazione di oltre 400000 oggetti digitali semplificando di molto il lavoro progettuale (che non sarebbe stato possibile usando le metodologie tradizionali) (BIM Portale, 2018) [38].

L'aspetto di maggiore interesse di questo progetto è stato, come ha affermato uno dei progettisti l'Ing. Vanossi in occasione del Convegno Cneto di Camogli del 2019, la possibilità di gestire attraverso gli strumenti informatici il passaggio da una rappresentazione del progetto come sistema di requisiti generato dal programma sanitario e dalle considerazioni sulla logistica ad una configurazione degli spazi cui attribuire proprietà e in cui si collocheranno gli oggetti, compresi quelli che contribuiranno alla infrastruttura IoT del Digital Twin.

4.2 L'organizzazione del processo BIM

Grazie all'utilizzo del Cloud, gli 80 professionisti che hanno partecipato al progetto da tutte le parti d'Europa, hanno potuto condividere il proprio lavoro favorendo così la progettazione collaborativa. Però tutto ciò è avvenuto per merito di un'organizzazione che nasce già dalla prima fase del progetto che si è basata su un flusso di dati fruibile in ogni momento che permettesse le verifiche di correttezza del progetto e che fosse raggiungibile sia dalla committenza che da tutti i partecipanti al processo edilizio. Questo significa che si è dovuto fin da subito rintracciare tutte le figure specializzate da inserire nel team ovvero, come detto nel capitolo del BIM (BIM Portale, 2018) [38]:

- BIM Manager;
- BIM Coordinator;
- BIM Specialist.

4.3 I software utilizzati

I software utilizzati per la progettazione dell'Ospedale Universitario di Odense sono stati molteplici in quanto si sono dovuti utilizzare programmi per la realizzazione di modelli architettonici, strutturali, energetici ed impiantistici.

Un programma che ha semplificato parecchio il lavoro è stato dRofus che ha permesso la condivisione delle informazioni relative alle diverse aree della struttura ospedaliera incluse (BIM Portale, 2018) [38]:

- Funzioni;
- Apparecchiature mediche;
- Dotazioni ospedaliere.

Autodesk Revit è stato il software principale per la modellazione della struttura sanitaria al quale sono stati collegati diversi plug-in (BIM Portale, 2018) [38]:

- Autodesk Dynamo: per la progettazione informativa computazionale;
- Autodesk 3DS Max: per la renderizzazione;
- Lumion: per la renderizzazione;
- Unreal Engine: per la renderizzazione;
- Strauss e Autodesk Robot Structural Analysis: per l'analisi dei carichi;
- Spine: condivisione lavoro nel Cloud. La parte energetica invece è stata sviluppata con (BIM Portale, 2018) [38]:
- BSIM;
- EdilClima;
- Be18;
- Mold Simulator.

A livello impiantistico si è optato per l'utilizzo dei MagiCad, che ha agevolato di molto la progettazione delle tubazioni (BIM Portale, 2018) [38].

Tutti i file sono stati esportati in formato IFC in modo tale da garantire la massima interoperabilità e, grazie all'utilizzo di Autodesk Naviswork e Solibri Model Checker si sono potute analizzare e rintracciare le interferenze (BIM Portale, 2018) [38].

Per garantire la precisione di questi risultati sono stati impiegati strumenti software informativi di supporto alla progettazione e al controllo come Synchro Pro 4D, in grado di integrare la programmazione temporale delle attività all'interno degli oggetti digitali. Il progetto è stato infine presentato con oltre 1000 elaborati grafici e con video panoramici a 360 gradi in realtà virtuale visualizzabili dalla committenza con visori ottici specifici per la realtà virtuale quali ad esempio Oculus Rift (BIM Portale, 2018) [38].

4.4 Logistica di servizio

L'aspetto della logistica rappresenta un elemento fondamentale nella progettazione ospedaliera. La necessità di disporre delle forniture giuste in tempi rapidi e con economicità gioca un ruolo fondamentale. Si pensi alla gestione dei farmaci elemento critico nella gestione della cura e del rischio clinico nonché legato alla complessità della catena di fornitura, che coinvolge sia il personale medico che le industrie farmaceutiche. Per tale motivo le infrastrutture per comunicare ed elaborare le informazioni divengono strategiche in rapporto alla gestione delle strutture fisiche di magazzino e di approvvigionamento.

In ospedali sempre più grandi e complessi, i sistemi di comunicazione 1:1 come i walkie-talkie e i telefoni sono diventati sempre più insufficienti per quanto riguarda il servizio e la logistica del personale. La gestione delle risorse nelle strutture sanitarie moderne richiede un alto livello di trasparenza tra i servizi, unità operative e aree di degenza (reparti), tra i compiti e il personale in tutte le funzioni, dagli operatori della logistica e delle pulizie ai tecnici di laboratorio, agli infermieri e ai medici.

La conoscenza dell'ubicazione delle risorse e la gestione trasparente dei compiti permette l'assegnazione di una maggiore priorità ai diversi compiti in base a criteri quali la distanza o l'importanza, aumentando l'efficienza del servizio e i flussi di lavoro clinici. Inoltre, avendo a disposizione le giuste informazioni, si riducono al minimo gli errori (riduzione del rischio clinico) e si aumenta la qualità (Henriksen, 2017) [36].

Dove sono il medico e le attrezzature più vicine? Perché disturbare un collega, se è occupato in una sala visita? Perché perdere tempo a cercare l'attrezzatura di base, quando una rapida occhiata al telefono può dirvi esattamente dove si trova l'attrezzatura più vicina? Perché correre al laboratorio con i campioni, quando possono essere consegnati automaticamente dal reparto direttamente al laboratorio? Queste le domande cui il Digital Twin può fornire risposta.

Questi scenari sono situazioni ordinarie che possono essere risolte con sistemi di localizzazione delle persone e delle attrezzature e con soluzioni per l'automazione delle attività di base. In questo modo sarà disponibile più tempo per le attività relative ai pazienti. La tecnologia perfetta per la gestione di edifici complessi come gli ospedali è il Digital Twin, tema che abbiamo affrontato nel capitolo precedente (Henriksen, 2017).

Capitolo 5

Caso studio: l'Ospedale SS. Antonio, Biagio e Cesare Arrigo di Alessandria

Il caso studio di riferimento è l'Azienda Ospedaliera Nazionale SS. Antonio, Biagio e Cesare Arrigo di Alessandria. L'ospedale è diretto da Giacomo Centini, laureato in Economia Aziendale all'Università Commerciale Luigi Bocconi.

L'obiettivo generale di questa parte del lavoro è la definizione di una metodologia per l'analisi dei percorsi interni dell'ospedale e delle eventuali criticità legate sia al rispetto della separazione auspicabile tra flussi non compatibili, quali quelli riservati ai sanitari e quelli dei pazienti esterni, sia relative alla modificazione dei percorsi attivabile in caso di eventi quali la pandemia da COVID 19. L'impostazione del metodo tiene conto dei principi del Digital Twin.

Coerentemente con il background metodologico esplorato nei precedenti capitoli verranno individuati, a titolo esemplificativo, alcuni possibili scenari di attività che si svolgono quotidianamente all'interno della struttura ospedaliera e l'analisi dei percorsi compiuti dai diversi utenti, da un reparto all'altro, per far visita ai propri cari o ai pazienti o per andare a prendere un caffè. Lo studio di questi percorsi mira all'individuazione di possibili criticità e alla comprensione delle modalità di semplificazione e miglioramento degli stessi.

Sulla base di queste ipotesi, che hanno un valore esclusivamente indicativo ed esemplificativo, è stato elaborato un modello BIM sulla base del quale si sono implementate alcune semplici procedure per l’analisi delle interferenze tra percorsi anche attraverso visualizzazioni che consentono di coinvolgere gli utenti nell’affinamento del modello. Tutto ciò avviene mediante l’utilizzo di piante rese tridimensionali tramite il programma della Autodesk Revit e grazie al software Twinmotion che permette di “camminare” all’interno dell’ospedale in prima persona seguendo dei percorsi prestabiliti ricavati dagli scenari identificati in precedenza.

Allo scopo di acquisire una conoscenza del presidio ospedaliero e delle sue caratteristiche strutturali si è ritenuto opportuno riscoprirne per sommi capi la storia, a partire dalla costruzione del primo ospedale e dalla fondazione dell’attuale edificio, nel corso del tempo ampliato e modificato.

5.1 Storia

5.1.1 L’Ospedale di Alessandria tra il 1565 e il 1789

Tra la fine del 1500 e gli inizi del 1600, a causa di limitate risorse economiche e delle cattive amministrazioni, molti ospedali alessandrini vennero chiusi. Tra le poche strutture rimaste in attività, quello con una rilevanza maggiore era l’ospedale di Sant’Antonio che garantiva ottime cure e una buona quantità di posti letto per l’epoca. Infatti, quando si fuse per merito di Papa Pio V con l’ospedale di San Biagio nel 1565, disponeva di 12 letti sia per gli uomini che per le donne. Nel 1566 iniziò la sua ristrutturazione che portò all’ampliamento necessario per soddisfare le richieste in continuo aumento nel settore sanitario. Il Papa, per finanziare questi lavori, decise di donare tutti i beni dell’antica chiesa e dell’ospedale di San Cristoforo alla struttura alessandrina. Dall’unione degli ospedali di Sant’Antonio, di San Biagio e di San Cristoforo nacque lo Spedal Grande i cui lavori finirono nel 1570. Nonostante fosse composto dall’unione di tre strutture, i suoi patroni furono soltanto Sant’Antonio e San Biagio (Marconi, 2003) [39].

Nel marzo del 1571, Pio V, decise di donare a questa struttura ospedaliera anche i beni della chiesa di San Siro e gli immobili annessi che, nel 1573, a seguito della morte del Papa, furono ceduti al Collegio dei chierici regolari della Congregazione di Somasca. In cambio, ricevettero delle case situate nei pressi dell’ospedale di San Biagio nelle quali si voleva creare il reparto femminile. Una volta terminato, lo Spedal Grande si estendeva per un’area superiore ai 6000 m² e occupava gran parte dell’isolato compreso tra la strada di San Giovanni Decollato (oggi Corso Virginia Marini), la strada Reale (oggi Via Vochieri), la strada dell’ospedale Vecchio (oggi Via Treviso) e la piazza dell’antica cappella di San Rocco (oggi Largo Vicenza). Questo ospedale era anche conosciuto con il nome di “Grande Ospedale di Via Treviso” in quanto la facciata principale si estendeva per tutta la lunghezza di questo viale. Su Via Vochieri e Corso Virginia Marini, i suoi lati erano lunghi rispettivamente 55 e 130 metri. Su Largo Vicenza invece, si estendeva per circa 20 metri. Lo Spedal Grande aveva caratteristiche architettoniche differenti rispetto agli altri ospedali dell’epoca in quanto non aveva né una pianta a crociera, né una di tipo massiccio. Il motivo di tale configurazione sta nel fatto che lo Spedal Grande sia nato dall’ampliamento e dalla ristrutturazione della struttura sanitaria di Sant’Antonio la quale aveva un’organizzazione molto simile a quella di un’abitazione sviluppata su due livelli (Marconi, 2003) [39].

Al piano superiore si arrivava grazie ad una scalinata posta vicino all’ingresso principale e al suo interno vi erano:

- Le abitazioni dei dipendenti;
- I locali del Monte di Pietà;
- I locali per le riunioni della Congregazione Particolare (formata dal priore della città e da alcuni deputati).

Il piano terra aveva l’ingresso principale su Via Treviso e al suo interno vi erano (Figura 5.1):

- Il reparto delle donne;
- L'ossario;
- Il sepolcro;
- L'ingresso secondario.

Una volta varcato l'ingresso, composto da una copertura in parte a botte e in parte a crociera, ci si trovava di fronte ad un grande cortile sul quale si affacciava il reparto degli uomini. Alla sinistra della facciata d'ingresso, vi era la chiesa. Sulla destra invece vi era la "bottega della speziaria" ovvero la farmacia (Marconi, 2003) [39].

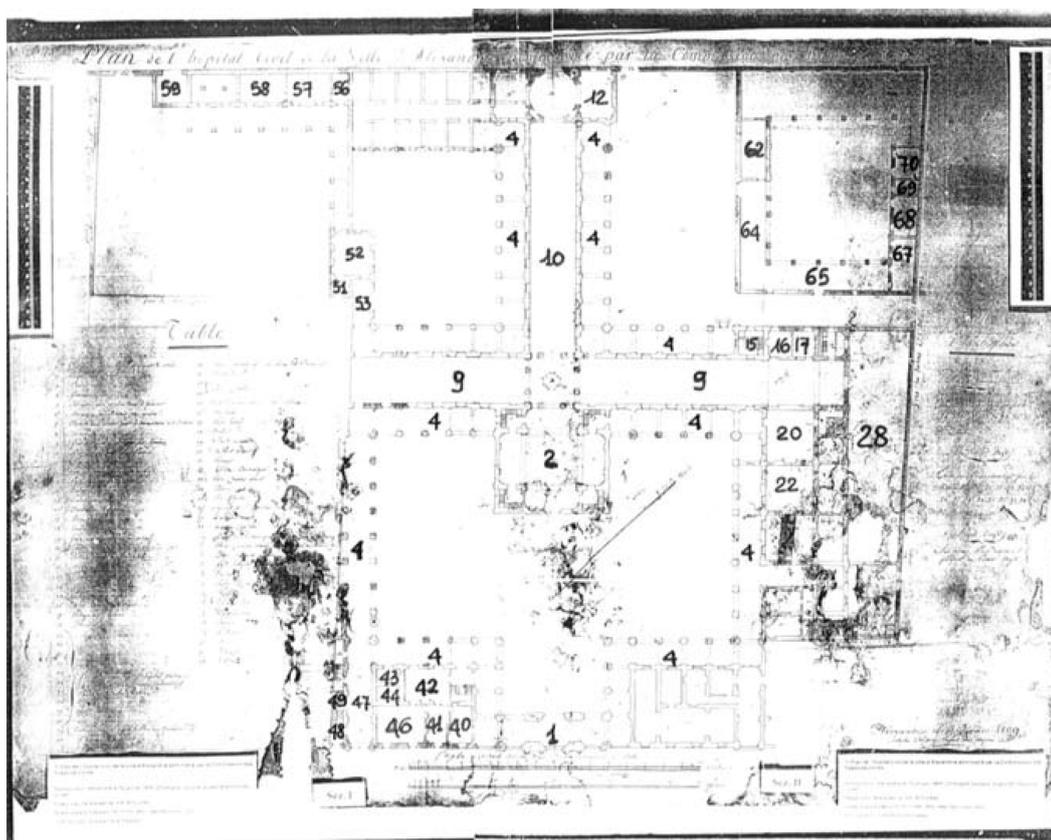


Figura 5.1: Pianta del Piano terreno "dello Spedal Grande dei SS. Antonio e Biagio" nel 1700

Su Via Virginia Marini, si trovavano:

- I locali del torchio dell'olio;

- Un portico;
- Il forno;
- Le camere a pagamento.

Da Via Vochieri si accedeva ad un giardino sul quale si affacciavano:

- La lavanderia;
- La cucina.

Dopo la sua chiusura nel 1789, lo Spedal Grande non fu conservato e l'area in cui sorgeva venne divisa in diverse proprietà civili. Nel 1790 venne realizzato l'attuale polo sanitario in cui lo Spedal Grande si trasferì (Marconi, 2003) [39].

5.1.2 L'Ospedale di Alessandria tra il 1790 e il 1964

Il nuovo ospedale, sorto in sostituzione dello Spedal Grande, fu progettato nel sito attuale dall'Architetto Giuseppe Caselli in un'area acquistata nel 1778 da Lorenzo Castellani. Il primo mattone venne posato nel 1782 e i lavori proseguirono per otto anni, fino al 2 settembre 1790, giorno dell'apertura e data in cui vennero trasferiti tutti i pazienti dalla vecchia struttura sanitaria al nuovo polo. In questa nuova struttura, vi era una chiesa, ancora oggi aperta, che non fu più disponibile solo per coloro che vivevano l'ospedale, ma anche per tutti gli altri cittadini. Il piano terra era composto dai locali utili al funzionamento del polo sanitario e dalle corsie a forma di T, che si trovavano nella parte centrale dell'edificio, dove venivano ricoverati i malati divisi in base al sesso (Marconi, 2003) [39].

A nord, quattro grandi cortili erano delimitati da muri perimetrali e da edifici in cui si trovavano:

- La camera mortuaria;
- I sepolcri;
- L'alloggio del seppellitore;

- Il locale per le autopsie.

Nella zona dell'ospedale rivolta a nord-est erano posizionati:

- Due magazzini;
- Due scuderie;
- Il pollaio;
- Il torchio per il vino;
- Il pozzo dell'acqua;
- La lavanderia.

Nella zona dell'ospedale rivolta a est erano posizionati:

- La cucina;
- Uno sbocco su giardino.

A sud-est invece vi erano:

- I locali requisiti dal governo francese napoleonico per l'ospedale militare.

Verso sud si trovavano:

- L'ingresso principale;
- L'ingresso secondario.

Nella zona dell'ospedale rivolta a sud-ovest erano posizionati:

- La farmacia;
- La camera del portinaio;
- La sala delle riunioni;
- Il museo;
- La scala di accesso ai piani superiori.

Tutte queste ali dell'ospedale erano circondate da porticati (Marconi, 2003) [39].

Nel corso degli anni l'ospedale fu soggetto a diversi ampliamenti in quanto furono introdotte al suo interno altre attività come l'orfanotrofio e l'abitazione del chirurgo capo, in una nuova manica progettata da Leopoldo Valizone nel 1835. L'orfanotrofio era confinato ai margini della struttura sanitaria e si decise di realizzare altri fabbricati, progettati da Alessandro Antonelli tra il 1857 e il 1861, che ospitassero gli orfani e che potessero contenere anche:

- Il padiglione per i pensionati;
- Il reparto di medicina per le donne;
- Il reparto di medicina per gli incurabili.

Grazie all'ingegnere Vincenzo Canetti, tra il 1887 e il 1890, venne completata anche la facciata del polo sanitario composta da (Marconi, 2003) [39]: *“Un corpo centrale con coronamento a timpano triangolare, raccordato ai corpi laterali mediante due strutture porticate, di cui solo quella di destra è sormontata da quattro statue ottocentesche, raffiguranti le quattro virtù cardinali”*.



Figura 5.2: Facciata dell'Ospedale in una cartolina dell'inizio del 1900

Oltre alla facciata, furono portate a compimento diverse altre opere quali:

- La sezione ostetrico-ginecologica;
- Il brefotrofo;
- Parte dell'alloggio delle suore;
- Il padiglione operatorio;
- La camera mortuaria.

Negli anni di "pace" tra le due guerre mondiali, l'ospedale di Sant'Antonio e San Biagio di Alessandria, subì notevoli miglioramenti che consistevano nello spostamento di alcune funzioni in nuove zone costruite appositamente o nella creazione di interi nuovi reparti come quello di radiologia. Furono anche aggiornati i sistemi

di riscaldamento. Nel periodo tra il 1932 e il 1934, l'ospedale fu riorganizzato in modo che gli ambulatori fossero adiacenti ai rispettivi reparti e che ognuno di essi fosse specializzato nella disciplina del dipartimento assegnatogli. Inoltre, venne realizzato il pronto soccorso (Marconi, 2003) [39].

Una volta terminata la Seconda Guerra Mondiale, la struttura sanitaria si trovava in una situazione disastrosa, si pensò di demolirla ma si decise di bandire un concorso per ristrutturarla che fu vinto da un ingegnere: Luigi Gastini. Propose la ristrutturazione delle parti esistenti, la riorganizzazione del reparto di chirurgia generale, che era composto da corsie con 40 posti letto, e decise di dividerlo per camere in cui potevano risiedere fino a 4 persone. Inoltre, propose la costruzione di un nuovo edificio, il monoblocco, di notevole altezza (8 piani fuori terra), diviso in 2 lotti, che permetteva l'alloggiamento di 800 nuovi posti letto e lo spostamento del reparto di radiologia e fisioterapia, oltre agli spazi adibiti ai servizi accessori. Il primo lotto divenne operativo nel 1964, mentre il secondo parzialmente nel 1960 (Marconi, 2003) [39].

5.1.3 L'Ospedale di Alessandria oggi

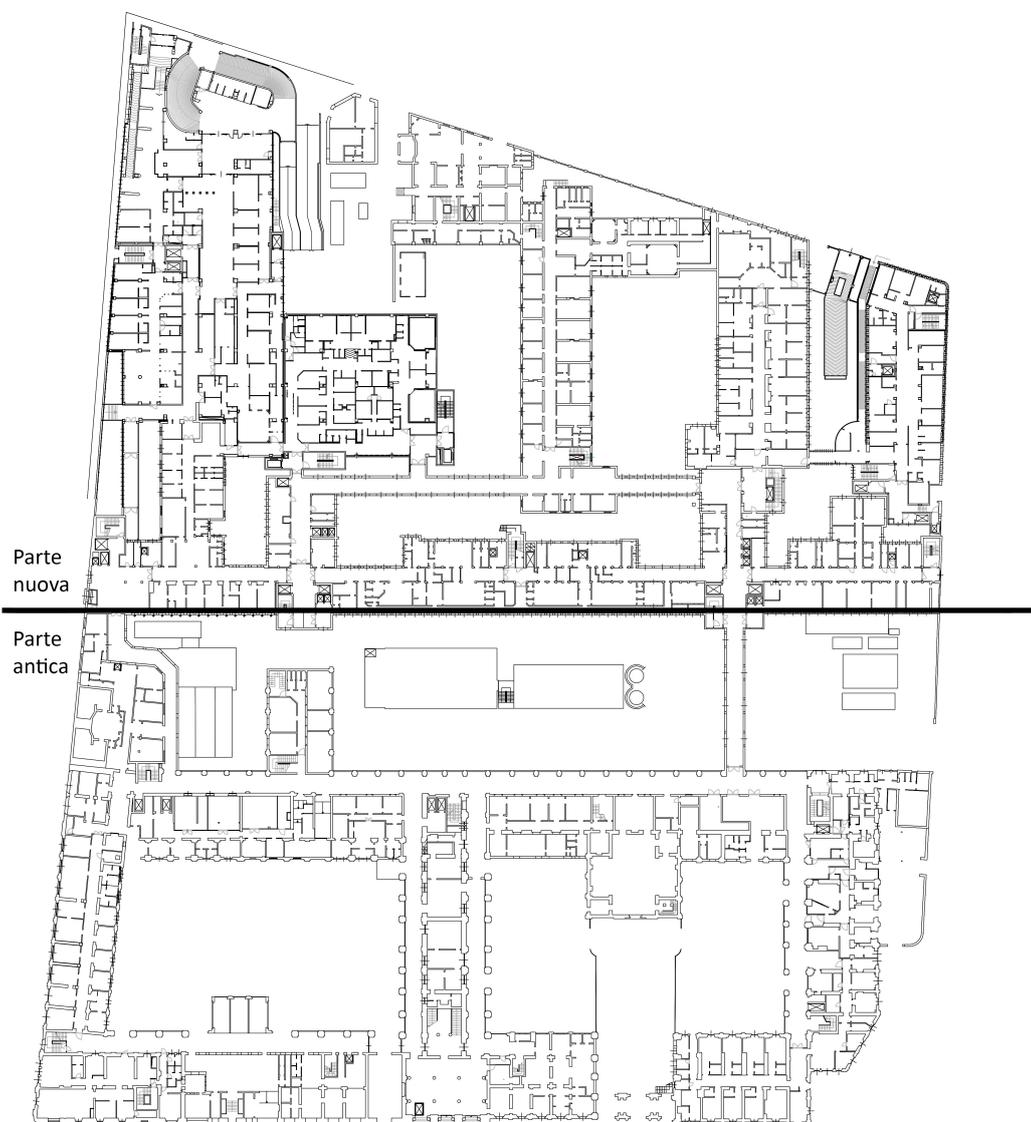


Figura 5.3: *Pianta del piano terreno dell'Ospedale di Alessandria nel 2020*

Ad oggi, l'Azienda Ospedaliera Nazionale SS. Antonio, Biagio e Cesare Arrigo si presenta come in figura 5.3 e si estende per un'area di circa 35000 m², si sviluppa su più livelli e ad ogni piano sono assegnati uno o più reparti.

Nella parte alta della pianta si può notare la presenza del nuovo recente blocco zona in cui adesso si trovano diversi dipartimenti come:

- Radiologia;

- Urologia;
- Oculistica;
- Blocco operatorio;
- Poliambulatorio;
- Laboratorio delle analisi;
- Pronto soccorso;
- Day Hospital onco ematologo.

Ad essi si aggiungono tutti i servizi accessori come:

- Gli spogliatoi;
- Gli uffici dei medici;
- L'ufficio del direttore;
- Le camere di degenza;
- La camera mortuaria;
- I magazzini;
- I locali tecnici.

Da qui vi è la possibilità di entrare direttamente nel pronto soccorso e di attraversare tutto l'ospedale per arrivare fino al vecchio fabbricato.

Nella parte bassa della pianta, si trova il blocco originario della struttura sanitaria caratterizzata dalla facciata vista in precedenza e dall'ingresso principale.

Una volta entrati possiamo trovare diversi servizi tra cui:

- La farmacia;
- Il Bar;

- Il CUP;
- Il centro donatori;
- La psichiatria.

Inoltre, due cortili si trovano all'interno delle corti ai lati del grande corridoio centrale che fungono da aree di svago per gli utenti della struttura ospedaliera e per i cittadini alessandrini. L'Azienda Ospedaliera Nazionale SS. Antonio, Biagio e Cesare Arrigo risulta essere un punto di riferimento per la città.

5.2 Nozioni generali sulla progettazione ospedaliera

Prima di proseguire con l'applicazione delle nuove tecnologie utili per lo studio della qualità dei percorsi nel caso studio dell'Ospedale di Alessandria, è opportuno capire come si progetta e si organizza una struttura ospedaliera o un Centro Socio-Sanitario Territoriale.

5.2.1 Principi generali di progettazione di una struttura sanitaria

Per progettare un apparato complesso come quello di una struttura sanitaria, bisogna pianificare tutto minuziosamente. Ciò avviene mediante la realizzazione di un progetto in cui vengono coniugati i requisiti e le prestazioni che l'edificio dovrà rispettare. Si tratta quindi di valutare le singole attività ospedaliere in forma sistemica, collocandole nell'ambito complessivo di un processo, solo al termine del quale possono essere verificate le risultanze (Mauri, 2017) [40].

La conoscenza dei contenuti della fase organizzativa è l'elemento fondamentale per una corretta e rapida evoluzione del progetto.

Per ottenere una corretta e adeguata qualità finale del prodotto edilizio, il progetto dovrà essere quindi (Mauri, 2017) [40]:

- Completo: tutte le competenze specialistiche devono intervenire sin da quando parte la progettazione, anche se riferite a fasi del processo edilizio future;
- Coerente: il ruolo di riferimento che il progetto ha in tutta la vita del prodotto non consente contrasti tra le sue componenti geometriche, fisiche e comportamentali.

Quindi, il progetto dovrà fare molta attenzione ad aspetti quali (Mauri, 2017) [40]:

- Le caratteristiche geometriche;
- Le caratteristiche di tutti gli elementi su cui dovranno essere fatti dimensionamenti e verifiche;
- Le caratteristiche energetiche, acustiche e statiche;
- Le caratteristiche di sicurezza nell'uso e nella costruzione;
- Le caratteristiche economiche;
- Le caratteristiche legali.

Il controllo di tutti questi aspetti richiede l'impiego di strumenti che, grazie all'avanzamento tecnologico, sono forniti dall'informatica. Grazie ai sistemi di modellazione digitale parametrica si possono eseguire diverse simulazioni preliminari e le relative valutazioni sin dall'inizio dell'iter progettuale.

Nella progettazione ospedaliera, assume un ruolo di notevole importanza il dibattito pubblico che valuta il progetto in base alle proprie esigenze, ovvero dei futuri utenti. I cittadini vengono informati e grazie ad un confronto pubblico si discute sugli interventi da realizzare. In caso di problemi e solo se dimostrati, si può pensare di riprogettare una determinata parte dell'opera per venire incontro alle esigenze dell'utenza.

La peculiarità principale di un buon progetto architettonico di un complesso ospedaliero risiede nelle caratteristiche degli spazi specifici dell'ospedale, che necessitano di opportune conoscenze e attenzioni al fine di garantire un'elevata qualità. Questa peculiarità è fortemente connessa alla tipologia di attività previste all'interno della struttura sanitaria e ai soggetti che le svolgono. Tutto ciò complica la ricerca di soluzioni progettuali che soddisfino tutte le esigenze degli utenti (Mauri, 2017) [40].

Un polo ospedaliero è costantemente vissuto da determinate tipologie di "utenti" tra cui si riconoscono:

- I pazienti;
- Il personale;
- I visitatori;
- Gli accompagnatori.

La forma architettonica degli spazi di un ospedale sarà quindi pensata in funzione delle relazioni che i diversi utenti avranno tra di loro. Ad esempio, la camera di degenza è il luogo simbolo su cui si basa la progettazione architettonica sanitaria. Essa acquisisce diverse funzioni durante l'arco della giornata tra cui (Mauri, 2017) [40]:

- Camera da letto;
- Camera per la pulizia del paziente;
- Ambulatorio per le visite mediche;
- Zona consumazione pasti;
- Zona in cui accogliere i visitatori dei pazienti.

Tutte queste tipologie di funzioni possono avvenire sequenzialmente o contemporaneamente nel rispetto delle caratteristiche di comfort e privacy per ogni attività.

Per progettare un'ottima struttura sanitaria bisognerà anche tener conto, sin dalla fase di pianificazione, di tre fattori denominati "domini" che sono (Figura 5.4) (Carrara, Mauri et al., 2017) [40]:

- Dominio funzione: include gli aspetti che hanno un effetto sulla definizione del ruolo e della funzionalità degli spazi e/o dei componenti dell'ospedale;
- Dominio forma: include gli aspetti che hanno un effetto sulla qualità formale e di immagine dell'opera architettonica dell'ospedale;
- Dominio comportamento: include gli aspetti che hanno un effetto sulle modalità di erogazione e sul livello delle prestazioni erogate dagli spazi e/o dai componenti dell'ospedale.

Se non se ne considerasse anche solo uno, il progetto risulterebbe incompleto.

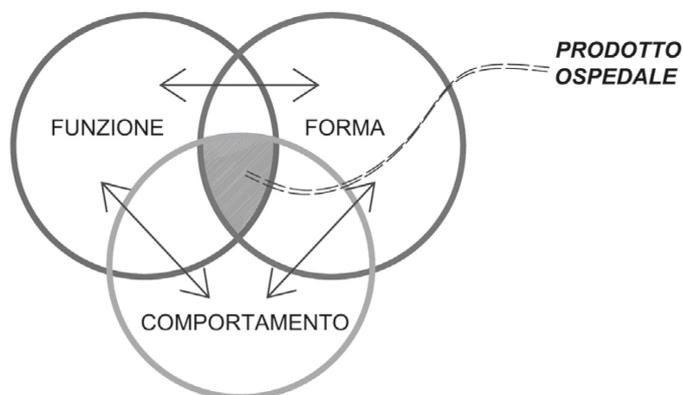


Figura 5.4: I tre domini che formano il prodotto ospedale

Il dominio funzione

Nel dominio funzione, si trattano i temi che influenzano in modo rilevante l'organizzazione interna di una struttura sanitaria e quindi la qualità delle cure fornite.

Gli aspetti di cui bisognerà tenere conto sono:

- Adeguatezza dell'organizzazione/programmazione sanitaria: corretta gestione della struttura, del personale e di tutte le meccaniche operative;

- Adeguatezza dell'organizzazione funzionale: analisi da parte del progettista delle esigenze degli utenti e delle attività che si svolgeranno all'interno del polo sanitario. In seguito, si potranno definire gli aspetti distributivi, dimensionali e ambientali e le Aree Funzionali Omogenee (AFO). Queste Ultime, si dividono in 3 settori: settore Diagnosi e Cura, settore Degenza e settore Servizi Generali;
- Adeguatezza distributiva: per quanto riguarda questo aspetto, bisognerà tenere conto:
 - Dell'articolazione dei flussi interni di ogni utente che può essere analizzata per parti, studiando gli accessi da garantire ad ogni stakeholder in ogni area funzionale mediante la "matrice delle relazioni", e per fasi analizzando gli specifici percorsi destinati a tutti gli utenti già nella fase preliminare di progetto;
 - Dei sistemi di relazione funzionale che sono necessari per definire un layout progettuale di qualità. Bisognerà individuare le vie di accesso per i pazienti e gli accompagnatori e i rapporti con il settore dei Servizi Generali per la movimentazione di materiali e flussi di personale;
 - Della gerarchia dei layout che nasce già nella fase progettuale iniziale in contemporanea con la definizione delle reti degli impianti e della maglia strutturale;
 - Della flessibilità degli schemi organizzativi e degli spazi.

Il dominio forma

Nel dominio forma, si trattano i temi che determinano la qualità morfologica percepibile all'interno di un ospedale.

Gli aspetti di cui bisognerà tenere conto sono:

- L'integrazione nel contesto di riferimento e nell'ambiente: per quanto riguarda questo aspetto, bisognerà tenere conto:

- Del rapporto ospedale-contesto che può essere interpretato “dall'interno verso l'esterno”, dove vengono definite le aree adibite alle zone pedonali e al parcheggio, oppure “dall'esterno verso l'interno”, dove verrà analizzato il contesto per poi realizzare interventi sull'esistente;
 - Del verde esterno e di quello interno i quali devono limitare l'impatto ambientale dell'edificio e possono avere un effetto terapeutico sui pazienti;
 - Degli spazi pubblici sui quali ricade molto l'interesse del progettista in quanto deve soddisfare le esigenze dei vari utenti creando familiarità con la struttura ospedaliera.
- Morfologia e immagine complessiva: per quanto riguarda questo aspetto, bisognerà tenere conto:
 - Dell'immagine architettonica che deve essere chiara e mostrare qual è la funzione del fabbricato;
 - Della qualità degli spazi che dipende molto dalle scelte progettuali fatte nelle fasi preliminari ed è definita in modo particolare dagli arredi, dai colori e dalle attrezzature.

Il dominio comportamento

Nel dominio comportamento, si trattano i temi che influenzano la qualità dei servizi erogati dall'ospedale.

Gli aspetti di cui bisognerà tenere conto sono:

- Appropriatezza del comportamento strutturale: in contemporanea alla definizione dell'organizzazione funzionale, alla definizione dei percorsi e dell'immagine architettonica, si verificherà la correttezza delle scelte strutturali. Più tutto ciò è stato coordinato in modo corretto, meno verrà notata la componente strutturale;
- Quadro normativo e verifiche di sicurezza;

- Appropriata tecnologia;
- Comfort: esistono diverse tipologie di comfort:
 - Il comfort ambientale che è legato alla qualità degli ambienti percepita da un utente;
 - Il comfort psico-sensoriale dove la capacità di adattarsi negli ambienti è tanto maggiore quanto le caratteristiche dimensionali, fisiche, di allestimento degli spazi e di umanizzazione risultano adeguate alle attività che vi si svolgono e alle esigenze degli utenti;
 - Il comfort gestionale: è inteso come aspetto di coordinamento generale dei processi ospedalieri.
- Manutenibilità e sostenibilità gestionale: ogni elemento della struttura ospedaliera ha tempi di deterioramento diversi. Perciò, risulta necessario creare un piano di gestione futuro dell'intero sistema;
- Sostenibilità tecnico-economica: è essenziale compiere dei ragionamenti sugli investimenti da mettere in atto;
- Sostenibilità ambientale;
- Sostenibilità sociale: incorpora tutti i precedenti in quanto definisce la performance dell'intero sistema rispetto agli obiettivi strategici aziendali e territoriali.

5.3 Analisi delle giornate tipo degli utenti dell'ospedale

Un passaggio fondamentale per proseguire verso le fasi successive dell'applicazione delle nuove tecnologie per lo studio dei percorsi dell'Ospedale di Alessandria è la comprensione delle attività sanitarie e delle relative implicazioni funzionali e spaziali. Per condurre tale analisi si propone un'analisi, condotta a titolo esemplificativo su un campione di attività, della giornata tipica per le diverse tipologie di

utenza del presidio.

Una struttura sanitaria è composta da una notevole quantità di operatori i quali, ognuno seguendo le proprie specializzazioni, svolgono mansioni differenti.

Principalmente, all'interno di un polo ospedaliero possiamo trovare:

- Medici specialisti e chirurghi;
- Infermieri;
- OSS;
- Pazienti;
- Visitatori;
- Accompagnatori;
- Personale amministrativo;
- Personale di supporto;
- Personale tecnico;
- Specializzandi.

Per l'analisi delle giornate tipo si farà riferimento soltanto ai medici, agli infermieri e ai pazienti in quanto sono le figure che vivono a pieno l'ospedale per tutta la giornata.

Le informazioni riportate di seguito sono state ottenute mediante interviste effettuate in remoto.

5.3.1 Giornata tipo di un infermiere

Il personale infermieristico, di norma, lavora su 3 turni di otto ore che possono iniziare alle 6 del mattino, alle 14 o alle 22.

La giornata lavorativa, di solito, inizia alle 6:00 del mattino, orario in cui l'infermiere fa il giro delle camere di degenza, dove ci sono urgenze, per i controlli di prassi dove, per un'ora circa, esegue i prelievi del sangue, se necessario, e procede con il rilevamento della temperatura corporea dei pazienti.

Intorno alle 8:30, raggiunge il medico di riferimento per assisterlo nelle visite mediche, non prima però di aver distribuito la prima colazione ai ricoverati. Una volta finite le visite, verso le 12:00 si reca in pausa pranzo.

Al rientro dal pasto, è il momento di pensare a tutti quei pazienti che dovranno essere trasferiti o dimessi quindi, dopo un'attenta analisi delle cartelle cliniche e dopo aver discusso con il medico, si decide il da farsi.

Alle 14:00 ricomincia di nuovo il giro dei letti per controllare di nuovo i degenti. In questa occasione viene portato loro del tè e potrebbe esserci la possibilità di eseguire delle terapie. Viene di nuovo misurata la temperatura corporea. Tutto ciò avviene fino alle 18:00, momento in cui viene distribuita la cena.

Alla sera, verso le 20:30, l'infermiere farà un nuovo giro delle stanze per preparare i pazienti al riposo notturno ed infine, darà il cambio a colui che farà il turno successivo informandolo delle condizioni dei diversi ricoverati e delle azioni fatte durante la giornata.

5.3.2 Giornata tipo di un medico

La giornata lavorativa di un medico, di norma, comincia alle 8:00 del mattino con l'arrivo in reparto. Una volta preso un caffè, verso le 8:30 comincia il giro visite assistito dall'infermiere e tutto ciò dura fino alle 9:30, orario in cui ci si reca nella sala dei medici per analizzare gli esami effettuati, fare le diagnosi e le prognosi e si controllare la terapia assegnata ai vari pazienti.

Proseguendo nella giornata, alle 10:30 esegue un incontro con gli infermieri i quali vengono informati di modifiche da effettuare alle terapie dei ricoverati e vengono a conoscenza degli esami da prescrivere.

Dalle 11:30 si prosegue con le visite e alle 13:00, cui segue la pausa pranzo.

Al rientro dal pasto, si riunisce con gli infermieri e studia le varie cartelle cliniche per preparare i fogli delle dimissioni dei pazienti. Prosegue con ciò fino alle 15:00, orario in cui lascia l'ospedale se non è di guardia.

In quest'ultima circostanza, procede la giornata lavorativa fino a sera continuando a fare visite.

5.3.3 Giornata tipo di un paziente

Per quanto riguarda i pazienti ricoverati, ogni giorno è diverso dall'altro. Però proviamo a ricreare una giornata tipo prendendo in considerazione le attività più frequenti.

La giornata di un paziente comincia generalmente alle 7:30 del mattino, orario in cui viene svegliato dall'infermiere per assumere le proprie medicine e per consumare la prima colazione.

Dalle 8:30 iniziano le visite da parte del medico dove vengono fatti diversi test in modo tale da avere una situazione chiara sulle condizioni del paziente e aggiornare la cartella clinica.

A questo punto, i pazienti che sono in grado di muoversi, possono svolgere attività ricreative nel limite delle possibilità del proprio corpo e dell'ospedale fino all'ora di pranzo. Il pasto verrà portato dall'infermiere.

Al termine del pasto, i pazienti destinati alla dimissione possono prepararsi per

lasciare l'ospedale non prima però di aver assunto un'ultima dose di medicine (se necessarie).

Chi invece rimane all'interno della struttura ospedaliera, sarà soggetto ad un nuovo giro di visite da parte dell'infermiere che gli cambierà la flebo, se presente, e gli illustrerà la possibile nuova terapia.

Verso le 20:30 sarà preparato per il riposo notturno.

5.4 Metodologia adottata

La formazione di un modello BIM di un complesso ospedaliero è un'operazione preliminare necessaria per lo sviluppo di un Digital Twin. Tuttavia, la maggior parte dei presidi esistenti non è dotata di tale modello BIM la cui formazione è discretamente onerosa in termini di tempi e di costi. A livello italiano un esempio di tale modello è l'ospedale San Martino di Genova. Inoltre, i dati registrati devono essere strutturati in modo congruente con la formazione delle informazioni necessarie a conseguire i risultati di ottimizzazione dell'efficacia e dell'efficienza della prestazioni. In particolare, per la sperimentazione condotta si ipotizza di intervenire sulla sicurezza ed efficienza dei percorsi interni all'ospedale.

In questo caso studio, sulla base delle considerazioni della prima parte del lavoro, si è deciso di creare il modello 3D/BIM di una porzione del complesso ospedaliero identificata in figura 5.5 con il contorno in rosso.

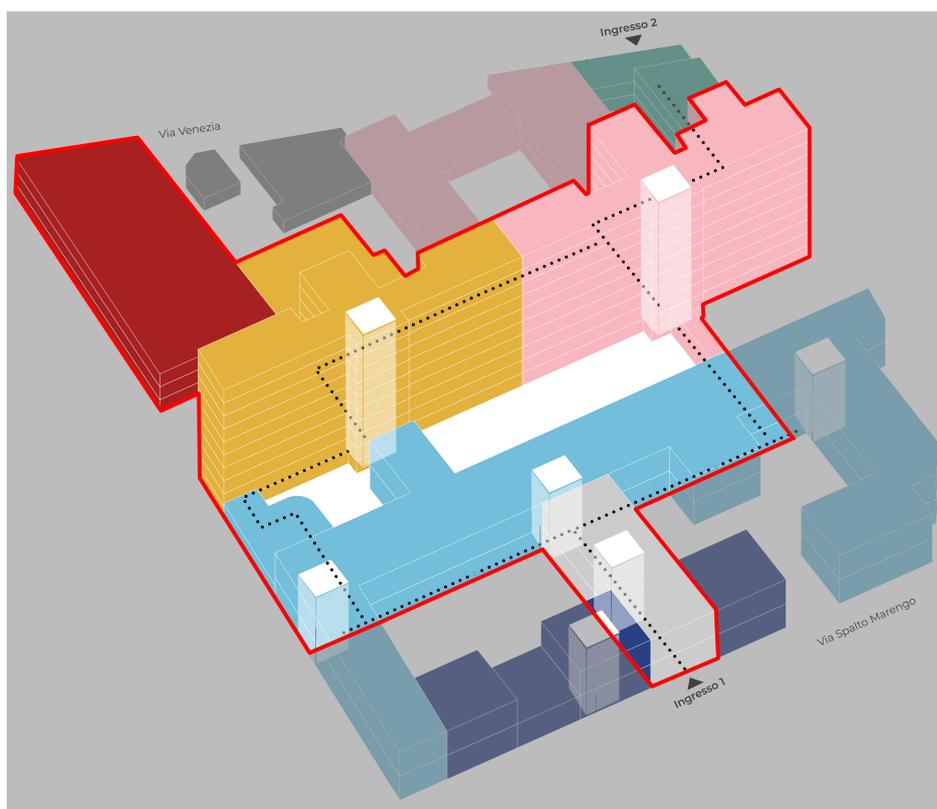


Figura 5.5: I tre domini che formano il prodotto ospedale

Nello specifico si andranno a modellare:

- Il blocco rosso: contiene il pronto soccorso, le camere di degenza per il pronto intervento, gli ambulatori per le visite, la sala gessi, la zona per la terapia subintensiva ed inoltre, funge anche da ingresso che i cittadini possono utilizzare per arrivare negli altri reparti della struttura attraversando diverse zone filtro;
- Il blocco giallo: contiene la zona del poliambulatorio, gli ambulatori di oculistica, il reparto di radiologia;
- Il blocco rosa (in parte): contiene il laboratorio per le analisi, il reparto di chirurgia e quello di cardiologia;
- Il blocco azzurro (in parte): contiene le vie di accesso per il blocco giallo e quello rosa;
- Il blocco grigio: è l'ingresso principale dell'ospedale e contiene la segreteria e altri uffici.

Per la sperimentazione condotta, si modelleranno solo il piano rialzato e il primo piano dei blocchi citati sopra.

Come detto in precedenza, l'ospedale è composto da una parte antica e da una più recente. Quest'ultima, analizzando le piante fornite dall'azienda ospedaliera stessa, si presenta con una maglia strutturale in cemento armato molto regolare di 6,5 metri x 6,5 metri mentre, la parte più antica, strutturalmente è composta da setti portanti.

In questo caso studio, per eseguire la modellazione, si è deciso di utilizzare il programma più utilizzato per l'applicazione della metodologia del Building Information Modeling: Autodesk Revit.

5.4.1 Realizzazione del modello 3D/BIM

Per procedere alla modellazione, si è deciso innanzitutto di importare in Revit il file dwg della pianta. Prima di fare ciò però, è stato effettuato un lavoro di "pulizia" del disegno rimuovendo tutti i layer superflui e semplificando al massimo le sovrapposizioni di linee.

Fatto ciò, si è proceduto con l'importazione e si è dovuta scegliere la scala del progetto.

Una volta entrati nel "mondo" Revit provenendo dal CAD, la prima cosa che si è fatta è stata quella di impostare i livelli di altezza in modo tale da "agganciare" i vari elementi ad essi ed evitare perdite di tempo in caso di errori o modifiche.

Questo è stato molto utile in quanto, la prima difficoltà riscontrata, è stata quella di capire quale fosse effettivamente il piano di calpestio del piano rialzato (piano terra) dell'ospedale. Tutto ciò è diventato chiaro grazie alla creazione delle scalinate di ingresso e delle rispettive rampe per i disabili in quanto lo sviluppo di queste ultime per tutta la lunghezza indicata in pianta, ha fornito l'offset del piano 1 dal terreno.

I livelli sono stati impostati in questo modo, secondo una sequenza di numeri:

- 0-Piano Terra: livello in cui è posizionata la pianta in dwg;
- 1-Piano Primo: livello ad un’altezza di 1,70 metri sul quale si poggia il primo solaio di calpestio, tutti i muri, i pilastri e le facciate;
- 2-Piano Secondo: livello di arrivo degli elementi del piano primo che si intersecano con il secondo solaio pavimentato (altezza 5,70 metri). Anche da qui partono i muri che proseguono fino al piano superiore. I pilastri e le facciate si prolungano fino all’ultimo piano;
- N-Piano N: livello della copertura.

Una volta fatto ciò, si è potuto sistemare nel modo corretto tutti i livelli e iniziare a lavorare sul modello vero e proprio.

Una volta inserito il primo solaio, il passo successivo è stato quello di modellare il perimetro del fabbricato.

Esso era formato da:

- Facciate vetrate con montanti e traversi;
- Muri perimetrali finestrati.

Per il primo caso, è tornato molto utile il comando “facciata continua” che ha permesso la creazione di un “muro vetrato” sul quale si è impostata una griglia di 1,40 metri x 1,40 metri su cui, dopo aver impostato le varie caratteristiche, si sono posizionati i montanti e i traversi.

Tra le proprietà assegnate si citano:

- Geometria: forma rettangolare;
- Dimensione: 8 cm x 4 cm;

- Materiale: Alluminio.

Per il secondo caso, si è deciso di usare il comando “muro: architettonico”. Analizzando il file dwg, si è notato che i muri perimetrali avevano diversi spessori:

- Spessore 1: 30 cm;
- Spessore 2: 40 cm;
- Spessore 3: 50 cm;
- Spessore 4: 70 cm.

Per rispettare queste dimensioni, si è dovuto quindi modificare la famiglia di sistema del muro di tamponamento esterno apportando cambiamenti alla stratigrafia.

Nello specifico, è stata modificata la tipologia del mattone che, da uno spessore di 12 cm, è diventato di 20 cm. La stessa cosa è stata fatta con i restanti tamponamenti con la differenza che, in alcuni casi, è stato messo anche più isolante.

Come detto in precedenza, questi muri perimetrali prevedono la presenza di finestre di diverse grandezze che, per rispettare le misure fornite dalla pianta, necessitano anch’esse di modifiche alla famiglia di sistema.

Gli accorgimenti effettuati hanno riguardato principalmente l’estensione del serramento che, in base alla destinazione d’uso, variava dagli 80 cm ai 140 cm. Anche il materiale è stato editato infatti, Revit, di default non ne assegna nessuno. Si è deciso quindi, tenendo conto di ciò che era stato usato per i montanti e i traversi della facciata continua, di realizzare la struttura in alluminio. La finestra è stata poi posizionata ad un offset dal solaio di calpestio di 1 metro.

Proseguendo nella modellazione, si è deciso di dedicarsi ai tramezzi interni i quali, come da disegno, sono risultati di 2 spessori:

- Spessore 1: 12 cm;

- Spessore 2: 20 cm.

Come detto anche per i muri perimetrali, si è dovuta modificare la famiglia di sistema dei muri interni. In questo caso, il suo nome era "tramezza" e aveva uno spessore di 15 cm.

Perciò, usando la stessa metodologia di prima, si è cambiata la stratigrafia modificando lo spessore del mattone.

Per quanto riguarda le porte interne, si è notato che, nel dwg, ce n'erano diverse tipologie:

- Porta ad un'anta larghezza 80 cm;
- Porta ad un'anta larghezza 90 cm;
- Porta ad un'anta larghezza 100 cm;
- Porta a due ante larghezza 100 cm;
- Porta a due ante larghezza 150 cm.

Per i serramenti di larghezza 80 cm, 90 cm e 100 cm, non si è dovuto apportare nessun cambiamento alle famiglie di sistema mentre, per quelli a due ante, si è dovuto caricare il modello dalla libreria di Revit all'interno del file ed effettuare le varie modifiche dimensionali ed estetiche. Infatti, si è deciso di cambiare i materiali del telaio che, come per gli altri casi, è stato fatto in alluminio. Una volta fatto ciò, si sono inserite le porte sui tramezzi.

Una volta posizionato al livello 2 il secondo solaio, si è pensato alla modellazione delle scalinate che collegano il piano 0 al piano 1. Grazie al comando "scala" è stato molto semplice in quanto il programma, una volta definita l'altezza dell'alzata e la lunghezza della pedata, ha generato in automatico i gradini fino a quando non si è raggiunto il livello impostato creando anche i pianerottoli e i corrimano.

Per completare il piano superiore, si è usata la stessa metodologia adottata per il

piano terra.

Il risultato finale della modellazione è mostrato nella figura seguente (Figura 5.6) e verrà importato in Twinmotion per l’assegnazione dei materiali e la realizzazione dei futuri render e video walkthrough.

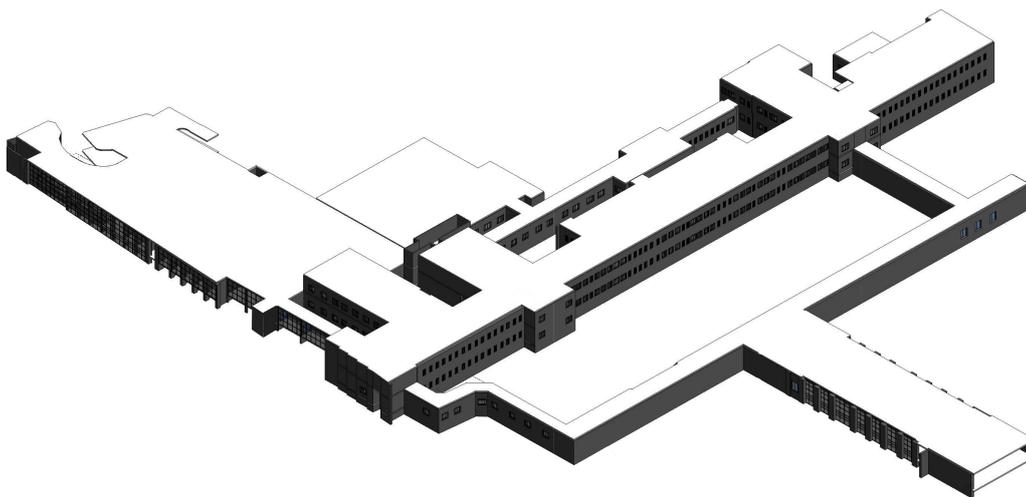


Figura 5.6: *Modello dei primi due piani dell’ospedale di Alessandria*

5.5 Individuazione degli scenari

Come detto in precedenza, un ospedale è un organismo complesso all’interno del quale si svolgono numerose attività che coinvolgono diverse tipologie di utenti, ognuno con le proprie esigenze. Il lavoro di individuazione delle attività e dei percorsi quotidiani di alcuni soggetti è stato svolto in primo luogo selezionando degli utenti tipo, il paziente, il membro del personale sanitario e il visitatore. Per ognuno di questi si sono ipotizzate delle condizioni e delle conseguenti esigenze. I percorsi tipo dei principali utenti sono stati riportati prima in una rappresentazione della pianta dell’ospedale in due dimensioni e, successivamente, nel modello 3D della struttura. Questi “scenari”, con i loro percorsi all’interno dell’ospedale, sono stati impostati nel modello e, tramite l’impiego di strumenti come Twinmotion, è stato possibile visualizzarli e analizzarli. Nelle prossime immagini verrà inserito un QR Code in modo tale da poter visualizzare il filmato dello scenario.

di capire la gravità della frattura e di decidere come procedere. In questo caso, l'utente sarà accompagnato poi in sala gessi.

5.5.2 Scenario 2: Paziente in gravidanza

(Segnalato in blu)

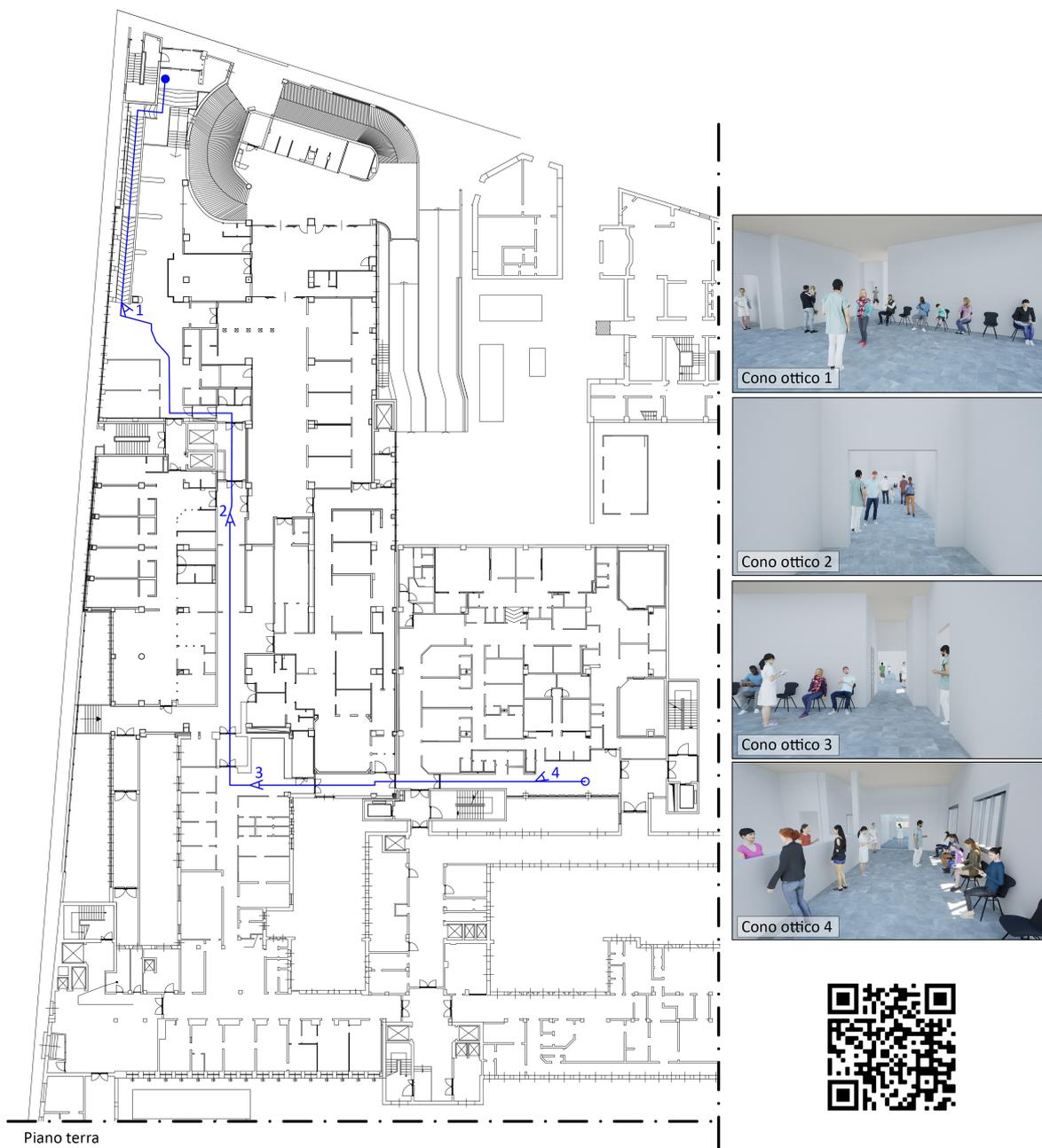


Figura 5.8: Scenario 2 e relative viste

Il secondo scenario riguarda l'arrivo in ospedale di una donna gravida che necessita di un'ecografia. Come per il caso precedente, il paziente accede alla struttura dall'ingresso del pronto soccorso e, grazie all'ausilio della rampa, si dirige verso la receptionist che le indicherà la strada per raggiungere il reparto in cui si terran-

no le visite di cui ha bisogno. Quindi, come mostrato in figura 5.8, attraversando una zona filtro, si troverà davanti alla segreteria nel quale farà l’accettazione e dopo qualche momento nella sala d’attesa, verrà chiamata per farsi visitare.

5.5.3 Scenario 3: Paziente che arriva in ambulanza e necessita di terapia

(Segnalato in magenta)



Figura 5.9: Scenario 3 e relative viste

Per il terzo scenario, si è immaginato l'arrivo in ambulanza di un paziente che necessita di cure immediate. Quindi, questa tipologia di utente accede alla struttura

dalla zona di scarico delle barelle e, dopo una breve pausa nella zona di sosta di quest'ultime, viene portato nel reparto di pronto soccorso in cui gli verranno assegnate le terapie e verrà curato.

5.5.4 Scenario 4: Medico che fa il giro visite

(Segnalato in verde)

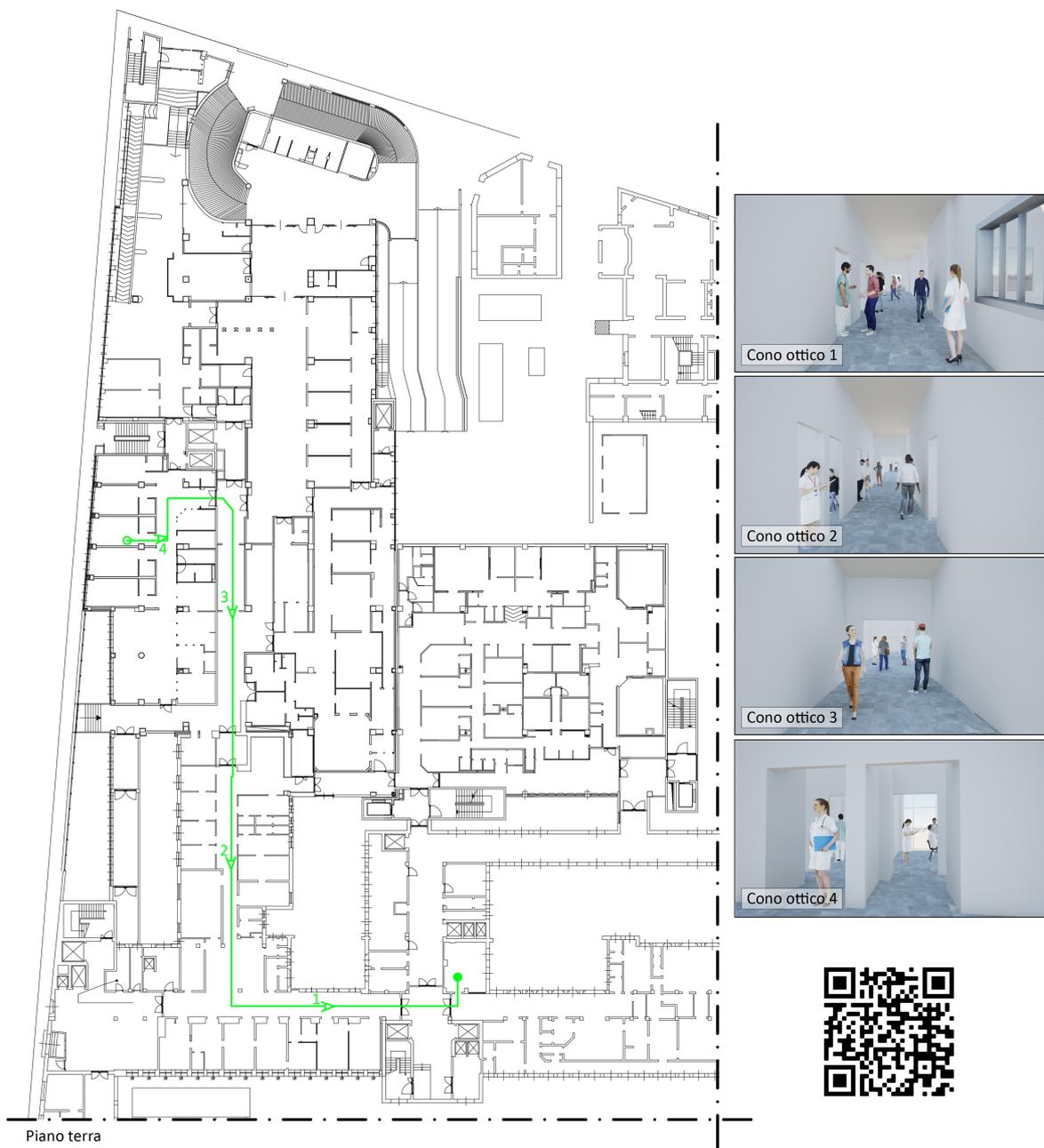


Figura 5.10: Scenario 4 e relative viste

Il quarto scenario indica il percorso che il medico compie per andare ad effettuare le visite di routine. Quindi, questo utente parte dallo spogliatoio dei medici e, passando per le varie zone filtro, arriva nelle camere di degenza del piano ter-

ra. Potrebbe anche recarsi in quelle del piano superiore ma lo vedremo in seguito attraverso il percorso degli infermieri.

5.5.5 Scenario 5: Infermiere che porta le medicine al paziente

(Segnalato in azzurro)

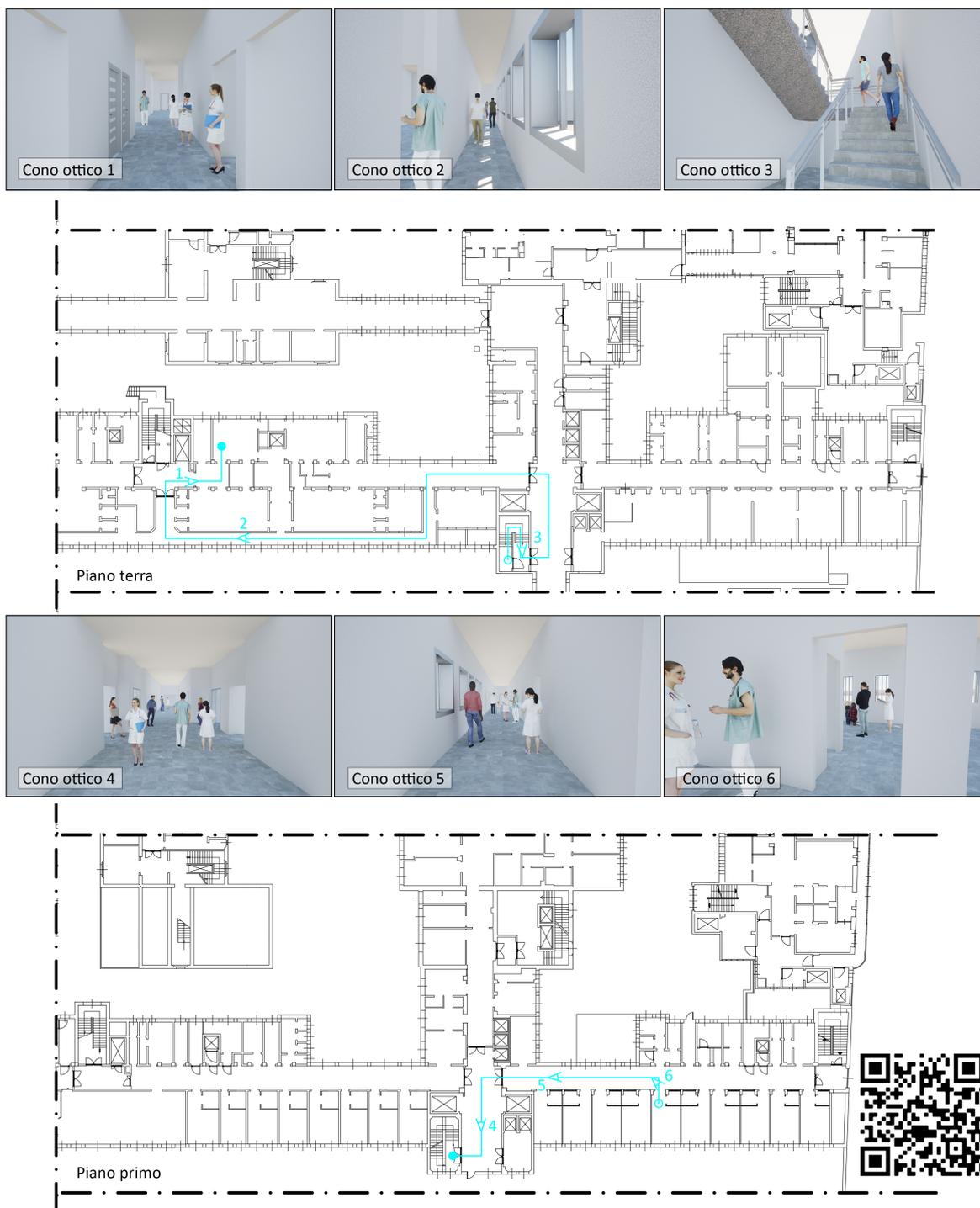


Figura 5.11: Scenario 5 e relative viste

Come visto nel paragrafo in cui si analizzavano le giornate tipo degli infermieri,

nello scenario 5 viene mostrato il giro che essi compiono per portare le medicine adatte alle terapie assegnate ad ogni paziente. Dalla sala dei medici, si spostano al piano superiore mediante l'utilizzo di scale o ascensori fino alle camere di degenza.

5.5.6 Scenario 6: Visitatore

(Segnalato in arancione)



Figura 5.12: Scenario 6 e relative viste

Il visitatore è l'utente protagonista dell'ultimo scenario immaginato. Esso entrerà

dall'ingresso principale e, una volta parlato con la segreteria, percorrerà i lunghi corridoi per arrivare nel nuovo complesso e salire al piano delle camere di degenza attraverso le scale o mediante l'utilizzo degli ascensori.

5.6 Risultati ottenuti dall’analisi degli scenari

La definizione dei diversi scenari è stato un passo fondamentale per compiere lo studio e l’analisi dei percorsi attraverso la metodologia del Building Information Modeling e del Digital Twin.

L’analisi si è basata su tre variabili:

- Lunghezza dei percorsi degli utenti;
- Tempo (calcolato grazie al programma Twinmotion che ha permesso di realizzare dei video di realtà virtuale in cui, impostando la tipologia di movimento “camminata”, si sono simulati i percorsi all’interno dell’ospedale andando alla velocità di camminata dell’uomo di 5 km/h circa);
- Condizioni dell’utente (stato di emergenza, donna gravida ecc...).

La lunghezza del percorso e il tempo di percorrenza sono strettamente collegati. Tutto ciò ha permesso di comprendere quali fossero i tragitti sui quali intervenire architettonicamente.

Per esempio, come detto nel capitolo precedente, il primo scenario riguarda l’arrivo in pronto soccorso di un paziente con frattura. Guardando con attenzione il percorso della figura 5.7, si può notare come il reparto di radiologia e la sala gessi siano notevolmente distanti l’uno dall’altra. L’utente dovrà percorrere 218,00 metri per arrivare nella sala delle radiografie e impiegherà 2 minuti e 40 secondi circa per farlo. In seguito dovrà tornare indietro per 150,50 metri fino al luogo dove gli applicheranno l’ingessatura impiegando 1 minuto e 50 secondi circa per un totale di 368,50 metri percorsi in 4 minuti e 30 secondi. Questo porta il paziente a dover compiere un tragitto di notevole lunghezza che può risultare molto faticoso nel caso abbia subito traumi agli arti inferiori.

La soluzione a questa problematica potrebbe essere lo spostamento della sala delle radiografie vicina alla sala gessi in modo tale che la distanza percorsa si riduca a

84,00 metri percorribili in 1 minuto circa avendo tutti i servizi nello stesso reparto.

Un'altra criticità messa in risalto dallo studio dei percorsi è stata quella della dimensione delle zone filtro dell'ospedale. Ad esempio, il corridoio che collega il pronto soccorso agli altri reparti viene attraversato dalla maggior parte degli utenti che sono stati analizzati e questo può portare alla creazione di ingorghi e assembramenti (Figura 5.13). Lo scenario che risente maggiormente di questa situazione è il terzo, quello di emergenza, in quanto l'infermiere si ritrova ad attraversare il corridoio con la barella con l'alto rischio di essere ostacolato. Quindi, questo errore progettuale può infierire notevolmente sull'efficacia delle cure messe a disposizione dalla struttura ospedaliera.

Per risolvere questa problematica si potrebbero allargare le zone filtro oppure creare percorsi secondari che smistino le varie tipologie di utenti diminuendo così il flusso di persone che attraversano quella zona dell'ospedale.

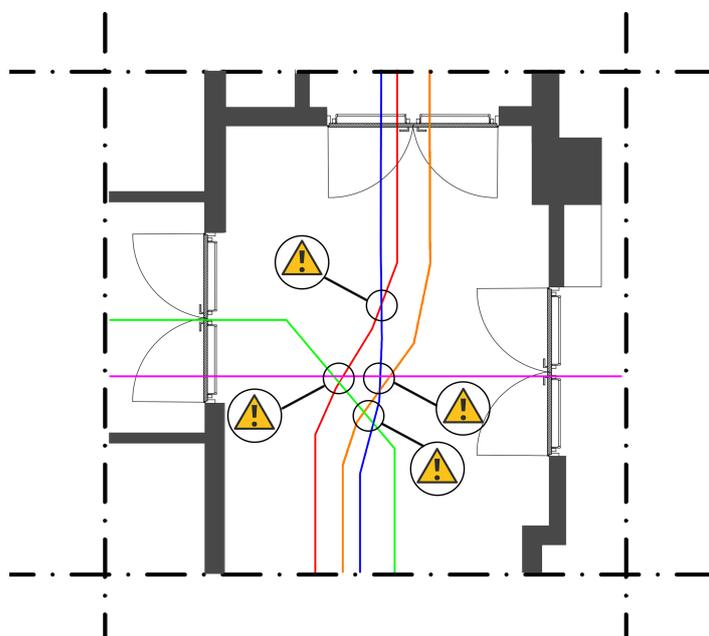


Figura 5.13: *Interferenze dettate dalla sovrapposizione dei diversi scenari*

Una cosa simile succede anche per raggiungere i piani superiori in quanto le scale risultano troppo strette per servire la mole di persone che le utilizzano e gli ascensori hanno una capacità limitata.

Questo ospedale risulta comunque un'ottima struttura infatti molti reparti sono posizionati in luoghi strategici e semplici da raggiungere come ad esempio quello per le ecografie e le tac che si trova a soli 127,00 metri dall'ingresso del pronto soccorso ed è raggiungibile in appena 1 minuto e 30 secondi circa.

Un altro esempio potrebbe riguardare i visitatori che, per andare a trovare i propri cari nelle camere di degenza, dovranno percorrere un tragitto molto lungo. Questo tipo di percorso però risulta ben pensato in quanto essi non hanno nessuna esigenza clinica e quindi possono percorrerlo senza la fretta che caratterizza invece le situazioni di emergenza.

Conclusioni

Con questa tesi si è voluto evidenziare l'importanza delle nuove tecnologie nell'industria delle costruzioni sia per quanto riguarda la progettazione degli edifici, sia per la loro gestione. Il Building Information Modeling è risultato il metodo più efficiente per la progettazione futura tanto che anche l'Italia si è accorta della sua potenzialità e ne ha obbligato l'uso per le nuove costruzioni a partire dal 2025.

Infatti, l'analisi nel primo capitolo ha dimostrato la sua importanza, oltre che per la progettazione, anche per il coordinamento tra le diverse figure del processo edilizio. La possibilità di effettuare analisi energetiche, strutturali, economiche e temporali garantisce una risposta istantanea alle richieste della committenza e fornisce al progetto maggior valore.

Per quanto riguarda la gestione, il Digital Twin si è rivelato una tecnologia essenziale per migliorare l'organizzazione interna di un edificio grazie alla rete di sensori che crea delle relazioni tra l'elemento reale e la sua copia digitale. Nell'esempio dell'ospedale ancor di più si nota come è importante e innovativo, e come può essere di grande aiuto per supportare il lavoro dell'uomo anche in campi nei quali l'imprevedibilità gioca un fattore chiave.

Per finire, l'applicazione di queste metodologie innovative al caso studio dell'Azienda Ospedaliera Nazionale SS. Antonio e Biagio e Cesare Arrigo di Alessandria,

ha fatto notare che un sistema complesso come una struttura sanitaria può presentare criticità nell'uso che con il BIM e la creazione di un gemello digitale, possono essere identificate, visualizzate e corrette migliorando così l'esperienza all'interno dell'ospedale.

Il lavoro svolto si è dovuto necessariamente fermare alla elaborazione preliminare del modello digitale BIM all'interno del quale è stato agevole evidenziare i percorsi generati a partire dagli scenari d'uso tratteggiati e le interferenze presenti, la cui analisi era l'obiettivo dell'applicazione. Quale ulteriore ricaduta immediata di questo lavoro possiamo sottolineare l'uso dello strumento digitale per rendere evidente, mediante la visualizzazione realistica, l'uso dei percorsi. Tali ipotesi possono in tal modo essere più agevolmente confrontate con l'esperienza diretta degli operatori in un processo di vero e proprio co-design apportando un ulteriore contenuto informativo al modello. Mostrare i ragionamenti effettuati tramite le capacità di simulazione realistica degli spazi del software BIM può costituire un ulteriore aiuto nella gestione ottimale degli spazi esistenti. Inoltre, la quantificazione dei flussi può essere, inoltre, più approfonditamente valutata anche mediante l'uso di software specifici dedicati all'evacuazione. Quale ulteriore sviluppo del lavoro nel senso del Digital Twin si può ipotizzare la creazione di una rete di sensori di presenza e/o l'utilizzo di app per smartphone attraverso le quali tracciare e indirizzare i percorsi dei pazienti verificando, da un lato, la accuratezza del modello teorico simulato, dall'altro, fornendo uno strumento di wayfinding.

Bibliografia e Sitografia

- [1] AssoBIM. *Il Building Information Modeling e l'innovazione digitale delle costruzioni*. Associazione AssoBIM, 2018.
- [2] Berwald S. *From CAD to BIM: the experience of architectural education with Building Information Modeling*. ASCE Library, 2008.
- [3] Czmoch I. Pekala A. *Traditional design versus BIM based design*. Procedia Engineering, 2014.
- [4] Eastman C. *An Outline of the Building Description System*. ERIC, 1974.
- [5] Autodesk. *Building Information Modeling*. Autodesk, 2003.
- [6] Mohd S. Latiffi A. Brahim J. *Building Information Modeling (BIM): exploring level of development (LOD) in construction projects*. Trans Tech Publications Ltd, 2015.
- [7] Sempaio A. *Enhancing BIM methodology with VR technology*. IntechOpen, 2018.
- [8] Cappelletti F. Dalla Mora T. Peron F. *Una panoramica sul Building Information Modeling (BIM)*. AiCarr, 2014.
- [9] Eastman C. *Il BIM: guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. Hoepli Editore, 2016.
- [10] Feligioni E. Ferrara A. *BIM e Project Management: guida pratica alla progettazione integrata*. Hoepli Editore, 2019.
- [11] Bertella A. *Il BIM e le nuove figure professionali*. Progettazione sismica, 2019.
- [12] Mollica E. *Le nuove figure professionali del BIM: qualifiche, ruoli e competenze*. PoliTesiMi, 2017.
- [13] Dimiyadi J. Parsanezhad P. *Effective Facility Management and operation via a BIM-based integrated information system*. Unitec, 2013.

- [14] Luciani S. Garagnani S. *Il modello parametrico in architettura: la tecnologia BIM di Autodesk Revit*. Disegnarecon, 2011.
- [15] Valdanbrini N. *M-BIM, nuovi approcci per la gestione*. Bimportale, 2019.
- [16] Yusof A. Chai S. Kuppusamy S. *BIM Integration in Augmented Reality Model*. Internation Journal of Technology, 2019.
- [17] Caso M. *La realtà virtuale per la comunicazione dell'architettura*. Researchgate, 2017.
- [18] Advenser. *Integrating BIM and Virtual Reality-The Next Big Thing?* 2016. URL: <https://www.advenser.com/2016/11/23/integrating-bim-and-virtual-reality-the-next-big-thing/>.
- [19] Autodesk 360. *Trying Autodesk 360*. 2017. URL: <https://www.bim42.com/2014/07/trying-out-autodesk-360/>.
- [20] Enscape 3D. *Real time rendering for Revit, SketchUp and Rhino*. 2017. URL: <https://enscape3d.com/>.
- [21] Augment. *The platform for 3D and augmented reality product visualization*. 2017. URL: <https://www.augment.com/>.
- [22] Scholar P. Patel K. Patel M. *Internet Of Things-IoT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application and Future Challenges*. IJESC, 2016.
- [23] TutorialsPoint. *The Internet Of Things*. TutorialsPoint, 2016.
- [24] Cherchi M. *La sicurezza dell'Internet Of Things*. Amslaurea, 2015.
- [25] Fluchter K. Wortmann F. *Internet Of Things*. Business e Information Systems Engineering, 2015.
- [26] Friess P. Vervesan O. *Internet Of Things-From Research and Innovation to Market Deployment*. Researchgate, 2014.
- [27] GSMA. *Understanding the Internet Of Things (IoT)*. GsmAssociation, 2014.
- [28] Siemens. *Digital Twin-Driving business value throughout the building Life Cycle*. Siemens Switzerland Ltd, 2018.

-
- [29] Tianliang H. Quinglin Q. Tao F. *Enabling technologies and tools for Digital Twin*. Journal of Manufacturing, 2019.
- [30] Grandinetti F. *Studio dell'applicazione dei Digital Twin in ambito ospedaliero*. Am-
solaurea, 2018.
- [31] Deloitte. *Industry 4.0 and the Digital Twin*. Deloitte University Press, 2017.
- [32] Mirzazadeh R. Manca L. Grugni R. *Digital Twin*. Engineering, 2019.
- [33] General Electric. *Predix: The Industrial IoT Application Platform*. General Electric
Company, 2018.
- [34] SAP Help Portal. *SAP IoT Application Enablement*. 2020. URL: [https://help.
sap.com/](https://help.sap.com/).
- [35] Amazon Web Service. *AWS IoT Greengrass*. 2020. URL: [https://aws.amazon.
com/it/greengrass/](https://aws.amazon.com/it/greengrass/).
- [36] Henriksen H. *Hospital Logistics*. Healthcare Denmark, 2017.
- [37] Boati L. *Formare l'Hospital Planner*. ATI project, 2019.
- [38] BIM Portale. *Il nuovo Ospedale Universitario di Odense*. 2018. URL: [https://www.
bimportale.com/ospedale-universitario-odense/](https://www.bimportale.com/ospedale-universitario-odense/).
- [39] Marconi G. *Storia dell'Ospedale dei santi Antonio e Biagio di Alessandria*. Microar-
t's Edizioni, 2003.
- [40] Mauri M. *Architettura dell'Ospedale: aspetti generali e metodologia-parte 1*. Cneto
Quaderni, 2017.

